Sachbericht zum Verwendungsnachweis

(Teil I – Kurzbericht)

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Projekt: CONMAR - 'CONcept for conventional MArine munition Remediation in the German North and Baltic Sea'

in der

DAM Forschungsmission sustainMare „Schutz und nachhaltige Nutzung mariner Räume“

Laufzeit:	01.12.2021 – 30.11.2024
Zuwendungsempfänger:	Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Institut für Pharmakologie und Toxikologie für Naturwissenschaftler
Verantwortliche Autor:innen:	Prof. Dr. Edmund Maser, Dr. Jennifer Strehse Jacqueline Lindemeyer, M.Sc. Lillian Bünning, M.Sc.
FKZ:	03F0912H

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03F0912H gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

Inhalt

Teil I - Kurzbericht..... 1
I.1 Aufgabenstellung..... 1
I.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde..... 1
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens..... 2
I.4 Wesentliche Ergebnisse des Vorhabens..... 2
I.5 Zusammenarbeit im Projektkonsortium..... 3

Teil I - Kurzbericht

I.1 Aufgabenstellung

Das Vorhandensein von Munition im Meer ist eine latente physische Bedrohung für Schifffahrt und die Offshore-Industrie. In gleichem Maße ist es aber auch ein ökologisches Problem, da sprengstofftypische Verbindungen wie TNT, seine Metabolite (ADNTs), sowie weitere Sprengstoffe wie RDX und DNB als Quelle toxischer/karzinogener Schadstoffe im Wasser gelöst und im Sediment zusätzlich als partikuläre Substanz vorkommen können. Daraus folgend ergeben sich für CONMAR zwei übergeordnete Fragstellungen: „Wie stark und gefährlich ist der Einfluss mariner Munition auf die marine Umwelt und den Menschen zurzeit und in der Zukunft?“ sowie „Welche Sanierungsmaßnahmen und Strategien müssen jetzt entwickelt und eventuell umgehend umgesetzt werden?“. Das Verbundprojekt CONMAR hat daher zum Ziel bestehende und relevante Daten für die Evaluierung von mariner Munition zu integrieren, die Expertise der deutschen marinen Forschung, von Regierungsstellen und der Industrie zu bündeln, das wissenschaftliche Verständnis von mariner Munition bezüglich ganz unterschiedlicher offener Fragen durch das Projekt zu vergrößern und Lösungsansätze für ein Monitoring und die großmaßstäbliche Sanierung von mariner Munition mit Stakeholdern zu erarbeiten und in die Umsetzung zu überführen.

Die Aufgaben und Ziele des Instituts für Toxikologie und Pharmakologie für Naturwissenschaftler des Universitätsklinikums Schleswig-Holsteins (UKSH) waren in erster Linie die wissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen der ökotoxikologischen Risikobewertung von STV in Meeresorganismen sowie die humantoxikologische Risikobewertung von STV in Meeresfrüchten (**WP6**). Des Weiteren war das Institut sehr umfassend in die Analysierung der Verbreitung von sprengstofftypischen Verbindungen (STV) im Wasser und Sediment sowie der Evaluierung von STV-Analysemethoden im Rahmen des **WP3** (Verteilung von Munitionsobjekten und STV im Feld, Untersuchung von Umwelteinflüssen) eingebunden. Umfassende Aufgaben wurden auch in **WP4** (Ökologische und biologische Untersuchungen in Referenz- und Munitionsversenkungsgebieten) übernommen. Zu nennen sind hier die Analysierung von STV in marinen Organismen, die Durchführung von Feldexperimenten (Biomonitoring) mit Miesmuscheln, Begleituntersuchungen von Laborexpositionen, Qualitätssicherung und Erniedrigung des Detektionslimits der STV-Analytik sowie Untersuchungen zu molekularen Biomarkern zum Effektmonitoring. Zudem war das UKSH beteiligt an: Stakeholder-Dialog und -kooperation (**WP1**), Konzept für ein föderiertes Datenmanagement zu mariner Munition in Deutschland (**WP2**), Modellierung von Verbreitungsmustern und Umwandlungsprozessen von sprengstoff-typischen Verbindungen (**WP5**), Prioritätenlisten für Hotspots und effiziente Managementstrategien (**WP7**) und der Projektkoordination und Missionsmitgestaltung (**WP8**).

I.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Im Rahmen von mehreren vorangegangenen nationalen wie internationalen Forschungsprojekten ist dem UKSH der Nachweis gelungen, dass sich TNT aus rostenden, im Meer liegenden Ankertauminen löst und sich dieses in Miesmuscheln detektieren lässt. Dazu wurde die Miesmuscheln (*Mytilus* spp.) erfolgreich als Bioindikator zum Monitoring von Munitionsaltlasten im Meer etabliert. Es wurde festgestellt, dass sich Miesmuscheln hervorragend zur Überwachung einer möglichen Kontamination der Meeresumwelt durch STV eignen und gleichermaßen in Munitionsversenkungsgebieten eingesetzt werden aber auch Objekte wie mit Munition beladene Schiffswracks zuverlässig als mögliche Kontaminationsquellen überwacht werden können. Des Weiteren ist es dem Institut gelungen eine hoch sensitive Analytik verschiedenster Probenmaterialien wie unterschiedliche Arten von Biota,

Sediment und Wasser auf STV im Spurenbereich zu etablieren. Dazu werden modernste Technologien wie Gas- und Flüssigchromatografie mit hochsensitiver Massenspektrometrie eingesetzt. Im Rahmen von CONMAR soll das Miesmuschelmonitoring in bereits bekannten wie auch neuen Untersuchungsgebieten zum Einsatz kommen und die Analytik von STV in Bezug auf Extraktionsmethoden so effizient wie möglich gestaltet sowie die Nachweisgrenzen kontinuierlich verbessert werden.

Neben dem Aufbau einer sensitiven chemischen Analytik und dem damit verbundenen Nachweis des Übertritts der STV in die Meeresumwelt, ist die Etablierung eines Biomarkers als Frühwarnsystem als weiterer essentieller Baustein zur Überwachung von mit Altmunition belasteten Gebieten notwendig. Hierzu konnte das Institut für Toxikologie bereits zeigen, dass in Miesmuscheln die Expression des Carbonylreduktase-Gens zeit- und konzentrationsabhängig sowie organspezifisch durch TNT induziert wird. Auch erste Versuche in Daphnien zeigen diesen Zusammenhang auf.

Eine Vielzahl von Studien konnte bereits zeigen, dass STV negative gesundheitliche Auswirkungen auf eine große Bandbreite von Meeresorganismen haben. Besonders hervorzuheben sind die krebsauslösenden Eigenschaften der STV, die auch für den Menschen als Konsumenten von Fisch und Meeresfrüchte relevant sein könnten. Hierzu hat das Institut für Toxikologie in der Vergangenheit verschiedene toxikologische Risikobetrachtungen durchgeführt. Diese konnten bisher zeigen, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine gesundheitlichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit durch den Konsum kontaminierter Fische und Meeresfrüchte zu erwarten sind, aber durch die voranschreitende Korrosion sowie Sprengungen auf Sandbänken und unter Wasser diese Gefahr in Zukunft nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Es konnten zum jetzigen Zeitpunkt bereits negative Folgen auf einzelne marine Spezies durch STV festgestellt werden.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Zusammen mit den Projektpartnern wurde direkt zu Beginn der Projektlaufzeit eine detaillierte Fahrtenplanung mit umfassenden Probennahmen erstellt sowie die Abläufe der angestrebten Laborversuche frühzeitig mit allen involvierten Partnern geplant und entsprechend umgesetzt. Durch eine schnelle und effiziente Logistik konnte gewonnenes Probenmaterial zügig zwischen den Partnern ausgetauscht werden und die vorgesehenen Analysen in den jeweiligen Laboren zeitnah durchgeführt werden. Durch regelmäßige Projekttreffen mit allen Projektbeteiligten, wie auch in den einzelnen Arbeitspaketen und arbeitspaketübergreifend, gab es regelmäßige konstruktive Gelegenheiten zum Austausch von Ergebnissen sowie die Möglichkeit der gegenseitigen Reflexion der bisher durchgeführten und geplanten Arbeiten. Des Weiteren wurden die Arbeiten des Projekts kontinuierlich in öffentlichen Vorträgen einem breiten Publikum vorgestellt und erläutert.

