



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bewertung mariner Verklappungsgebiete der chemischen Kampfstoffe S-Lost, Lewisit 1 (cis) und CLARK I bezüglich des ökologischen und humanen Risikos

Bachelorarbeit

im Studiengang Hazard Control

1. Gutachter Prof. Dr. Susanne Heise
2. Gutachter Prof. Dr. Bernd Kellner

Vorgelegt von:

Student:	Karsten Beardi
Studiengang:	Hazard Control/Gefahrenabwehr
	
	
	

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt in erster Linie meiner Erstgutachterin Frau Prof. Dr. Susanne Heise (HAW Hamburg) und meinem Zweitgutachter Herrn Prof. Dr. Bernd Kellner (HAW Hamburg). Diese Arbeit ist unter besonderen zeitlichen Voraussetzungen erstellt worden. Das mir während dieser Arbeit entgegengebrachte Verständnis, die zielgerichteten Ratschläge und die ständige kurzfristige Verfügbarkeit bei Fragen waren eine enorme Unterstützung. Haben Sie herzlichen Dank.

Ebenso danke ich meiner Familie und meiner Partnerin Olya, die mir in einer besonderen Zeit ein Maß an Unterstützung haben zuteilwerden lassen, wie ich es mir als Sohn, Bruder und Partner nicht besser hätte wünschen können. Ohne diese mir Raum gebende Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinem Freund Leif Müller sowie meinen Kommilitonen Florian Stukenkemper und Jacob Müller bedanken, die mich regelmäßig mit hilfreichen Hinweisen unterstützt haben.

Zusammenfassung

Die vor vielen Jahrzehnten in den Meeren verklappten chemischen Kampfstoffe stellen nach wie vor eine Problematik dar, die globale Ausmaße hat. Die Bewertung, welches Risiko von den auf dem Meeresgrund liegenden Kampfmitteln ausgeht, ist eine komplexe Aufgabe. Die Vielfältigkeit der zu berücksichtigenden Faktoren hinsichtlich der chemischen Kampfstoffe einerseits, sowie die spezifischen Gegebenheiten der Versenkungsgebiete andererseits, machen eine aussagekräftige Bewertung enorm schwierig. Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine Bewertungsmethode darzulegen, die eine Einordnung des Risikos ausgehend von verklappten Kampfstoffen anhand von Schlüsselkriterien ermöglicht.

Diese Arbeit betrachtet zwei Versenkungsgebiete: das Bornholmbecken in der südlichen Ostsee und ein Versenkungsgebiet südlich der Insel Oahu, Hawaii im Pazifik. Diese Gebiete unterscheiden sich sowohl durch ihre Umweltbedingungen als auch durch die jeweils verklappten chemischen Kampfstoffe. Die Bewertungskriterien für eine Risikobeurteilung wurden so gewählt, dass der Einfluss eines Verklappungsgebietes auf die in ihm versenkten chemischen Kampfstoffe maßgebliche Berücksichtigung findet.

Im Verlauf dieser Arbeit stellte sich heraus, dass die Qualität und Quantität der verfügbaren Daten in vielen Bereichen gering sind. Zudem bestehen viele Interdependenzen zwischen den einzelnen Kriterien. Diese Tatsache bestätigte nochmals, dass jedes Versenkungsgebiet einer Einzelfallbetrachtung bedarf. Forschungsprojekte, wie das Hawai'i Undersea Military Munitions Assessment (HUMMA) im Pazifik und der Report on Chemical Munitions Dumped in the Baltic Sea (HELCOM) in der Ostsee, liefern wichtige Beiträge, um den Status quo festzustellen und die Zusammenhänge zu verstehen.

Im Zuge der Analyse dieser Arbeit wird dargestellt, dass die beiden untersuchten Gebiete, trotz unterschiedlicher Merkmalsausprägungen, ein mittleres Risiko für den Menschen und das aquatische Ökosystem aufweisen. Die Aussagekraft der Ergebnisse beschränkt sich auf die gewählten Kriterien und darf als Indiz verstanden werden, welches Gefahrenpotential von speziellen chemischen Kampfstoffe in wiederum speziellen marinen Umgebungen ausgeht.

Das Vorgehen zur Bewertung mariner Verklappungsgebiete in dieser Arbeit ermöglicht, es auf andere Versenkungsgebiete und chemische Kampfstoffe zu übertragen und anzupassen. Die Skalierbarkeit macht es möglich, dass bei zukünftig besserer Datenlage, genauere Ergebnisse mit stärkerer Aussagekraft erhalten werden können.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iii
Tabellenverzeichnis.....	iv
Begriffsbestimmungen.....	v
1. Einleitung.....	1
2. Material und Methodik.....	3
2.1. Literaturrecherche.....	3
2.2. Herangehensweise.....	3
2.3. Erläuterung Risikobewertung.....	4
3. Chemische Kampfstoffe und Versenkungsgebiete.....	8
3.1. Definitionen.....	8
3.2. Eigenschaften chemischer Kampfstoffe und deren Reaktionen im marinen Milieu	10
3.3. Ausgewählte Versenkungsgebiete.....	23
3.3.1. Bornholmbecken, Ostsee.....	23
3.3.2. Südlich von Pearl Harbor, Insel Oahu, Pazifik.....	28
4. Risikobewertung.....	32
4.1. Bornholmbecken.....	33
4.2. Südlich von Pearl Harbor, Insel Oahu, Pazifik.....	35
5. Diskussion.....	37
6. Fazit.....	40
Literaturverzeichnis.....	41
Anhang.....	46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablauf einer Risikobewertung nach TGD (European Chemicals Bureau 2003a) verändert v. Beardi, 2022.	5
Abbildung 2: Unterteilung von Munition mit konventionellem und chemischem Wirkmittel (Böttcher et al. 2011) verändert v. Beardi, 2022.	8
Abbildung 3: Gliederung chemischer Kampfmittel.	9
Abbildung 4: Arten chemischer Kampfstoffe – Trivialnamen und Codes ausgewählter Vertreter der Klassen.	10
Abbildung 5: Hydrolyseverläufe von Lewisit 1 (cis) (Terzic et al. 2013) verändert v. Beardi, 2022.	19
Abbildung 6: Insel Bornholm und Bornholmbecken mit Kampfmittelverdachtsfläche (orange schraffiert). Quelle: Google Maps, verändert v Beardi, 2022.	23
Abbildung 7: Tiefenkarte Bornholmbecken. Primäres Versenkungsgebiet: schwarzer Kreis (Sanderson et al. 2010).	24
Abbildung 8: Querschnitt der südlichen Ostsee mit Salinität im Mai 2014 in PSU (g/l) (Naumann & Nausch 2015) verändert v. Beardi, 2022.	25
Abbildung 9: Querschnitt der südlichen Ostsee mit Sauerstoffgehalt im November 2013 (Naumann & Nausch 2015) verändert v. Beardi, 2022.	26
Abbildung 10: Insel Oahu, Hawaii, mit Versenkungsgebiet und Forschungsgebiet des HUMMA-Projekts (orange schraffiert, nicht maßstabsgetreu). Quelle: Google Maps verändert v. Beardi, 2022.	28
Abbildung 11: Tiefenkarte des HUMMA-Untersuchungsgebiets. Nördlich: Mündung von Pearl Harbor (Silva & Chock 2016) verändert v. Beardi, 2022.	29
Abbildung 12: Die Aufnahmen a - i zeigen den Kontakt verschiedener Meereslebewesen mit korrodierten Munitionskörpern chemischer Kampfstoffe (Edwards et al. 2016).	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Chemische und physikalische Eigenschaften von S-Lost.....	11
Tabelle 2: Chemische und physikalische Eigenschaften von CLARK I.	15
Tabelle 3: Chemische und physikalische Eigenschaften von Lewisit 1 (cis).	19
Tabelle 4: Risiko für das aquatische Ökosystem Bornholmbecken.	33
Tabelle 5: Risiko für den Menschen Bornholmbecken.	34
Tabelle 6: Risiko für das aquatische Ökosystem südlich von Pearl Harbor.	35
Tabelle 7: Risiko für den Menschen südlich von Pearl Harbor.	36

Begriffsbestimmungen

BAF: Bioakkumulationsfaktor. Gibt das Verhältnis der Konzentration eines Stoffes im Organismus zur Konzentration der umgebenden Matrix an. In einem Testverfahren wird ermittelt, wie hoch die Anreicherungskonzentration nach einer gewissen Zeit bei Lebewesen ist. Ein Verfahren ist der Durchfluss-Fischtest (Prüfmethoden-Verordnung (EG) Nr.440-2008 vom 31.05.2008).

BCF: Analog BAF, mit Umgebungsmatrix Wasser.

Bioakkumulation: Das Bioakkumulationspotenzial eines Stoffes gibt an, wie sehr er dazu neigt, sich in Organismen anzureichern. Der K_{ow} -Wert und der BAF sind ein Maß dafür, wie hoch das Bioakkumulationspotenzial eines Stoffes ist.

Biomagnifikation: Die Anreicherung eines Stoffes durch Nahrungsaufnahme entlang der Nahrungskette.

EC₅₀: Konzentration eines Wirkstoffs, bei welcher 50 % einer Versuchsgruppe einen Effekt aufweist oder ein Parameter (z.B. Leuchtkraft) im Vergleich zu einer Kontrollgruppe um 50 % reduziert ist.

Hydrolyse: Die Spaltung chemischer Verbindungen durch Reaktion mit Wasser.

LC: Letale Konzentration.

LC₅₀: Letale Konzentration für 50 % der exponierten Lebewesen.

LD: Letale Dosis.

LD₅₀: Letale Dosis für 50 % der exponierten Lebewesen.

Log K_{ow}: Der n-Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizient dient als ein Maß für das Verhältnis zwischen Lipophilie (Fettlöslichkeit) und Hydrophilie (Wasserlöslichkeit) einer Substanz.

Wert >1 – bessere Löslichkeit in fettähnlichen Lösungsmitteln

Wert <1 – bessere Löslichkeit in Wasser

Es besteht ein Zusammenhang zwischen einem erhöhten K_{ow} -Wert (>1) und erhöhter Bioakkumulation (European Chemicals Bureau 2003b).

Löslichkeit: „Die Löslichkeit eines Stoffes ist die Massen-Sättigungskonzentration in Abhängigkeit der Temperatur. Man unterscheidet zwischen Wasser- und Fettlöslichkeit. Letzteres ist die Löslichkeit in organischen Lösemitteln.“

Für die chemische Bewertung gilt:

Substanzen mit einer Wasserlöslichkeit < 10 mg/l sind schwer löslich, Substanzen mit einer Wasserlöslichkeit von 10 mg/l bis 1 g/l sind löslich, und Substanzen mit einer Wasserlöslichkeit > 1 g/l sind gut löslich (GISBAU 2022).

NOEC: Die höchste Konzentration, bei der keine signifikanten Effekte beobachtet wurden.

Persistenz: Persistente Substanzen werden nur sehr langsam natürlich zersetzt und verbleiben lange in der Umwelt.

PNEC: Die vorausgesagt auswirkungslose Konzentration eines bedenklichen Stoffes in der Umwelt.

TC: Toxische Konzentration.

Toxizität, akut: Beschreibt eine Konzentration oder Dosis unter Angabe der Aufnahmeart (inhalativ, oral, dermal), bei der ein akuter toxischer Effekt auftritt.

1. Einleitung

Die Weltmeere werden seit jeher von den Menschen genutzt, um darin Gegenstände und Stoffe aller Art zu versenken. Besonders nach den beiden Weltkriegen wurde eine Möglichkeit gesucht, die enormen Mengen produzierter chemischer Kampfstoffe, die nun nicht mehr gebraucht wurden, möglichst aufwandsarm zu entsorgen. Zwischen 1917 und 1970 wurden daher weltweit über 1.000.000 t ungenutzter chemischer Kampfmittel verklappt (ARTE France 2013). Da diese Art der Entsorgung zu früheren Zeiten als sicherer Weg galt, die gefährlichen Kampfstoffe aus menschlicher Reichweite zu bringen, gab es keine Überlegungen darüber, welche langfristigen Folgen die Zersetzung der Kampfmittel für den Menschen und die Umwelt haben könnte. Heute weiß man, dass die Versenkung die Kampfstoffe keinesfalls unschädlich gemacht hat: In der Ostsee, dem Pazifischen Ozean, der Adria und japanischen Küstengewässern gab es bereits dokumentierte Unfälle mit verklappten chemischen Kampfstoffen (Bizzigotti et al. 2009).

Durch diese Vorfälle und das zunehmende Bewusstsein für die Umwelt, rückte die Problematik versenkter Kampfstoffe auch in das Betrachtungsfeld von staatlichen Institutionen, privaten Organisationen und Forschung. Die Frage, in welchem Maß die Altlasten der Kriege nach Jahrzehnten auf dem Meeresboden immer noch Schaden anrichten können, wird zunehmend wichtiger, denn: Nicht nur beziehen die Menschen ihre Nahrung aus dem Meer, welche potenziell mit freigesetzten Kampfstoffen in Kontakt kommt, auch steigt die Zahl wirtschaftlicher Projekte, bei denen die Nutzung des Meeresbodens eine Prüfung auf Gefahren unerlässlich macht. Beispielhaft hierfür ist die Gasversorgungs-Pipeline Nord Stream zu nennen, vor deren Bau die gesamte Trasse inklusive eines Sicherheitskorridors umfangreich auf Kampfmittel abgesucht wurde. Gefunden wurden hierbei mehr als 400 Stück Munition auf einer Gesamtlänge von etwa 1.200 km (Nord Stream 2010; ARTE France 2013).

Studien, die sich mit der Thematik der verklappten Kampfmittel befassen, kommen zu dem Ergebnis, dass eine lückenlose Aufklärung bezüglich der Lokation und des Zustands nicht möglich ist (Beldowski et al. 2016), (Böttcher et al. 2011). Die Suche nach Verklappungsgebieten stützt sich meist auf die Recherche in historischen Dokumenten und ist oftmals nicht vollständig. Nicht selten wurde die gefährliche Fracht schon auf dem Weg zum eigentlichen Ziel-Versenkungsgebiet über Bord geworfen (Arison III 2014). Doch selbst in bekannten Versenkungsgebieten können die lokalen Gegebenheiten zu unterschiedlichsten Zersetzungsuständen bei den Kampfmitteln führen: von nahezu unversehrt bis zu völlig korrodiert (Böttcher et al. 2011).

Auch im Hinblick auf die Kampfstoffe herrscht bis heute keine vollkommene Klarheit darüber, wie diese Ihre marine Umgebung beeinflussen. Da die hochgiftigen Kampfstoffe nicht zwangsweise in ihrer Reinform vorliegen, unterschiedlichsten Umweltbedingungen

ausgesetzt waren und dadurch die Reaktionsstadien nicht einheitlich sind, bedarf jedes Versenkungsgebiet seiner eigenen Betrachtung.

Die Studie von Koide et al. (2016) beispielsweise legt dar, dass Tiefsee-Garnelen (*Heterocarpus ensifer*), welche sich nahe eines Versenkungsgebietes bei Hawaii aufhalten, keine US-gesetzlichen Grenzwerte für Lebensmittel hinsichtlich der Bioakkumulation von Kampfstoffen und ihren Abbauprodukten überschreiten. Dies ist beachtlich, da in diesem Versenkungsgebiet unter anderem Lewisit sowie konventionelle Munition verklappt wurden, welche Arsenverbindungen enthalten, die zur Bioakkumulation neigen (Umweltbundesamt 2022). Auch andere Studien kommen zu dem Schluss, dass nach jetzigem Stand keine erheblichen, großräumigen Umweltschäden durch die Deponien verursacht wurden oder zu erwarten sind (Böttcher et al. 2011). Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass jeder Einzelfall für sich geprüft werden muss, da die Faktoren vielfältig sind: Sowohl was die Umgebung als auch die ortsnahe Biota betrifft.

