

“At the Paardenmarkt dumping site, microbial communities quietly evolve, emerging as nature's allies in the slow but steady process of degrading warfare agents and cleansing the remnants of our military history ”

DISARM, 2024

Plan van Aanpak Paardenmarkt

2024-2028

FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de
Voedselketen en Leefmilieu – DG Leefmilieu –
dienst Marien Milieu



Volksgezondheid
Veiligheid van de Voedselketen
Leefmilieu

Inhoudsopgave

Inleiding.....	2
Korte historiek.....	3
1. Internationale problematiek	3
2. België	4
Identificatie van gevaren en risico's	6
1. Polluenten	7
2. Acute vrijstelling	9
3. Chronisch vrijkomen van polluenten	10
4. Explosiviteit	12
5. Corrosie.....	14
6. Ecotoxicologische effecten.....	15
7. Vervuiling zoetwaterlens.....	18
8. Biogene gassen	18
9. Externe factoren.....	19
Monitoringstrategie	21
1. Sedimentlaag.....	21
2. Lokalisatie en diepteligging munitie	25
3. Staalname en analyse sediment en bovenliggend water	26
Oplossingsstrategie	29
1. Ruiming en vernietiging	29
2. Overkapping	32
3. Nulstrategie.....	34
4. Monitoring	35
4.1 Chemische monitoring.....	35
4.2 Geofysische monitoring	36
5. Modellerings.....	37
6. Bioremediatie	39
7. Bereiken kantelpunt	39
8. Bijkomende onderzoeken en hun prioriteit	40
Algemeen besluit.....	45

Inleiding

Ter hoogte van de kust van Knokke-Heist bevindt zich de munitiestortplaats “Paardenmarkt”, zo genoemd naar de zandbank waar ze op ligt. Activiteiten die de bodem beroeren, zoals visserij, voor anker gaan en zandontginning, zijn er verboden. De toestand en de evolutie van de site worden nauwgezet opgevolgd via studies en een jaarlijks monitoringprogramma moet eventuele lekken op tijd detecteren. Zo werden in 2018 voor het eerst sporen teruggevonden van stoffen afkomstig uit de munitie. Deze vaststelling werd bevestigd tijdens gerichte staalnamecampagnes in de hierop volgende jaren.

De dienst Marien Milieu van de FOD Volksgezondheid heeft in opdracht van de minister van Noordzee een plan van aanpak voor de periode 2024-2028 uitgewerkt, dat beoogt de huidige situatie ter hoogte van de munitiedumpplaats te schetsen en het beheersplan voor de komende jaren voor te stellen om tot een gedragen beleidsaanpak te komen voor de Paardenmarkt-site.

Drie onderwerpen worden behandeld namelijk:

- **Identificatie van de gevaren en de risico's**
Welk gevaar vormt de munitiedumpplaats voor het mariene milieu en de volksgezondheid? Welke risico's zijn hieraan verbonden?
- **Monitoringstrategie**
Op welke manier worden gevaren en risico's op de Paardenmarkt opgevolgd? Voldoet de huidige monitoringstrategie of zijn bijkomende inspanningen nodig?
- **Oplossingsstrategie**
Is de 'nulstrategie' (de site zoveel mogelijk met rust laten) nog steeds de meest aangewezen manier om de Paardenmarkt te benaderen? In welke situatie dient hiervan afgestapt te worden? Wanneer wordt afgestapt van de nulstrategie, welke alternatieve strategie moet dan gehanteerd worden?

Er wordt hierbij gebruik gemaakt van de vele studies en rapporten die tot op heden werden uitgevoerd, met bijzondere aandacht voor diegene uitgevoerd tijdens de laatste vier jaar en eventuele nog lopende opdrachten.

Het verbeterde inzicht in de huidige situatie ter hoogte van de Paardenmarkt is het resultaat van een goede samenwerking tussen verschillende experts die nauw betrokken zijn bij onderzoek over de Paardenmarkt. Deze zijn onder meer afkomstig van de Defensielaboratoria – Laboratoires de la Défense (DLD), het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN), het Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), de Universiteit van Gent (UGent), de Universiteit van Antwerpen (UA), de Hoge Zeevaartschool, de Koninklijke Militaire School (KMS) en deskundigen binnen gespecialiseerde firma's. Het voorliggende plan is het resultaat van vele bi- en multilaterale gesprekken en feedback op pertinente vragen doorheen de jaren en geldt als advies aan de regering. Het draagvlak binnen en buiten de overheid, alsook de budgettaire haalbaarheid, dienen vooralsnog onderzocht te worden.

Korte historie

1. Internationale problematiek

Na WO I en II bleef in heel wat landen afgedankte munitie achter. Tot de jaren '70, meer bepaald tot het in werking treden van "The Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter" in 1972, gebeurde bewuste verwijdering van onbruikbare of ongewenste munitie vooral in de oceaan. Dumpingoperaties werden door 40 landen uitgevoerd, vooral door de Verenigde Staten, Frankrijk, Groot-Brittannië, Japan en Rusland. In de Verenigde Staten waren deze operaties, die startten in 1919 na WO I, gebonden aan bepaalde regels namelijk dat de dumping moest plaatsvinden in mariene wateren, op dieptes van minstens 30m en minstens 65km van de kust. Vele andere landen hielden zich niet aan dergelijke voorwaarden, met dumping in kustgebieden en zelfs rivieren en meren als resultaat. De munitie betrof enerzijds restanten uit fabrieken en opslagplaatsen, maar bijkomend werden ook bewapende en ingezette maar niet tot ontploffing gebrachte mijnen, niet-ontploffte munitie en wrakken van schepen die munitie vervoerden, gedumpt in mariene kustgebieden.

Gedumpte munitie is bijgevolg te vinden ter hoogte van de Atlantische, Stille en Indische oceaan, de oost- en westkust van Canada en de Verenigde Staten, de Golf van Mexico, Australië, Nieuw-Zeeland, India, de Filipijnen, Japan, Groot-Brittannië en de Ierse kust, en de Caribische, Zwarte, Rode, Baltische, Middellandse en Noordzee. De Afrikaanse en Zuid-Amerikaanse kusten zijn relatief onaangestast.

Over het algemeen is weinig geweten over de locatie en de hoeveelheid gedumpte munitie. In Europa bestaan geïdentificeerde dumpplaatsen in de Noordzee (langs de kusten van België, Nederland en Duitsland), de Ierse Zee, de Golf van Biskaje, de Adriatische Zee en de Baltische Zee. Samen met conventionele munitie werden ook chemische strijdagentia gedumpt, vooral mosterdgas, maar ook kleinere hoeveelheden arseenmiddelen zoals Clark I & II, Adamsiet en Lewisiet.

In totaal zijn wereldwijd 127 dumpplaatsen gedocumenteerd, terwijl er vermoedelijk meer dan 300 bestaan. Een interactieve map voor dumpsites met chemische munitie werd opgemaakt door *The James Martin Center for Nonproliferation Studies* (zie Figuur 1). Omdat chemische strijdagentia gewoonlijk samen met conventionele explosieven werden gedumpt, en er meer gedetailleerde informatie beschikbaar is met betrekking tot de dumpactiviteiten van de eerste, kan [deze interactieve kaart](#) worden beschouwd als een betrouwbare bron voor de identificatie van de zwaarst getroffen gebieden.



Figuur 1. Interactieve map van dumpsites met chemische munitie (*The James Martin Center for Nonproliferation Studies*)

2. België

Na WO I werd België geconfronteerd met grote hoeveelheden overgebleven munitie. De opslag hiervan hield risico's in en leidde vaak tot dodelijke incidenten. Het waren vooral de projectielen met toxische inhoud die een probleem vormden; de conventionele projectielen met een explosieve inhoud konden in een kuil tot ontploffing worden gebracht. De Belgische regering besliste over te gaan tot dumping van deze "*remnants of war*" in zee, meer bepaald ter hoogte van de zandbank Paardenmarkt, "*un banc absorbant*" waarin de munitie zou wegzinken en onder het slib verdwijnen. Gedurende een periode van ongeveer 6 maand werd in juli/augustus 1919 - januari 1920 net vóór de kust van Knokke-Heist en ten oosten van de haven van Zeebrugge munitie gedumpt. Over de dumpingoperatie zelf is weinig geweten gezien weinig documenten werden bewaard.

De dumpingoperatie raakte echter in de vergetelheid tot men in 1971 bij de uitbreidingswerkzaamheden aan de haven van Zeebrugge op een aanzienlijke hoeveelheid projectielen stootte. Duikers van de Zeemacht troffen op 17 plaatsen munitie aan, waarvan na controle 3 een toxische inhoud bleken te hebben. De munitie was gedeeltelijk bedekt met sediment en bleek in opmerkelijk goede staat te zijn. Vele projectielen bleken aan elkaar geklit. De heer Willy Pladys, directeur van de firma Decloedt en telg van een familie die al sinds 1876 baggerwerken vóór de Belgische kust uitvoerde, wist in 1971 op basis van familiale overlevering te vertellen dat in 1920 munitie in zee werd gedropt op die plaats, vrijwel een half jaar lang en geschat op 300 ton per dag. Een eenvoudige rekensom leidde toen tot de nog steeds gebruikte ruwe schatting van 35.000 ton munitie. Opruimen bleek onmogelijk waardoor in 1972 een vierkante verbodszone werd ingesteld waarbinnen ankeren en vissen niet toegelaten was.

In 1988 werd met het oog op capaciteitsvergroting van de haven van Zeebrugge nieuwe aandacht gegeven aan de munitiestortplaats. Er werd vanuit gegaan dat één op drie van de projectielen een toxische inhoud zou bevatten, de verhouding in het Duitse artillerieverbruik op het einde van de oorlog, én dat het meestal ging om niet-afgevuurde projectielen uit opslagplaatsen die na de wapenstilstand werden opgeruimd. Voor het eerst werd seismisch en magnetisch onderzoek op de Paardenmarkt uitgevoerd. Gezien enkele magnetische zones zich buiten de verbodszone bevonden, werd de zone waarbinnen een anker- en visverbod bleef gelden in 1989 uitgebreid tot een vijfhoek, waarvan de coördinaten tot op vandaag gelijk zijn gebleven (zie Figuur).



Figuur 2. Satellietfoto van de omgeving van de Paardenmarkt, incl. de afgebakende pentagonale zone met haar coördinaten en afstand tot de haven van Zeebrugge, de basislijn en de gemeente Knokke-Heist

Sinds 1988 werd geen munitie meer waargenomen op de zeebodem. De uitbreiding van de haven van Zeebrugge in de jaren '70 creëerde een wijziging in het stromingspatroon van het gebied, met aanzienlijke sedimentafzetting op de Paardenmarkt. De nabijheid van de baggerstortplaats ten noordoosten van het gebied, kan hieraan bijgedragen hebben. De dikte van de sedimentlaag wordt momenteel geschat op één tot vijf meter.

In 1995 werd de Dienst voor het Leefmilieu van het Ministerie van Sociale Zaken, Volksgezondheid en Leefmilieu¹ bevoegd voor het beheer van de munitiestortplaats. Er werd een monitoringscampagne opgezet en er werden studies uitgevoerd om beter zicht te krijgen op de situatie ter hoogte van de site en om eventuele lekkage op te sporen. In 2018 werden voor het eerst sporen aangetroffen van springstofresten, centraal in de site, wat werd bevestigd in de hierop volgende jaren. In 2020 werd een vierjarenplan opgemaakt waarbij de monitoring serieus werd opgeschaald, o.a. met een verdubbeling van het aantal geanalyseerde stalen, en studies werden voorgesteld om de risico's op korte en lange termijn te onderzoeken. In 2020 ging tevens het DISARM onderzoeksproject van start (www.disarm.be/nl). Dit project, dat loopt tot medio 2024, richt zich op het invullen van belangrijke kennislacunes die richtinggevend kunnen zijn voor de toekomstige monitoring en het beheer van de site.

¹ Sinds 01 oktober 2002 het Directoraat Generaal Leefmilieu van de Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu.

Identificatie van gevaren en risico's

Elk gevaar en risico met betrekking tot de munitiestortplaats Paardenmarkt kan herleid worden naar de duizenden ton munitie die er werd gestort na WO I en naar twee scenario's.

Eén scenario leidt tot het vrijkomen van chemicaliën in het milieu. Dit kan van chronische aard zijn door trage maar gestage lekkage van de in munitie aanwezige polluenten ten gevolge van corrosie, of een acuut karakter hebben wanneer een externe impact op de site (bv. stranding van een schip) aanleiding geeft tot de plotse vrijstelling van hoge concentraties.