I.4 Wesentliche Ergebnisse des Vorhabens

Die wesentlichen erzielten Ergebnisse des UKSH umfassen den Nachweis von STV mittels Gas- und Flüssigchromatographie-gekoppelter Tandem Quadrupolmassenspektrometrie in verschiedenen Biota wie z.B. Miesmuscheln (*Mytilus* spp.) und Fischen wie der Kliesche (*Limanda limanda*). In letztgenannter konnte die Analytik spezifisch für einzelne Fischorgane durchgeführt werden. Hier konnte zum Beispiel die Analytik durch die Etablierung von Aufarbeitungsmethoden für Kiemen und Leber sowie der Körperflüssigkeiten Blut und Urin erweitert werden. Es konnten methodische Nachweisgrenzen für alle Matrices im pg/g oder pg/mL-Bereich erreicht werden.

In einer Reihe von Muschelproben, die aus verschiedenen Untersuchungsgebieten in der Ostsee wie der Kolberger Heide und der Lübecker Bucht, sowie Fischproben (Kliesche), gefangen in der deutschen Nordsee vor den Ostfriesischen Inseln bis hoch nach Sylt stammen, konnten STV nachgewiesen werden. Das Institut hat somit zur Erkenntnis beitragen können, dass STV ubiquitär in den deutschen

Teilen der Nord- und Ostsee vorkommen. In den Munitionsverklappungsgebieten der Ostsee wurden dabei um mehrere Größenordnungen höhere Konzentrationen nachgewiesen als in der Nordsee.

In Miesmuscheln, die im Munitionsversenkungsgebiet Kolberger Heide exponiert wurden, konnte eine erhöhte Genexpression der Gene Carbonylreduktase (CR) und *sniffer* festgestellt werden. Dies weist auf erhöhten oxidativen Stress in den Organismen hin, was nochmals die Wichtigkeit der Genexpression der beiden Gene als molekularen Biomarker für Belastung der Meeresumwelt mit STV sowie bereits publizierte Ergebnisse bestätigt. In einem Laborversuch mit Miesmuscheln konnte nachgewiesen werden, dass die Genexpression der CR nicht nur durch STV im Wasser beeinflusst wird, sondern auch von der Wassertemperatur. Dies unterstreicht vor dem Hintergrund der zu erwartenden Erwärmung der Meere durch den Klimawandel nochmals die Bedeutung des Gens als molekularer Biomarker. Eine Methode zur Untersuchung der Genexpression der CR konnte auch für Stichling und Kliesche erfolgreich etabliert werden. Zudem wurden erfolgreich Wachstumshemmtests mit der einzelligen Grünalge *Chlorella vulgaris* sowie der zur Gattung der Krebstiere gehörenden *Daphnia magna* mit TNT sowie den Metaboliten 2- und 4-ADNT in Anlehnung an die jeweilige OECD Guideline durchgeführt und für jede Substanz die EC_{50} bestimmt. Die Bioakkumulation und Ausscheidungskinetik von TNT sowie 2- und 4-ADNT wurde an *Daphnia magna* untersucht. Begleitend wurden ebenfalls Genexpressionsuntersuchungen der CR durchgeführt und die Eignung als molekularer Biomarker auch in *Daphnia magna* festgestellt.

Die humantoxikologische Risikobewertung von STV in Meeresfrüchten hat ergeben, dass für den Menschen als Konsumenten von potenziell kontaminierten Meeresfrüchten gesundheitliche Auswirkungen nicht völlig ausgeschlossen werden können. Allerdings sind Konzentrationen in Miesmuscheln und dem Filet als essbarem Teil des Fisches derzeit so gering, dass für den Menschen beim Verzehr keine Gefahr besteht. Mit fortschreitender Korrosion ist jedoch mit einer verstärkten Freisetzung von STV aus Unterwassermunition zu rechnen, was in Zukunft zu toxischen Konzentrationen in Meeresfrüchten führen kann. In Bezug auf Auswirkungen auf die marine Ökosphäre können jedoch die bereits zum jetzigen Zeitpunkt gemessen STV-Konzentrationen negative Auswirkungen auf den Gesundheitszustand verschiedener Spezies haben.

Publikationen

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften: Eine Veröffentlichung, zwei Manuskripte aktuell in Fertigstellung

Buchkapitel: Drei zur Veröffentlichung eingereicht.

PANGAEA Datensätze: 5 Datensätze in Fertigstellung

Fachvorträge und Poster: 52 Vorträge, 6 Poster

Abschlussarbeiten und Forschungspraktika: Eine Masterarbeit sowie vier Forschungspraktika

I.5 Zusammenarbeit im Projektkonsortium

Während der gesamten Projektlaufzeit wurde sich intensiv mit den anderen Projektpartnern ausgetauscht. Dazu gehörten mehrere Projekttreffen in Berlin, Kiel und Wilhelmshaven mit dem gesamten Konsortium, wie auch ein Jour Fixe der PIs. Dieser hat monatlich online stattgefunden. Auch wurden regelmäßige Online-Treffen innerhalb verschiedener Arbeitspakete durchgeführt, zum Beispiel ein monatlicher Jour Fixe in WP3. Daneben fanden regelmäßige persönliche wie auch online stattfindende Gespräche zur Planung von Ausfahrten und Versuchen statt. Zudem haben beispielsweise Kolleg*innen des UBA direkt in den Laboren des UKSH einen Teil ihrer Proben unter Anleitung der Kolleg*innen des Instituts aufgearbeitet, damit diese vor Ort chemisch analysiert werden

konnten. Das Institut für Toxikologie hat sich des Weiteren aktiv an den sustainMare Konferenzen beteiligt sowie in der Gruppe der sustainMare Early Career Scientists.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

(Teil II – Eingehende Darstellung)

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Projekt: CONMAR - 'CONcept for conventional MArine munition Remediation in the German North and Baltic Sea'

in der

DAM Forschungsmission sustainMare „Schutz und nachhaltige Nutzung mariner Räume“

Laufzeit:	01.12.2021 – 30.11.2024
Zuwendungsempfänger:	Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Institut für Pharmakologie und Toxikologie für Naturwissenschaftler
Verantwortliche Autor:innen:	Prof. Dr. Edmund Maser, Dr. Jennifer Strehse Jacqueline Lindemeyer, M.Sc. Lillian Bünning, M.Sc.
FKZ:	03F0912H

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03F0912H gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor

Inhalt

Teil II – Eingehende Darstellung 3
II.1 Verwendung der Zuwendung und die erzielten Ergebnisse im Einzelnen 3
WP2: Konzept für ein föderiertes Datenmanagement 3
WP3: Verteilung von Munitionsobjekten und STVs im Feld, Untersuchung von Umwelteinflüssen 3
WP4: Ökologische und biologische Untersuchungen in Referenz- und Munitionsversenkungsgebieten 4
WP 6: Toxikologische Risikobewertung von Munition im Meer 9
II.2 die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 10
II.3 die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten 10
II.4 der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses – auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans 10
II.5 der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen 10
II.6 Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF 11

Teil II – Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung und die erzielten Ergebnisse im Einzelnen

Das Projekt CONMAR - 'Concept for conventional marine munition Remediation in the German North and Baltic Sea' zielt darauf ab, bestehende Daten zu Munitionsaltlasten im Meer miteinander zu verknüpfen, neue Datensätze zu generieren und diese für verschiedene Zwecke aufzubereiten. Durch die Zusammenarbeit im Projektkonsortium soll sowohl das wissenschaftliche Verständnis des Verhaltens von Munitionsaltlasten in der Umwelt vertieft als auch Fachwissen und Kenntnisse gebündelt werden, um fundierte Risikoabschätzungen und Empfehlungen für Sanierungskonzepte abzugeben.