Die Vielschichtigkeit der Thematik einerseits, sowie fehlende Forschungserkenntnisse andererseits, machen eine allgemeingültige Bewertung mariner Versenkungsgebiete unmöglich. Diese Arbeit befasst sich daher mit einer Auswahl von Verklappungsgebieten unter Berücksichtigung ihrer individuellen Gegebenheiten. Im Bereich der Stoffgefahren werden die bekannten Reaktionswege chemischer Kampfstoffe und bereits erschlossene Akkumulationspfade betrachtet.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die möglichen Gefährdungen durch verklappte chemische Kampfstoffe zu erfassen und daraus das ökologische sowie humane Risiko abzuleiten und zu bewerten.

2. Material und Methodik

2.1. Literaturrecherche

Diese Arbeit basiert grundsätzlich auf einer intensiven Literaturrecherche. Hierfür wurden primär die Literaturportale Google Scholar und Scopus genutzt. Es wurde darauf geachtet, dass die verwendete Literatur aus wissenschaftlichen Zeitschriften stammt, die einem Peer-Review-Prozess unterzogen wurden. Des Weiteren wurde ein Gegencheck bezüglich nicht seriöser Zeitschriften durchgeführt. Hierzu wurde ein Abgleich mit der „Beall’s List“ (aufrufbar unter <https://beallist.net>) durchgeführt. Die Beall’s List führt Zeitschriften und Verlage auf, die wissenschaftliche Artikel veröffentlichen, aber nicht den Kriterien seriöser, wissenschaftlicher Arbeit entsprechen. Die Beall’s List wird seit Januar 2017 nicht mehr durch den Ersteller Jeffrey Beall bearbeitet, aber von zuarbeitenden Personen nach seinen Kriterien erweitert. Unter anderem umfasst die Beall’s List Kriterien wie:

- Der Verlag oder seine Zeitschriften sind nicht in den üblichen Zeitschriftenverzeichnissen aufgeführt oder sind in Bibliotheksdatenbanken nicht umfassend katalogisiert.
- Keines der Mitglieder des Redaktionsausschusses einer bestimmten Zeitschrift hat jemals einen Artikel in dieser Zeitschrift veröffentlicht.
- Der Verlag macht Aussagen, die eine schnelle Veröffentlichung und/oder eine ungewöhnlich schnelle Überprüfung durch Fachkollegen versprechen.

Die vollständige Liste der Kriterien für die Erstellung der Beall’s List ist im Anhang zu finden.

Aufgrund der mangelhaften Datenlage in einigen Bereichen war die Zuhilfenahme von grauer Literatur notwendig. Dies betrifft vorrangig Unternehmens- und Projektberichte von Firmen, die unmittelbar an der Bergung oder Untersuchung von chemischen Kampfstoffen beteiligt waren. Die aus derartigen Quellen verwendeten Informationen wurden durch den Verfasser weitestmöglich auf Plausibilität geprüft. Plausibilität bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Expertise der Autoren nachvollziehbar ist, Artikel in anerkannten Zeitschriften zitiert wurden und gemachte Aussagen nachvollziehbar in den Kontext geprüfter wissenschaftlicher Ergebnisse zu bringen sind.

2.2. Herangehensweise

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf Versenkungsgebieten und chemischen Kampfstoffe mit guter Datenlage, um eine möglichst fundierte Bewertung vornehmen zu können. Aufgrund der Vielzahl von einflussnehmenden Faktoren und der oftmals mangelhaften Datenlage bezüglich relevanter Informationen hat diese Arbeit nicht den holistischen Anspruch, eine

abschließende Bewertung des von verklappten chemischen Kampfstoffen ausgehenden, weltweiten Risikos vorzunehmen. Dies betrifft in besonderem Maße die Wirkung der chemischen Kampfstoffe unter marinen Umweltbedingungen. Bei der Auswahl der Versenkungsgebiete wurde darauf geachtet, dass möglichst unterschiedliche Umgebungsfaktoren bzw. Umweltbedingungen sowie eine nutzbare Datenlage vorliegen. Exemplarisch wurden hierfür die folgenden Versenkungsgebiete gewählt:

1. Bornholmbecken, Ostsee, Dänemark

Das Bornholmbecken, östlich der dänischen Insel Bornholm gelegen, ist das größte Versenkungsgebiet von chemischen Kampfstoffen in der Ostsee (HELCOM 1994). Die Feststellung des Status quo sowie der Folgen verklappter chemischer Kampfstoffe ist Inhalt umfangreicher Forschungsarbeiten wie dem HELCOM Report und weiterer Forschungsprojekte. Auch wenn keine vollumfängliche Kenntnis über Art und Umfang der versenkten chemischen Kampfstoffe besteht, lässt die vorhandene Datenlage eine Bewertung dieses Versenkungsgebietes, unter Berücksichtigung der Unsicherheiten, zu.

2. Südlich von Pearl Harbor, Insel Oahu, Hawaii, USA

Im Rahmen des fünf Jahre andauernden Forschungsprojekts Hawai'i Undersea Military Munitions Assessment (HUMMA) wurde ein Verklappungsgebiet nahe der Insel Oahu, Hawaii unter anderem hinsichtlich folgender Faktoren untersucht:

1. Räumliche Ausdehnung und Verteilung von Munition;
2. Zustand der Munition;
3. Ob Munitionsbestandteile im Sediment, im Meerwasser oder in Tieren nahe des Versenkungsgebiets nachgewiesen werden können;
4. Ob Munitionsbestandteile oder ihre Derivate potenziell ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellen.

Die aus diesem Projekt gewonnen Erkenntnisse, sowie darauf aufbauende, weitere Forschungen, ermöglichen eine tiefergehende Bewertung der von diesem Versenkungsgebiet ausgehenden Gefährdungen.

2.3. Erläuterung Risikobewertung

Die Bewertung des humanen und ökologischen Risikos ausgehend von verklappten chemischen Kampfstoffen setzt die Berücksichtigung und Bewertung diverser einflussnehmender Faktoren voraus, die je nach betrachtetem Gebiet variieren können. Auftretende Wechselwirkungen sowie sich stetig ändernde Umgebungsbedingungen machen aufgrund großer Unsicherheiten eine allgemeingültige Bewertung unmöglich.

Der Verfasser dieser Arbeit wird daher die verfügbaren Informationen bezüglich der chemischen Kampfstoffe und Gebiete individuell bewerten und hinsichtlich ihres Risikopotentials interpretieren. Der Ablauf der Risikobewertung orientiert sich an den Vorgaben des Technical Guidance Dokument on Risk Assessment (TGD) der Europäischen Union, dargestellt in Abbildung 1, in angepasster Form.



Abbildung 1: Ablauf einer Risikobewertung nach TGD (European Chemicals Bureau 2003a) verändert v. Beardi, 2022.

Grundlegende Parameter für diese Risikobewertung sind:

- I. Humane Toxizität des chemischen Kampfstoffes.
- II. Aquatische Ökotoxizität des chemischen Kampfstoffes.
- III. Einfluss nehmende Faktoren des Versenkungsgebietes auf die verklappten chemische Kampfstoffe (z.B. Salinität, Sauerstoffgehalt, Temperatur).
- IV. Wahrscheinlichkeit des Kontaktes mit Menschen bzw. mariner Biota (z.B. Fischerei, Küstennähe, Bauvorhaben, anwesende Biota).

Gegebenenfalls werden einzelne Parameter ergänzt oder angepasst (etwa Strömung, Versenkungstiefe und Sedimentbeschaffenheit), wenn dies für die Bewertung relevant ist.

Für die Kategorien I - IV werden jeweils die folgenden drei Einstufungen vorgenommen:

- A. Niedrig
- B. Mittel
- C. Hoch

Die Einstufungen A,B und C sind in ihrem Kontext zu verstehen. In Bezug auf die Toxizität der Kampfstoffe (I und II) dient die Einstufung der Bewertung des Potenzials, schadhafte Folgen zu verursachen. Hierzu werden die vorhandenen LC-, TC-, EC- sowie PNEC- und NOEC-Werte in Verbindung mit der Löslichkeit und dem Hydrolyseverhalten (inkl. der Toxizität der Hydrolyseprodukte, wenn vorliegend) berücksichtigt. Die Einstufung in Bereich III sagt aus, wie sehr die Umgebungsfaktoren Einfluss auf das schädliche Potenzial des chemischen Kampfstoffes nehmen bzw. die Freisetzung begünstigen. Kategorie IV betrachtet die menschlichen Aktivitäten in dem jeweiligen Gebiet, um eine Aussage über die Möglichkeit des direkten oder indirekten Kontaktes mit chemischen Kampfstoffen zu machen. Dieser Definition nach ist somit eine höhere Einstufung in allen Bereichen mit einem größeren Risiko verbunden.

Nach der Einstufung der vier Kategorien werden die einzelnen Bewertungen (ggf. unter Anwendung einer Gewichtung) zusammengeführt, um daraus

1. das Risiko für das aquatische Ökosystem

und

2. das Risiko für den Menschen

abzuleiten. Die Resultate von 1 und 2 werden ebenfalls in den Kategorien niedrig, mittel und hoch angegeben. Eine genauere Einteilung, z.B. in Zahlenwerte von 1 -100, wurde von dem Verfasser als unzweckmäßig erachtet, da der Unsicherheitsfaktor zu groß ist und somit keine objektive, genaue Unterscheidung möglich ist.

3. Chemische Kampfstoffe und Versenkungsgebiete

3.1. Definitionen

Kampfmittel

Der Definition nach ist ein Kampfmittel im militärischen Sinn ein in einem bewaffneten Konflikt zur Durchsetzung des Kriegszieles verwendetes Mittel wie Waffe, Kampfstoff oder Ähnliches (Duden 2022). Er ist somit weitreichender gefasst als lediglich Munition, umfasst diese aber. In Bezug auf versenkte Kriegsalasten wird dieser Begriff häufig gewählt, um die verklappten Güter nicht nur auf Munition zu begrenzen. Ein mit einem giftigen Stoff gefülltes Gefäß zur Weiterverarbeitung entspräche beispielsweise nicht der Definition von Munition, besitzt aber in dieser Betrachtung dieselbe Relevanz.

Munition

Im Kontext dieser Arbeit wird unter Munition ein Körper verstanden, der mittels eines Zünders (und ggf. einer Treibladung) dazu bestimmt ist, sein Wirkmittel frei- oder umzusetzen bzw. ein Projektil zu beschleunigen. In Abbildung 2: Unterteilung von Munition mit konventionellem und chemischem Wirkmittel (Böttcher et al. 2011) ist dargestellt, wie sich grundsätzlich konventionelle von chemischer Munition unterscheidet.

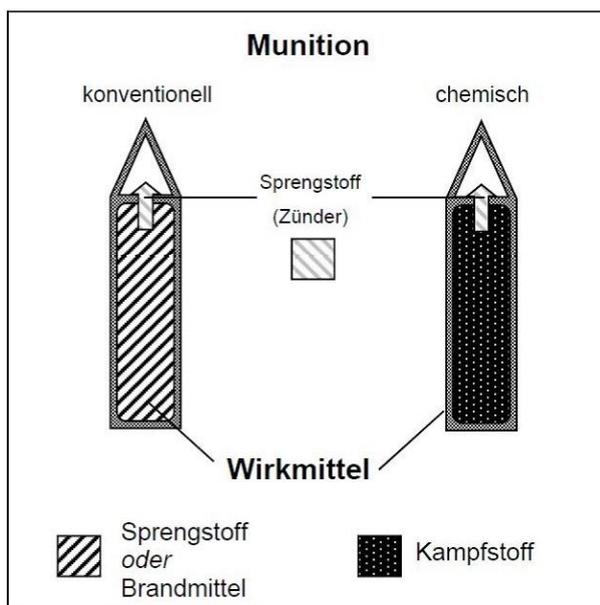


Abbildung 2: Unterteilung von Munition mit konventionellem und chemischem Wirkmittel (Böttcher et al. 2011) verändert v. Beardi, 2022.

Die in dieser Arbeit betrachtete chemische Munition ist mit einem chemischen Kampfstoff gefüllt, welcher seine Wirkung nach Umsetzung einer (Verteilungs-)Sprengladung entfaltet. Die Gefahr, die von derartiger Munition ausgeht, ist somit mehrdimensional.

Chemische Kampfmittel

Der Begriff chemische Kampfmittel bildet die übergeordnete Zusammenfassung aller für einen Einsatzzweck nutzbaren Chemikalien, inklusive ihres Transportmediums (äquivalent **Kampfmittel**). Die Abgrenzung ist hierbei nicht vereinheitlicht. In dieser Arbeit werden die chemischen Kampfmittel in die in Abbildung 3 dargestellten Kategorien eingeteilt und richten sich damit grundsätzlich nach den Einteilungen von Ganesan et al. (2010) und Pitschmann (2014) in modifizierter Form.

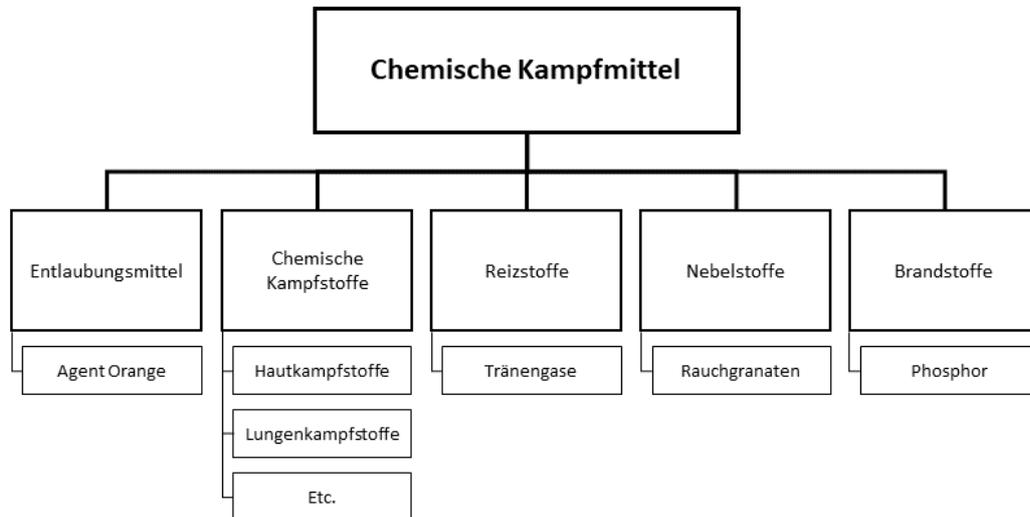


Abbildung 3: Gliederung chemischer Kampfmittel.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Klasse der chemischen Kampfstoffe und behandelt die weiteren Klassen nicht. Speziell bei dem Brandstoff Phosphor wird darauf hingewiesen, dass dieser im Zusammenhang mit Unfällen durch verklappte chemische Kampfmittel steht, hier aber aufgrund der vorgenommenen Kategorisierung nicht in die berücksichtigten Gefährdungen mit aufgenommen wird (Böttcher et al. 2011).

Chemische Kampfstoffe

Die in diesem Abschnitt dargestellte Einteilung wurde vom Autor auf Basis der Kategorisierung von Ochsenbein & Huber (2009) modifiziert. Die chemischen Kampfstoffe gliedern sich in verschiedene Klassen, deren Benennung ihrer primären Wirkung auf den Menschen entsprechen. Von dieser Grundeinteilung abweichend, existieren diverse abgeleitete und modifizierte Varianten, um die physikalisch-chemischen Eigenschaften wie den Siedepunkt an die jeweiligen Einsatzbedürfnisse anzupassen. Die in Abbildung 4 dargestellten sieben Klassen der chemischen Kampfstoffe führen die reinen chemischen Kampfstoffe auf. Die Bezeichnungen einzelner Klassen mit einer Farbe und „-kreuz“ entspringt der zu Kriegszeiten gültigen Kennzeichnung auf den jeweiligen Behältnissen, um eine schnelle visuelle Zuordnung zu gewährleisten. Das Verschießen mehrerer chemischer Kampfstoffe gleichzeitig, um deren Wirkungen zu kombinieren (z.B. CLARK, als sogenannter „Maskenbrecher“, mit S-Lost als

effektives Mittel, um Soldaten kampfunfähig zu machen), wurde als „Buntschießen“ bezeichnet.