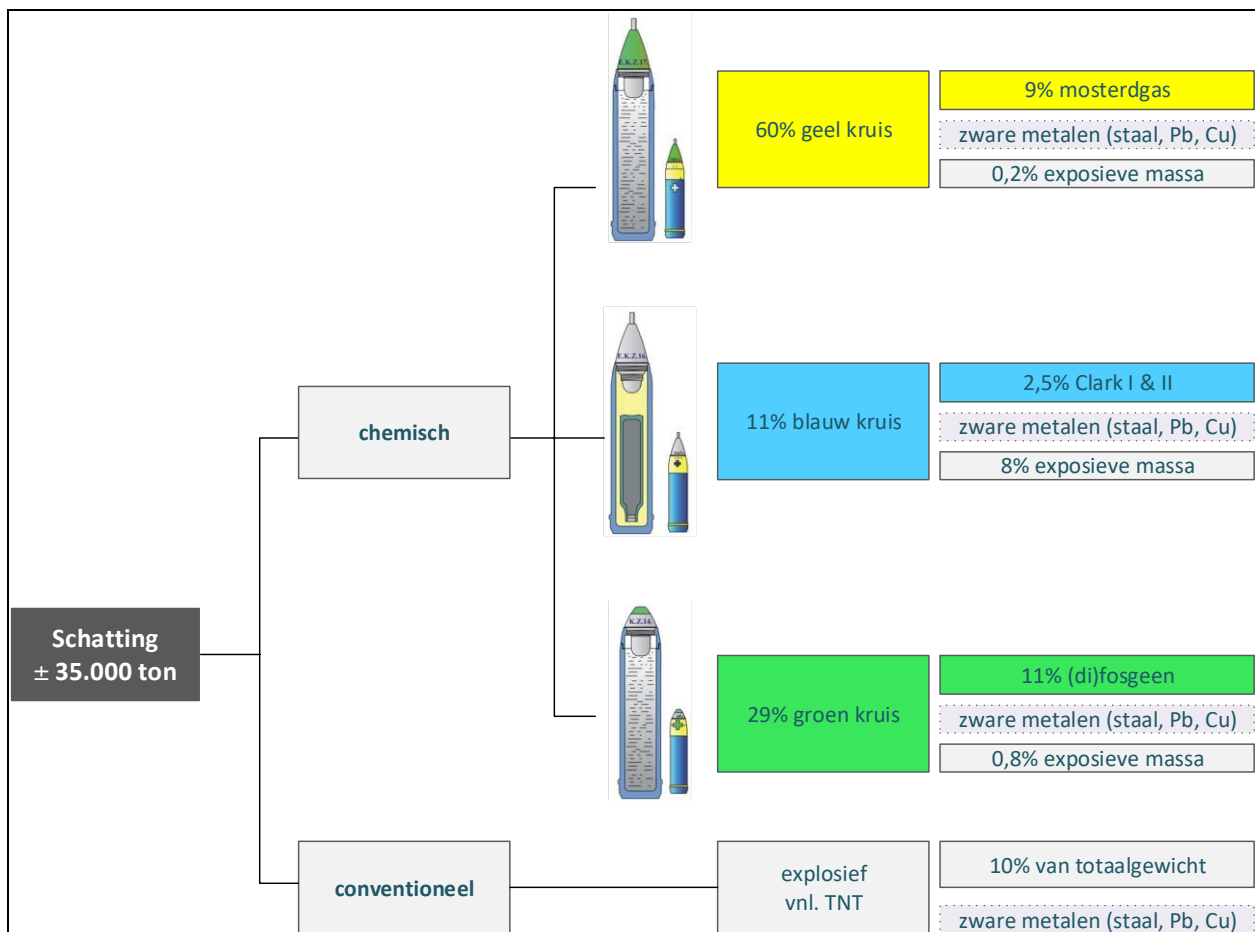
Scenario twee betreft een explosie ter hoogte van de site. Spontane ontploffing van munitie is zeer onwaarschijnlijk; na externe impact kan mogelijk wel explosie van een aantal projectielen optreden.

De gevaren en risico's verbonden aan deze scenario's worden elk afzonderlijk besproken. Het gaat hierbij om:

- Polluenten
- Acute vrijstelling
- Chronisch vrijkomen van polluenten
- Explosiviteit
- Corrosie
- Ecotoxicologische effecten
- Vervuiling zoetwaterlens
- Biogene gassen
- Externe factoren

1. Polluenten

Er wordt uitgegaan van de hypothese dat 35.000 ton munitie op de zandbank Paardenmarkt werd gestort en dat één derde chemische munitie betreft met toxische agentia zoals yperiet, Clark I & II, chloorpicrine en (di)fosgeen (zie België). De precieze hoeveelheid en types gedumpte munitie op de Paardenmarkt weet echter niemand. Parlementaire vragen en krantenartikelen uit 1919 en 1920 maken melding van 50.000 à 200.000 ton niet-afgevuurde projectielen opgeslagen in dépôts en op treinwagons. Daarnaast waren er ook nog de afgevuurde maar niet geëxplodeerde projectielen verspreid over de slagvelden. Ook het aandeel toxische projectielen kan sterk afwijken van de vooropgestelde hypothese gezien het vooral deze waren die niet op land konden vernietigd worden en dus in zee zouden kunnen gestort zijn. Tot op heden is er geen duidelijkheid over de massa en het type munitie met als gevolg de noodzaak om de huidige hypothese aan te houden.



Figuur 3. Zeer ruwe schatting van de indeling van de projectielen naargelang hun type op de Paardenmarkt en de massafractie van hun bestanddelen, op basis van de ervaring te Poelkapelle in 1993

Het gewicht van individuele projectielen varieerde per gedumpt kaliber; deze situeren zich tussen de 7,7 (grootteorde 6 kg) en 15cm (grootteorde 40 kg). De hoeveelheid chemicaliën, incl. het aandeel explosieven, hangt af van het type munitie. Een aantal aannames worden gedaan om tot een zeer ruwe schatting te komen van de munitie en hun polluenten aanwezig op de Paardenmarkt. Zo wordt uitgegaan

van de ervaring bij DOVO Poelkapelle en de verdeling van de munitie naar toxische inhoud zoals ze daar voorkomt (zie Figuur). Deze verhoudingen zijn zoals reeds gezegd hoogstwaarschijnlijk niet representatief voor de verdeling ter hoogte van de Paardenmarkt. De conservatieve veronderstelling wordt gemaakt dat projectielen met een groen kruis als toxische lading volledig uit (di)fosgeen bestaan omwille van haar toxische relevantie bij vrijstelling, alhoewel ze ook chloorpicrine kunnen bevatten.

Oplossing

De kennis over de hoeveelheid en het type munitie dat zich op de site bevindt, is na meer dan 100 jaar nog steeds beperkt. De oorzaak is vooral het gebrek aan archieven uit die tijd door Duitse plunderingen en vernielingen tijdens WO II. De mogelijkheid bestaat dat toch nog ergens informatie over de dumpoperatie is terug te vinden bv. in de duizenden archiefdozen die in 2002 werden teruggehaald uit Moskou nadat deze in 1940 door de Duitsers in beslag werden genomen en in 1945 door het Rode Leger werden weggevoerd.

Met 3D inverse modellering op gedetailleerde magnetische/gradiometrische data (zie Lokalisatie en diepteligging munitie) is het mogelijk de massa in te schatten. Zo'n onderzoek levert tegelijk ook andere zeer relevante informatie zoals locatie en diepteligging van de munitie, maar maakt het nog steeds niet mogelijk om een onderscheid te maken in het type projectiel. Enkel bij effectief opgraven van de munitie wordt dit mogelijk.

2. Acute vrijstelling

Het plots vrijkomen van grote hoeveelheden pollutanten is enkel mogelijk mits een impact waarbij een grote hoeveelheid projectielen tegelijk is betrokken. Dit kan veroorzaakt worden door een externe impact (zie Externe factoren) en/of een explosie van de aanwezige munitie (zie Explosiviteit). Beide worden als zeer weinig waarschijnlijk ingeschat, maar gezien een klein risico bestaat, dient hierop ingezet te worden.

Oplossing

In december 2023 werd om antwoord te bieden aan dit risico gestart met de opmaak van een Bijzonder Nood- en Interventieplan voor de Paardenmarkt (BNIP PM). Dit noodplan zal de specifieke richtlijnen omschrijven voor het beheer van een acute noodsituatie ter hoogte van en/of met impact op de Paardenmarkt. Zo bevat het onder meer een beschrijving van de risico's (o.a. gezondheids- en milieurisico's), de ongevallenscenario's en specifieke maatregelen ter bescherming van de bevolking en goederen. Het kan gezien worden als een aanvulling op het Algemeen Nood- en Interventieplan voor de Noordzee (ANIP Noordzee), het model van antwoord op alle mogelijke noodsituaties en incidenten die zich op de Noordzee kunnen voordoen en die één of andere vorm van coördinatie/beheer vereisen. Begin 2025 wordt een finale draft van het BNIP PM opgeleverd.

Het BNIP Paardenmarkt is een aanvulling op het ANIP en bevat ten minste:

- 1° de geografische ligging van het risico;
- 2° de algemene gegevens betreffende het betrokken risico, met inbegrip van de eventuele hulpmiddelen eigen aan het risico;
- 3° de beschrijving van het betrokken risico en de bepaling van de noodplanningszone(s);
 - a) de instelling van perimeters en de bijzondere organisatie van de interventierreinen, waaronder de plaats van de commandopost operaties (CP-Ops) en de vooruitgeschoven medische post (VMP) ;
 - b) de relevante geografische, demografische en economische factoren;
 - c) de andere risico's.
- 4° de gegevens van de actoren die specifiek betrokken zijn bij het risico, met inbegrip van de contactgegevens;
- 5° de ongevallenscenario's;
- 6° de specifieke procedures, met inbegrip van de informatie aan de bevolking;
- 7° de specifieke maatregelen ter bescherming van de bevolking en goederen;
- 8° de eventuele organisatie van de interventierreinen.

Figuur 4. Minimale inhoud van het Bijzonder Nood- en Interventieplan Paardenmarkt (in opmaak)

Het strekt tot aanbeveling om het verbod op activiteiten die de bodem beroeren in de zone van de munitiestortplaats te behouden.

3. Chronisch vrijkomen van polluenten

In 2018 werd voor het eerst contaminatie gedetecteerd in het sediment van de Paardenmarkt. De staalnamecampagne van 2019 richtte zich op de twee positieve locaties van 2018 en bevestigde het vrijkomen van munitie-gerelateerde chemicaliën. Het monitoringprogramma werd vanaf 2020 opgeschaald en uitgebreid met analyses van de waterkolom, net boven de zeebodem.

De aanwezigheid van springstofresten (toxische nitro-amines gelinkt aan TNT en zijn afbraakproducten) werd bevestigd op het merendeel van de locaties waar stalen werden genomen, zowel in sediment, poriewater als bovenstaand zeewater, weliswaar in lage concentraties. Op een beperkt aantal stalen werden in het sediment sporen van toxische agentia (yperiet en Clark en hun afbraakproducten) gevonden. Meer gedetailleerde informatie over de staalnamecampagnes en hun resultaten wordt beschreven bij Staalname en analyse sediment en bovenliggend water.

De munitie lekt dus en doet dat waarschijnlijk al vele jaren. Door de toegenomen gevoeligheid van de technieken en de expertise van de laboratoria DLD en ECOCHEM kunnen nu wel veel lagere concentraties gedetecteerd worden dan enkele jaren terug. De lekkage was mogelijk al vele jaren bezig vooraleer ze werd vastgesteld in het labo. Dit proces zal zich naar alle waarschijnlijkheid ook nog ettelijke jaren verderzetten wanneer de munitie ter plaatse wordt gelaten.

Oplossing

Continue jaarlijkse monitoring van de Paardenmarkt wordt met klem aangeraden. De analyse van de verschillende matrices (sediment, poriewater, zeewater) is van primordiaal belang om een plotse stijging in munitie-gerelateerde chemicaliën op te sporen, waardoor remediëring kan opgestart worden vooraleer het risico voor het leefmilieu en de volksgezondheid te hoog oploopt.

Aangeraden is een evaluatie van de invloed van de seizoenen en van de achtergrondwaarden van TNT in het Belgisch Deel van de Noordzee op de meetresultaten van de Paardenmarkt. Gezien er jaarlijks een aantal UXO² op zee vernietigd worden, is een meetbare achtergrond van TNT door deze activiteiten waarschijnlijk, en zelfs al bevestigd. Ook lekkende munitie uit oorlogswrakken kan hieraan bijdragen.

Passieve bemonsteringstoestellen die een sorptiemedium bevatten dat polluenten kan capteren, klinken veelbelovend. Ze vergen minder inspanning bij inzetten, ophalen en monsterverwerking; ze kunnen episodische gebeurtenissen detecteren wat een meer representatief beeld schetst van de vervuiling in de waterkolom; ze kunnen zeer lage concentraties chemicaliën detecteren; en de verzamelde polluentmengsels zijn representatief wat hen bruikbaar maakt in ecotoxicologisch onderzoek. Er zijn echter nog heel wat uitdagingen aan deze techniek zoals de nood aan uitgebreide kalibratie vóór inzet in het veld, moeilijke vergelijking tussen studies door verschillende procedures, enz.