Die Arbeitspakete reflektieren die verschiedenen Herangehensweisen an das Thema und sind wie folgt gegliedert:

- WP1: Stakeholder-Dialog und Kommunikation mit der Öffentlichkeit (Leitung: GCF)
- WP2: Konzept für ein föderiertes Datenmanagement (Leitung: GEOMAR)
- WP3: Verteilung von Munitionsobjekten und STVs im Feld, Untersuchung von Umwelteinflüssen (Leitung: URO)
- WP4: Ökologische und biologische Untersuchungen in Referenz- und Munitionsversenkungsgebieten (Leitung: AWI)
- WP5: Modellierung von Verbreitungsmustern und Umwandlungsprozessen von STVs (Leitung: IOW)
- WP6: Toxikologische Risikobewertung von Munition im Meer (Leitung: UKSH)
- WP7: Prioritätenlisten für Hotspots und effiziente Managementstrategien (Leitung: GEOMAR)
- WP8: Projektkoordination und Missionsmitgestaltung (Leitung: GEOMAR)

WP2: Konzept für ein föderiertes Datenmanagement

Task 2.3: Management und Kuration von Projektdaten

M2.1-1 Generelle Einigung darüber eine föderierte “Marine Munition Data Compilation - Germany”- Datenbank zu etablieren

D2.3-2 Projektdaten gespeichert in WDCs wie PANGAEA und verlinkt mit AMUCAD.org / M2DC-GER

Die vom UKSH erarbeiteten analytischen Ergebnisse wurden zeitnah im DSM Data Portal des Geomar intern den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Die abschließend komplettierten Datensätze werden in PANGAEA veröffentlicht. Es wurden somit alle Milestones und Deliverables von Seiten des UKSH erfüllt.

WP3: Verteilung von Munitionsobjekten und STVs im Feld, Untersuchung von Umwelteinflüssen

Task 3.3.: Verbreitung von STVs in Wasser und Sediment

M3.3-1 Regionale Beprobung (MineMoni III & IV) in Jahr 1 und 2 für Wasser und Sediment

M3.3-2 Saisonale (halbjährliche) Beprobung der Wassersäule in Jahr 1 und 2 in Fokusgebieten

M3.3-3 Probenahme innerhalb von einer Woche nach extrem Events (Stürmen, Fluten, Hitzewelle, …)

Das UKSH war personell an folgenden Forschungsfahrten zur Probengewinnung beteiligt: Littorina April 2022, Senckenberg Mai 2022, Clupea Juli 2022, Littorina November 2022, Solea 816 Januar 2023, Littorina März 2023, Aldebaran Juli 2023, Haithabu August 2023, Aldebaran September 2023. Littorina Januar 2024, Alkor März 2024, Littorina Mai 2024 und Alkor Oktober 2024. Weitere Details zu den Ausfahrten können dem CONMAR Final Report – Phase I entnommen werden. Die vorgesehenen Milestones wurden somit von Seiten des UKSH erbracht.

M3.3-4 Erster Vergleich von Feld- und Laboruntersuchungen von Wasser/Sediment/Organik

D3.3-1 Bericht und Karten zur regionalen STV-Kontamination

D3.3-2 Bericht zur saisonalen Variabilität der STV-Konzentration und Effekte von extrem Events

D3.3-3 Bericht zum Vergleich von Feld- und Laboruntersuchungen

Im Rahmen von CONMAR wurden vom Institut in verschiedenen Bereichen der Nord- und Ostsee Wasser und Sedimentproben begleitend zur Biota-Probennahme genommen und untersucht. Die erhaltenen Messergebnisse wurden anhand der Probennahmeorte georeferenziert und innerhalb des Projektes über einen Geodatenserver bereitgestellt. Die Veröffentlichungen der Daten über PANGAEA ist in laufender Vorbereitung. Weitere Daten finden sich im CONMAR Final Report – Phase I. Die vorgesehenen Milestones wurden somit von Seiten des UKSH erbracht

Task 3.5: Evaluierung von STV Analysemethoden

M3.5-1 Interkalibration/Laborvergleich; Verteilung von Proben zwischen Partnern

M3.5-2 Datenbericht zur Interkalibration

D3.5-1 Bericht zur Interkalibration

Es wurden Interkalibrationsversuche für Wasser und Sediment zwischen dem GEOMAR und dem UKSH und für Biota (Fischmuskel) zwischen dem GEOMAR, dem Thünen Institut und dem UKSH durchgeführt. Vom GEOMAR wurde ein 1 µg/L STV-Standard bereitgestellt, der für alle Interkalibrationsversuche eingesetzt wurde. Unter der Leitung des GEOMAR erfolgten zwei Wasserprobennahmen in der Ostsee in der Kolberger Heide, sowie die Herstellung eines künstlichen Meerwassers, das zwischen den beiden beteiligten Institutionen aufgeteilt wurde. Vom UKSH wurden Sedimentproben mit STV versetzt und ebenfalls zwischen beiden beteiligten Institutionen aufgeteilt. Vom Thünen Institut und vom UKSH wurden Fischmuskelproben (Kliesche) bereitgestellt. Diese wurden am UKSH getrocknet, mit STV versetzt und zu gleichen Teilen an alle drei Institutionen verteilt. Die Aufarbeitung und Analyse der Proben erfolgten jeweils an den Institutionen nach den dort etablierten Methoden. Der Bericht mit den Ergebnissen der Interkalibration ist in Task 4.7 dargestellt (siehe Seite 7). Die vorgesehenen Milestones wurden somit von Seiten des UKSH erbracht.

WP4: Ökologische und biologische Untersuchungen in Referenz- und Munitionsversenkungsgebieten

Task 4.3: STVs in marinen Organismen – Gesundheitsbewertung und Vergleich mit Referenzgebieten

M4.3-1 Identifizierung und Beprobung geeigneter Zeigerarten

D4.3-1 Liste mit unterschiedlichen Belastungen von Arten aus Verklappungs- und Referenzgebieten

D4.3-2 Bericht über biologische Effekte untersucht an Organismen von Verklappungs- und Referenzgebieten
D4.3-3 Akkumulation und Verbreitung von STVs in Fischgeweben aus den Untersuchungsgebieten

Das Institut analysierte sowohl Fische (Klieschen) aus der Nordsee als auch Miesmuscheln aus der Ostsee auf Belastungen mit STV sowie mögliche biologische Effekte dieser Schadstoffe. Hierbei wurden stets sowohl Tiere aus STV-belasteten Gebieten als auch Tiere aus Referenzgebieten mit einbezogen. Es wurden in diesem Rahmen chemische Analysetechniken (vgl. CONMAR Final Report – Phase I Kapitel 4) und molekularbiologische Untersuchungen der Carbonylreduktase-Genexpression eingesetzt (vgl. auch Task 4.8 „Untersuchungen zu molekularen Biomarkern zum Effektmonitoring“ u. CONMAR Final Report – Phase I Kapitel 4). Seitens des UKSH wurden somit alle vorgesehenen Milestones und Deliverables erbracht.

Task 4.4: Feldexperimente: Biomonitoring von STVs mit Miesmuscheln
M4.4-1 Bestimmung der Aufnahmegeschwindigkeit von STVs bei Käfig exponierten Muscheln
M4.4-2 Bestimmung der biologischen Effekte bei Käfig exponierten Muscheln
M4.4-3 Vergleich der Ergebnisse aus den Feldstudien mit den Laborexperimenten
D4.4-1 Bericht über gesundheitliche Effekte der Käfig exponierten Muscheln
D4.4-2 Bewertung der STV-Effekte auf das Ökosystem
D4.4-3 Aufbereitung der Ergebnisse für WP 6

Das Institut für Toxikologie führte ein aktives Biomonitoring mit Miesmuscheln im Munitionsversenkungsgebiet „Kolberger Heide“ und in der Lübecker Bucht durch und führte zusätzlich zur chemischen Analytik auf STV auch Untersuchungen zur Genexpression des molekularen Biomarkers Carbonylreduktase durch (vgl. CONMAR Final Report – Phase I Kapitel 4.1). Die Daten wurden nach Abschluss der Auswertung für WP6 aufbereitet und fanden in der im Rahmen dieses Arbeitspaketes erarbeiteten Risikobewertung, Berücksichtigung. Von Seiten des UKSH wurden somit alle Milestones und Deliverables erbracht.