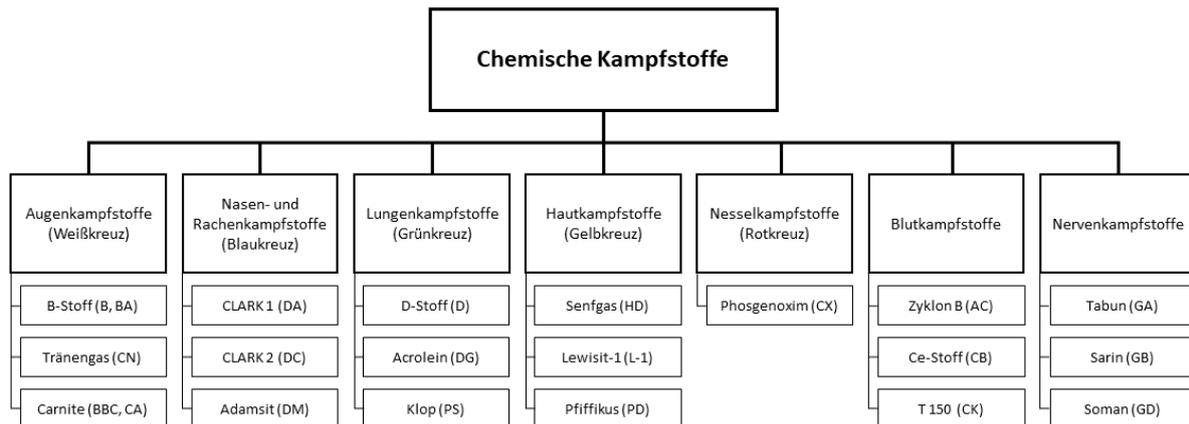


Abbildung 4: Arten chemischer Kampfstoffe – Trivialnamen und Codes ausgewählter Vertreter der Klassen.

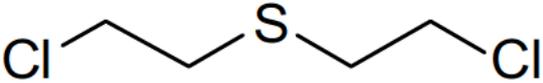
Die Zuordnung zu einer Klasse bedeutet nicht, dass ein chemischer Kampfstoff ausschließlich in einem isolierten Bereich wirksam wird. Viele Kampfstoffe lösen neben ihren primären Wirkfeldern auch in weiteren Bereichen maßgebliche Reaktionen aus. S-Lost beispielsweise kann bei Augenkontakt zu Erblindung führen oder bei Einatmung die Lunge verätzen, ist jedoch primär ein Hautkampfstoff (Stieglitz et al. 2019; Hildebrandt 2003).

3.2. Eigenschaften chemischer Kampfstoffe und deren Reaktionen im marinen Milieu

Wie bereits im Abschnitt chemische Kampfstoffe angedeutet, wurden den chemischen Kampfstoffen häufig Komponenten beigemischt, um deren Eigenschaften zu modifizieren. Ein Beispiel ist das sogenannte Winterlost, die Kombination von S-Lost und Arsinöl, um den Schmelzpunkt des S-Lostes für den Einsatz bei niedrigen Temperaturen herabzusetzen (Kopecz 1996). Je nach Einsatzzweck wurden diverse abgeleitete chemische Kampfstoffe hergestellt und letztlich auch versenkt. Eine vollumfängliche Betrachtung aller Varianten ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, daher werden an dieser Stelle, sofern nicht anders angegeben, die Eigenschaften der Reinformen beschrieben.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Quellen der Stoffeigenschaften in einer eigenen Zeile der jeweiligen Tabelle aufgeführt.

Tabelle 1: Chemische und physikalische Eigenschaften von S-Lost.

S-Lost		
Synonyme:	Yperit	
CAS-Nummer:	505-60-2	
Physikalische und chemische Daten		
Strukturformel:		
Summenformel:	C ₄ H ₈ Cl ₂ S	
Molare Masse:	159,08 g/mol	(a)
Schmelzpunkt:	14,46 °C	(b)
Siedepunkt:	216,9 °C (1)	(b)
Löslichkeit in Wasser:	0 °C: 0,3 g/l 10 °C: 1 g/l 20 °C: 0,8 g/l	(c)
Quellen		
(a): Hoenig (2007) (b): Bizzigotti et al. (2009) (c): Kopecz (1996)		

Hydrolyseeigenschaften

S-Lost hydrolysiert in Abhängigkeit der Konzentration und Temperatur über unterschiedliche Zwischenprodukte zu den ungefährlichen Stoffen Salzsäure und Thiodiglycol (Bizzigotti et al. 2009). Bei 20 °C werden in zwei Stunden, bei gesättigter Lösung, annähernd 100 % hydrolysiert. Die Reaktionsgeschwindigkeit der Hydrolyse nimmt im alkalischen Milieu zu und wird im sauren Medium verlangsamt (Kopecz 1996). Zudem steigt die Hydrolysegeschwindigkeit mit zunehmender Temperatur (Krebs 2003). Diese Werte treffen auf unter Laborbedingungen durchgeführte Experimente zu.

Unter Umweltbedingungen, hier betrachtet im Meerwasser, wirken sich weitere Faktoren auf das Hydrolyseverhalten aus. Im leicht alkalischen Meerwasser mit pH-Werten zwischen 8,08 bis 8,33 in Verbindungen mit niedrigen Temperaturen unter 5 °C in Nähe des Meeresbodens beträgt die Halbwertszeit von gelöstem S-Lost etwa 175 Minuten (Bizzigotti et al. 2009), (Marion et al. 2011). Nach Demek et al. (1970) beträgt die Auflösegeschwindigkeit von S-Lost im Meerwasser $3,4 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,15 Knoten

(0,28 km/h). Trotz dieser Ergebnisse liegt der Feststoff oftmals ungelöst von Wochen bis zu Jahren in seiner stabilen Form vor (Hoenig 2007). Der Grund hierfür liegt in der Bildung einer Sulfoniumsalzschicht an der Grenzfläche zwischen S-Lost und Wasser, die die Auflösung von S-Lost verlangsamt (Bartelt-Hunt et al. 2008). Zusätzlich nimmt der Kontakt bzw. die Bedeckung mit Sediment ebenfalls Einfluss auf die Zersetzungsgeschwindigkeit, da ein von Sediment bedeckter Munitionskörper zwar noch mit Porenwasser in Kontakt kommt, dieses aber schnell gesättigt ist (Böttcher et al. 2011).

Neben dem reinen S-Lost ist es in diesem Zusammenhang sinnvoll eine weitere Variante in die Betrachtung einzubeziehen, da sie ca. 20 % der versenkten S-Lost Bestände ausmacht: das sogenannte Zäh-Lost. Durch Beimischung von Wachsen, Harzen oder Kunststoffen wurde das S-Lost zäh gemacht, um an Materialien haften zu bleiben und letztlich eine Dekontamination erschweren. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Zäh-Lost unterscheiden sich signifikant von denen des reinen S-Lostes. Der bedeutendste Unterschied liegt in der Verweildauer unter Wasser. Durch die hinzugefügten Komponenten bildet das Zäh-Lost eine „Schutzschicht“, die es gegen Hydrolysevorgängen abschirmt. Abhängig von weiteren Faktoren, wie z.B. der Größe eines solchen Zäh-Lost-Brockens, kann der chemische Kampfstoff auf unbestimmte Dauer im Wasser verweilen, ohne Zersetzungen unterworfen zu sein. In diesem konservierten Zustand behält das Zäh-Lost seine giftigen Eigenschaften über Jahrzehnte und vermag diese bei Kontakt wieder freizusetzen (Böttcher et al. 2011).

Humantoxizität

Akute Humantoxizität

S-Lost ist giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Berührung mit der Haut. Es ist in allen Aggregatzuständen wirksam. Das Eindringen von S-Lost in die Haut und über die Atemwege erfolgt reiz- und schmerzlos, erst nach einer Latenzzeit von zwei bis sechs Stunden treten Rötungen und Schwellungen auf (Kopecz 1996). Innerhalb von 24 bis 48 Stunden kommt es zu einer schmerzhaften Blasenbildung auf der Haut sowie zu starken Reizungen der Augen bis hin zur (temporären) Erblindung (Balali-Mood & Abdollahi 2015). Einwirkungen auf die Atmungsorgane haben schwere Schädigungen des Gewebes und eine Zerstörung der Zellen zur Folge (Stieglitz et al. 2019). In seltenen Fällen traten die Symptome bis zu zwölf Tage verzögert auf (Hoenig 2007).

Inhalativ:

LC: 12 mg/m³ (1 min)

LC₅₀: 1.500 mg/m³

TC: 1,3 mg/m³ (45 min) Konjunktivitis

TC₅₀: 150 mg/m³/min schwere Vergiftung

Dermal:

LD: 64 mg/kg

LCt₅₀: > 10.000 mg x min/m³

Quelle: Kopecz (1996)

Chronische Humantoxizität

Die langfristigen Folgen einer Vergiftung mit S-Lost gehen über die betroffenen Bereiche hinaus und umfassen Krankheitsbilder wie: Herzrhythmus- und Kreislaufstörungen, Konjunktivitis, Leberschädigung, verringerte Resistenz gegen Infektionen, Anämie, Kräfteverfall, Depressionen, Schädigungen des Knochenmarks und der Gonaden, asthmatische Erscheinungen, Lungenemphysem sowie Bronchitis und organisierende Pneumonie (Kopecz 1996; Stieglitz et al. 2019).

Bei wiederholter inhalativer Aufnahme treten deutlich erhöhte Krebsraten im Bereich der Atemwege auf (Marrs et al. 2007). S-Lost wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft: III A1 als eindeutig krebserregend eingestuft (STARS 2022c). Die mutagene Wirkung wurde bei Ratten nachgewiesen. Die Alkylierung wirkt sich negativ auf das Knochenmark, die Haut, den Magendarmtrakt sowie das lymphatische Gewebe aus, da es als Mitosegift wirkt (Kopecz 1996). Bei Ratten konnten fetotoxische Effekte nachgewiesen werden (Martinetz 1996).

Aquatische Ökotoxizität

Die Toxizitätswerte für Wasserorganismen liegen im Bereich von µg/l bis zu wenigen mg/l (z.B. LC₅₀ für Frischwasserfische: 2 mg/l) (Bizzigotti et al. 2009). Für einige Algenarten liegt die akut toxische Konzentration bei 1 mg/l (Böttcher et al. 2011).

Ergebnisse von Sanderson et al. (2007) geben folgende LC₅₀-Werte für Wasserorganismen an:

LC₅₀: 3,3 mg/l (Daphnie)

LC₅₀: 6,7 mg/l (Fisch)

LC₅₀: 4,4 mg/l (Alge)

Die geringe Löslichkeit von S-Lost limitiert die Überschreitung von toxischen Dosen für viele Wasserorganismen (Koch 2009). Allerdings ist nach Kopecz (1996) die Wasserlöslichkeit ausreichend, um stehende Gewässer beim Vorhandensein größerer Mengen S-Lost langfristig zu vergiften. In und in der Nähe von Versenkungsgebieten wurden sowohl Rückstände von S-Lost also auch seiner Abbauprodukte im Sediment nachgewiesen (Briggs et al. 2016).

S-Lost besitzt einen Log K_{OW} -Wert von 2.73 (Martinetz 1996). Der Log BCF-Wert ist mit 0,3 angegeben, da aufgrund der schnellen Hydrolyse kaum bis keine giftigen Stoffe in Meereslebewesen akkumuliert werden (Schneider et al. 2005). Diese Aussage wird durch die Ergebnisse von Koide et al. (2016) bestätigt, bei denen Proben von Tiefsee-Garnelen nahe eines Versenkungsgebiets auf Anreicherungen von S-Lost untersucht wurden und nicht nachgewiesen werden konnten. Die Annahme von Marrs et al. (2007), dass sich S-Lost aufgrund seiner guten Fettlöslichkeit bei nicht vollständiger Metabolisierung in aquatischen Lebewesen anreichert, konnte bisher nicht bestätigt werden.

Es gibt jedoch Hinweise auf Gewebe- und Zellschädigungen bei Aalen, die sich in der Nähe von S-Lost Versenkungsgebieten aufhalten. In der Untersuchung von Della Torre et al. (2013) wurden diese Schädigungen festgestellt, allerdings konnte nicht zweifelsfrei belegt werden, dass ein eindeutiger Zusammenhang zu S-Lost besteht. Gewebeablagerungen von S-Lost und seinen Abbauprodukten konnten ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

Einstufung

I. Humane Toxizität

Aufgrund seiner extrem humantoxischen Eigenschaften erhält S-Lost die Einstufung:

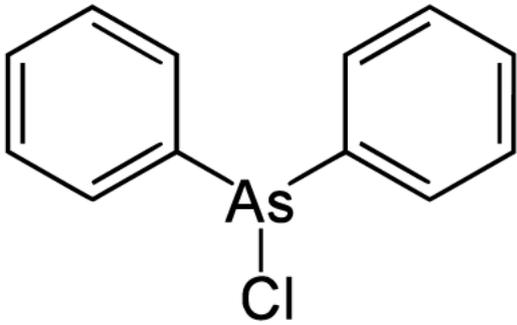
Hoch.

II. Aquatische Ökotoxizität

Die Erkenntnisse über die Wirkungen von S-Lost im marinen Milieu sind nach jetzigem Stand noch sehr lückenhaft. Es gibt Hinweise auf schädigende Effekte, allerdings sind die Zusammenhänge nicht abschließend belegt. Die LC_{50} -Werte liegen in den meisten Fällen über der löslichen Konzentration. Die Kombination aus schlechter Löslichkeit, schneller Hydrolyse zu weniger schädlichen Hydrolyseprodukten und der Ausbildung einer konservierenden Schutzschicht rechtfertigt nach Auffassung des Verfassers die Einstufung:

Mittel.

Tabelle 2: Chemische und physikalische Eigenschaften von CLARK I.

CLARK I		
Synonyme:	Diphenylarsinchlorid, Chlor-Arsen-Kampfstoff	
CAS-Nummer:	712-48-1	
Physikalische und chemische Daten		
Strukturformel:		
Summenformel:	C ₁₂ H ₁₀ AsCl	
Molare Masse:	264,5 g/mol	(a)
Schmelzpunkt:	Techn.: 30,0 °C Stabile Mod.: 38,0 °C – 44,0 °C Instabile Mod.: 18,2 °C	(b)
Siedepunkt:	307,0 °C (Zersetzung) (1)	(b)
Löslichkeit in Wasser:	2 g/l	(c)
Quellen		
(a): Hoenig (2007) (b): Bizzigotti et al. (2009) (c): Kopecz (1996)		

Hydrolyseeigenschaften

CLARK I hydrolysiert in reinem Wasser langsam zu Salzsäure und Diphenylarsinioxid, wobei die Toxizität bei Letzterem erhalten bleibt (Kopecz 1996). In Meerwasser erfolgt die Hydrolyse sehr langsam, hierbei entstehen primär Salzsäure und Tetraphenyldiarsinioxid. Die Salzsäure wird im Meerwasser neutralisiert, wo hingegen Tetraphenyldiarsinioxid bestehen bleibt und eine ähnliche Toxizität aufweist wie CLARK I (Missiaen & Paka 2007).

Nach Kopecz (1996) erfolgt die Hydrolyse von CLARK I in feiner Verteilung schneller, allerdings findet diese Art der Ausbringung am Meeresgrund nicht statt, da das CLARK I in Munitions- und Kampfmittelform vorliegt. Ähnlich wie bei S-Lost kommt es bei CLARK I in Verbindung mit

Meerwasser zur Bildung einer Schutzschicht, die es vor Hydrolysevorgängen abschirmt. Das durch die Hydrolyse entstehende Bis(diphenylarsin)-oxid, welches selbst toxisch ist, bildet eine unlösliche Schutzschicht an der Grenzschicht. Freigesetztes CLARK I kann hierdurch Jahrzehnte auf dem Meeresgrund verbleiben, wobei seine Giftigkeit konserviert wird (Lippke et al. 2019).