De mogelijkheid voor een monitoringsnetwerk van chemische sensoren tussen de stortplaats en de kust kan onderzocht worden. Dergelijke data zou in real-time kunnen geïntegreerd worden in een operationeel model dat het transport van de substanties van belang zou kunnen voorspellen (zie Modellerings).

Voor zowel de passieve bemonsteringstoestellen als het netwerk van chemische sensoren is veel meer onderzoek nodig. Ook op het vlak van verankering en recuperatie stellen deze monitoringsopties een uitdaging gezien de hoge dynamiek in dit gebied. Er geldt een verbod op bodemberoerende activiteiten

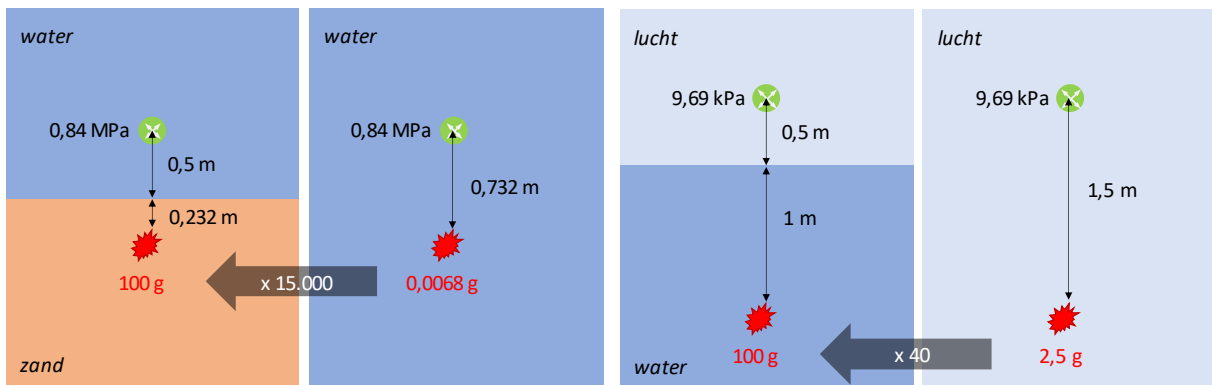
² Unexploded Ordnance: een explosief dat niet op het oorspronkelijk bedoelde moment is afgegaan

ter hoogte van de Paardenmarkt maar uitzonderingen kunnen gemaakt worden voor wetenschappelijk onderzoek naar munitiebeheer en -opruiming, met inbegrip van tests.

Op basis van ecotoxiciteitstudies en advies van experts kunnen kantelpunten (zie Bereiken kantelpunt) vastgelegd worden. De grenswaarden en het aantal locaties waarop vastgestelde concentraties bereikt worden, zijn bepalende factoren om remediëringsacties te initiëren. Echter, de voorkeur gaat uit naar regelmatig overleg met een nog officieel aan te stellen stuurgroep van experts om studieresultaten en aanpak te bespreken.

4. Explosiviteit

De Koninklijke Militaire School voerde binnen het DISARM-project een risicoanalyse uit betreffende de explosiviteit van munitie op de Paardenmarktsite. Uit dit onderzoek is gebleken dat de munitie haar explosieve eigenschappen en gevoeligheid heeft behouden na 100 jaar. Het lijkt er dus op dat de munitie niet onstabiel is geworden. Indien zich toch, alhoewel erg onwaarschijnlijk, een explosie zou voordoen, is het gevaar op een effect op de mens nagenoeg onbestaande. Het sediment en de waterkolom waarmee de munitie is bedekt, verzwakken de schokgolf die bij een ontploffing kan ontstaan in die mate dat enkel personen in de directe nabijheid een effect van de schokgolf kunnen ondervinden.



Figuur 5. Testresultaten explosies in zand, water en lucht van de Koninklijke Militaire School uitgevoerd binnen DISARM-project waarbij werd onderzocht welke explosieve massa op een bepaalde diepte nodig is om eenzelfde overdruk te creëren enerzijds in water en al dan niet bedekt met sediment, anderzijds in lucht en al dan niet ondergedompeld in water.

De sedimentlaag en de waterkolom boven de munitie op de Paardenmarkt zijn niet overal even dik, wat een verschillende explosie-impact met zich meebrengt. Afhankelijk van deze impact kunnen mogelijk ook andere explosieven tot ontploffing komen, de zogenaamde “*detonation by sympathy*”.

De explosieve massa bij projectielen met een toxische inhoud is klein t.o.v. hun totale massa (0,2% bij yperiet, 0,8% bij (di)fosgeen en 8% bij Clark), met een meer beperkte schokgolf en impact op projectielen in de buurt dan bij ontploffing van conventionele munitie (10% explosieve massa). Gezien er hoogstwaarschijnlijk veel projectielen met toxische inhoud liggen op de Paardenmarkt, is een *detonation by sympathy* zeer onwaarschijnlijk.

Het ontbreken van ontstekers vermindert het explosiegevaar. Echter, voor sommige projectielen met toxische lading maakten de ontstekers deel uit van het afdichtingsdispositief. Dit betekent dat hoewel de munitie zich in transporttoestand bevond, deze toch van een ontsteker voorzien was. In 1972 werden 17 eenheden gerecupereerd op de Paardenmarkt, allen niet-gewapend en in goede staat. Dit betekent echter niet dat de ontsteker ontbreekt bij alle munitie op de Paardenmarkt. Daarvan getuige het incident van 18 december 1919 waarbij het bootje ingezet bij de opruimingswerkzaamheden uitvoer en waarvan de lading op amper vijf meter van de kaaimuur explodeerde.

Oplossing

Alhoewel weinig waarschijnlijk bestaat het risico op explosie van de munitie bijvoorbeeld wanneer een schip zou stranden op de Paardenmarkt. Dit ongevallenscenario wordt meegenomen in het Bijzonder Nood- en Interventieplan voor de Paardenmarkt. Het verbod op bodemberoerende activiteiten dient ook behouden te blijven.

De eigenschappen van 100-jaar oude explosieven zijn niet gewijzigd, wat dient meegenomen te worden bij de risicoanalyse van eventuele opruimingswerken van de site.

Verder onderzoek is nodig om na te gaan hoe munitie in het mariene milieu veroudert en in welke mate *detonation by sympathy* kan plaatsvinden.

5. Corrosie

Analyse van historische hydrografische kaarten toonde aan dat de munitie op de Paardenmarkt periodiek bloot lag op de zeebodem tot na de uitbouw van de haven van Zeebrugge in de jaren '70. De in 1972 bovengehaalde projectielen leken op dat moment in goede toestand, m.a.w. niet te sterk gecorrodeerd te zijn. Daarna raakte de munitie bedekt met een dikke laag sediment door wijziging van het stromingspatroon in dat gebied. Om corrosie te krijgen, is zuurstof nodig. Er kan dus verwacht worden dat begraven munitie minder corrosie zal ondervinden dan wanneer die zich op de zeebodem bevindt. Wanneer deze munitie opgegraven en blootgesteld zou worden aan zuurstof, versnelt dit vermoedelijk het corrosieproces significant met potentiële desintegratie ervan.

De aanwezigheid van biogeen gas in het sediment van de Paardenmarkt doet een zuurstofarme omgeving vermoeden, wat het oxidatieproces verder vertraagt.

Oorlogsmunitie is niet gemaakt om lang in de omgeving te blijven; de wanddikte heeft dan ook de minimale dimensies die nodig zijn om hun doel te dienen. Daarnaast kunnen sommige chemicaliën bij lekkage uit hun beschadigd omhulsel op hun beurt het corrosieproces versnellen bv. fosgeen door de vorming van zoutzuur bij hydrolyse.

Een uitgebreide corrosiestudie werd uitgevoerd door de Antwerpse Zeevaartschool binnen het DISARM-project. Hieruit blijkt dat de corrosiesnelheden van zamak, messing en ijzer relatief laag zijn in het Belgisch deel van de Noordzee wanneer deze worden vergeleken met andere regio's in de wereld. Theoretisch kan een hoge galvanische corrosie verwacht worden ter hoogte van de zamak-staal overgang. Echter, significante factoren die corrosie vertragen en het verschil kunnen verklaren tussen theoretische en effectieve corrosiesnelheden op de Paardenmarkt zijn enerzijds het gebruik van Sorel magnesiumcement tussen ontsteker en projectiel met isolerende werking en anderzijds de vorming van natuurlijke concretie op de munitie na 100 jaar onderdompeling in de Noordzee.

De lokale fysicochemische karakteristieken van het sediment en de microbiële effecten op corrosie blijven door het uitblijven van dieptestalen (stalen dieper in het sediment en dicht bij de munitie) onbeantwoord. Analyse van munitie in-situ kan onzekerheden wegwerken over chemische corrosie van binnenuit, de invloed van temperatuur, het gecombineerde corrosie-erosie effect, de invloed van begravingdiepte en potentiële concretievorming rond de projectielen.

Oplossing

Gezien blootstelling van de munitie aan zuurstof het corrosieproces sterk kan doen toenemen, wordt zowel bodemberoering waardoor munitie bloot kan komen te liggen als het opgraven van de munitie sterk afgeraden.

“Re-exposing the buried munitions to oxygen by bringing them to the surface will significantly accelerate the corrosion process”

DISARM, 2024

Er kan gewerkt worden richting een model dat in staat is om corrosieprocessen van projectielen in marien sediment op lange termijn te voorspellen. Zo'n model dient telkens verfijnd en gevoed te worden met bijkomende informatie over de munitie. Die informatie kan gehaald worden uit mesokosmosen en laboratoriumstudies, eventueel zelfs uit dieptestalen of testruiming. Deze laatste bieden ook zonder modellering toegevoegde waarde bij de inschatting van het risico.

6. Ecotoxicologische effecten

Munitie-gerelateerde chemicaliën die doorheen het sediment penetreren naar meer oppervlakkige lagen en zich verspreiden in de bovenliggende waterkolom houden risico's in voor de gezondheid van mens en milieu. Het zijn namelijk gekende toxische, carcinogene en mutagene stoffen.

De stoffen kunnen vastgehecht blijven aan het sediment in de zeebodem, vasthangen aan sediment in suspensie of oplossen in water. De verspreiding kan gemodelleerd worden (zie Monitoring) en dient gekend te zijn om een degelijke inschatting te kunnen maken van de ecotoxicologische effecten van lekkende munitie op lange termijn.

UGent voerde onderzoek uit naar de effecten van verschillende munitie-gerelateerde substanties op eenoogkreeftjes, mariene microalgen en vis. Dit resulteerde in zogenaamde Predicted No Effect Concentration (PNEC; zie Tabel 1), zowel in het sediment als in het water. De PNEC is een referentiewaarde voor toxiciteit waaronder geen negatieve effecten op mariene organismen verwacht worden. Voor sommige substanties ontbraken gegevens en werd de PNEC bepaald op basis van algemeen aanvaarde modellen. De referentiewaarden kunnen gebruikt worden bij interpretatie van reeds beschikbare analyseresultaten en bij toekomstige staalnamecampagnes.

Tabel 1. Overzicht van de ecotoxiciteitsdrempel voor mariene organismen die in de waterkolom (PNEC_{water}) en in het sediment (PNEC_{sediment}) leven voor de munitiegerelateerde chemicaliën die zijn gedetecteerd in sediment- en/of watermonsters verzameld op de Paardenmarkt tussen 2018 en 2023. De bron van de gegevens die worden gebruikt voor de schatting van de verschillende PNEC's wordt ook gespecificeerd, namelijk experimentele gegevens of voorspellende gegevens verzameld binnen DISARM en FOD.

Chemicaliën	PNEC _{water} (µg/L)	PNEC _{sediment} (µg/kg)	Databron ecotoxiciteit ³
Chemische oorlogsmiddelen en gerelateerde chemicaliën			
Thiodiglycol	12.50	14.83	Experimentele data
1,4-oxathiane	50.00	250.73	Experimentele data
1,4-dithiane	2.22	2.47	Experimentele data
Diphenylarsinic acid (DPAA)	30.20	NA	QSAR data
Triphenylarsine oxide (TPAO)	0.11	NA	QSAR data
Explosieven en gerelateerde chemicaliën			
TNT	1.28	12.86	Experimentele data
1,3-DNB	1.28	7.36	Experimentele data
Tetryl	0.19	8.06	Experimentele data
Picric acid	6.26	26.36	Experimentele data
2,4-DNT	0.36	4.78	QSAR data
4-ADNT	0.54	3.74	QSAR data

NA – not available

³ Bij gebrek aan experimentele gegevens werden voorspelde toxiciteitsgegevens uit algemeen aanvaarde Quantitative Structure Activity Relationship (QSAR)-modellen verzameld en onder het Ecological Structure Activity Relationships (ECOSAR) Predictive Model opgehaald en toegepast.