Task 4.5: Laborexposition: Auswirkung von STVs auf den Metabolismus und die Gesundheit
M4.5-1 Durchführung von Laborexperimenten, Test von physiologischen Reaktionen auf die STV-Exposition
M4.5-2 TNT Toxizitätstest mit Fischzellkulturen
M4.5-3 Effekte “realistischer” TNT-Konzentrationen auf die Physiologie und das Immunsystem von Testorganismen
M4.5-4 Retentionszeit von TNT und Metaboliten in Testorganismen
M4.5-5 Aufnahme, Gewebeverteilung, Metabolismus und Ausscheidung von TNT und seiner Metabolite in Testorganismen
M4.5-6 STV Toxizitätstests mit Krebstieren und marinen Kieselalgen (UBA)
D4.5-1 Bericht zu physiologischen Effekten von STV auf Testorganismen
D4.5-2 Bewertung der STV Toxizität auf Fischzellkulturen
D4.5-3 Bewertung “realer” STV Konzentrationen auf Testorganismen
D4.5-4 Bewertung der Retentionszeiten von STVs in Testorganismen
D4.5-5 Bericht über Aufnahme und Verteilung von STVs im Gewebe der Testorganismen
D4.5-6 Bericht zur STV-Toxizität an Krebstieren und Kieselalgen (UBA)

Hier führte das Institut für Toxikologie Laboruntersuchungen mit der einzelligen Grünalge *Chlorella vulgaris* sowie dem Großen Wasserfloh *Daphnia magna* durch. Es wurden unter anderem EC_{50}-Werte für TNT und die Metabolite 2- und 4-ADNT in beiden Arten bestimmt

sowie die Metabolisierung und Exkretion von TNT in Daphnien untersucht. Des Weiteren wurde ein Einfluss von TNT auf die Genexpression der Carbonylreduktase wie in der Miesmuschel auch in *Daphnia magna* nachgewiesen und eine Methode für die Genexpressionsanalyse entwickelt, um die Expression der Carbonylreduktase auch in Daphnien als molekularen Biomarker nutzen zu können. Darüber hinaus wurden Methoden zur Untersuchung der Genexpression von weiteren mit oxidativem Stress assoziierten Genen mittels quantitativer Echtzeit-PCR entwickelt. Details zu den Untersuchungen an Daphnien und *Chlorella* sind im CONMAR Final Report – Phase I in Kapitel 4.4.1 nachzulesen.
Zusätzlich zu den selbst durchgeführten Laborexperimenten war das Institut an der Auswertung von Laborexpositionsversuchen beteiligt, die von anderen Projektpartnern aus dem Konsortium durchgeführt wurden. So wurde für Proben aus einem Expositionsexperiment mit Stichlingen (durchgeführt vom Thünen-Institut) eine Methode zur Untersuchung der Genexpression der Carbonylreduktase entwickelt und auf Proben aus verschiedenen Geweben angewendet (Details siehe CONMAR Final Report – Phase I, Kapitel 4.4.3).
Des Weiteren war das Institut an der Auswertung eines am Alfred-Wegener-Institut durchgeführten Expositionsexperiments mit Miesmuscheln beteiligt. In diesem Experiment wurden zusätzlich zu verschiedenen TNT-Konzentrationen auch verschiedene Wassertemperaturen in die Untersuchungen einbezogen. Neben der chemischen Analytik von Wasser und Muschelgewebeproben auf TNT sowie 2- und 4-ADNT wurden auch hier molekularbiologische Untersuchungen zur Genexpression der Carbonylreduktase durchgeführt. Die Ergebnisse lieferten wichtige Erkenntnisse zur Reaktion des molekularen Biomarkers auf STV-Exposition bei verschiedenen Temperaturen. Es konnten sowohl Ergebnisse aus vorherigen, bereits publizierten Studien bestätigt als auch weitere Erkenntnisse gewonnen werden, vor allem im Hinblick auf die Reaktion der Genexpression auf verschiedene Wassertemperaturen, was angesichts der fortschreitenden Erwärmung der Meere durch den Klimawandel besonders relevant ist. Details zu den molekularbiologischen Untersuchungen können dem CONMAR Final Report – Phase I (Kapitel 4.4.2) entnommen werden. Aktuell (Mai 2025) befindet sich ein Manuskript in Vorbereitung, um die Ergebnisse der Untersuchungen in einem wissenschaftlichen Journal zu publizieren.
Darüber hinaus erfolgte die chemische Analytik von Proben aus dem vom UBA durchgeführten Expositionsexperiment mit Kieselalgen unter Anleitung von Mitarbeiter*innen des Instituts in den Laboren des UKSH. In Kooperation mit dem Alfred-Wegner-Institut wurden Laborversuche zur Depurationskinetik von TNT und seinen Metaboliten in Miesmuscheln durchgeführt. Durch das Institut für Toxikologie wurden Wasser- und Muschelproben untersucht und ausgewertet, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten während der Aufnahme und Ausscheidungsphase des Experimentes genommen wurden. Genaueres zu den Ergebnissen der Untersuchungen finde sich im CONMAR Final Report – Phase I in Kapitel 4.4.2.
Somit wurden seitens des UKSH alle Milestones und Deliverables erbracht.

Task 4.6: STV-Transport zwischen marinen Arten und trophischen Ebenen

M4.6-1 Durchführung von Experimenten zur Bestimmung des Transports von STVs zwischen Arten

M4.6-2 Lokalisation und potentielle Akkumulation von STVs in verschiedenen Geweben

D4.6-1 Dokumentation der Anreicherung und des Transports von STVs in und durch Nahrungsnetze

Das Institut für Toxikologie führte hier zunächst Grundlagenexperimente zur Aufklärung eines möglichen STV-Transports zwischen Arten und trophischen Ebenen in der einzelligen Grünalge *Chlorella vulgaris* und *Daphnia magna* durch. Die Bestimmung der EC_{50}-Werte für TNT und die Metabolite 2- und 4-ADNT in beiden Organismen sowie die Untersuchungen zur Verstoffwechslung und Exkretion von TNT in Daphnien lieferten wichtige Informationen über das Verhalten von STV in lebenden Organismen sowie die von den Organismen tolerierte Konzentrationsbereiche. Details zu den Versuchen sind im CONMAR Final Report – Phase I

in Kapitel 4.4.1 nachzulesen. Darüber hinaus wurden Fütterungsversuche zum STV-Transport zwischen *Chlorella* und Daphnien durchgeführt. Hierbei wurde das Kulturmedium der Mikroalgen in einzelnen Ansätzen jeweils mit TNT, 2-ADNT und 4-ADNT versetzt und die so exponierten Algen anschließend jeweils als Futter für Daphnien verwendet und sowohl Algenbiomasse als auch Wasser und Daphnien auf STV analysiert. Aufgrund von zwischenzeitlich eingeschränkter Verfügbarkeit einzelner Testsubstanzen kam es allerdings zu Verzögerungen in der Versuchsdurchführung und es liegen noch keine endgültigen Ergebnisse vor. Die Untersuchungen werden in der zweiten Förderungsphase beendet und die Ergebnisse entsprechend berichtet.
Das UKSH hat somit alle Milestones und Deliverables erbracht.