Auch bei vollständiger Hydrolyse bilden sich anorganische Arsenverbindungen, welche persistent und toxisch sind (Kopecz 1996). Auch eine Rückbildung zum chemischen Kampfstoff CLARK I im marinen Milieu ist möglich (Haas et al. 1996).

Humantoxizität

Akute Humantoxizität

CLARK I ist ein chemischer Kampfstoff der Kategorie Blaukreuz, Nasen- und Rachenkampfstoffe (siehe Abbildung 4). Die Aufnahme kann über die Haut, die Schleimhäute des Respirationstraktes, die Augenbindehaut und die Lungen erfolgen (STARS 2022a). Der Kontakt mit CLARK I führt zu schweren Reizungen und Blasenbildung der betroffenen Stellen und löst bei Einatmung starken Husten bis hin zum Erbrechen aus (GESTIS 2022). Durch den Arsengehalt sind Nervenschädigungen möglich (Gellermann 1986). Nach Kopecz (1996) treten Reizerscheinungen innerhalb weniger Sekunden auf, die maximale Latenzzeit von CLARK I beträgt 20-30 Minuten.

Inhalativ:

LC₅₀: 60 mg/m³ (30 min)

TC₅₀: 0,1 mg/m³ (Reizschwelle)

TC₅₀: 15 mg/m³/min (Aktionsunfähig)

Dermal:

TD: 0,05 mg/cm² (Schädigung)

TD: 0,5 mg/cm² (schmerzhaftes Schädigung)

Quelle: Kopecz (1996)

Chronische Humantoxizität

Zu den Langzeitfolgen bei Kontakt mit CLARK I zählen Konjunktivitis, Lichtscheue, leichte Ermüdung, Rötung und Schwellung von Gesicht und Augenlidern und Hautsensibilisierung (Kopecz 1996). Es liegen Hinweise auf immuntoxische Effekte vor (STARS 2022a). Die

organischen Arsenverbindungen werden in der Leber gespeichert und dort nur langsam gespalten, dies hat lang anhaltende Arsenausscheidungen zu Folge (Martinetz 1996). Eine chronische orale Aufnahme von Arsenverbindungen führt nach Kopecz (1996) bereits ab 20 µg/kg/d zu weitreichenden Beschwerden wie Neuropathien, Hautläsionen und kardiovaskulären Effekten.

Bei Menschen gilt die kanzerogene Wirkung von anorganischen Arsenverbindungen bei inhalativer und oraler Exposition als gesichert. CLARK I wirkt als starkes Mitosegift. Nach inhalativer Exposition treten im Bereich der Atemorgane vermehrt kanzerogene Effekte auf, bei oraler Exposition wird eine erhöhte Rate von Hautkrebs festgestellt. Arsenverbindungen können bei oraler Applikation als Tumorpromotoren wirken und die mutagene Wirkung anderer Agenzien verstärken (Kopecz 1996). Es liegen Hinweise für ein verringertes Geburtsgewicht sowie eine erhöhte Fehlgeburtenrate vor (STARS 2022a).

Aquatische Ökotoxizität

CLARK I ist als sehr gefährlicher Wasserschadstoff sowie als hochtoxisch für Wasserorganismen eingestuft (Kopecz 1996). CLARK I hydrolysiert zu den nahezu ebenso gefährlichen Stoffen Tetraphenyldiarsinoxid und Bis(diphenylarsin)-oxid (Schneider et al. 2005). Im Daphnientest ergaben sich für CLARK I folgende EC-Werte:

EC₅₀: 37,02 ± 5,1 µg/l

EC₁₀: 29,20 ± 10,69 µg/l

EC₅: 23,75 ± 3,74 µg/l

NOEC: 20,42 ± 1,45 µg/l (hochtoxisch)

Quelle: Czub et al. (2021)

PNEC_{Wasser}: 30 ng/l (Faktor 500)

Quelle: Schneider et al. (2005)

CLARK I besitzt einen Log K_{OW}-Wert von 4,52 (Sanderson et al. 2010) . Eine Bioakkumulation des arsenhaltigen Abbauproduktes ist möglich (HELCOM 1994). Der Log-BFC-Wert wird mit 2,78 angegeben (Schneider et al. 2005). Das Potenzial, Arsen(-verbindungen) im Organismus zu akkumulieren, variiert je nach untersuchtem Meereslebewesen. Für Algen, Seegras, Muscheln und Krustentiere wurde nachgewiesen, dass sie Arsen aus dem Meereswasser in sich anreichern, wohingegen eine Biomagnifikation nicht nachgewiesen werden konnte (Maher & Butler 1988). Ebenso konnte die Biomagnifikation bei Ostseefischen in einer Modellrechnung von Sanderson et al. (2010) nicht nachgewiesen werden.

Im Rahmen der HELCOM (1994) Untersuchungen wurde festgestellt, dass keine größeren Mengen CLARK I im Sediment nahe eines Versenkungsgebiets vorhanden sind. Auch die Arsenkonzentration überstieg die natürlich vorkommenden Werte nicht. Dennoch ist hinreichend bekannt, dass Arsenverbindungen die Umwelt schädigen können und CLARK I ein beitragender Faktor für ebendiese ist (Maher & Butler 1988).

Einstufung

I. Humane Toxizität

Aufgrund seiner extrem humantoxischen Eigenschaften erhält CLARK I die Einstufung:

Hoch.

II. Aquatische Ökotoxizität

CLARK I sowie seine Hydrolyseprodukte weisen ein hohes Potenzial auf, die aquatische Umgebung nachhaltig zu schädigen. Der Eintrag von Arsenverbindungen in die Umwelt, die hochtoxische Wirkung auf Meeresorganismen sowie die lange Verweildauer im marinen Milieu ergeben nach Bewertung des Verfassers die Einstufung:

Hoch.

Tabelle 3: Chemische und physikalische Eigenschaften von Lewisit 1 (cis).

Lewisit 1 (cis)	
Synonyme:	Tau des Todes
CAS-Nummer:	541-25-3
Physikalische und chemische Daten	
Strukturformel:	
Summenformel:	$C_2H_2AsCl_3$
Molare Masse:	207,32 g/mol (a)
Schmelzpunkt:	0,1 °C (b)
Siedepunkt:	169,8 °C (c)
Löslichkeit in Wasser:	0,5 g/l (c)
Quellen	
(a): Hoenig (2007) (b): PubChem (2022) (c): Goldman & Dacre (1989)	

Hydrolyseeigenschaften

Die Hydrolysereaktionen von Lewisit 1 (cis) sind komplex und können je nach pH-Werten reversible Reaktionen umfassen (Terzic et al. 2013), abgebildet in Abbildung 5.

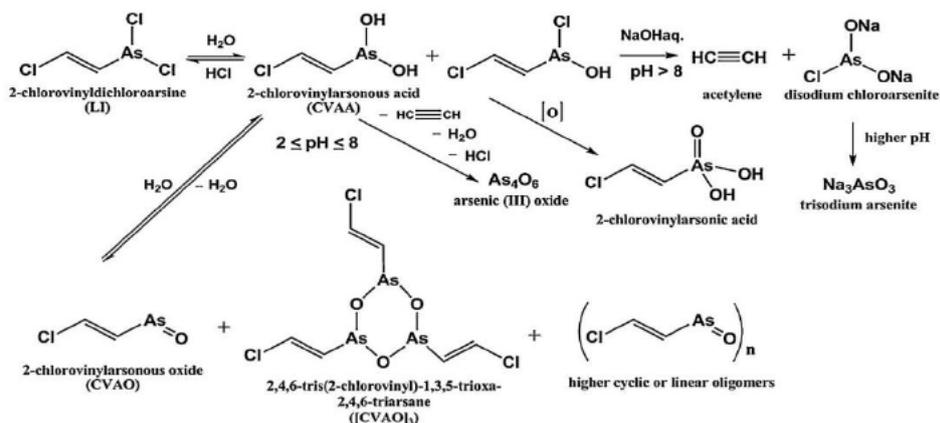


Abbildung 5: Hydrolyseverläufe von Lewisit 1 (cis) (Terzic et al. 2013) verändert v. Beardi, 2022.

In reinem Wasser gelöstes Lewisit 1 (cis) hydrolysiert zunächst zu 2-Chlorvinylarsensäure und Lewisitoxid. Bei 5 °C laufen 90 % der Reaktion innerhalb von zwei Minuten ab, die vollständige Reaktion benötigt einige Stunden. Anschließend erfolgt die Transformation in organische und anorganischen Formen von Arsen (Bizzigotti et al. 2009). Im alkalischen Milieu (pH > 7) erfolgt die Hydrolyse schnell, unterhalb eines pH-Wertes von 7 wesentlich langsamer (Kopecz 1996). Nach Missiaen & Paka (2007) hydrolysiert Lewisit 1 (cis) im leicht alkalischen Meerwasser über einen Schritt zu arseniger Säure und Acetylen. Im Gegensatz zu S-Lost und CLARK I bildet Lewisit 1 (cis) im aquatischen Umfeld keine Schutzschicht aus, wodurch es, trotz seiner geringen Löslichkeit, stetig hydrolytischen Vorgängen unterliegt (Goldman & Dacre 1989).

Humantoxizität

Akute Humantoxizität

Lewisit 1 (cis) ist ein extrem toxischer Hautkampfstoff (Kopecz 1996). Er dringt schnell in die Haut und die Schleimhäute ein. Die Exposition führt schon nach wenigen Minuten zu Hautrötungen, Blasenbildung sowie Lungenödemen und Gewebsnekrosen. Der Kontakt mit den Augen kann zur Erblindung führen, außerdem sind Apathie, Schädigungen von Leber, Nieren, Milz und dem zentralen Nervensystem möglich (Martinetz 1996). Die Wirkungsentfaltung findet auch bei oraler Aufnahme oder über die Lunge statt (Kopecz 1996). Es kommt zu Reaktionen wie starkem Husten, Schnupfen, Kratzen und Niesen. Vergiftungen bewirken Übelkeit, Kopfschmerzen und Erbrechen, in schweren Fällen treten Bronchopneumonie, Atemnot und Brustkrämpfe auf (STARS 2022b).

Inhalativ:

LC₅₀: 0,12 mg/l (10 min)

LCL₀: 0,05 mg/l (30 min)

Dermal:

LD₅₀: >40 mg/kg

LDL₀: 38 mg/kg

TC₅₀: 1500 mg/m³/min (Hautschäden)

TC₅₀: 300 mg/m³/min (Handlungsunfähigkeit)

TD: 0,3 mg/cm² (Blasen)

Quelle: Kopecz (1996)

Chronische Humantoxizität

Zu den chronischen Folgen bei Kontakt mit Lewisit 1 (cis) zählen Konjunktivitis, Atemwegserkrankungen, neurologische Störungen, Degenerationserscheinungen der Leber und Nieren und Anämie. Zudem sind Symptome chronischer Arsenvergiftungen wie Störungen des Nervensystems, der Haut sowie Leber und Nierenschäden möglich (Kopecz 1996).

Verschiedene anorganische Arsenverbindungen, die als Abbauprodukte in Erscheinung treten können, sind bei Menschen eindeutig Krebs erzeugend (Martinetz 1996). Nach einer Untersuchung von Marrs et al. (2007) bestehen keine mutagenen Effekte, es traten allerdings Anomalien in den Eierstockzellen sowie im männlichen Reproduktionstrakt von Versuchstieren auf. Im Tierversuch mit Ratten trat bei orale Applikation von 20 mg/kg der fetale Tod ein. Die Fetotoxizität bei Kaninchen lag im Versuch bei 8,4 mg/kg (Koch 2009).

Aquatische Ökotoxizität

Lewisit 1 (cis) ist als sehr gefährlicher Umwelt- und Wasserschadstoff sowie als stark toxisch für Wasserorganismen klassifiziert (Kopecz 1996). Langfristig ist mit einer Mineralisierung zu Arsenit, Arsenat und weiteren Arsenverbindungen zu rechnen (Martinetz 1996). Der LC-Wert für eine Vielzahl von Fischen liegt unter 2,0 mg/l (Talmage et al. 2007). Die bei der Hydrolyse entstehende arsenige Säure behält die arsentypische Giftigkeit (Missiaen & Paka 2007). Auch nach zehn Wochen langer Lagerung im Meerwasser behalten die genannten Hydrolyseprodukte ihre schädigende Wirkung (Bizzigotti et al. 2009). Der Schwellenwert für chronische Effekte des Hydrolyseprodukts Lewisitoxid liegt bei 0,1 µg/kg/d (Talmage et al. 2007).

LC₅₀: 3,2 ± 0,3

EC₅₀: 2,51 ± 0,2 µg/l

EC₁₀: 1,28 ± 0,17 µg/l

EC₅: 1,20 ± 0,17 µg/l

NOEC: 1,17 ± 0,05 µg/l

Quelle: Czub et al. (2021)

Der Log KOW-Wert von Lewisit 1 (cis) beträgt 2,97 (Martinetz 1996). Lewisit 1 (cis) und seine Hauptabbauprodukte sind zwar extrem toxisch, reichern sich aber nicht in den Nahrungsketten an. Die Arsenverbindungen hingegen, als Endprodukt der Mineralisierung, akkumulieren sich in Meeresorganismen, siehe CLARK I (Talmage et al. 2007).

Einstufung

I. Humane Toxizität

Aufgrund seiner extrem humantoxischen Eigenschaften erhält Lewisit 1 (cis) die Einstufung:

Hoch.

II. Aquatische Ökotoxizität

Lewisit 1 (cis) besitzt, im Gegensatz zu S-Lost und CLARK I, nicht die Eigenschaft, eine schützende Schicht im Wasser auszubilden. Als Folge dessen hydrolysiert Lewisit 1 (cis) ungehindert im Meerwasser. Die hochtoxischen Eigenschaften für Meeresorganismen in Verbindung mit den langfristig negativen Folgen der Arsenverbindungen für die marine Umwelt führen zu der Einstufung:

Hoch.

3.3. Ausgewählte Versenkungsgebiete

3.3.1. Bornholmbecken, Ostsee

Das Bornholmbecken befindet sich östlich der dänischen Insel Bornholm in der südlichen Ostsee, mit einer maximalen Tiefe von etwa 97 m. In Abbildung 6 ist die Insel Bornholm sowie die Kampfmittelverdachtsfläche dargestellt.