In navolging van Europese⁴ richtlijnen werden de ecotoxiciteitsgegevens en analyseresultaten van verschillende bemonsteringscampagnes, verzameld binnen DISARM en FOD-studies, gebruikt om het risico dat voortkomt uit munitie-gerelateerde chemicaliën in te schatten voor mariene organismen die zowel in het sediment als in de waterkolom leven.

Vergelijking van de hoogst gemeten concentratie van elke stof op een staalnamepunt (MEC) met de concentratie waarbij geen effect verwacht wordt (PNEC), resulteert in een risicoverhouding (RQ).

$$RQ = \frac{MEC}{PNEC}$$

RQ: Risk Quotient
 MEC: Measured Environmental Concentration
 PNEC: Predicted No Effect Concentration

De RQ van DPAA en TPAO kan tot op heden niet berekend worden in het sediment door het ontbreken van PNEC-waarden. Voor het poriewater zijn deze waarden gemodelleerd. Het strekt tot aanbeveling om zo snel mogelijk deze PNEC's te bepalen via laboratoriumonderzoek. Vooral voor TPAO, een stof die voor het eerst werd gerapporteerd tijdens het DISARM-project en die gezien haar lage PNEC_{water} aanleiding kan geven tot een hoge RQ, is het belangrijk om op korte termijn dergelijke ecotoxicologische tests uit te voeren. Eveneens dringt verder onderzoek betreffende de analyse en de validatie van meetresultaten van TPAO zich op. Door significante onzekerheden hieromtrent en de beperkte beschikbare informatie over de desbetreffende stof, kunnen de TPAO-resultaten momenteel niet als betrouwbaar worden beschouwd.

De ecotoxiciteitsanalyse van een enkelvoudige substantie is één iets, maar deze is niet representatief voor de chemicaliëncocktail waaraan mariene organismen worden blootgesteld. De complementaire effecten van verschillende stoffen kunnen worden berekend met de RQ_{mix} of de som van de RQ's voor elke substantie gemeten op die bepaalde locatie. Deze berekeningen werden uitgevoerd met de resultaten van analyses uitgevoerd vanaf 2019 tot 2023 en deze uit het DISARM-project (zie Tabel 2; mei 2024).

$$RQ_{mix} = \sum_{i=1}^n \frac{MEC_i}{PNEC_i}$$

RQ _{mix}	Interpretatie
< 0,1	Verwaarloosbaar risico
0,1 – 1,0	Reden voor waakzaamheid
> 1,0	Risico

Tabel 2. Weergave van het aantal staalnamepunten binnen een bepaalde RQ_{mix}-categorie. De staalnamepunten waar geen munitie-gerelateerde chemicaliën werden gedetecteerd, zijn ook opgenomen in de tabel. De staalnamecampagne van 2019 was gericht op de positieve punten van 2018; deze van DISARM richtte zich op locaties waar magnetische anomalieën werden vastgesteld dewelke indicatief zijn voor de aanwezigheid van munitie.

RQ _{mix}	2019		2021		2022		2023		DISARM	
	sediment	water	sediment	water	sediment	water	sediment	water	sediment	water
< 0,1	14	19	27	30	30	30	29	29	30	23
0,1 – 1,0	5	0	2	0	0	0	1	1	0	6
> 1,0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

⁴ ECHA: Europees Agentschap voor chemische stoffen

De metingen tonen dus een sterk gefragmenteerde en variabele contaminatie aan op de site. Alhoewel munitie-gerelateerde stoffen op de Paardenmarkt wijd verspreid voorkomen (zie Staalname en analyse sediment en bovenliggend water), is het risico op het overgrote deel van de staalnamepunten verwaarloosbaar. Op enkele locaties is waakzaamheid geboden en een beperkt aantal punten houdt een risico in voor mariene organismen. Locaties waar vroeger reeds lekkage werd vastgesteld en gebieden waar grote clusters voorkomen, hebben vaker een hogere RQ.

Het is belangrijk te benadrukken dat PNEC en RQ betrekking hebben op het mariene milieu en niet op de menselijke gezondheid. Om acute effecten te hebben bij de mens, is blootstelling aan veel hogere concentraties dan deze op dit moment gemeten in biota nodig.

Over de lange termijneffecten van de continue lekkage van (kleine hoeveelheden) munitie-gerelateerde stoffen op mariene organismen is weinig bekend. Er is wel toenemend bewijs dat ze subletale en chronische effecten op mariene biota hebben, vooral op organismen die direct op of onder de zeebodem leven. Eénmaal de stoffen in contact komen met de waterkolom verdunnen en degraderen ze snel, wat het risico voor organismen die niet permanent in de directe nabijheid van de contaminatiebron verblijven drastisch verlaagt. De invloed van het lekken op de biodiversiteit en het functioneren van het lokale ecosysteem is voer voor verder onderzoek bv. via eDNA-technieken.

De munitie-gerelateerde chemicaliën kunnen terechtkomen in de mariene voedselketen waardoor de mens kan blootgesteld worden aan gecontamineerd zeevoedsel. Opname én bioaccumulatie in mosselen en vis werd reeds aangetoond op andere locaties waar oorlogsmunitie in zee voorkomt en waar de munitie grotendeels blootligt op de zeebodem. De concentraties die in het buitenland specifiek ter hoogte van munitiedumpplaatsen in biota worden gemeten, zijn dermate laag dat op vandaag de consumptie van zeevoedsel als veilig kan beschouwd worden. In Belgische wateren werd zo'n onderzoek nog niet uitgevoerd.

Kiel University toonde in haar ecotoxicologisch onderzoek aan dat carbonyl reductase kan dienen als een biomarker voor blootstelling aan TNT en zijn degradatieproducten op moleculair niveau. Dit is een potentieel bruikbare tool voor detectie van TNT contaminatie in het milieu en voor de risicoanalyse zowel voor het ecosysteem als voor de consument van zeevoedsel.

Oplissing

Om de ecotoxiciteit goed in te schatten, dient vooreerst de staalname zo goed en uniform mogelijk te gebeuren. Voorstellen voor optimalisatie worden besproken bij 'Staalname en analyse sediment en bovenliggend water'.

Een andere optie om blootstelling van mariene organismen aan munitie-gerelateerde chemicaliën in te schatten, is het plaatsen van mosselkooien op gerichte locaties. Het unieke vermogen van mosselen om verontreinigende stoffen te filteren en te bioaccumuleren levert essentiële informatie over de opstapeling van toxische stoffen in het voedselweb en de potentiële implicaties voor de menselijke gezondheid. Hun eenvoud, kosteneffectiviteit en schaalbaarheid maken van mosselkooien een toegankelijk instrument voor uitgebreide en continue monitoring van de opname van chemicaliën. Uitdagingen bij het inzetten van mosselkooien is de predatie door zeesterren, de verankering en de recuperatie van het gebruikte materiaal.

De kennis verkregen via bijkomende ecotoxiciteitstudies kan modellen voeden waarna voorspellingen op langere termijn mogelijk worden.

Het risico van de lekkende munitie is op de meeste punten verwaarloosbaar en op de punten waar een (licht) verhoogde RQ wordt berekend, blijft het risico beperkt tot die organismen die in of direct op de zeebodem leven. Het visverbod, incl. hengelen, blijft bijgevolg best in voege.

7. Vervuiling zoetwaterlens

In de buurt van de munitiestortplaats zijn zoetwaterlenzen⁵ aanwezig. Binnen het DISARM-project onderzocht UGent met behulp van elektrische weerstandsmethoden de locatie van en de stroomrichting van dit zoet water. Tot 500m van de basislijn, wat overeenkomt met de zuidelijke grens van de Paardenmarkt, worden zoetwaterlenzen gedetecteerd. De zoetwaterflux gebeurt van land naar zee wat contaminatie van zoetwaterlenzen aan land uitsluit.

Corrosie vindt minder snel plaats in zoet dan in zout water, maar hoe sterk het zoutgehalte in dit gebied een effect heeft op de corrosiesnelheid is nog onduidelijk.

Er wordt een grote heterogeniteit in de zoetwaterflux waargenomen ter hoogte van de Paardenmarkt. De oorzaken hiervan zijn nog onbekend, maar de kans bestaat dat de sterk variërende sedimentsamenstelling en constructiewerken in de buurt een impact hebben.

Oplossing

Alhoewel contaminatie van grondwaterreserves aan land wordt uitgesloten, is waakzaamheid aan de orde wanneer zoetwaterreserves in de buurt van de Paardenmarkt toch geëxploiteerd zouden worden.

Bij drastische wijzigingen in de omgeving dient men zich bewust te zijn van een mogelijke impact op de zoetwaterlenzen en wordt een grondige voorafgaande analyse aangeraden.

Onderzoek naar de achterliggende reden voor de waargenomen variaties en de ontwikkeling van een grondwatermodel dat verticale fluxen kan kwantificeren, kunnen overwogen worden.

8. Biogene gassen

De oppervlakkige sedimentlagen van de Paardenmarkt bevatten verschillende biogene gassen, met vooral hoge concentraties van methaan en koolstofdioxide. Het zijn reactieproducten van voornamelijk anaerobe microbiële processen, maar toch ook van aerobe reacties, die gelinkt kunnen worden aan de afbraak van organisch materiaal. De biogene gassen vormen geen risico. Integendeel, ze vertragen het corrosieproces en kunnen biodegradatie van toxische stoffen in de hand werken.

De aanwezigheid van gassen in de zeebodem heeft invloed op bepaalde onderzoeksmethoden zoals akoestische technieken. De onderzoeksstrategie en gebruikte apparatuur dienen hierop afgestemd te zijn.

⁵ Ondergrondse bel van zoet grondwater dat door een lagere soortelijke massa drijft op het omliggende zoute water

9. Externe factoren

Schepen, bodemberoerende visserij, ankeren, infrastructuurwerken, e.a. vormen een potentieel risico voor de Paardenmarkt. Hun effect kan direct (bv. explosie) of indirect (bv. ecotoxicologische effecten door vrijstelling van toxische stoffen) zijn.

De kans op een externe impact op de Paardenmarkt door schepen en vliegtuigen is onderzocht en is laag. Voor incidenten met schepen komen kustvaarders als meest relevant naar voor gezien hun grootte en diepgang. De probabiliteit wordt geschat op éénmaal in de 150 jaar en zelfs dan betekent stranding van het schip niet meteen dat (meerdere) projectielen enige invloed zullen ondervinden. De sedimentlaag van enkele meters dik zal de impact sterk beperken. Van grote zeeschepen wordt verwacht dat ze zullen stranden vooraleer ze de afgebakende zone bereiken; kleinere vaartuigen (pleziervaart en vissersboten) hebben dermate kleine diepgang dat ze over de zone varen. Wanneer deze laatste toch zouden stranden, wordt dat verwacht ter hoogte van het zuidwestelijke deel van de Paardenmarkt, waar een dermate belangrijke afzetting van sediment heeft plaatsgevonden dat geen relevante impact op projectielen verwacht wordt. De kans op het neerstorten van een vliegtuig is zeer laag en beduidend lager dan de kans op externe impact van een gestrand schip.

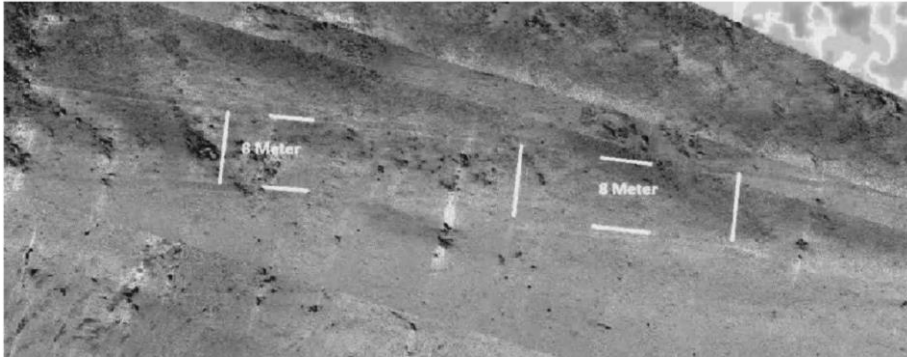
Activiteiten die het sediment verstoren zoals bodemberoerende visserij en ankeren zorgen ervoor dat hogere concentraties van toxische bestanddelen in de omgeving terechtkomen met potentieel grotere ecotoxicologische effecten. Ondanks dat onderzoek uitwijst dat geen munitie oppervlakkig ligt en dat explosie van de projectielen weinig waarschijnlijk is, houdt verstoring van de sedimentlaag steeds een risico in dat een explosief wordt geraakt en zelfs ontploft. Alhoewel verboden, kan voor anker gaan in dit gebied vooral verwacht worden van pleziervaartuigen, van dewelke het anker ca. 0,5m diep in de bodem zal dringen. Eveneens niet toegelaten op de Paardenmarkt is bodemberoerende visserij waarvan de ketens enkele centimeters tot enkele tientallen centimeters diep in het sediment doordringen, afhankelijk van de specifieke omstandigheden in het visgebied.