Task 4.7: Qualitätssicherung und Erniedrigung des Detektionslimits der STV-Analytik
M4.7-1 Vergleich der Probenanalytik der beteiligten Partner
D4.7-1 Bericht zu Interkalibration von Messmethoden

Die vom UKSH mit bereits etablierten und publizierten Methoden zur Probenpräparation wurden bei jeder Aufarbeitung durch Präparation von Matrixproben und analytischen Blanks und unter Verwendung interner Standards überprüft. Die Qualitätssicherung der analytischen Methoden erfolgte durch Verwendung von externen und internen Standards, wiederholter Messung von Blankproben und Qualitätssicherungsstandards über den Verlauf jeder einzelnen Messserie und durch Dreifachbestimmung jeder Probe. Messungen mit unklaren Ergebnissen wurden auf verschiedenen Geräten wiederholt. Zum Vergleich der Probenanalytik wurde zwischen dem GEOMAR, dem UKSH und dem Thünen-Institut eine Interkalibration durchgeführt, wie unter Task 3.5 beschrieben.
Die Auswertung der Wasser-Interkalibration zwischen dem GEOMAR und dem UKSH ergab, dass beide Institute sowohl in der Richtigkeit, als auch in der Genauigkeit vergleichbare Messergebnisse liefern konnten. Im gespiketen Meerwasser betrug die Wiederfindung zwischen 72.7 ± 3.4 % (1,3-DNB) und 104.8 ± 1.8 % (RDX) beim UKSH und zwischen 59 ± 3 % (RDX) und 92 ± 5 % (1,3-DNB), wobei die TNT-Messung des GEOMAR aufgrund von Messartefakten bei dieser Messung nicht berücksichtigt werden konnte (Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich der Meerwasserproben, gemessen von GEOMAR und UKSH. Die Proben wurden gepoolt genommen und jeweils mit 100 ng/L der STV versetzt.

Institut	**RDX [ng/L]**	**1,3-DNB [ng/L]**	**TNT [ng/L]**	**4-ADNT [ng/L]**	**2-ADNT [ng/L]**
GEOMAR	59 ± 3	92 ± 5	*12 ± 2**	79 ± 2	82 ± 5
UKSH	104.8 ± 1.8	72.7 ± 3.4	104.4 ± 8.8	91.0 ± 5.2	76.3 ± 3.6

*Messung nicht verwertbar aufgrund von technischen Problemen

Bei der Sediment-Interkalibration lagen die Ergebnisse beider Institute weiter auseinander. Möglicherweise ist dies auf kleine STV-Partikel zurückzuführen, die sich eventuell in den Sedimenten befunden haben, da diese aus munitionsbelasteten Gebieten stammen. Ein Hinweis darauf ist, dass in Messungen beider Institute die eigentlich zugegebenen Mengen von 1 ng/g je STV überschritten wurden und die Werte eine sehr hohe Schwankung aufweisen (Tabelle 2). Die erhöhten ADNT-Werte beim UKSH wären dann durch mikrobiellen Umbau zu erklären. Nachgewiesen wurden zwischen 33 ± 3 % (4-ADNT) und 128 ± 22 % (TNT) bei dem vom GEOMAR durchgeführten Messungen und 84 ± 1 % (RDX) und 419 ± 109 % (TNT) vom UKSH.

Tabelle 2: Vergleich der Sedimentinterkalibration, gemessen von GEOMAR und UKSH. Die Proben wurden gepoolt genommen, mit 1 ng/g der STV versetzt und auf beide Institute verteilt.

Institut	RDX [ng/g]	1,3-DNB [ng/g]	TNT [ng/g]	4-ADNT [ng/g]	2-ADNT [ng/g]
GEOMAR	0.67 ± 0.14	0.55 ± 0.11	1.28 ± 0.22	0.33 ± 0.03	0.69 ± 0.09
UKSH	0.84 ± 0.01	0.9 ± 0.05	4.19 ± 1.09	1.25 ± 0.19	1.34 ± 0.13

Die Fisch-Interkalibration wurde zwischen dem GEOMAR, dem UKSH und dem Thünen-Institut durchgeführt. Hierzu wurden vom UKSH unbelastete Fischmuskelproben aus vorangegangenen Untersuchungen mit 50 ng STV pro Gramm Trockengewicht gespiked. Zusätzlich wurden vom Thünen-Institut Fischfiletproben von Fischen bereitgestellt, in deren Galle STV durch das Thünen-Institut nachgewiesen wurden. Die Proben wurden zu gleichen Teilen auf alle drei Institute verteilt. Vom GEOMAR wurden Wiederfindungsraten zwischen 78.2 % (2-ADNT) und 100.8 % (TNT) ermittelt (Tabelle 3). Die Wiederfindung des UKSH lag zwischen 92 ± 5% für RDX und 116.8 ± 6.4 % für TNT, wobei Werte über 100 % auf Matrix-Wechselwirkungen zwischen der Probenmatrix und der verwendeten Gaschromatographiesäule zurückzuführen sind. Die Auswertung der Fischmuskel-Interkalibration zwischen dem GEOMAR und dem UKSH ergab, dass beide Institute sowohl in der Richtigkeit, als auch in der Genauigkeit vergleichbare Messergebnisse liefern konnten. Die Messergebnisse des Thünen Institut lagen leider bis zum Projektende aufgrund technischer Probleme nicht vor.

Tabelle 3: Vergleich der Fischmuskelproben. Die Proben wurden gepoolt mit 50 ng der STV pro Gramm Trockengewicht (Tg) versetzt und dann auf die Institute verteilt. Die Messergebnisse des Thünen Institut lagen leider bis zum Projektende aufgrund technischer Probleme nicht vor.

Institut	RDX [ng/g Tg]	1,3-DNB [ng/g Tg]	TNT [ng/g Tg]	4-ADNT [ng/g Tg]	2-ADNT [ng/g Tg]
GEOMAR	-	39.1	50.4	45.1	33.6
UKSH	46.0 ± 2.5	54.7 ± 4.6	58.4 ± 3.7	49.0 ± 2.0	50.5 ± 2.8
Thünen	Ausstehend	Ausstehend	Ausstehend	Ausstehend	Ausstehend

Das UKSH hat somit alle Milestones und Deliverables erbracht.

Task 4.8: Untersuchungen zu molekularen Biomarkern zum Effektmonitoring

M4.8-1 Nutzung der Carbonyl-Reduktase Gen Expression in Muscheln als molekularer TNT-spezifischer Biomarker

M4.8-2 Verbesserung der Monitoring Strategie durch die Nutzung des Carbonyl-Reduktase Biomarkers

D4.8-1 Etablierung eines Frühwarnsystems bei TNT-Verschmutzung der marinen Umwelt

Das UKSH hat Untersuchungen zur Genexpression der Carbonylreduktase als molekularem Biomarker in Miesmuscheln (*Mytilus* spp.) sowohl an Individuen aus dem Munitionsversenkungsgebiet Kolberger Heide als auch aus in Muscheln aus einem am Alfred-Wegener-Institut durchgeführten laborbasierten Expositionsexperiment durchgeführt (vgl. CONMAR Final Report – Phase I Kapitel 4.1.2 und 4.4.2) Hierbei konnten nicht nur bereits publizierte Ergebnisse erneut bestätigt, sondern auch die Wassertemperatur als weiterer Einflussfaktor auf den molekularen Biomarker identifiziert werden, was vor allem durch die zu erwartende Erwärmung der Meere als Folge des Klimawandels von Bedeutung ist. Des Weiteren wurde eine molekularbiologische Methode für die Untersuchung der Carbonylreduktase-Expression in der Kliesche (*Limanda limanda* L.) entwickelt (vgl. CONMAR Final Report – Phase I Kapitel 4.2.3.4) und an Fischen aus potenziell mit Munition belasteten Gebieten in der Nordsee erstmals angewendet. Somit ist das Institut in der Lage, in Zukunft zusätzlich zu Miesmuscheln auch Klieschen als Organismus für das Monitoring adverser

Effekte von STV heranzuziehen. Die Untersuchungen lieferten insgesamt viele weitere wichtige Erkenntnisse für die Beurteilung der Belastung von marinen Organismen durch aus Munition freigesetzte STV. Von Seiten des UKSH wurden somit alle Milestones erbracht.