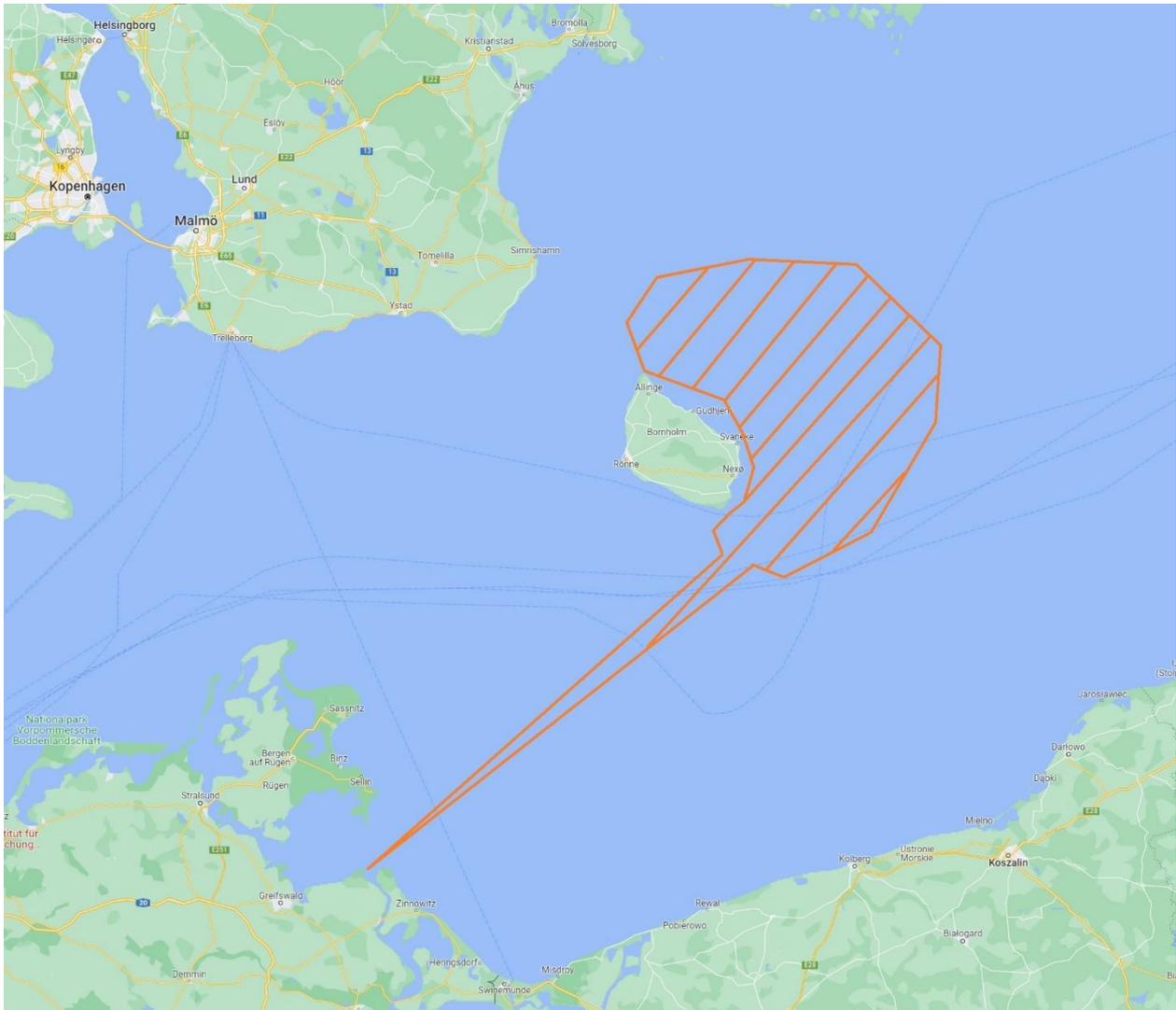


Abbildung 6: Insel Bornholm und Bornholmbecken mit Kampfmittelverdachtsfläche (orange schraffiert). Quelle: Google Maps, verändert v Beardj, 2022.

Die Kampfmittelverdachtsfläche gründet sich auf der Zusammentragung von historischen Dokumenten und tatsächlichen Kampfmittelfunden. Die Strecke von dem ehemaligen Verladehafen Wolgast bis in das Versenkungsgebiet Bornholmbecken ist inkludiert, da sowohl durch Augenzeugenberichte als auch verifizierte Munitionsfunde eine Verklappung während der Fahrt als bestätigt gilt (Böttcher et al. 2011). Für das Versenkungsgebiet östlich von Bornholm werden etwa 32.000 t verklappte chemische Kampfmittel angenommen, die über 11.000 t chemische Kampfstoffe beinhalten (Sanderson et al. 2010). S-Lost macht hierbei den größten Anteil mit etwa 63 % des Gewichts aus, gefolgt von arsenhaltigen Kampfstoffen

(inklusive CLARK I) mit ca. 31 % (HELCOM 1994). Das Bornholmbecken ist damit das am stärksten mit chemischen Kampfmitteln belastete Gebiet in der Ostsee (Böttcher et al. 2011). In Abbildung 7 ist das Bornholmbecken mit Tiefenangaben sowie dem primären Versenkungsgebiet (schwarzer Kreis) dargestellt.

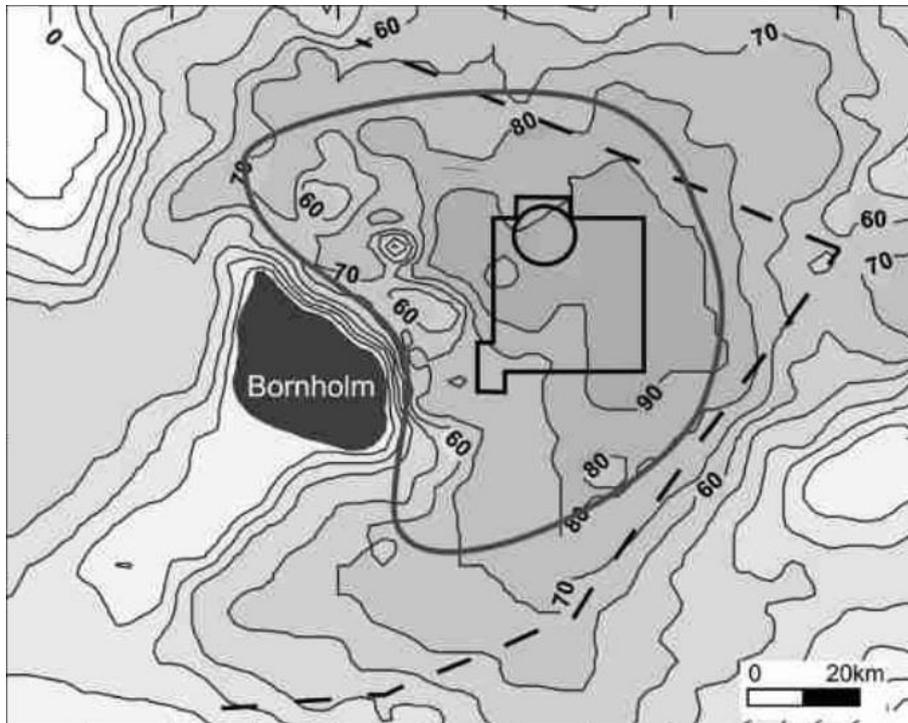


Abbildung 7: Tiefenkarte Bornholmbecken. Primäres Versenkungsgebiet: schwarzer Kreis (Sanderson et al. 2010).

Untersuchungen des Meeresbodens im Bereich des primären Versenkungsgebietes haben gezeigt, dass die Verteilung der Kampfmittel (dies beinhaltet auch konventionelle Munition) sehr heterogen ist, aber Häufungspunkte auftreten. Zudem wurde auf Basis zuverlässiger Angaben über die versenkte Kampfmittelmenge festgestellt, dass trotz des Einsatzes von aktueller Technik ein Großteil der Munition nicht detektiert werden konnte. Begründet scheint dies durch die (kleine) Größe einiger Munitionskörper sein. Alle detektierten Munitionskörper lagen nicht tiefer als zwei Meter versunken im Sediment (Sanderson et al. 2010).

Beeinflussende Umgebungsfaktoren

Salinität

Das Bornholmbecken weist aufgrund seiner speziellen geografischen Gegebenheiten Besonderheiten bezüglich seiner Wasserparameter auf. In Abbildung 8 ist die südliche Ostsee im Querschnitt mit Messdaten der Salinität dargestellt (Naumann & Nausch 2015).

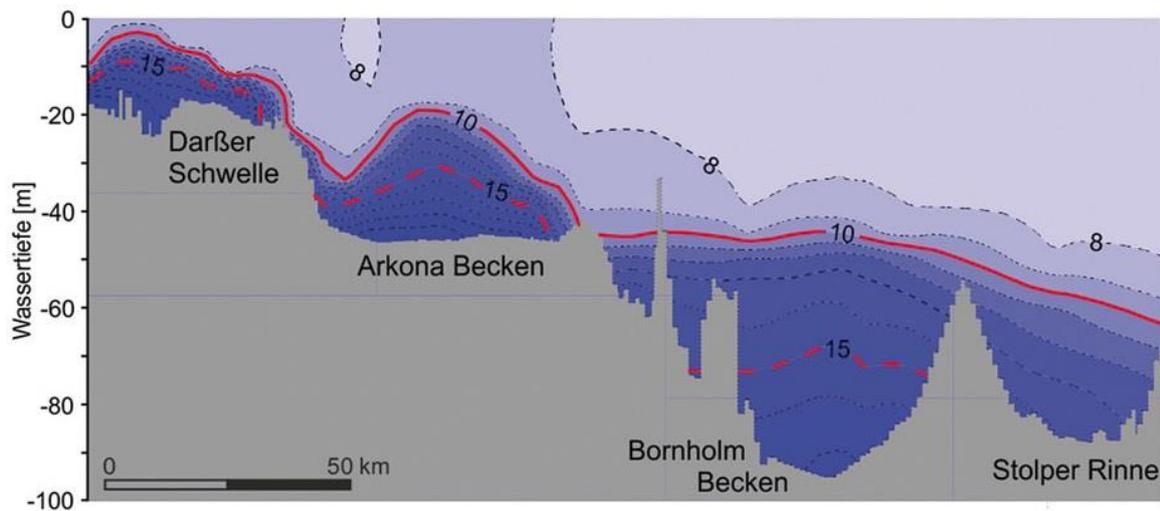


Abbildung 8: Querschnitt der südlichen Ostsee mit Salinität im Mai 2014 in PSU (g/l) (Naumann & Nausch 2015) verändert v. Beardi, 2022.

Die wannenartige Beschaffenheit des Bornholmbeckens hat zur Folge, dass salzhaltiges, kaltes Wasser aus der Nordsee, aufgrund seiner höheren Dichte, nach einem Einstromereignis lange Zeit darin verweilt. Eine Durchmischung mit dem weniger salzhaltigen Brackwasser der Ostsee findet im Bornholmbecken kaum bis nicht statt. Die Salinität des Tiefenwassers im Bornholmbecken liegt in der Regel über der, der weiteren Becken (Nausch et al. 2006). Zwar befindet sich die Salinität im Bornholmbecken dauerhaft unter der von durchschnittlichem Meerwasser (mit >30 PSU), dennoch kann angenommen werden, dass sie korrosionsfördernd wirkt und somit zumindest langfristig freisetzungsbegünstigend auf die Munitionskörper Einfluss nimmt (Ruppert 2017).

Sauerstoffgehalt

Auch auf den Sauerstoffgehalt wirkt sich der geringe Wasseraustausch im Bornholmbecken aus. In Abbildung 9 ist dargelegt, wie sich die Situation des Sauerstoffgehalts nach länger ausbleibendem Wasseraustausch darstellt. Die Schwefelwasserstoffangabe (H_2S , dunkelrot) am Beckengrund ist als negatives Sauerstoffäquivalent zu verstehen (Nausch et al. 2006).

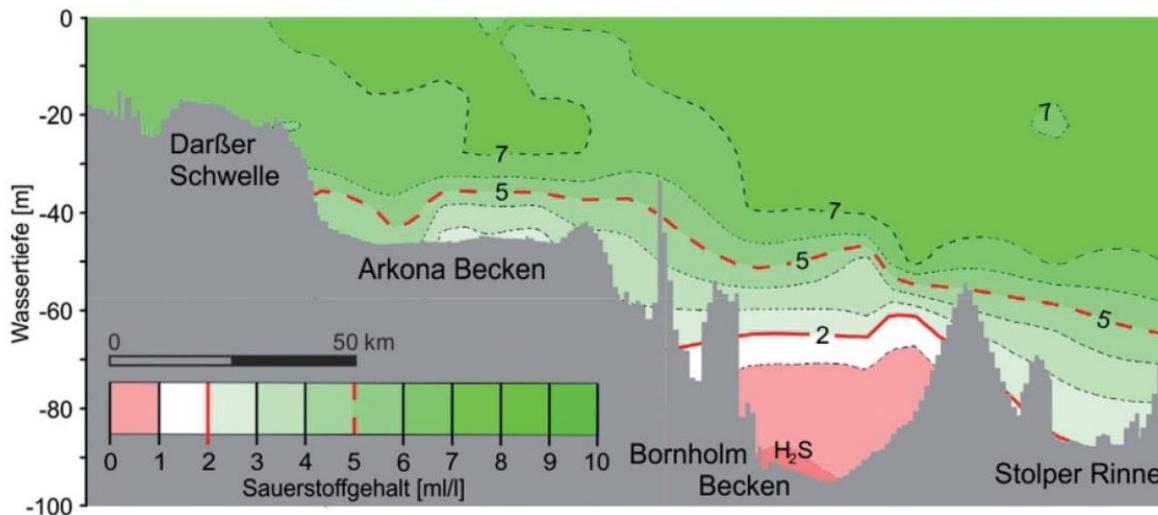


Abbildung 9: Querschnitt der südlichen Ostsee mit Sauerstoffgehalt im November 2013 (Naumann & Nausch 2015) verändert v. Beardj, 2022.

Auch nach dem Einströmen frischen Nordseewassers hält sich der Sauerstoffgehalt nur für kurze Zeit (< 1 Jahr) über dem allgemein niedrigen Niveau. Es kann somit angenommen werden, dass dort verklappte Kampfmittel häufig in Kontakt mit Schwefelwasserstoff sind, welcher in Wasser eine stark korrodierende Wirkung auf Eisen und Stahl hat (Ramchandran & Bohnenkamp 1979).

Temperatur

Die Wassertemperatur im Bornholmbecken unterliegt leichten Schwankungen, abhängig von den Einströmungen aus der Nordsee. In dieser Betrachtung kann sie im Mittel mit etwa 7 °C als niedrig angenommen werden (Nausch et al. 2006).

Sediment

Im Bornholmbecken vollzieht sich die Sedimentierung, in Abhängigkeit der Strömung, vergleichsweise langsam. Dennoch wurden dort verklappte Kampfmittel detektiert, die von bis zu 2 m Sediment bedeckt sind. Erklärt wird dies durch die weiche Beschaffenheit des Sediments und das Gewicht der Kampfmittel (Sanderson et al. 2010).

Bewertung der beeinflussenden Umgebungsfaktoren

Die hier betrachteten beeinflussenden Umgebungsfaktoren Salinität, Sauerstoffgehalt, Temperatur und Sediment nehmen nach Bewertung des Verfassers in Summe einen mäßig steigernden Einfluss auf die Gefährlichkeit der dort verklappten chemischen Kampfstoffe.

Zwar fördern die Anwesenheit von Schwefelwasserstoff und die Salinität die Korrosion der Kampfmittel, jedoch werden die chemischen Kampfstoffe S-Lost und CLARK I aufgrund der relativ konstanten, niedrigen Temperatur, der seltenen Strömungen und der geringen Sedimentierung keinen weiteren, schädlichkeitsfördernden Prozessen unterworfen. Hieraus folgt die Einstufung:

Mittel.

Wahrscheinlichkeit des Kontaktes mit Menschen und mariner Biota

Menschlicher Kontakt

Eine latente Gefahr für den direkten Kontakt von Menschen mit den verklappten chemischen Kampfstoffen S-Lost und CLARK I im Bornholmbecken besteht in den Bereichen der Taucherei, der (Schleppnetz-) Fischerei und im Rahmen von Bauvorhaben (Böttcher et al. 2011). Die Gefahr durch angespülte chemische Kampfstoffe an Küstenbereiche wird als sehr gering angesehen. Die Fallzahlen der vergangenen Jahrzehnte belegen diese Einschätzung (Böttcher et al. 2011). Die größte Gefahr geht von angespültem, weißen Phosphor aus, der in dieser Bewertung allerdings nicht berücksichtigt wird. Der Verfasser stuft die Wahrscheinlichkeit des menschlichen Kontakt wie folgt ein:

Niedrig.

Kontakt mit mariner Biota

Es gibt Hinweise darauf, dass durch freigesetzte chemische Kampfmittel Zell- und Gewebeschäden bei Aalen hervorgerufen werden, die nahe des Versenkungsgebiets im Bornholmbecken ansässig sind (Della Torre et al. 2013). Zudem wurden erhöhte Arsenkonzentrationen in den ersten 5 cm des Sediments im Bereich der Verklappungsgebiets nachgewiesen (Sanderson et al. 2010). Zwar fehlen derzeit tiefergehende Forschungsergebnisse, die einen unmittelbaren Zusammenhang belegen, dennoch kann es als sehr wahrscheinlich angenommen werden, dass die ortsnahe Biota in Kontakt mit den freigesetzten chemischen Kampfstoffen oder ihren Abbauprodukten kommt. Daher erfolgt durch den Verfasser die Einstufung:

Hoch.