Grote infrastructuurwerken zoals uitbreiding van de haven van Zeebrugge en de aanleg van een vaargeul die de havens van Antwerpen en Zeebrugge met elkaar verbindt, kunnen invloed hebben op het sedimenttransport ter hoogte van de Paardenmarkt.

De winning van zoet water in de buurt van de Paardenmarkt kan risico's inhouden. De zoetwaterflux in het sediment van de Paardenmarkt gaat nu van land richting zee, maar bijkomend onderzoek is nodig om daar meer zekerheid over te geven en om potentiële invloeden op de richting van die stroming te identificeren. Elke factor die hierop invloed kan hebben, wordt best goed geanalyseerd.

Oplossing

Voor sommige invloeden kunnen preventieve maatregelen genomen worden zoals het opgelegde vis- en ankerverbod dat geldt sinds 1972 en waarvan de zone werd uitgebreid in 1989. Blijvende inzet op handhaving van dit verbod dringt zich op gezien nog steeds bodemberoerende visserij werd vastgesteld bij recente surveys (zie Figuur).



Figuur 6. Side Scan Sonar survey (GEOxyz, 2023), interpretatie SSS en boomkor op kade (UXSolutions, 2023)

Geplande werken en onderzoeken met een potentiële impact op de Paardenmarkt zouden allen moeten onderworpen zijn aan minstens een risicoanalyse (cf. Art.18, §3, KB MRP). De invulling van voorgaande dient breed genoeg te zijn. Ook bij de organisatie van activiteiten zoals bootraces en vliegtuigwedstrijden dient de munitiestortplaats indachtig gehouden te zijn. Grote infrastructuurwerken kunnen veranderingen in stromingspatronen veroorzaken met een invloed op sedimentatie en erosie, en/of een gewijzigde druk op de zoetwaterlens teweeg brengen met gewijzigde zoetwaterflux tot gevolg. Een milieueffectenbeoordeling dient hierover voldoende duidelijkheid te bieden.

Voor schepen die in de problemen komen, dienen noodmaatregelen getroffen te worden. Zo kan bijvoorbeeld een sleper voorkomen dat een schip strandt op de munitiestortplaats. Dergelijke maatregelen worden beschreven in nood- en interventieplannen. Strandt toch een schip op de Paardenmarkt, dan dient zo snel mogelijk gereageerd te worden. Dit is mogelijk door het bijkomend activeren van het Bijzonder Nood- en Interventieplan voor de munitiestortplaats (in opmaak, finalisatie in 2025). Het BNIP omschrijft de specifieke richtlijnen voor het beheer van een acute noodsituatie ter hoogte van en/of met impact op de Paardenmarkt.

Monitoringstrategie

De huidige strategie ter hoogte van de Paardenmarkt behelst het in-situ laten van de munitie met continue opvolging van de site. De monitoringstrategie wordt afgestemd op alle afgeronde en lopende studies om de beschikbare middelen optimaal in te zetten en een zo goed mogelijk beeld te schetsen van de huidige situatie ter hoogte van de munitiestortplaats.

Gedurende het verloop van het laatste plan van aanpak 2020-2024 werd volgende monitoring uitgevoerd in opdracht van de dienst Marien Milieu:

- een jaarlijkse staalnamecampagne (met uitzondering van 2020 omwille van Covid-19) om te achterhalen welke stoffen en in welke concentratie deze chemicaliën lekken in het sediment en de bovenliggende waterkolom
- onderzoek naar de mate van sedimentatie/erosie, de locatie en de diepteligging van de munitie
- een gedetailleerde interpretatie van de resultaten van bovenvermeld onderzoek
- ecotoxicologisch onderzoek naar de op de munitiestortplaats aanwezige polluenten en hun afbraakproducten

Op basis van de resultaten van deze onderzoeken, alsook deze uit andere studies en projecten, worden in dit hoofdstuk achtereenvolgens besproken:

1. Sedimentlaag
2. Lokalisatie en diepteligging munitie
3. Staalname en analyse sediment en bovenliggend water

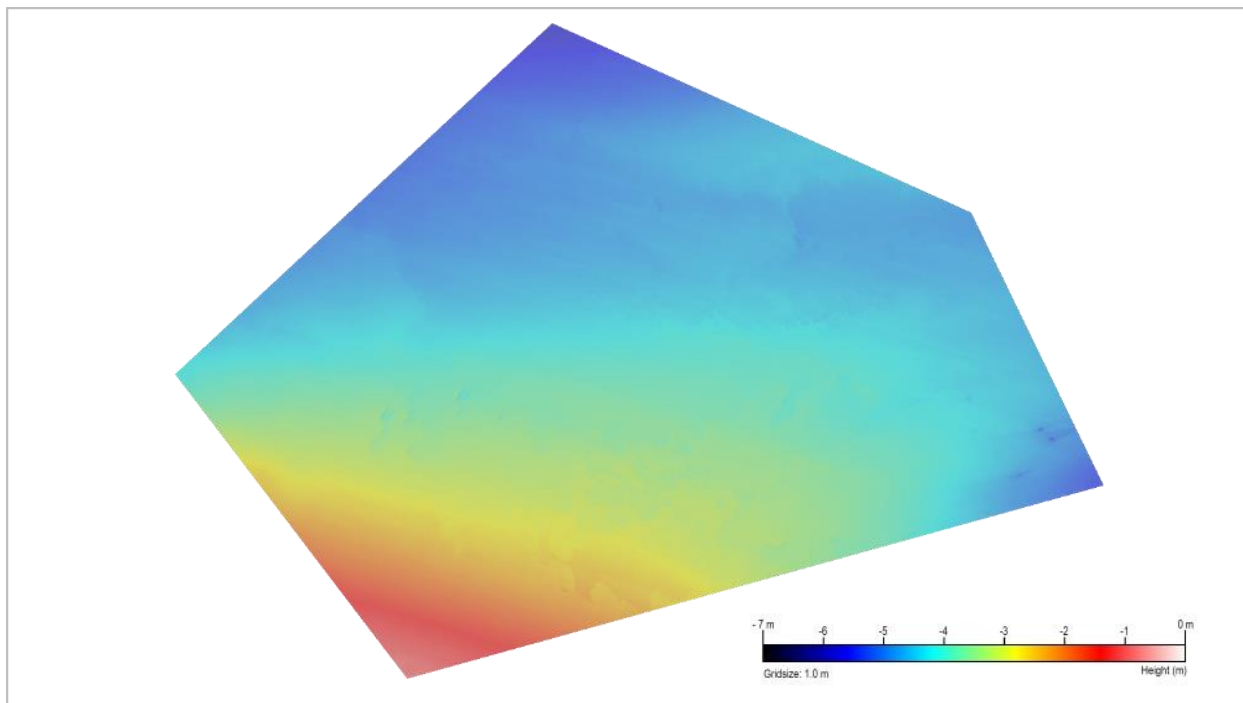
Het ecotoxicologisch onderzoek werd reeds behandeld bij de gevaren en risico's (zie Ecotoxicologische effecten).

1. Sedimentlaag

De analyse van historische (vanaf 1811) hydrografische kaarten binnen het DISARM-project hebben aangetoond dat de zeebodem onderhevig was aan grootschalige natuurlijke erosie- en sedimentatieprocessen tot de uitbouw van de haven van Zeebrugge in de jaren '70. De munitie zal gedurende deze (ruim) 50 jaar waarschijnlijk periodiek blootgelegen hebben op de zeebodem of bedekt zijn geweest met een laag sediment, in sommige gevallen tot 3m dik. De precieze duur van wel of geen blootstelling kan niet achterhaald worden.

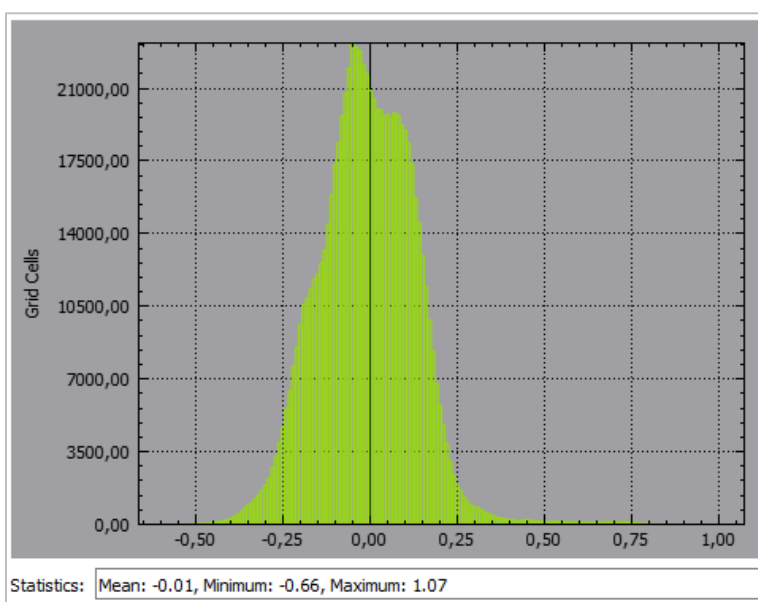
Ten gevolge van de uitbouw van de haven van Zeebrugge in de jaren '70 is de munitie op de stortplaats volledig bedekt geraakt met sediment, op sommige locaties zelfs met 4 à 5 meter. De aanzanding, een direct gevolg van het veranderde stromingspatroon, lijkt te zijn gekoppeld aan de erosiekuil ten noorden van de haven (of ten noordwesten van de dumpplaats).

De laatste jaren lijkt zowel de erosie als de aanzanding zich te stabiliseren. Een bathymetrische studie uitgevoerd in 2022 toont aan dat de hoogte van het zeebodemniveau varieert tussen het minimum van -6,01m LAT in het noordelijke deel van de zone en het maximum van -0,84m LAT in de zuidwestelijke hoek (zie Figuur).

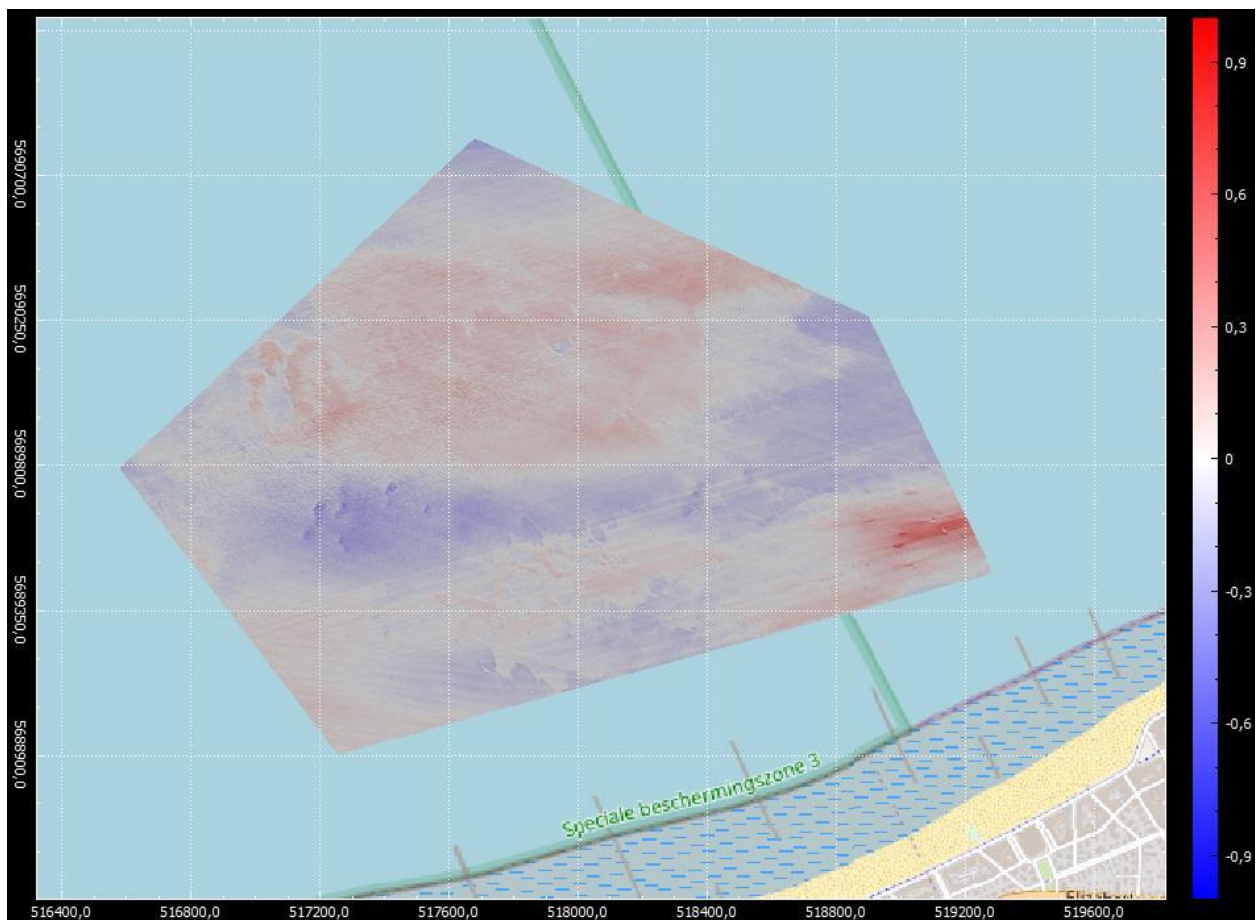


Figuur 7. Recente bathymetrische resultaten (GEOxyz, 2023)

Bij vergelijking van bovenstaande resultaten met deze uit 2013 blijkt dat sedimentatie wordt waargenomen in het zuidoostelijke deel van de zone en dat deze beperkt blijft tot ongeveer één meter (zie Figuur en Figuur). De lichte sedimentatie in het noordelijke deel is mogelijk het resultaat van baggerstorten in de nabijheid. Gemiddeld gezien geldt een status quo over de volledige zone. In deze studie werd geconcludeerd dat alle munitie zich nog steeds bevindt onder een laag sediment variërend tussen 2 en 6 meter dik.