WP 6: Toxikologische Risikobewertung von Munition im Meer

Task 6.1: Ökotoxikologische Risikobewertung

M6.1-1 Zusammenführung der Ergebnisse der Laborstudien (WP4) mit Daten aus der Literatur

M6.1-2 Zusammenführung der Ergebnisse der Feldstudien (WP4) mit Daten aus der Literatur

M6.1-3 Risikobewertung für den Menschen für den Konsum von Fisch und/oder anderen Seefrüchten

Für die ökotoxikologische Risikobewertung wurde die bis dato veröffentlichte Literatur aus Fachjournalen sowie technische Berichte und sonstige relevante Studien und Publikationen zusammengetragen, gesichtet und ausgewertet. Hier spielen vor allem eine Vielzahl von Laborstudien eine wichtige Rolle aber auch Publikationen zu STV-Messungen in der Natur, besonders im Wasser, Sediment und verschiedenen Biota. Für die Bewertung wurden zudem die Ergebnisse der chemischen Analytik von Miesmuscheln und Klieschen aus dem CONMAR Projekt (siehe WP4) mit einbezogen. Es hat sich gezeigt, dass auch bei verhältnismäßig niedrigen STV-Konzentrationen negative Auswirkungen auf Muscheln (erhöhter oxidativer Stress, siehe Ergebnisse im CONMAR Final Report – Phase I) und Klieschen (erhöhte Lebertumorrate, siehe Ergebnisse im CONMAR Final Report – Phase I) zu beobachten sind. Eine Erhöhung der Wassertemperatur kann diese negativen Effekte auch noch verstärken. Dies konnte im Rahmen von CONMAR in einem Laborversuch mit Miesmuscheln gezeigt werden, da das Gen der Carbonylreduktase verstärkt exprimiert wurde. Die Carbonylreduktase ist ein Enzym mit wichtigen detoxifizierenden Eigenschaften. Alle Details zur Zusammenführung der Ergebnisse aus Labor- und Feldstudien können dem CONMAR Final Report – Phase I Kapitel 5.1.1 entnommen werden.
Bei den in Biota gemessenen STV-Konzentrationen kann anhand der in CONMAR durchgeführten Risikobewertung eine gesundheitliche Gefährdung für den menschlichen Konsumenten von Fisch und Meeresfrüchten nicht komplett ausgeschlossen werden. Auch hier können die Details zur Berechnung dem CONMAR Final Report – Phase I Kapitel 5.2 entnommen werden. Es wurden somit alle Milestones von Seiten des UKSH erbracht.

Task 6.2: Humantoxikologische Risikobewertung

M6.2-1 Risikobewertung für die belastete Ökosphäre und Vergleich mit Referenzgebieten

D6.2-1 Feststellung der Sicherheit von marinen Seefrüchten aus Nord- und Ostsee für den Menschen

D6.2-2 Empfehlungen zum Verzehr von marinen Seefrüchten aus Munitionsversenkungsgebieten

Auch für T6.2 wurden umfangreiche Literaturrecherchen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Recherchen wurden als Review in einer begutachteten Fachzeitschrift veröffentlicht (Adomako-Bonsu et al. 2024) sowie in zwei Buchkapiteln, die zur Veröffentlichung bei Wiley für das Buch „Munitions in the Underwater Environment“ eingereicht wurden (siehe Abschnitt II.5). Des Weiteren wurde die Feststellung der Sicherheit mariner Seefrüchte und die Empfehlungen zum Verzehr mariner Seefrüchte im CONMAR Final Report – Phase I Kapitel 5.2 und im Buchkapitel „Human impacts – Toxicity and carcinogenicity“ (siehe Abschnitt II.5) eingehend dargestellt.
Im Wesentlichen hat die Feststellung der Sicherheit von marinen Seefrüchten aus Nord- und Ostsee ergeben, dass für den Menschen als Konsumenten von potenziell kontaminierten

Meeresfrüchten gesundheitliche Auswirkungen nicht völlig ausgeschlossen werden können. Allerdings sind die Konzentrationen in Miesmuscheln und dem Filet als essbarem Teil des Fisches derzeit so gering, dass für den Menschen beim Verzehr keine Gefahr besteht. Mit fortschreitender Korrosion ist jedoch mit einer verstärkten Freisetzung von STV aus Unterwassermunition zu rechnen, was in Zukunft zu toxischen Konzentrationen in Meeresfrüchten führen kann. Als Empfehlung sollte somit auf einen Konsum von Fisch und Meeresfrüchten aus entsprechend belasteten Gebieten im Rahmen des vorsorglichen Gesundheitsschutzes generell verzichtet werden. Es konnten somit alle Milestones und Deliverables wie beantragt erfüllt werden.

II.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis wird in einem separaten Dokument von der Stabsstelle der Drittmittelbewirtschaftung Kiel des UKSH übermittelt.

II.3 Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Alle Arbeiten wurden wie im Projektantrag beschrieben durchgeführt und waren somit notwendig, um die im Antrag formulierten Forschungsziele zu erreichen.

II.4 Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses – auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die generierten Daten und Ergebnisse liefern die Grundlage für Kommunikation mit verschiedenen Stakeholdern wie z.B. der Fischereiwirtschaft. Auch die allgemeine Öffentlichkeit kann durch die gewonnenen Erkenntnisse zielgruppengerecht über die Auswirkungen von Munition im Meer informiert werden. Eine besondere Bedeutung kommt hier der im Rahmen von CONMAR erstellten Risikobewertung zu, die unter anderem das Risiko für Konsument*innen von Meeresfrüchten zum Thema hat und auf deren Grundlage die Aussage getätigt werden konnte, dass zum aktuellen Zeitpunkt der Verzehr von Meeresfrüchten noch ohne Gefahr für die Gesundheit durch STV möglich ist.
Des Weiteren ist der molekulare Biomarker „Carbonylreduktase“ sowohl im akademischen wie auch ggf. im wirtschaftlichen Kontext von Relevanz. Wissenschaftlich gesehen dienen die molekularbiologischen Untersuchungen der Carbonylreduktase der Beurteilung der Gesundheit von Organismen wie z.B. Miesmuscheln, Fischen oder Krebstieren. Eine Erweiterung der Methode auf andere in aquatischen Ökosystemen relevante Spezies ist denkbar und könnte weitere wertvolle Daten liefern, um den Zustand des Ökosystems zu bewerten. Ferner wäre eine Nutzung als „Early Warning System“ in kommerziellen Fischzucht- und Aquakulturanlagen zur Beurteilung der Gesundheit von Miesmuscheln sowie Fischgesundheit denkbar.
Ergebnisse aus der chemischen Analytik können als Vergleichswerte für ein weiteres Monitoring von Biota-Belastungen durch STV herangezogen werden und so dazu beitragen, eine steigende Freisetzung der Schadstoffe früh zu erkennen und ggf. die resultierende Risikobetrachtung zu aktualisieren.

II.5 Der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit von CONMAR wurden noch weitere nationale wie auch internationale geförderte Projekt zum Thema Munition im Meer durchgeführt. Aus Sicht des UKSH sind hier Ergebnisse relevant, die sich mit dem Erfassen von biologischen Effekten von

STV auf marine Organismen beschäftigt und zudem STV in Wasser, Sediment und Biota gemessen haben. So konnte beispielsweise im Interreg-Projekt „North Sea Wrecks“ (NSW) nachgewiesen werden, dass auch an mit Munition beladenen Schiffswracks STV in Wasser und Sediment übergehen sowie in Fische, die in der Nähe der untersuchten Wracks gefangen wurden. Im vom Umweltbundesamt geförderten Projekt „Trends und Daten zur Verbreitung von Munitionsresten in der Meeresumwelt“ (TATTOO) konnten unter anderem STV in Miesmuscheln der Umweltprobenbank des Bundes nachgewiesen werden, die zur Jahrtausendwende in der Nord- und Ostsee gesammelt wurden. Zudem konnten STV in Plattfischen detektiert werden, sie im Rahmen des Ländermonitorings bei den Ostfriesischen Inseln gefangen wurden. Die beiden hier genannten Projekte sind somit zwei Beispiele, die zeigen, wie wichtig und ausschlaggebend Arbeiten im Zusammenhang mit Munitionsaltasten in den Meeren sind.