3.3.2. Südlich von Pearl Harbor, Insel Oahu, Pazifik

Im Rahmen des HUMMA-Projekts wurde ein Versenkungsgebiet von chemischen Kampfstoffen südlich der Insel Oahu, Hawaii untersucht. Das untersuchte Gebiet befindet sich südlich des Hafens Pearl Harbor und ist etwa 69 km² groß. In Abbildung 10 ist das Untersuchungsgebiet dargestellt. Gleich zu Beginn des HUMMA-Projektes fiel auf, dass die Gebiete der spärlich dokumentierten Verklappungen nicht mit den ersten Untersuchungen mittels Videoaufnahmen des Meeresgrundes übereinstimmten. Kampfmittel wurden auch wesentlich weiter nördlich und somit küstennäher aufgefunden, als bis dahin angenommen wurde. Als Konsequenz wurde die nördliche Grenze des untersuchten Gebiets mit einer Entfernung von 5,6 km nahe der Mündung von Pearl Harbor gewählt.

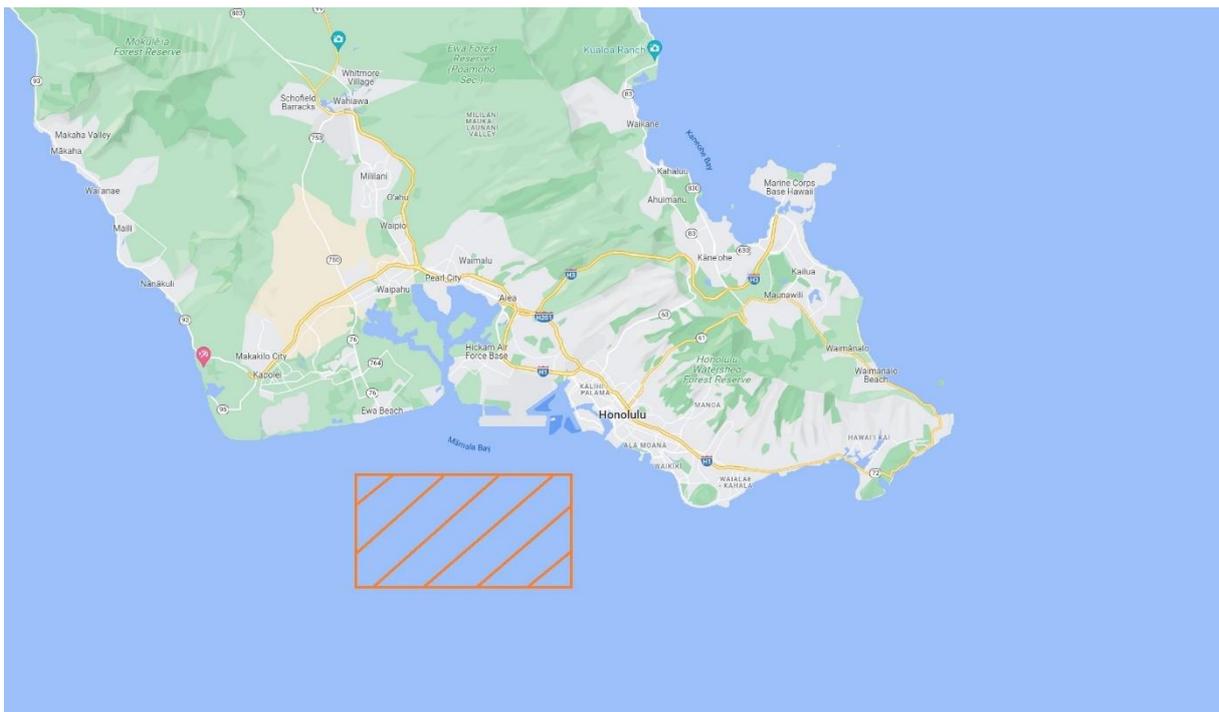


Abbildung 10: Insel Oahu, Hawaii, mit Versenkungsgebiet und Forschungsgebiet des HUMMA-Projekts (orange schraffiert, nicht maßstabsgetreu). Quelle: Google Maps verändert v. Beardj, 2022.

In dem bis zu 600 m tiefen Untersuchungsgebiet (Abbildung 11) des HUMMA-Projekts wurde laut historischer Dokumente vorwiegend S-Lost verklappt. Die Möglichkeit, dass auch Lewisit 1 (cis) verklappt wurde, galt als gegeben und somit wurde das Gebiet auch bezüglich dieses chemischen Kampfstoffes untersucht. Hauptsächlich wurden kampfstoffgefüllte Bomben mit einem Gewicht zwischen 29,5 kg bis 33,9 kg verklappt (HUMMA 2010). Des Weiteren wurden auch große Mengen konventioneller Kampfmittel versenkt, die in dieser Arbeit allerdings nicht berücksichtigt werden.

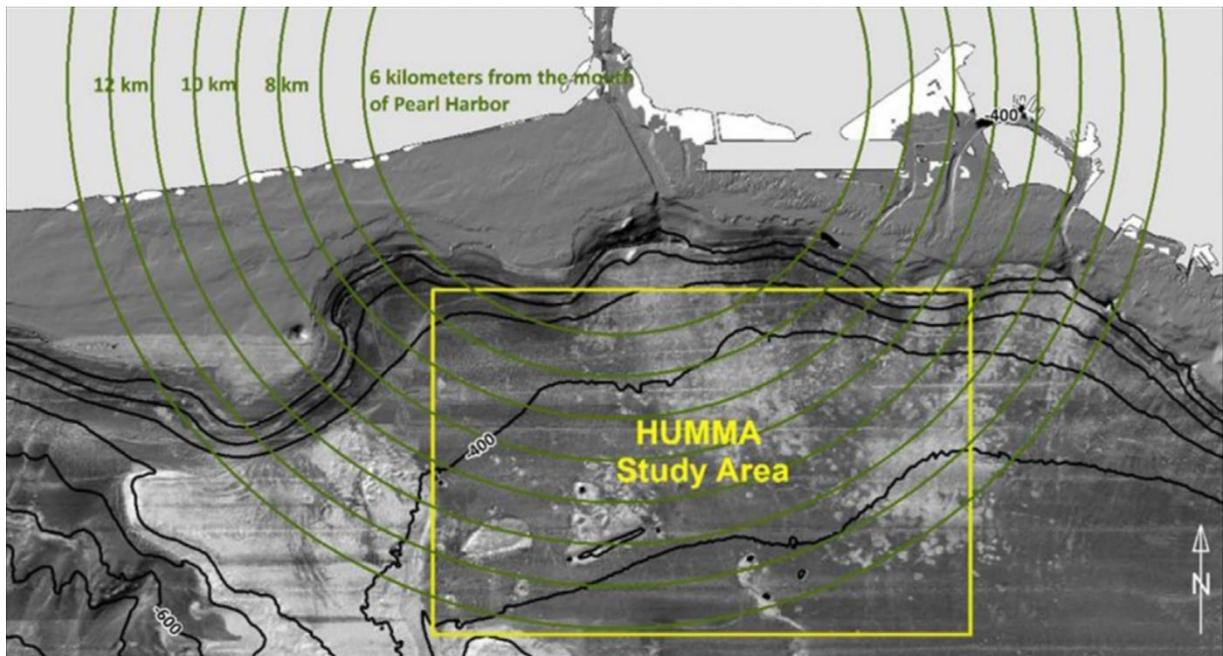


Abbildung 11: Tiefenkarte des HUMMA-Untersuchungsgebiets. Nördlich: Mündung von Pearl Harbor (Silva & Chock 2016) verändert v. Beardi, 2022.

Die geografischen Gegebenheiten und die Tiefe des Versenkungsgebiets von über 500 m mit der damit verbundenen Wassersäule sorgen dafür, dass die verschiedenen Wasserschichten oberhalb des Meeresgrundes kaum einer vertikalen Durchmischung unterliegen (HUMMA 2010).

Beeinflussende Umgebungsfaktoren

Temperatur

Die Temperatur des Wassers im Untersuchungsgebiet unterliegt aufgrund der Tiefe zwischen 338 m bis 545 m nur leichten Schwankungen und wird mit 5 °C bis 6 °C angegeben (HUMMA 2010).

Salinität und pH-Wert

Der gelöste Salzgehalt des Tiefenwassers liegt im Untersuchungsgebiet nach Angabe des HUMMA-Projekts etwas unterhalb von 35 PSU und ist damit niedriger als in den darüberliegenden Schichten. Ähnlich verhält es sich mit dem pH-Profil. Der pH-Wert sinkt mit zunehmender Tiefe und nähert sich am Meeresgrund mit einem Wert von pH 7,4 dem neutralen Bereich an (HUMMA 2010).

Sauerstoffgehalt

In einer auf dem HUMMA-Projekt aufbauenden Studie von Silva & Chock (2016) wird der Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers zwischen 300 m und 500 m mit 2,5 ppm – 6,0 ppm in linearer Absenkung angegeben und ist damit gering.

Sediment

Die Sedimentierungsrate wird mit 1 mm pro Jahr angegeben (HUMMA 2010). Seit der Verklappung der chemischen Kampfstoffe vor ca. 80 Jahren ist somit eine etwa 8 cm dicke Schicht Sediment zugetragen worden.

Bewertung der beeinflussenden Umgebungsfaktoren

Die Summe der aufgeführten Umgebungsfaktoren Temperatur, Salinität, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Sediment führen nach Bewertung des Verfassers nicht zu einer starken Förderung des Gefährdungspotenzials der dort verklappten chemischen Kampfstoffe. Konstant niedrige Temperaturen, ein annähernd neutraler pH-Wert und eine geringe Sauerstoffsättigung stehen einer nicht unwesentlich hohen Salinität als Korrosionsförderer gegenüber. Daher erfolgt die Einstufung:

Mittel.

Wahrscheinlichkeit des Kontaktes mit Menschen und mariner Biota

Menschlicher Kontakt

Die Wahrscheinlichkeit des unmittelbaren menschlichen Kontakts ist aufgrund der Tiefe des Versenkungsgebietes höchst unwahrscheinlich. Zudem ist der Kontakt über Lebensmittel unwahrscheinlich, da in dem Bereich des Versenkungsgebietes das Fischen mit Tiefseeschleppnetzen verboten ist (HUMMA 2010). Zwar werden Tiefseegarnelen in der näheren Umgebung des Verklappungsgebietes gefangen, aber diese wiesen bei Gewebeuntersuchungen auf chemische Kampfstoffe keine erhöhten Werte auf und gelten als für den Verzehr unbedenklich (Koide et al. 2016). Die Wahrscheinlichkeit des menschlichen Kontakts erhält die Einstufung:

Niedrig.

Kontakt mit mariner Biota

Im Rahmen des HUMMA-Projektes wurde umfangreiches Bild- und Videomaterial der verklappten chemischen Kampfstoffe aufgenommen. In Abbildung 12 sind Aufnahmen korrodierter Munitionsbehälter für chemische Kampfstoffe mit in unmittelbarer Nähe befindlichen Meereslebewesen dargestellt.

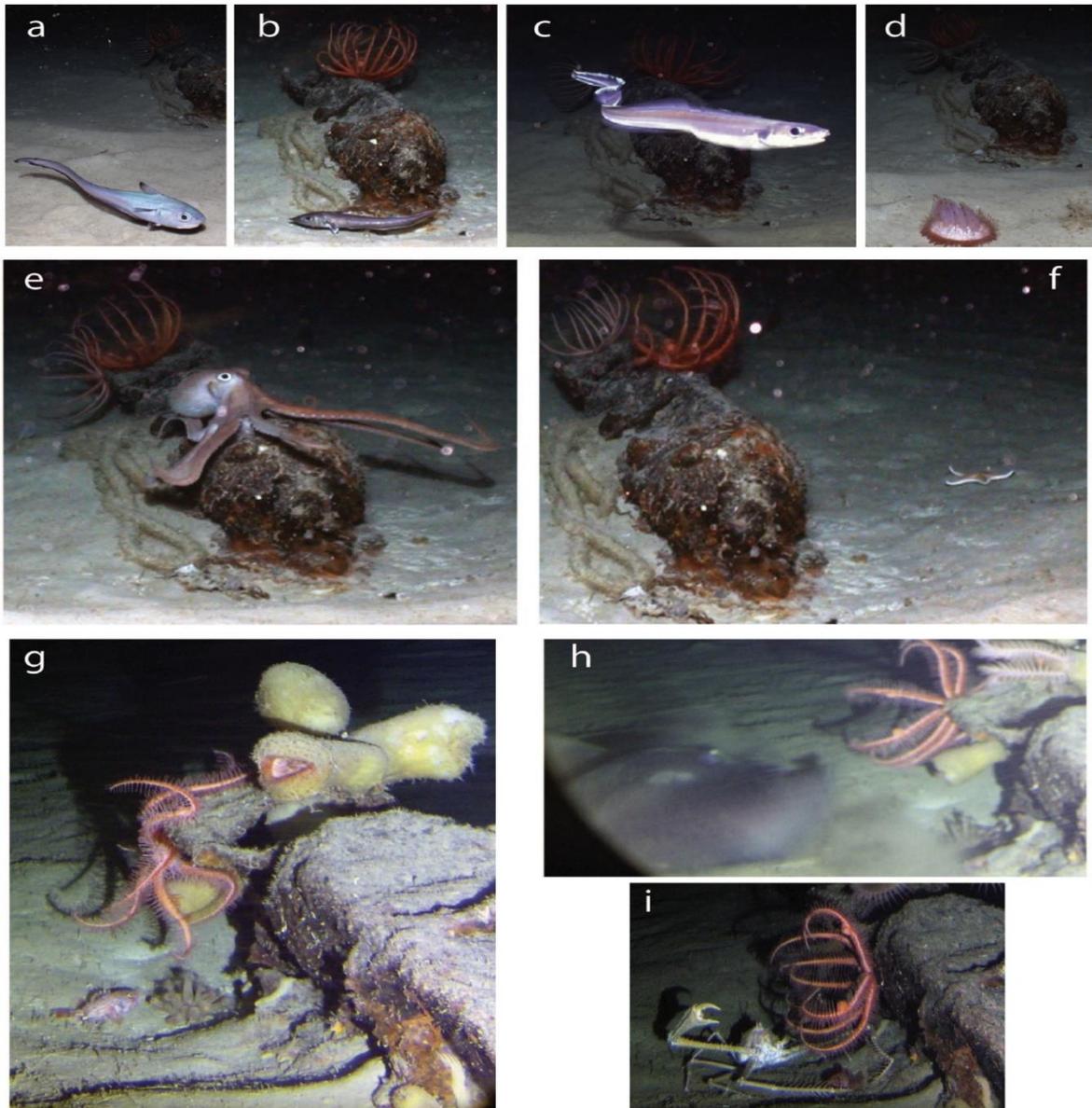


Abbildung 12: Die Aufnahmen a - i zeigen den Kontakt verschiedener Meereslebewesen mit korrodierten Munitionskörpern chemischer Kampfstoffe (Edwards et al. 2016).

Auch in einer Studie von Kelley et al. (2016) wurde nachgewiesen, dass Meereslebewesen häufig die Nähe zu den Munitionskörpern suchen. Der Kontakt mariner Biota mit den chemischen Kampfstoffen ist somit nachgewiesen und erhält die Einstufung:

Hoch.

4. Risikobewertung

Zur Bewertung des Risikos für das aquatische Ökosystem und den Menschen werden die Einstufungen der vorangegangenen Abschnitte herangezogen. Die jeweilige Bewertung eines Versenkungsgebiets wird wie folgt vorgenommen:

Den Einstufungen (E) niedrig, mittel und hoch werden die Zahlenwerte eins, zwei und drei zugeordnet, um eine Berechnung zu ermöglichen. Den einzelnen Kategorien wird eine Gewichtung (G) zugewiesen. Die Kategorie III. Einfluss nehmende Faktoren des Versenkungsgebietes erhält eine doppelte Gewichtung, da die spezifischen Gegebenheiten eines Gebiets maßgeblich für das zum Tragen kommen der Wirksamkeit der chemischen Kampfstoffe sind. Die Summe der Zahlenwerte der Einstufungen wird durch die Summe der Gewichtungen geteilt, um das gemittelte Risiko (R) über die gewichteten Faktoren zu erhalten.

$$R = \frac{\sum_i^n E_i \cdot G_i}{\sum_i^n G_i}$$

Bis zu einer Nachkommastelle von ,49 wird die Risikozahl abgerundet, ab ,5 wird sie aufgerundet.