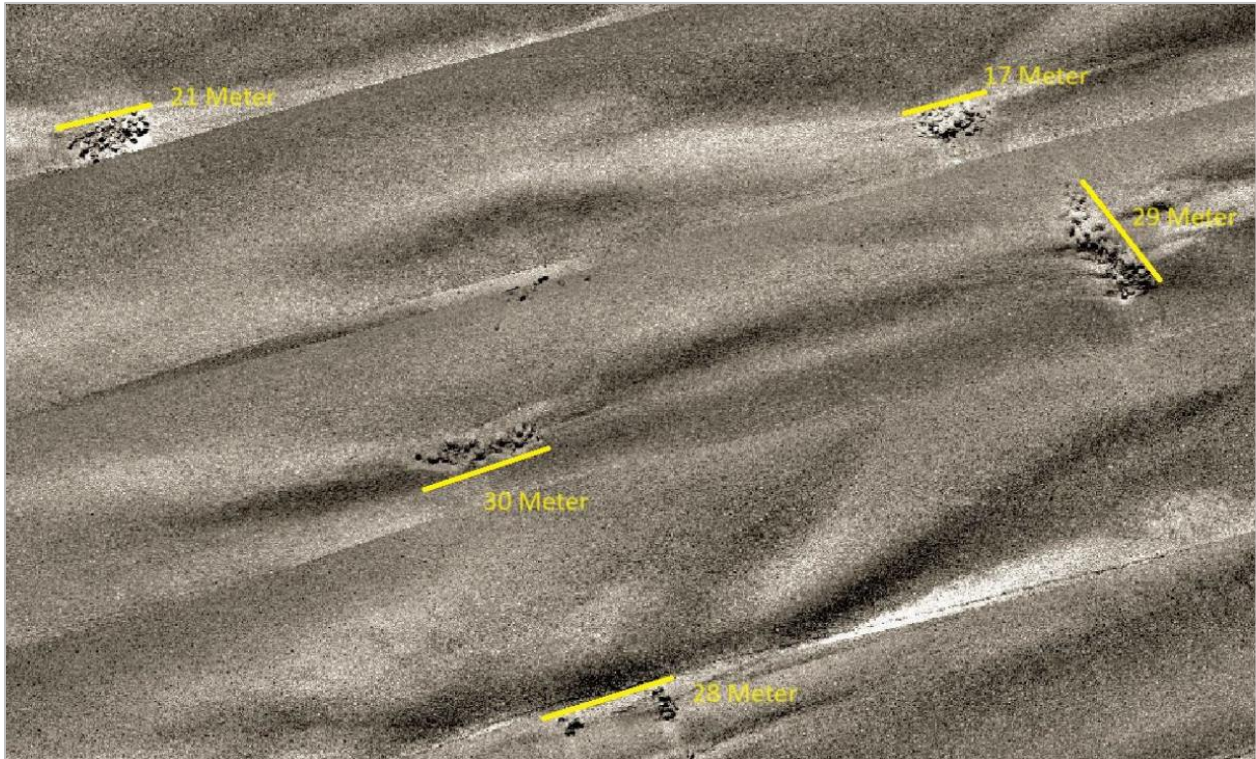
Figuur 8. De bathymetriegegevens werden opgenomen in een raster met een celgrootte van 0,5m. De grafiek geeft het aantal cellen weer met een welbepaalde sedimentatie (in meter) in 2022 t.o.v. 2013. (GEOxyz, 2023)



Figuur 9. Vergelijking bathymetrische resultaten uit 2022 t.o.v. 2013 met sedimentatie in rode kleur en erosie in blauwe kleur waarbij de waarden zijn uitgedrukt in meter (GEOxyz, 2023)

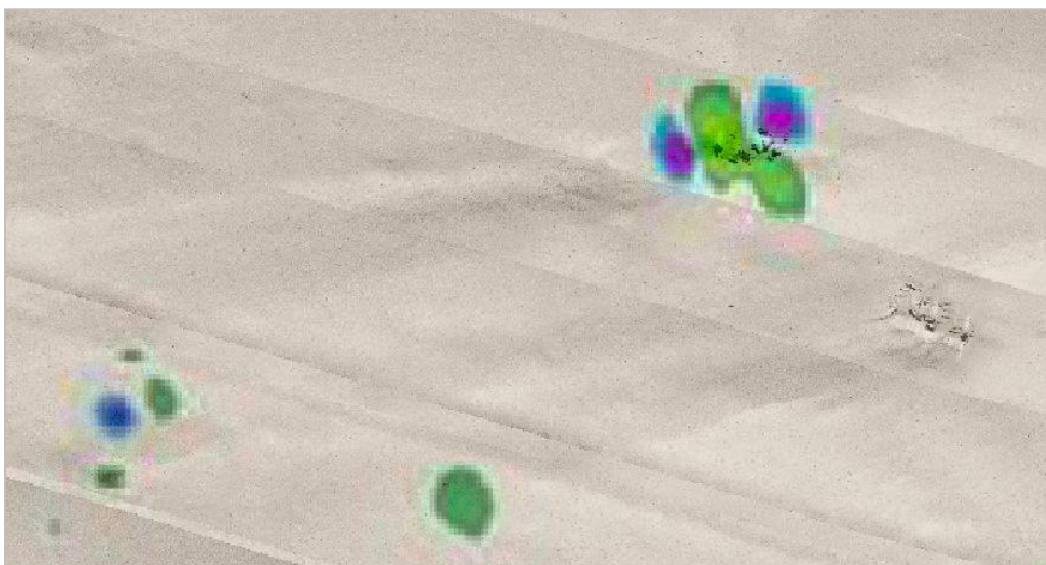
De patronen in sedimenttransport kunnen wijzigen door verschillende factoren zoals stijging van de zeespiegel, dregwerkzaamheden in de Scheldemonding en het Belgisch deel van de Noordzee, uitbreiding aan de haven van Zeebrugge en de aanleg van een vaargeul die de havens van Zeebrugge en Antwerpen met elkaar verbindt. Bij menselijke ingrepen in de omgeving van de Paardenmarkt dient de invloed op erosie/sedimentatie bijgevolg onderdeel uit te maken van een milieueffectenbeoordeling.

Met Side Scan Sonar werd onderzoek uitgevoerd naar objecten die zich mogelijk op de zeebodem bevinden in de pentagonale zone. De gedetecteerde anomalieën kunnen niet toegewezen worden aan UXO's die zich aan het oppervlak bevinden. Grotendeels gaat het om sedimentwijzigingen. In de zuidoostelijke hoek zijn enkele duidelijke rotsen/steenformaties zichtbaar, vermoedelijk per abuis gestorte stenen en rotsblokken tijdens de aanleg van golfbrekers. De steenpartijen zijn mooi lineair en hebben afmetingen tot wel 30 meter wat overeen zou kunnen komen met de storting door klepbakken destijds (zie Figuur).



Figuur 10. SSS opname van steenpartijen in de zuidoostelijke hoek van de Paardenmarkt (GEOxyz en UXsolutions, 2023)

Sommige van deze steenpartijen vertonen een magnetische signatuur (zie Figuur). Dit kan verklaard worden door de aanwezigheid van magnetisch gesteente afkomstig van de ontginningslocatie, geologische verstoringen of metallische vervuiling doorheen de jaren. Het akoestisch onderzoek wijst uit dat dit niet om munitie aan de oppervlakte gaat. Onder deze stenen kan zich wel munitie bevinden. Meer exacte gradiometrische metingen op deze locaties evenals visuele inspectie van de steenpartijen kan meer uitsluitsel geven.



Figuur 11. Overlap magnetisch onderzoek uit 2013 en SSS uit 2022 (UXsolutions, 2023)

2. Lokalisatie en diepteligging munitie

Magnetometrisch/gradiometrisch onderzoek uit 2013 toont aan dat de ferromagnetische anomalieën verspreid liggen over de volledige Paardenmarkt met centraal de grootste concentratie. Niet elk punt vertegenwoordigt een projectiel(cluster). Ook andere ijzerhoudende materialen (bv. scheepskettingen, ankers) zullen zichtbaar zijn op dergelijke kaarten.

Gedurende bathymetrische meetcampagnes tussen 2003 en 2013 werd hier en daar erosie vastgesteld in het noordelijke deel van de Paardenmarkt. Om die reden werd in 2022 magnetisch/gradiometrisch onderzoek uitgevoerd in de noordelijke helft van de pentagonale zone (ongeveer 1 km²). Op basis van de verkregen data werd getracht om meer inzicht te krijgen in de diepteligging en de massa van de munitie. Gezien de beperkingen van de gebruikte techniek moesten voor de interpretatie van de resultaten inductie en hypothese toegepast worden, met een grote foutenmarge tot gevolg.

Gedetailleerd magnetisch/gradiometrisch onderzoek in combinatie met 3D inverse modellering van bepaalde anomalieën werd in het DISARM-project uitgevoerd op een klein gebied (600x150m) in het centrale deel van de Paardenmarkt. Met dit type onderzoek kunnen kleine geïsoleerde clusters of objecten in kaart gebracht worden. Het laat ook toe om wat voordien werd beschouwd als één grote cluster onder te verdelen in meerdere kleinere clusters. Er komt tegelijk meer betrouwbare informatie beschikbaar over de diepteligging en de ijzermassa. In 2024 wordt de inverse modellering nog verbeterd met o.a. bijkomende magnetische kalibratiemetingen op land.

Uit de 3D inverse modellering blijkt dat sommige clusters in het centrale deel van de dumpsite toch iets minder bedekt zijn met sediment dan verwacht. Voor de gemodelleerde (sub)clusters ligt de berekende diepte van de top van de cluster tussen de 0,7 en 4,4m, en van de basis van de cluster tussen de 2,2 en 7m. Er zit een foutenmarge op deze diepteberekeningen, maar deze bedraagt hoogstwaarschijnlijk niet meer dan een halve meter, waardoor kan geconcludeerd worden dat in sommige gevallen de munitie ondieper ligt dan algemeen werd verondersteld. De eerder vooropgestelde dikte van de sedimentlaag die de munitie bedekt van 2 à 6m wordt op basis van deze onderzoeksresultaten beter ingeschat als zijnde 1 à 5m.

In de herfst van 2024 start het 'MMineSweepER' project, een EU HORIZON project waarin onder meer de 3D inversie methodologie zal worden opgeschaald opdat het toepasbaar wordt op grotere zones (m.a.w. via automatisatie). Validatie met andere datasets zoals deze van de Baltische zee en/of van gecontroleerde testsites is ook voorzien.

Gezien het potentieel van bovenstaande onderzoeksmethode wordt aangeraden om gedetailleerde magnetische en gradiometrische data over de ganse Paardenmarkt te verzamelen, waarna 3D inverse modellering kan toegepast worden. Dit zal toelaten om de munitie veel nauwkeuriger in kaart te brengen, zowel qua verspreiding als diepteligging, hetgeen ook meer precieze bemonstering en een betere inschatting van de (totale) ijzermassa toelaat.