II.6 Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF

Publikationen:

Adomako-Bonsu AG, **Jacobsen J**, **Maser E**. Metabolic activation of 2,4,6-trinitrotoluene; a case for ROS-induced cell damage. Redox Biol. 2024 Jun;72:103082. doi: 10.1016/j.redox.2024.103082. Epub 2024 Feb 15. PMID: 38527399; PMCID: PMC10979124.

Ein Sonderdruck der Publikation ist dem Bericht im Anhang beigefügt.

Strehse J, **Maser E**. Human impacts – Toxicity and carcinogenicity. In: Munitions in the underwater environment, AGU books, Wiley, Hoboken (NJ) USA. Zur Veröffentlichung eingereicht.

Adomako-Bonsu AG, Jacobsen J, Maser E. Cellular and molecular toxicity mechanisms of the explosive TNT. In: Munitions in the underwater environment, AGU books, Wiley, Hoboken (NJ) USA. Zur Veröffentlichung eingereicht.

Bünning L, Maser E. Munition as a source of toxic metals. In: Munitions in the underwater environment, AGU books, Wiley, Hoboken (NJ) USA. In Vorbereitung.

Lindemeyer, J., **Hartmann, L.**, Schuster, R., Brenner, M., **Bünning, L.**, **Strehse, J.**, **Maser, E.** TNT contamination combined with elevated water temperatures induces carbonyl reductase gene expression in the blue mussel M. edulis – another climate change influenced stressor impact? Manuskript in Fertigstellung

Gabel M, Pohlmann J-D, **Lindemeyer J**, Töpker V, Subramani PA, Koslowski H, Riemeier L, Gennaraki MA, **Strehse JS**, **Maser E**, Kammann UKR, Scharsack JP. Long-term exposure of sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* L.) to environmentally relevant concentrations of the explosive trinitrotoluene (TNT). Manuskript in Fertigstellung

Bünning L, Strehse J, Scheer L, Lindemeyer J, Gundlach M, Maser E. Chemical analysis of planted blue mussels and passive samplers for munition components in the Kolberger Heide between 2022 and 2023. Pangaea Datensatz. In Vorbereitung

Bünning L, Strehse J, Scheer L, Lindemeyer J, Gundlach M, Maser E. Chemical analysis of planted blue mussels and passive samplers for munition components from munition piles in the Bay of Lübeck. Pangaea Datensatz. In Vorbereitung

Bünning L, Strehse J, Brüning, R, Brenner M, Schuster R, Scheer L, Lindemeyer J, Gundlach M, Maser E. Chemical analysis of common dab for munition components caught in the German North Sea during RV Heincke HE622 Cruise. Pangaea Datensatz. In Vorbereitung

Bünning L, Strehse J, Brüning, R, Brenner M, Schuster R, Scheer L, Lindemeyer J, Gundlach M, Maser E. Chemical analysis of common dab for munition components caught in the German North Sea during RV Heincke HE635 Cruise. Pangaea Datensatz. In Vorbereitung

Bünning L, Strehse J, Brüning, R, Scharsack J, Scheer L, Lindemeyer J, Gundlach M, Maser E. Chemical analysis of common dab for munition components caught in the German North Sea during RV Solea SOL816. Pangaea Datensatz. In Vorbereitung

Vorträge und Poster:

Strehse J: „Monitoring von Munitionsversenkungsgebieten in Nord- und Ostsee: Analytische Herausforderungen und aktuelle Forschungsprojekte“, Fachtagung Kampfmittelbeseitigung 2022, Bad Kissingen, 21.02.2022

Maser E: „Toxische Wirkungen von TNT auf Meeresorganismen und den Menschen - Eintrag in die Nahrungskette, Risikobewertung, TNT-Nachweis mittels Biomarker“, Fachtagung Kampfmittelbeseitigung 2022, Bad Kissingen, 21.02.2022

Bünning T: „Munition im Meer - Toxikologische Risikobewertung“, Öffentlicher Vortrag im Rahmen des ‘North Sea‘ CONMAR Meeting, Wilhelmshaven, 03.05.2022

Maser E: „Toxikologische Risiken von versenkter Kriegsmunition – (k)ein Problem?“, Eckernförde, 09.05. 2022

Maser E: „Sea Dumped Explosive Chemicals: Analysis, Toxicity and Risk Assessment of World War Relicts”, online Vortrag bei TNO, The Netherlands 16.06.2022

Kieler Woche 2022, Vorträge im Ocean.Dome, Kiel:
Bünning T: „Muscheln, Minen und Me(e/h)r – Umweltproblem Altmunition“, 20.06.2022
Strehse J: „Muscheln, Minen und Me(e/h)r – Umweltproblem Altmunition“, 23.06.2022

Maser E: „Toxikologische Risiken von versenkter Kriegsmunition – (k)ein Problem?“, „Maritimes Viertel“ in Kiel 26.06.2022

Strehse J: „Ökologische Auswirkungen – TNT in Muscheln“, Deutschlandreise von Außenministerin Annalena Baerbock, Rostock 14.07.2022

Maser E: „Toxikologische Risiken von versenkter Kriegsmunition – (k)ein Problem?“, Scharbeutz, 17.08.2022

Maser E: „Toxikologische Risiken von versenkter Kriegsmunition – (k)ein Problem?“, Travemünde 24.08.2022

Maser E: „Toxikologische Risken von versenkter Kriegsmunition – (k)ein Problem?“, Gemeinsame Jahrestagung der SETAC GLB und der GDCh-FG Umweltchemie und Ökotoxikologie, Emden, 06.09.2022

Maser E: “Sea Dumped Explosive Chemicals: Analysis, Toxicity and Risk Assessment of World War Relicts”, Summerschool, Terschelling, 27.09.2022

Bünning T: “Was ist Toxikologie / Muscheln, Minen und Mee/hr – Umweltproblem Altmunition“, Rent-a-Scientist, Kiel, 29.09.2022

Maser E: “Sea Dumped Explosive Chemicals: Analysis, Toxicity and Risk Assessment of World War Relicts”, Ostsee-Parlamentarier-Konferenz; Bundestag, Berlin, 21.11.2022

Strehse J: “Munitions in the Sea – Analysis, Toxicity and Risk Assessment of World War Relicts”, Baltic Sea Youth Dialogue – Civil Security Edition, Hamburg, 24.11.2022

Strehse J: „(Umwelt-)Toxikologie als Forschungsfrage“, Vortrag beim THW Landesverband HHMVSH, Kiel, 16.01.2023

Strehse J: „Munition im Meer - neuste Forschungsergebnisse aus Nord- und Ostsee“, Fachtagung Kampfmittelbeseitigung 2023, Bad Kissingen, 14.03.2023

Bünning T: „Muscheln, Minen und Mee/hr – Umweltproblem Altmunition“, BUND Campus, 22.04.2023

European Geosciences Union – General Assembly, Wien, 23.-28.04.2023:
Posterbeitrag: Binder F, Bünning T, Strehse J, Maser E, Brenner M. Depuration kinetics of TNT and its metabolites in lab exposed blue mussels (*Mytilus edulis*, L.)
Posterbeitrag: Maser E, Bünning T, Strehse J. Toxicological consequences of sea-dumped munitions
Pressekonferenz mit Vorstellung des Posterbeitrags „Toxicological consequences of sea-dumped munitions“ durch Prof. Dr. Edmund Maser (https://www.youtube.com/watch?v=ffNrkPFpJ0Q)