4.1. Bornholmbecken

Tabelle 4: Risiko für das aquatische Ökosystem Bornholmbecken.

Risiko für das aquatische Ökosystem Bornholmbecken		
Kategorie	Einstufung (E)	Gewichtung (G)
Aquatische Ökotoxizität S-Lost	Mittel (2)	1
Aquatische Toxizität CLARK I	Hoch (3)	1
Einfluss des Versenkungsgebiets	Mittel (2)	2
Wahrscheinlichkeit des Kontaktes	Hoch (3)	1

Durch Einsetzen der Werte in die Risikoformel ergibt sich das Risiko:

$$R = \frac{(2 \cdot 1) + (3 \cdot 1) + (2 \cdot 2) + (3 \cdot 1)}{5}$$
$$R = 2,4$$

Das Risiko für das aquatische Ökosystem Bornholmbecken erhält somit die Bewertung:

Mittel

Tabelle 5: Risiko für den Menschen Bornholmbecken.

Risiko für den Menschen Bornholmbecken		
Kategorie	Einstufung (E)	Gewichtung (G)
Humane Toxizität S-Lost	Hoch (3)	1
Humane Toxizität CLARK I	Hoch (3)	1
Einfluss des Versenkungsgebiets	Mittel (2)	2
Wahrscheinlichkeit des Kontaktes	Hoch (1)	1

Durch Einsetzen der Werte in die Risikoformel ergibt sich das Risiko:

$$R = \frac{(3 \cdot 1) + (3 \cdot 1) + (2 \cdot 2) + (1 \cdot 1)}{5}$$

$$R = 2,2$$

Das Risiko für den Menschen im Bereich des Bornholmbeckens erhält somit die Bewertung:

Mittel

4.2. Südlich von Pearl Harbor, Insel Oahu, Pazifik

Tabelle 6: Risiko für das aquatische Ökosystem südlich von Pearl Harbor.

Risiko für das aquatische Ökosystem südlich von Pearl Harbor		
Kategorie	Einstufung (E)	Gewichtung (G)
Aquatische Ökotoxizität S-Lost	Mittel (2)	1
Aquatische Toxizität Lewisit 1 (cis)	Hoch (3)	1
Einfluss des Versenkungsgebiets	Mittel (2)	2
Wahrscheinlichkeit des Kontaktes	Hoch (3)	1

Durch Einsetzen der Werte in die Risikoformel ergibt sich das Risiko:

$$R = \frac{(2 \cdot 1) + (3 \cdot 1) + (2 \cdot 2) + (3 \cdot 1)}{5}$$
$$R = 2,4$$

Das Risiko für das aquatische Ökosystem südlich von Pearl Harbor erhält somit die Bewertung:

Mittel

Tabelle 7: Risiko für den Menschen südlich von Pearl Harbor.

Risiko für den Menschen südlich von Pearl Harbor		
Kategorie	Einstufung (E)	Gewichtung (G)
Humane Toxizität S-Lost	Hoch (3)	1
Humane Toxizität Lewisit 1 (cis)	Hoch (3)	1
Einfluss des Versenkungsgebiets	Mittel (2)	2
Wahrscheinlichkeit des Kontaktes	Niedrig (1)	1

Durch Einsetzen der Werte in die Risikoformel ergibt sich das Risiko:

$$R = \frac{(3 \cdot 1) + (3 \cdot 1) + (2 \cdot 2) + (1 \cdot 1)}{5}$$
$$R = 2,2$$

Das Risiko für das aquatische Ökosystem südlich von Pearl Harbor erhält somit die Bewertung:

Mittel

5. Diskussion

Die Bewertung der Versenkungsgebiete Bornholmbecken und südlich von Pearl Harbor kommt zu dem Ergebnis, dass in beiden Versenkungsgebieten ein mittleres Risiko für den Menschen und das aquatische Ökosystem besteht.

Die Einheitlichkeit der Resultate lässt sich bei den vorliegenden Berechnungen auf die doppelte Gewichtung des Gebietseinflusses zurückführen. Das Entfernen der Gewichtung würde in beiden Versenkungsgebieten zu einem hohen Risiko für das aquatische Ökosystem führen (Risikozahl 2,5). Der Verfasser erachtet den Einfluss des Verklappungsgebiet allerdings als maßgeblichen Faktor, was eine doppelte Gewichtung rechtfertigt.

Die gewählten Bewertungskriterien I – IV stellen jeweils eine Zusammenfassung einzelner Kriterien dar, was eine detailliertere Unterscheidung in der Berechnung ausschließt. Dieser Ansatz wurde gewählt, da die vorliegenden Daten und Zusammenhänge ein hohes Maß an Interpretation notwendig machten. Der Vergleich einzelner Kennzahlen, etwa der LC_{50} -Werte, wurde in diesem Zusammenhang als nicht zielführend erachtet, da diese im Gesamtkontext betrachtet werden müssen. Zwar machen diese Werte Aussagen über die Toxizität des Stoffes, allerdings nicht darüber, ob diese Grenzwerte unter Realbedingungen erreicht werden können. Ein Beispiel hierfür ist S-Lost mit seiner Schutzschicht.

Die Qualität einer Risikobewertung hängt maßgeblich von den ihr zugrundeliegenden Daten ab. Angesichts der zur Verfügung stehenden Zeit war eine Einbeziehung weiterer Parameter und Versenkungsgebiete nicht möglich. Speziell Unfälle, die auf chemische Kampfstoffe zurückzuführen sind, sollten in zukünftigen Bewertungen mit aufgeführt werden. Da in den hier behandelten Gebieten keine aktuellen Unfälle in Zusammenhang mit den betrachteten chemischen Kampfstoffen dokumentiert wurden, sind diese nicht in die Bewertung eingeflossen.

Die in dieser Arbeit vorgenommene Bewertung hat aufgrund vieler Unsicherheiten lediglich einen indikativen Charakter, spiegelt aber nach Ansicht des Verfassers die querschnittliche Meinung der studierten Literatur wider.

Für eine genauere Risikobewertung sollten nach Meinung der Verfassers folgende Informationen möglichst vollumfänglich vorliegen:

- Ort, Art, Umfang und Zustand der verklappten chemischen Kampfstoffe.
- Reaktionen der chemischen Kampfstoffe im marinen Milieu (inkl. der Berücksichtigung von Mischstoffen und die daraus resultierende Toxizität).

- Berücksichtigung der möglichen weiteren Reaktionen (was geschieht mit einem chemischen Kampfstoff, falls die Munition im Wasser umsetzt, Reaktionen mit den Munitionshüllen).
- Genaue Betrachtung der (wechselnden) Umweltbedingungen und deren Auswirkungen auf die vorliegenden chemischen Kampfstoffe.
- Identifikation der Flora und Fauna im und um das Versenkungsgebiet
- LC, LD, TC, EC, PNEC- und NOEC-Werte der identifizierten chemischen Kampfmittel und ihrer Hydrolyseprodukte
- Wie und in welchem Umfang findet eine Bioakkumulation unter Realbedingungen statt
- Kenntnis über menschliche Aktivitäten inner- und außerhalb des Versenkungsgebietes
- Kenntnis über Unfälle im Zusammenhang mit chemischen Kampfstoffen im Bereich des Versenkungsgebiets

Dabei kann das in dieser Arbeit erarbeitete Vorgehen genutzt und ergänzt werden.

Des Weiteren sollte eine Risikobewertung im Hinblick auf die Wertung und Gewichtung der einzelnen Faktoren möglich in Teams erfolgen, um die individuelle Bewertung möglichst zu diversifizieren.

Der Umgang mit den verklappten chemischen Kampfstoffen, als nächster Schritt nach der Risikobeurteilung, wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt. Koch (2009) stellt in seiner Arbeit folgende Szenarien für den Umgang mit am Meeresboden liegenden chemischen Kampfstoffen vor:

- Endlager-Szenario: Verbleib und Monitoring der chemischen Kampfstoffe im Versenkungsgebiet.
- By The Way-Szenario: Sanierung der durch Anspülung oder bei Projekten aufgefundenen chemischen Kampfstoffe.
- Hot Spot-Szenario: Sanierung von Schwerpunktversenkungsgebieten.
- Full Clean Up-Szenario: Umfassende Sanierung aller Fundstellen von chemischen Kampfstoffen.

Alle aufgeführten Szenarien verlangen eine vorangegangene präzise Risikoanalyse, um die Möglichkeiten des Handelns darzulegen. Dies untermauert nochmals, dass ein Verständnis der Zusammenhänge auf Grundlage einer soliden Datenbasis von enormer Wichtigkeit ist.

6. Fazit

Das Themenfeld verklappter chemische Kampfstoffe ist aus Forschungssicht ein tiefgehendes, aus politischer Sicht ein sensibles Thema. Diese Tatsache hat sich auch bei der Recherche bemerkbar gemacht. Speziell in Bezug auf die Lokation von Versenkungsgebieten wurde festgestellt, dass vermutlich hilfreiche Dokumente häufig unter Verschluss sind oder Versenkungen damals schlichtweg nicht protokolliert wurden. Ähnlich verhält es sich mit den Arten der versenkten chemischen Kampfstoffe. Größere Untersuchungen wie das HUMMA-Projekt oder der HELCOM-Bericht liefern einen wertvollen Beitrag zur Aufklärung und Folgenabschätzung, sind aber lokal begrenzt.

Im Bereich der chemischen und ökotoxikologischen Eigenschaften der chemischen Kampfstoffe, dies umfasst auch die Reaktionen im marinen Milieu, sind die derzeitigen Kenntnisse oftmals lückenhaft und Aussagen weichen voneinander ab. Zudem haben Untersuchungen der chemischen Kampfstoffe unter Laborbedingungen häufig nur eine begrenzte Aussagekraft für die unter Realbedingungen stattfindenden Reaktionen. Besonders im Bereich der Bioakkumulation ist dies der Fall.

Das in dieser Arbeit erarbeitete Verfahren, eine Risikobewertung mariner Verklappungsgebiete chemischer Kampfstoffe vorzunehmen, stellt einen grundsätzlichen Ansatz zur Verfügung, der die Möglichkeit zur Erweiterung bietet.

Die weitergehende Forschung im behandelten Themengebiet sollte zwingen forciert werden, um zukünftig die Risiken verklappter chemischer Kampfstoffe noch genauer beurteilen zu können und daraus die Handlungsoptionen für den weiteren Umgang abzuleiten.

Literaturverzeichnis

- Arison III, H. L., 2014. European Disposal Operations. The Sea Disposal of Chemical Weapons. H. Lindsey Arison III.
- ARTE France, 2013. Versenktes Gift. Wie Chemiewaffen das Meer verseuchen. Coen, B.; Nadler, E. und Koutsikas, N. (Redaktion). ARD, 2013. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=jR-h-TT4T7s&ab_channel=mdock (abgerufen am 27.07.2022).
- Balali-Mood, M. und Abdollahi, M., 2015. Basic and Clinical Toxicology of Mustard Compounds. Cham, Springer International Publishing.
- Bartelt-Hunt, S. L.; Knappe, D. R. U. und Barlaz, M. A., 2008. A Review of Chemical Warfare Agent Simulants for the Study of Environmental Behavior. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 38 (2), 112–136. DOI: 10.1080/10643380701643650.
- Bełdowski, J.; Klusek, Z.; Szubska, M.; Turja, R.; Bulczak, A. I.; Rak, D.; Brenner, M.; Lang, T.; Kotwicki, L.; Grzelak, K.; Jakacki, J.; Fricke, N.; Östin, A.; Olsson, U.; Fabisiak, J.; Garnaga, G.; Nyholm, J. R.; Majewski, P.; Broeg, K.; Söderström, M.; Vanninen, P.; Popiel, S.; Nawąła, J.; Lehtonen, K.; Berglind, R. und Schmidt, B., 2016. Chemical Munitions Search & Assessment—An evaluation of the dumped munitions problem in the Baltic Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 128, 85–95. DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.01.017.
- Bizzigotti, G. O.; Castelly, H.; Hafez, A. M.; Smith, W. H. B. und Whitmire, M. T., 2009. Parameters for evaluation of the fate, transport, and environmental impacts of chemical agents in marine environments. *Chemical reviews* 109 (1), 236–256. DOI: 10.1021/cr0780098.
- Böttcher, C.; Knobloch, T.; Rühl, N.-P.; Sternheim, J.; Wichert, U. und Wöhler, J., 2011. Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer. Bestandsaufnahme und Empfehlungen. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. Hamburg.
- Briggs, C.; Shjegstad, S. M.; Silva, J. A. und Edwards, M. H., 2016. Distribution of chemical warfare agent, energetics, and metals in sediments at a deep-water discarded military munitions site. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 128, 63–69. DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.02.014.
- Czub, M.; Nawąła, J.; Popiel, S.; Brzeziński, T.; Maszczyk, P.; Sanderson, H.; Maser, E.; Gordon, D.; Dzedzic, D.; Dawidziuk, B.; Pijanowska, J.; Fabisiak, J.; Szubska, M.; Lang, T.; Vanninen, P.; Niemikoski, H.; Missiaen, T.; Lehtonen, K. K.; Bełdowski, J. und Kotwicki, L., 2021. Acute aquatic toxicity of arsenic-based chemical warfare agents to *Daphnia magna*. *Aquatic toxicology*. DOI: 10.1016/j.aquatox.2020.105693.

- Della Torre, C.; Petochi, T.; Farchi, C.; Corsi, I.; Dinardo, M. M.; Sammarini, V.; Alcaro, L.; Mechelli, L.; Focardi, S.; Tursi, A.; Marino, G. und Amato, E., 2013. Environmental hazard of yperite released at sea: sublethal toxic effects on fish. *Journal of hazardous materials*, 246–253. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2013.01.003.
- Demek, M. M.; Davis, G. T.; Dennis, W. H., Jr. und Hill, A. L., 1970. Behavior of chemical agents in seawater. Report no. EATR 4417. Edgewood, MD.
- Duden, 2022. Kampfmittel. Online verfügbar unter <https://www.duden.de/rechtschreibung/Kampfmittel> (abgerufen am 29.07.2022).
- Edwards, M. H.; Fornari, D. J.; Rogstad, M. R.; Kelley, C. D.; Mah, C. L.; Davis, L. K.; Flores, K. R.; Main, E. L. und Bruso, N. L., 2016. Time-lapse camera studies of sea-disposed chemical munitions in Hawaii. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 128, 25–33. DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.03.003.
- European Chemicals Bureau, 2003a. Technical Guidance Document on Risk Assessment. Part I. Joint Research Centre, ISPRA.
- European Chemicals Bureau, 2003b. Technical Guidance Document on Risk Assessment. Part II. Joint Research Centre, ISPRA.
- Ganesan, K.; Raza, S. K. und Vijayaraghavan, R., 2010. Chemical warfare agents. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* 2 (3), 166–178. DOI: 10.4103/0975-7406.68498.
- Gellermann, G., 1986. Der Krieg, der nicht stattfand. Möglichkeiten, Überlegungen und Entscheidungen der deutschen obersten Führung zur Verwendung chemischer Kampfstoffe im Zweiten Weltkrieg. Koblenz, Bernard & Graefe Verlag.
- GESTIS, 2022. Stoffdatenbank. Online verfügbar unter <https://gestis.dguv.de/data?name=491147> (abgerufen am 20.08.2022).
- GISBAU, 2022. Löslichkeit. BG BAU. Online verfügbar unter <https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/gefahrstoffe/sicherheitsdatenblatt/loeslichkeit> (abgerufen am 16.08.2022).
- Goldman, M. und Dacre, J. C., 1989. Lewisite: its chemistry, toxicology, and biological effects. *Reviews of environmental contamination and toxicology* 110, 75–115. DOI: 10.1007/978-1-4684-7092-5_2.
- Haas, R.; Müller, M.; Steinbach, K. und v. Löw, E., 1996. Aquatische Ökotoxizität von Phenylarsinverbindungen. 2. Chemische Kampfstoffe der Blaukreuzgruppe. *Landsberg. UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox.* 8 (3), 298–304.
- HELCOM, 1994. Report on Chemical Munitions Dumped in the Baltic Sea. Report to the 16th Meeting of Helsinki Commission.
- Hildebrandt, H., 2003. Chemische Kampfstoffe. *Weinheim. Chem. Unserer Zeit* 37, 434–435.
- Hoenig, S. L., 2007. *Compendium of Chemical Warfare Agents*. Florida.
- HUMMA, 2010. Hawai'i Undersea Military Munitions Assessment. The University of Hawai'i at Manoa.