Zoals hierboven reeds aangehaald, kunnen magnetische anomalieën soms foutief aanzien worden als munitie; het kan bijvoorbeeld ook gaan om een anker. Er is verder onderzoek nodig om onderscheid te kunnen maken tussen munitie en ijzerhoudende voorwerpen. Verwacht wordt dat de verbeterde inverse modellering voorzien in 2024 hier meer duidelijkheid in kan scheppen. In de toekomst zal machine learning hier waarschijnlijk ook aan bijdragen.

3. Staalname en analyse sediment en bovenliggend water

In 2018 werd voor het eerst contaminatie waargenomen op twee locaties op de Paardenmarkt waar de densiteit van magnetische anomalieën zeer hoog is. De staalname in 2019 werd geconcentreerd in deze zogenaamde hoog-risicozone om een beeld te schetsen van de lokale verspreiding van de contaminatie. De kans op het detecteren van contaminatie was hoog en lekkage werd ook effectief bevestigd.

Het monitoringprogramma werd in 2021 opgeschaald met een verdubbeling van de genomen en geanalyseerde stalen voor zowel toxische agentia (yperiet en Clark I & II) als springstoffen. De monitoring van het sediment werd aangevuld met metingen in de waterkolom zo dicht mogelijk tegen de zeebodem. In 2023 werd geopteerd voor vaste staalnamepunten om vergelijking van de resultaten doorheen de tijd mogelijk te maken. De omstandigheden ter plaatse laten door beperkte zichtbaarheid en sterke stroming niet toe om met grote nauwkeurigheid exact dezelfde punten te bemonsteren. Enkele meters verschil tussen punten van staalname in opeenvolgende jaren is dus mogelijk.

Op ieder bemonsteringsstation wordt door een duiker van Defensie handmatig een core (een steekbuis in plexiglas, lengte 24 cm, diameter 4 cm) in het sediment geduwd. De gevulde core wordt met doppen afgesloten en naar de oppervlakte gebracht. Met Niskinflessen worden op 20 posities zo dicht mogelijk bij de zeebodem stalen genomen van 4 liter zeewater. Veiligheidsprotocollen zijn in voege om de risico's bij staalname, het bovenhalen en het transport naar DLD en ECOCHEM te minimaliseren.

Sinds 2019 wordt de aanwezigheid van springstofresten (toxische nitro-amines gelinkt aan TNT en zijn afbraakproducten) aangetoond op elk staalnamepunt, in het sediment en/of het poriewater, ook deze buiten de pentagonale zone, weliswaar in lage concentraties. De vervuiling is bijgevolg wijdverbreid in omvang, maar beperkt in intensiteit.

Detectie van deze lage concentraties munitie-gerelateerde stoffen is te verklaren door de toegenomen gevoeligheid van de analysetechnieken. Dit zorgt ervoor dat concentraties die voordien niet te detecteren waren nu wel op de radar verschijnen, wat de mogelijkheid biedt om stijgende en dalende trends tijdig op te sporen. De jaarlijkse monitoring kan dan ook beschouwd worden als een *“early warning system”*.

Stroming en meteorologische omstandigheden zouden mogelijk een invloed kunnen hebben op de resultaten. In 2021 viel bijvoorbeeld op dat de stations met niet-kwantificeerbare⁶ resultaten zich allemaal in het zuidoostelijk deel van de dumpzone bevinden, met als vermoedelijke verklaring voor dat patroon dat de overheersende stroming uit de Westerschelde de vervuiling zacht naar het noordwesten duwde. Bij de staalnamecampagne van augustus 2022 werd overal TNT gevonden, met als mogelijke verklaring het warmere zeewater dat meer TNT uit het sediment mobiliseerde. Modellerings kan meer uitsluitsel geven over de invloed van stroming en seizoenale fluctuaties.

Op een beperkt aantal staalnamepunten (één in 2018; één in 2019; drie in 2022 en twee in 2023) werden tijdens de jaarlijkse staalnamecampagne sporen van toxische agentia (yperiet en Clark I & II) waargenomen waarbij de gemeten concentraties laag bleven. Ook hier is deze detectie te verklaren door de toegenomen gevoeligheid van de analysetechnieken.

⁶ Een stof is detecteerbaar wanneer ze met statistische significantie kan worden waargenomen. Een stof is kwantificeerbaar wanneer met aanvaardbare nauwkeurigheid de concentratie kan worden bepaald.

Er werden in het kader van DISARM 30 stalen genomen op locaties met hoge dichtheid van magnetische anomalieën (gebaseerd op de nieuwste gradiometrische data van 2024). Na analyse werd in 20% van de sedimentstalen afbraakproducten van yperiet gevonden, weliswaar in lage concentraties. Bij de helft van de stalen waarvan het sediment gecontamineerd was, werd ook in het poriewater contaminatie gemeten. In 7 stalen werden in het poriewater ook stoffen gelinkt aan Clark aangetroffen. Het gaat om een afbraakproduct (DPAA) en een onzuiverheid⁷ (TPAO) waarvan geweten is dat detectie van de ene normalerwijze samengaat met detectie van de andere. De analysetechniek van TPAO staat echter nog niet op punt waardoor de meetresultaten momenteel niet als betrouwbaar kunnen beschouwd worden.

Dat meer contaminatie wordt waargenomen op locaties met een hoge concentratie munitie is logisch. Vergelijking van de resultaten van de jaarlijkse staalnamecampagne en deze uit DISARM, geeft aan dat de keuze van bemonsteringspunten kritisch bekeken dient te worden bij toekomstige campagnes. De afweging dient gemaakt te worden of de punten die de laatste jaren worden gebruikt met het oog op vergelijkbaarheid en die verspreid zijn over de ganse zone nog steeds de voorkeur genieten. Wenst men maximale concentraties vast te stellen, dan lijkt het beter om punten te selecteren waar sterke magnetische anomalieën voorkomen. Voorwaarde om dit uit te voeren is gedetailleerd magnetisch onderzoek van de te bemonsteren zone. Voorlopig is dit enkel voorhanden voor een klein gebied ($\pm 3\%$) in het centrale deel van de pentagonale zone.

Dat afbraakproducten worden aangetroffen, duidt op degradatie van munitie-gerelateerde stoffen. Dit is deels te verklaren door verwerking van de contaminatie door het lokale microbiom⁸, wat perspectief biedt voor Bioremediatie. De verwerkingscapaciteit van dit microbiologisch ecosysteem en hun activiteit bij andere (hogere) concentraties contaminanten is echter nog onduidelijk.

Tijdens de jaarlijkse staalnamecampagne worden de sedimentstalen enkel aan het oppervlak genomen. De concentratie-evolutie naarmate dieper in het sediment wordt gegaan, is niet gekend. Het kan gaan om een heel geleidelijke overgang of om een abrupte stijging van de concentratie aan het grensvlak tussen de toplaag, die continu in suspensie wordt gebracht en door de stroming wordt uitgewassen, en het onderliggende sediment. De huidige staalnamemethode laat zeker niet toe om te bepalen hoe hoog de concentratie toxische stoffen is dichtbij het projectiel, enkele meters onder de zeebodem, en hoe de toxische stoffen zich verspreiden in het sediment. Meer inzicht in de verspreiding is noodzakelijk om (test)ruiming ook maar te overwegen. Dieptestalen nabij de munitie kunnen antwoord bieden op deze onderzoeksvragen en zullen tevens een aanzienlijke bijdrage leveren bij het oplossen van andere kennisvragen (bv. ecotoxiciteit), alsook bij het bepalen van de beheerstrategie. Zo kan het determineren van de microbiële gemeenschap in de dieptestalen zicht bieden op de invloed van deze micro-organismen op corrosie en de deur richting bioremediatie verder openzetten.

Het VLIZ heeft samen met DLD, KMS en KBIN uitgebreid onderzocht hoe zo'n staalname op diepte veilig kan gebeuren, rekening houdende met de risico's, mitigerende maatregelen en verantwoordelijkheid. De technologie en knowhow is grotendeels beschikbaar, maar de verantwoordelijkheid voor dergelijk bodemberoerend onderzoek bleek een onoverkomelijk punt binnen de voorziene tijdsframe van het

⁷ Bij de productie van explosieven ontstaan vaak ook andere stoffen, zogenaamde onzuiverheden.

⁸ het microbiologisch ecosysteem bestaande uit een complexe interactie tussen bacteriën, gisten, schimmels en virussen

DISARM-project. De technisch-juridische kennis reeds verzameld blijft bruikbaar voor optimalisatie van het risicokader en toekomstige initiatieven voor het nemen van dieptestalen.

De huidige bemonsteringstechniek op de Paardenmarkt kan geoptimaliseerd worden met een meer nauwkeurige positionering onder water. Gezien de zeer beperkte zichtbaarheid op die locatie en de sterke stroming is dit geen sinecure. Er bestaan apparaten die (onderwater)positiebepaling en -logging van duikteams toelaten. De inzet van dergelijke apparatuur op de Paardenmarkt dient verder onderzocht te worden door de experts ter zake.

Oplossingsstrategie

Het overzicht van de risico's en de huidige kennis van de Paardenmarkt hebben tot doel om tot de best mogelijke beheeroptie op lange termijn voor de munitiestortplaats Paardenmarkt te komen. De oplossingsstrategie houdt meer in dan louter bepalen wat met de munitie zelf dient te gebeuren, gaande van ruiming tot ter plaatse laten. Het moet ook een visie uitdragen op verdere monitoring die bij gelijk welke beheersoptie zal nodig zijn gedurende vele jaren, en bijkomende onderzoeken identificeren. Om hieraan tegemoet te komen, wordt achtereenvolgens besproken:

- Ruiming en vernietiging
- Overkapping
- Nulstrategie
- Monitoring
- Modellering
- Bioremediatie
- Bereiken kantelpunt
- Bijkomende onderzoeken en hun prioriteit

1. Ruiming en vernietiging

In 2017 heeft het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW), afdeling Maritieme Toegang, van de Vlaamse overheid een projectvoorstel ingediend met als doel het uittesten van methodes om in de Noordzee gedumpte oorlogsmunitie veilig en kostenefficiënt op te ruimen. Tijdens het voortraject werden de verschillende belanghebbenden bevroegd en werd een marktconsultatie georganiseerd. Verscheidene onoverkomelijke moeilijkheden om zo'n test uit te kunnen voeren, werden vastgesteld waardoor het project in 2019 werd stopgezet. Sommige van de toenmalig vastgestelde problemen voor ruiming zijn nog steeds aan de orde.

De veiligheidsrisico's verbonden aan een ruimingsactie dienen tot een minimum beperkt te kunnen worden. Zowel tijdens de bergingsoperatie, het transport op zee en aan land, als de verwerking van de munitie zijn er risico's voor het milieu en de betrokken personen. De springstoffen zijn nog even explosief als 100 jaar geleden, maar de toestand van de munitie in het sediment is onzeker. Manipulatie en blootstelling aan zuurstof zal vermoedelijk aanleiding geven tot snelle desintegratie/corrosie van de projectielen met de veiligheids- en milieurisico's van dien. Daarnaast zijn er ook milieurisico's door het beroeren van het sediment met vrijstelling van toxische stoffen in het mariene milieu. De ecotoxicologische effecten zullen zich pas op langere termijn ten volle ontwikkelen en zijn nog niet helemaal gekend.

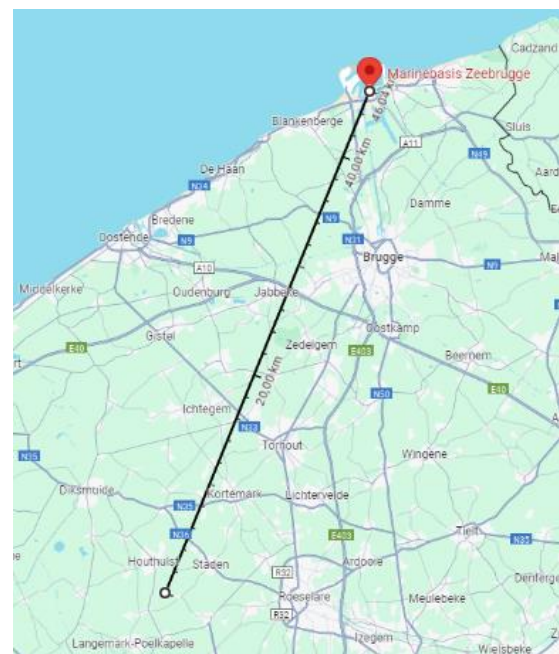
Het uitvoeren van een test op één of zelfs enkele locaties biedt geen uitkomst voor de volledige site. Elke set van specifieke condities dient gekend te zijn om ruiming te overwegen. Een test kan wel bijkomend inzicht opleveren over de toestand van de munitie en, indien tijdens de test stalen worden genomen in alle richtingen ten opzichte van het projectiel of de projectielcluster, over de verspreiding van de

betrokken chemicaliën in de omgeving. Maar ook dan wordt slechts informatie bekomen over een zeer lokale situatie, die niet noodzakelijk geldt voor de ganse dumpplaats.