Bünning T: „Muscheln, Minen und Mee/hr“, Ocean Science Show, 28.04.2023

Maser E: „Munition im Meer – Auswirkungen auf Umwelt, marine Organsimen und den Menschen als Konsumenten von Meeresfrüchten“, sustainMare Ringvorlesung (online), 31.05.2023

Strehse J: Gallery Walk mit Vortrag über die Arbeiten des Toxikologischen Instituts zum Thema Munition im Meer. 20. Treffen des Ostseerates, Wismar, 01.06.2023

Maser E: “The impact of dumped munitions in the Baltic Sea on ocean health – potential risk and current challenges”, Jahrestreffen der Medical Life Science Graduierten, Kiel, 14.06.2023

Maser E, Strehse J: „Munition als Kriegshinterlassenschaften, Traumata für das Meer, Toxikologische Aspekte“, Vortragsreihe im Rahmen der Ausstellung „Bomben und Traumata – Unheimliche Hinterlassenschaften des Krieges“ im Flandernbunker/Mahnmal Kilian, Kiel, 18.7.2023

Maser E: “Monitoring of explosive chemicals in North Sea ship wrecks: analysis, toxicology, and risk assessment”, Kick Off -Meeting des Interreg-Projekts REMARCO in Bremerhaven (16.-17.8.2023)

Maser E: gemeinsamer Vortrag mit Prof. Dr. Christian Peifer bei der „Night of the Profs“ der CAU Kiel mit dem Titel „Anthropogene Rückstände in der Umwelt: Was wissen wir und was können wir tun?“, 17.11.2023

Maser E: "Munition im Meer - gesundheitliche Gefahren aus den Weltkriegen", Internationale Naturschutzakademie auf der Insel Vilm, 11.01.2024

Maser, E: "Mögliche Auswirkungen von Munitionsbelastungen auf Habitate, absehbare und potentielle Effekte auf das Ökosystem", BfN Bundesamt für Naturschutz (online), 11.01.2024

Maser E: Vortrag „Toxikologische Gefahren in der Ostsee“ Rotary Club Großhansdorf, 29.01.2024

Maser E: „Munition im Meer“, Kampfmittelräumdienst Niedersachsen (online), 25.02.2024

Strehse J: „Munition im Meer – neues aus der Forschung in Nord- und Ostsee“, Fachtagung Kampfmittelbeseitigung 2024, Bad Kissingen, 04.03.2024

Maser E: „UXO in the Marine Environment”, Oceanology International Conference, London (online), 12.03.2024

Maser E: Informationsveranstaltung des MEKUN SH zur Pilotbergung, Schönberger Strand, 26.03.2024

Maser E: „Toxicological consequences of Munition in the Sea", Vortrag beim Rotary Club Timmendorfer Strand, 16.04.2024

Maser E: Vortrag „Warum TNT nicht nur explodieren kann, sondern auch toxisch ist“ im Rahmen der Ringvorlesung „Ausgewählte Kapitel der Toxikologie und Umweltmedizin“ des Instituts für Toxikologie und Pharmakologie für Naturwissenschaftler, UKSH, 17.04.2024

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Europe 34th Annual Meeting, Sevilla, Spanien, 05.09.05.2024:
Vortrag: Maser E, “How Contaminated is our Fish with Munition Chemicals”
from World War Relics
Poster: Lotufo G, Rosen G, Maser E, Strehse J: Munitions at Sea: Making ecotoxicological sense out of a littered seafloor – spatial and temporal considerations.

Maser E: Vortrag “Munition im Meer”, Schleswig-Holsteinische Universitäts-Gesellschaft, Trappenkamp, 23.05.2024

Maser E: Vortrag „Refinement of analytical techniques for the detection of munition Compounds“ Seminarreihe Institut für Pharmakologie, Kiel, 27.05.2024

Lindemeyer J: Science Slam Kurzvortrag „Modernde Minen – das giftige Erbe der Weltkriege“, vocatium 2024, Kiel, 06.06.2024

Infoveranstaltung Munitionsbergung – jetzt geht’s los!“ am Geomar, Kiel, 24.06.2024
Vortrag: Maser E: „Toxikologische Auswirkungen mariner Munition“
Poster: Jacobsen J, Meurer A, Maser E: „Effects on the freshwater organisms *D. magna* and *C. vulgaris* of TNT and its metabolites 2-ADNT and 4-ADNT”

Maser, E: „Wie versenkte Kriegsmunition unsere Meere gefährdet“, Informationsveranstaltung „SOS für die Ostsee –Teil II“ (SPD), Haffkrug, 15.072024

Maser, E: „Munition im Meer“, ATLAS GmbH (online), 23.07.2024

Maser E: „Wie versenkte Kriegsmunition unsere Meere gefährdet“, Informationsveranstaltung Pilotbergung (NABU), Flensburg, 10.09.2024

Bünning, T: Vortrag “Wie versenkte Kriegsmunition unsere Meere gefährdet”, Veranstaltung Wasserrahmenrichtlinie (MEKUN), Rendsburg, 18.09.2024

sustainMare Missionstreffen, Hamburg, 24./25.09.2024
Posterbeiträge: Jacobsen J, Meurer A, Maser E: „Effects on the freshwater organisms *D. magna* and *C. vulgaris* of TNT and its metabolites 2-ADNT and 4-ADNT"
Bünning T, Strehse J, Maser E: Bay of Lübeck: A five-year study on its contamination with energetic compounds prior to munition remediation.

Lindemeyer, J: Science Slam Kurzvortrag „Modernde Minen – das giftige Erbe der Weltkriege", Science Day Kiel Region, Kiel, 27.09.2024

Maser E: „Wie versenkte Kriegsmunition unsere Meere gefährdet", Informationsveranstaltung Pilotbergung „Munition im Meer: Risiken und Chancen", Büsum (IHK), 08.10.2024

Maser, E: Vortrag "Kann man den Fisch aus Munitionsversenkungsgebieten noch essen?" im Rahmen der Ringvorlesung „Ausgewählte Kapitel der Toxikologie und Umweltmedizin" des Instituts für Toxikologie und Pharmakologie für Naturwissenschaftler, UKSH, 06.11.2024

Maser, E: „Munition im Meer", Schleswig-Holsteinische Universitäts-Gesellschaft, Plön, 07.11.2024

Lindemeyer, J: Science Slam Kurzvortrag in niederdeutscher Sprache bei der Veranstaltung „Plattdüütsch allerbest" in der Landesvertretung SH, Berlin, 07.11.2024

Lindemeyer, J: „1,6 Millionen Tonnen unter dem Meer – Wie verklappte Munition unsere Meere bedroht", „Night of the Profs" der CAU, Kiel, 15.11.2024

Bünning, T: „Fisch aus Munitionsversenkungsgebieten – Kann man den (noch) essen?", Dialog Küstenfischerei, Eckernförde, 27.11.2024

<u>Abschlussarbeiten und Forschungspraktika</u>:

- Wahlpflichtfach für Studierenden der Pharmazie SoSe 2022: Analytik von Miesmuscheln und Wasser auf STV, Expression des Gens CR in Miesmuscheln
- Wahlpflichtfach für Studierende der Pharmazie SoSe 2023: Genetische Untersuchungen in Miesmuscheln und Fischen, chemische Analytik zur Detektion von STV in Miesmuscheln und Sediment
- Forschungsprojekt im Rahmen von biol205 WS 2023: Julian Schmunz – Induktion von Genen der kurzkettigen Dehydrogenasen/Reduktasen (SDR) durch Sprengstoffrückstände in Miesmuscheln (*Mytilus* spp.)
- Forschungsprojekt im Rahmen von biol205 SoSe 2024: Lili Hartmann – Änderungen in der Expression der Carbonylreduktase in *Mytilus* spp. durch TNT-Exposition bei verschiedenen TNT-Konzentrationen, Temperaturen und Expositionszeiträumen
- Masterarbeit: Romy Brüning – Optimierung zur quantitativen Analyse von sprengstofftypischen Verbindungen in verschiedenen Körpergeweben von *Limanda limanda*, November 2024