- Kelley, C.; Carton, G.; Tomlinson, M. und Gleason, A., 2016. Analysis of towed camera images to determine the effects of disposed mustard-filled bombs on the deep water benthic community off south Oahu. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 128, 34–42. DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.01.016.
- Koch, M., 2009. Subaquatische Kampfmittelaltlasten in der Ostsee. Neubewertung des Status Quo, Risikopotenziale und resultierende Handlungsszenarien. Dissertation. Lüneburg, Leuphana Universität Lüneburg.
- Koide, S.; Silva, J. A.; Dupra, V. und Edwards, M., 2016. Bioaccumulation of chemical warfare agents, energetic materials, and metals in deep-sea shrimp from discarded military munitions sites off Pearl Harbor. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 128, 53–62. DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.03.002.
- Kopecz, P., 1996. Bestandsaufnahme von Rüstungsaltslastenverdachtsstandorten in der Bundesrepublik Deutschland. Band 3: Kampfstofflexikon.
- Krebs, G., 2003. Untersuchungen zur Wirkung von 2,2'-Dichlordiethylsulfid (Schwefellost) in primären und immortalisierten epithelialen Zelllinien. Universität München.
- Lippke, G.; Mang, V.; Krippendorf, A. und Lippert, E., 2019. Arsen-Verbindungen in Böden - ökologische Aspekte.
- Maher, W. und Butler, E., 1988. Arsenic in the marine environment. *Applied Organometallic Chemistry* 2, 191–214.
- Marion, G. M.; Millero, F. J.; Camões, M. F.; Spitzer, P.; Feistel, R. und Chen, C.-T., 2011. pH of seawater. *Marine Chemistry* 126 (1-4), 89–96. DOI: 10.1016/j.marchem.2011.04.002.
- Marrs, T. T.; Maynard, R. L. und Sidell, F., 2007. Chemical warfare agents. Toxicology and treatment. 2. Aufl. Chichester, England/Hoboken, NJ, Wiley.
- Martinetz, Dieter (Hg.), 1996. Handbuch Rüstungsaltslasten. Landsberg/Lech, ecomed.
- Missiaen, T. und Paka, V., 2007. Synthesis report of available data regarding CW dumpsites in the Baltic Sea. MERCW Project Report. Belgium, University of Gent.
- Naumann, M. und Nausch, G., 2015. Die Ostsee atmet auf. *Chemie in unserer Zeit* 49 (1), 76–80. DOI: 10.1002/ciuz.201400695.
- Nausch, G.; Feistel, R.; Lass, H. U.; Nagel, K.; Siegel, H.; Pohl, C.; Hennings, U. und Leipe, T., 2006. Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 2005. DOI: 10.12754/msr-2006-0066.
- Nord Stream, 2010. Nord Stream: Verantwortungsvoller Umgang mit Munitionsaltslasten. Sicherheit hat höchste Priorität. Online verfügbar unter <https://www.nord-stream.com/download/document/35/?language=de> (abgerufen am 12.08.2022).
- Ochsenbein, A. und Huber, L., 2009. Dossier Chemische Kampfstoffe. Chemische Kampfstoffe. In: Franz-Xaver Reichl (Hg.). Taschenatlas Toxikologie. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Pitschmann, V., 2014. Overall view of chemical and biochemical weapons. *Toxins* 6 (6), 1761–1784. DOI: 10.3390/toxins6061761.
- Prüfmethoden-Verordnung (EG) Nr.440-2008 vom 31.05.2008.

- PubChem, 2022. Lewisite. Online verfügbar unter <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5372798#section=Melting-Point> (abgerufen am 16.08.2022).
- Ramchandran, T. und Bohnenkamp, K., 1979. Über den Einfluß von Schwefelwasserstoff auf die Korrosion des Eisens in sauren Lösungen. *Werkstoffe und Korrosion* (30), 43–46.
- Ruppert, J., 2017. Möglichkeiten der quantitativen Korrosionsvorhersage für Baustähle in Gewässern mittels einer elektrochemischen Messzelle. Lehrstuhl für Wasserchemie und Wassertechnologie und DVGW-Forschungsstelle. Karlsruhe.
- Sanderson, H.; Fauser, P.; Thomsen, M. und Sørensen, P. B., 2007. PBT screening profile of chemical warfare agents (CWAs). *Journal of hazardous materials* 148 (1-2), 210–215. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.02.027.
- Sanderson, H.; Fauser, P.; Thomsen, M.; Vanninen, P.; Soderstrom, M.; Savin, Y.; Khalikov, I.; Hirvonen, A.; Niiranen, S.; Missiaen, T.; Gress, A.; Borodin, P.; Medvedeva, N.; Polyak, Y.; Paka, V.; Zhurbas, V. und Feller, P., 2010. Environmental hazards of sea-dumped chemical weapons. *Environmental science & technology* 44 (12), 4389–4394. DOI: 10.1021/es903472a.
- Schneider, K.; Hassauer, M.; Akkan, Z.; Gfatter, S. und Oltmanns, J., 2005. Ableitung von Prüfwerten für Kampfstoffe und Abbauprodukte für die Wirkungspfade Boden-Mensch (direkter Kontakt) und Boden-Gewässer. Report, Forschungs-und Beratungsinstitut Gefahrstoffe, FoBiG GmbH, Freiburg, i. Br., Germany.
- Silva, J. A. und Chock, T., 2016. Munitions integrity and corrosion features observed during the HUMMA deep-sea munitions disposal site investigations. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 128, 14–24. DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.09.001.
- STARS, 2022a. Allgemeine Informationen zur Human- und Säugetiertoxizität - Diphenylchlorarsin. Online verfügbar unter <http://www.stoffdaten-stars.de/index.php?page=humantox&StoffID=170> (abgerufen am 20.08.2022).
- STARS, 2022b. Allgemeine Informationen zur Human- und Säugetiertoxizität - Lewisit 1. Online verfügbar unter <http://www.stoffdaten-stars.de/index.php?page=humantox&StoffID=244> (abgerufen am 21.08.2022).
- STARS, 2022c. Einstufung der Kanzerogenität / Unit Risk - Schwefellost. Online verfügbar unter <http://www.stoffdaten-stars.de/index.php?page=kanzeroge&StoffID=463> (abgerufen am 18.08.2022).
- Stieglitz, S.; Berger, U.; Gödde, D. und Golz, R., 2019. Organisierende Pneumonie nach Senfgas-Exposition im Krieg. In: 60. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e. V, München, 13.03.2019 - 16.03.2019. Georg Thieme Verlag KG.
- Talmage, S. S.; Munro, N. B.; Watson, A. P.; King, J. F. und Hauschild, V., 2007. The fate of chemical warfare agents in the environment. *Chemical warfare agents: toxicology and treatment*, 89–125. DOI: 10.1002/9780470060032.

Terzic, O.; Bartenbach, S. und Voogt, P. de, 2013. Determination of Lewisites and their hydrolysis products in aqueous and multiphase samples by in-sorbent tube butyl thiolation followed by thermal desorption-gas chromatography-full scan mass spectrometry. *Journal of chromatography. A* 1304, 34–41. DOI: 10.1016/j.chroma.2013.06.068.

Umweltbundesamt (2022). Arsen – Umweltprobenbank des Bundes. Online verfügbar unter <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/10047> (abgerufen am 01.08.2022).

Anhang

Beall's List

Criteria for Determining Predatory Open-Access Publishers

For more information on predatory publishers, including lists of publishers and standalone journals that meet these criteria, please visit <http://scholarlyoa.com>

By Jeffrey Beall

3rd edition / January 1, 2015

The criteria below are intended to provide a framework for analyzing scholarly open-access publishers and journals. The criteria recognize two documents published by the [Committee on Publication Ethics](#) (COPE):

[Code of Conduct for Journal Publishers](#)
[Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing](#)

Evaluating scholarly open-access publishers is a process that includes closely, cautiously, thoroughly, and at times skeptically examining the publisher's content, practices, and websites: contacting the publisher if necessary, reading statements from the publisher's authors about their experiences with the publisher, and determining whether the publisher commits any of the following practices (below) that are known to be committed by predatory publishers, examining any additional credible evidence about the publisher, compiling very important "back-channel" feedback from scholarly authors, and taking into account counter-feedback from the publishers themselves.

Some journals of course are "single titles." They publish independently of any multi-title publisher. In most cases, however, we evaluate journals that are part of a publisher's multi-title platform. This is very often described as a "fleet," a term meant to clarify that even a new publisher suddenly launches a large number of new journals, ranging from several dozen to hundreds of titles all at once.

The practices described below are meant to apply both to single-title independent journals and to publishers with or multiple or "fleet" journals in their portfolios.

Editor and Staff

- The publisher's owner is identified as the editor of each and every journal published by the organization.
- No single individual is identified as any specific journal's editor.
- The journal does not identify a formal editorial / review board.
- No academic information is provided regarding the editor, editorial staff, and/or review board members (e.g., institutional affiliation).
- Evidence exists showing that the editor and/or review board members do not possess academic expertise to reasonably qualify them to be publication gatekeepers in the journal's field.
- Two or more journals have duplicate editorial boards (i.e., same editorial board for more than one journal).
- The journals have an insufficient number of board members , (e.g., 2 or 3 members), have concocted editorial boards (made up names), name scholars on their editorial board without their knowledge or permission or have board members who are prominent researchers but exempt them from any contributions to the journal except the use of their names and/or photographs.
- There is little or no geographical diversity among the editorial board members, especially for journals that claim to be international in scope or coverage.
- The editorial board engages in gender bias (i.e., exclusion of any female members).

Business management

The publisher...

- Demonstrates a lack of transparency in publishing operations.
- Has no policies or practices for digital preservation, meaning that if the journal ceases operations, all of the content disappears from the internet.
- Begins operations with a large fleet of journals, often using a common template to quickly create each journal's home page.
- Provides insufficient information or hides information about author fees, offering to publish an author's paper and later sending an unanticipated "surprise" invoice.
- Does not allow search engines to crawl the published content, preventing the content from being indexed in academic indexes.
- Copy-proofs (locks) their PDFs, thus making it harder to check for plagiarism.

Integrity

- The name of a journal is incongruent with the journal's mission.
- The name of a journal does not adequately reflect its origin (e.g., a journal with the word "Canadian" or "Swiss" in its name when neither the publisher, editor, nor any purported institutional affiliate relates whatsoever to Canada or Switzerland).
- In its spam email or on its website, the publisher falsely claims one or more of its journals have actual (Thomson-Reuters) impact factors, or advertises impact factors assigned by fake "impact factor" services, or it uses some made up measure (e.g. view factor), feigning/claiming an exaggerated international standing.
- The publisher sends spam requests for peer reviews to scholars unqualified to review submitted manuscripts, in the sense that the specialties of the invited reviewers do not match the papers sent to them.
- The publisher falsely claims to have its content indexed in legitimate abstracting and indexing services or claims that its content is indexed in resources that are not abstracting and indexing services.
- The publisher dedicates insufficient resources to preventing and eliminating author misconduct, to the extent that the journal or journals suffer from repeated cases of plagiarism, self-plagiarism, image manipulation, and the like.
- The publisher asks the corresponding author for suggested reviewers and the publisher subsequently uses the suggested reviewers without sufficiently vetting their qualifications or authenticity. (This protocol also may allow authors to create faux online identities in order to review their own papers).

Other

A predatory publisher may...

- Re-publish papers already published in other venues/outlets without providing appropriate credits.
- Use boastful language claiming to be a "leading publisher" even though the publisher may only be a startup or a novice organization.
- Operate in a Western country chiefly for the purpose of functioning as a vanity press for scholars in a developing country (e.g., utilizing a maildrop address or PO box address in the United States, while actually operating from a developing country).
- Provide minimal or no copyediting or proofreading of submissions.
- Publish papers that are not academic at all, e.g. essays by laypeople, polemical editorials, or obvious pseudo-science.

- Have a "contact us" page that only includes a web form or an email address, and the publisher hides or does not reveal its location.

Poor journal standards / practice

The following practices are considered to be reflective of poor journal standards and, while they do not equal predatory criteria, potential authors should give due consideration to these items prior to manuscript submissions:

- The publisher copies "authors guidelines" verbatim (or with minor editing) from other publishers.
- The publisher lists insufficient contact information, including contact information that does not clearly state the headquarters location or misrepresents the headquarters location (e.g., through the use of addresses that are actually mail drops).
- The publisher publishes journals that are excessively broad (e.g., *Journal of Education*) in order to attract more articles and gain more revenue from author fees.
- The publisher publishes journals that combine two or more fields not normally treated together (e.g., *International Journal of Business, Humanities and Technology*).
- The publisher charges authors for publishing but requires transfer of copyright and retains copyright on journal content. Or the publisher requires the copyright transfer upon submission of manuscript.
- The publisher has poorly maintained websites, including dead links, prominent misspellings and grammatical errors on the website.
- The publisher makes unauthorized use of licensed images on their website, taken from the open web, without permission or licensing from the copyright owners.
- The publisher engages in excessive use of spam email to solicit manuscripts or editorial board memberships.
- The publishers' officers use email addresses that end in .gmail.com, yahoo.com, or some other free email supplier.
- The publisher fails to state licensing policy information on articles or shows lack of understanding of well-known OA journal article licensing standards, or provides contradictory licensing information.
- The publisher lacks a published article retraction policy or retracts articles without a formal statement (stealth retractions); also the publisher does not publish corrections or clarifications and does not have a policy for these issues.
- The publisher does not use standard identifiers such as ISSNs or DOIs or uses them improperly.

- For the name of the publisher, the publisher uses names such as "Network," "Center," "Association," "Institute," and the like when it is only a solitary, proprietary operation and does not meet the definition of the term used or implied non-profit mission.
- The publisher has excessive, cluttered advertising on its site to the extent that it interferes with site navigation and content access.
- The publisher has no membership in industry associations and/or intentionally fails to follow industry standards.
- The publisher includes links to legitimate conferences and associations on its main website, as if to borrow from other organizations' legitimacy, and emblazon the new publisher with the others' legacy value.
- The publisher displays prominent statements that promise rapid publication and/or unusually quick peer review.
- Evidence exists showing that the publisher does not really conduct a bona fide peer review.
- The publisher appears to focus exclusively on article processing fee procurement, while not providing services for readers, or on billing for fees, while abdicating any effort at vetting submissions.
- The publisher creates a publishing operation that demonstrates rapacious entrepreneurial behavior that rises to level of sheer greed. The individual might have business administration experience, and the site may even have business journals, but the owner seems oblivious to business ethics.
- The publisher or its journals are not listed in standard periodical directories or are not widely cataloged in library databases.
- The publisher copies or egregiously mimics journal titles from other publishers.
- The publisher includes text on its website that describes the open access movement and then foists the publisher as if the publisher is active in fulfilling the movement's values and goals.
- None of the members of a particular journal's editorial board have ever published an article in the journal.
- There is little or no geographic diversity among the authors of articles in one or more of the publisher's journals, an indication the journal has become an easy outlet for authors from one country or region to get scholarly publications.
- The publisher has an optional "fast-track" fee-based service for expedited peer review which appears to provide assured publication with little or no vetting.

Acknowledgement: The author thanks Bill Cohen and Dr. Michael Firmin for their help on this and an earlier version of this document.



Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Ferner versichere ich, dass ich keine andere, außer der im Literaturverzeichnis angegebenen Literatur verwendet habe.

Die Arbeit wurde bisher keiner Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Karsten Beardi

Hamburg, 21.09.2022