De huidige wetgeving stelt dat manipulatie van munitie op het nationale grondgebied enkel mag gebeuren door de dienst voor opruiming en vernietiging van ontploffingstuigen (DOVO). Elk individueel springtuig op de Paardenmarkt dient dus opgehaald, verplaatst en vernietigd te worden door DOVO. Eenmaal opgehaald, mag munitie niet gestockeerd worden gezien dit een nieuwe explosiesituatie creëert. De verwerkingscapaciteit van de DOVO-site te Poelkapelle laat, rekening houdend met de normale jaarlijkse verwerking die nog steeds zal moeten blijven doorgaan, niet toe om grote hoeveelheden aan te brengen op korte termijn. Dit alles in rekening brengende, zal de ruimingsactie én verwerking met de huidige kennis en mogelijkheden meerdere eeuwen in beslag nemen.

Vernietiging in zee van gerecupereerde munitie wordt niet in overweging genomen. Blast-in-place operaties creëren veel geluid met negatieve effecten op zeezoogdieren en stellen toxische stoffen vrij in dermate hoge concentraties dat zowel acute als chronische effecten op het mariene milieu verwacht worden. Dit zou ook enkel het verplaatsen van het probleem betekenen: van chronische lekkage vanuit het sediment naar herhaaldelijke en langdurige vrijstelling van hoge concentraties munitie-gerelateerde chemicaliën bij detonatie in zee.

De munitie zal dus ofwel moeten verwerkt worden op offshore platformen ofwel moeten verplaatst worden via de haven en over de weg naar verwerkingsinstallaties aan land. Voor beide opties zijn zeer grote extra investeringen nodig. Offshore platformen voor dit type operaties zijn er nog niet en aan land is nu enkel de DOVO-site te Poelkapelle beschikbaar. Naar alle waarschijnlijkheid zullen bij berging meerdere installaties moeten bijgebouwd worden. Gezien de snelheid van het corrosieproces eenmaal munitie is bovengehaald en wordt blootgesteld aan zuurstof, dienen de verwerkingsfaciliteiten al voorhanden te zijn op het moment van ruiming. Indien gebruik zou gemaakt worden van verwerkingsinstallatie(s) aan land, betekent dit ook dat de munitie via de haven aan land moet komen om vervolgens getransporteerd te worden doorheen verschillende gemeentes (Marinebasis Zeebrugge – DOVO Poelkapelle: afstand 46 km; kortste route >65 km). De bevolking zal zekerheid willen dat dit geen risico's inhoudt voor hen.



Figuur 2. Afstand Marinebasis Zeebrugge tot DOVO Poelkapelle

Het is onmogelijk een inschatting te maken van de kostprijs van een ruimingsoperatie. Dat dit gepaard zou gaan met een grote maatschappelijke kost, is zeker. Er zouden aanzienlijke bijkomende investeringen nodig zijn voor gespecialiseerd materiaal, infrastructuur en EOD-personeel, zowel onshore als offshore. Alleen al het plannen van zo'n operatie zou vele jaren duren.

Naast de ruiming van de munitie zelf, mag ook de sterk verspreide contaminatie van het sediment zeker niet vergeten worden. Indien munitie wordt geruimd, zou tegelijk het vervuilde sediment gesaneerd

moeten worden. Dit geldt ook voor gecontamineerd sediment buiten de pentagonale zone. Hoever de vervuiling zich uitstrekt, is niet gekend.

Omwille van het ineenstorten van het visbestand in de Baltische Zee, toenemende industriële activiteiten, risico's bij o.a. bodemberoerende visserij en baggeren, en nationale veiligheid bij hergebruik van oude oorlogsmunitie, heeft de Duitse regering in 2023 100 miljoen euro vrijgemaakt voor een pilootproject om in 2025 munitie te recupereren en vernietigen in de Lübecker Bocht en de Baai van Mecklenburg. Het doel van de piloot-bergingsoperaties is het vergaren van kennis over de staat van de gerecupereerde munitie en de schaalbaarheid van conventionele bergingsprocessen. Deze zouden vervolgens geïntegreerd worden in de ontwikkeling van een mobiel en drijvend bergingssysteem. De situatie in de Baltische verschilt echter van onze munitiestortplaats gezien de munitie er meestal blootligt op de zeebodem. Desalniettemin leveren dergelijke projecten steeds bijkomend inzicht.

Conclusie

Munitie vanop de Paardenmarkt op grote schaal bovenhalen is op dit moment én in de nabije toekomst niet haalbaar. De veiligheids- en milieurisico's zijn nog te groot om ruiming te overwegen. Er zijn teveel onzekerheden waarop antwoorden gezocht moeten worden om deze risico's tot een minimum te beperken. Daarnaast zouden heel wat grote investeringen moeten gebeuren vooraleer aan effectieve ruiming, een decennialang project, kan begonnen worden. Een maatschappelijk draagvlak zal op dat moment noodzakelijk zijn.

Een testproject kan overwogen worden, maar ook daar dringen verdere ontwikkelingen op het vlak van detectiemethodes om objecten op de site exact te kunnen lokaliseren en hun eigenschappen te bepalen, zich op. Enerzijds kan testruiming meer inzicht geven in de risico's, anderzijds zijn aan het ophalen van zelfs één enkel projectiel aanzienlijke veiligheids- en milieurisico's verbonden.

2. Overkapping

Het doel van overkapping is om de site af te schermen van de omgeving, waarbij er voornamelijk wordt gestreefd naar het vermijden van zeebodemerrosie waardoor munitie bloot komt te liggen. Daarnaast vermindert het risico op stranding van een schip en de impact van zo'n incident.

Overkappingsmogelijkheden werden onderzocht door UGent in 2009 en door Sertius in 2011. Meer bepaald volgende pistes werden behandeld: zandopspuiting op dikte⁹ ter hoogte van de eroderende zones of over de ganse Paardenmarkt, erosiebescherming met een granulaire toplaag, matten met kunstmatige zeewieren, bouw van een golfbreker ten N-NO van de Paardenmarkt en bouw van een eiland op de site.

De meest beloftevolle alternatieven waren:

- 1° Lokale suppletie van de eroderende zone
Voordelen: staalname blijft mogelijk; minder kans op stranding; beperkte kostprijs
Nadelen: niet duurzaam met nood aan onderhoudssuppleties; mogelijke (totale) verzanding van het gebied tussen Paardenmarkt en kust; frequente monitoring nodig; biedt geen afdoende bescherming tegen impact van een groot schip
- 2° Golfbreker op beperkte afstand tot de Paardenmarkt (zie Figuur Links)
Voordelen: kans op stranden schip quasi nihil; staalname blijft mogelijk
Nadelen: relatief hoge kostprijs; onvoorspelbaar sedimentatiegedrag; mogelijk verzanding van de volledige zone achter de golfbreker; negatief effect op waterkwaliteit in een toeristisch gebied dat tevens belangrijk is voor de vogelpopulatie; dimensies afstemmen op externe factoren zoals stijging zeespiegel, uitbouw haven, e.a.
- 3° Bouw van een eiland (zandophoping boven de waterspiegel) op de Paardenmarkt (zie Figuur Rechts)
Voordelen: kans op raken projectiel bij stranden quasi nihil; staalname blijft mogelijk en mogelijk zelfs makkelijker (grondmonsters); potentieel als rust- en broedplaats voor lokale levensgemeenschap (vnl. vogels) tot zelfs beschermd natuurgebied; vis- en ankerverbod de facto overbodig
Nadelen: zeer hoge kostprijs; lange duurtijd bouw; bevoegdheidswijziging met risico voor Vlaamse Overheid (politieke beslissing); onbekende impact van groter gewicht op projectielen en zoetwaterlens; regelgevend kader voor speciale beschermingszone waarbinnen Paardenmarkt zich bevindt

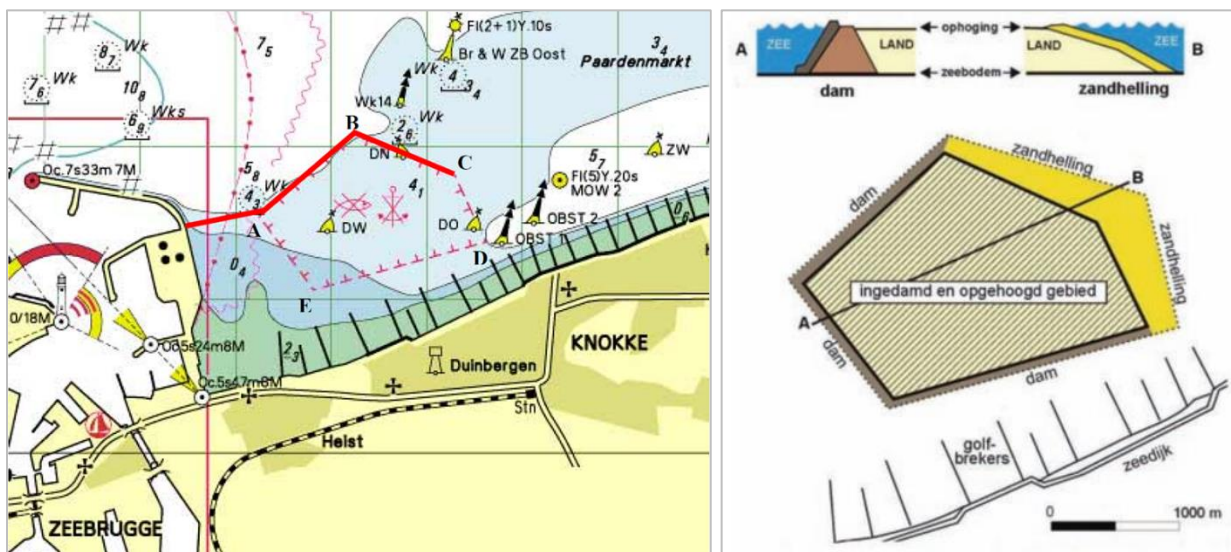
⁹ Op elke plaats wordt een laag met vooraf bepaalde dikte opgespoten. Een alternatief is opspuiten op peil, wat betekent dat een zeker niveau wordt nagestreefd en dat de uiteindelijke hoogteligging van de site overal uniform is.

Conclusie

Sedert de uitbouw van de haven van Zeebrugge heeft op het grootste deel van de stortplaats sedimentatie plaatsgevonden. Recent onderzoek toont aan dat vandaag de dag gemiddeld een status quo geldt over de volledige zone en dat alle munitie zich onder een dikke laag sediment bevindt (zie Sedimentlaag). Deze sedimentlaag kan beschouwd worden als een natuurlijk opgebouwde overkapping.

De lokale en beperkte erosie aanvullen met zand is geen duurzame oplossing. Zonder een specifieke constructie die het zand op zijn plaats houdt, zal erosie van deze zandsuppletie in de toekomst niet vermeden kunnen worden.

Het bouwen van zowel een golfbreker als een eiland brengt een aanzienlijk hogere kostprijs en heel wat onzekerheden met zich mee. Deze opties dienen verder uitvoerig onderzocht te zijn vooraleer ze in aanmerking komen.



Figuur 13. Links: Mogelijke vorm van een te bouwen golfbreker ten N-NO van de Paardenmarkt (UGent, 2009);
Rechts: Mogelijke bouwtechnische oplossing voor kunstmatig eiland (T. Missiaen, 2013, De Grote Rede)

3. Nulstrategie

Het in-situ laten van de munitie, de huidige nulstrategie, is een volwaardig alternatief bij de afweging van de risico's. Er wordt globaal geen actie genomen ten aanzien van de munitiestortplaats, maar een gepaste continue opvolging (zie Monitoring) maakt zonder meer deel uit van dit alternatief. Er wordt rekening gehouden met het op (lange) termijn lekken van de inhoud van de projectielen waarbij de vrijgekomen chemicaliën door natuurlijke processen (deels) worden omgezet naar onschadelijke producten. Eenmaal in de waterkolom zullen de stoffen snel verdunnen en verspreiden.

De afbraak van toxische stoffen kan gekatalyseerd worden door biologische (zie Bioremediatie) en chemische remediëring. Over de applicatie van deze technieken in het mariene milieu is echter weinig gekend.

Conclusie

Gezien de vele kennishiaten en het voorzorgsbeginsel (Art. 191 van het Verdrag inzake de werking van de EU) in gedachte houdende geniet de nulstrategie voor de komende jaren de voorkeur, op voorwaarde dat ze gepaard gaat met monitoring en het inzetten op onderzoek om de kennislacunes te vullen en optimaal beheer mogelijk te maken. In dat opzicht worden de bijkomende onderzoeken die bijdragen aan een kwalitatieve risicoanalyse en hun prioriteit opgelijst (zie hieronder).

4. Monitoring

4.1 Chemische monitoring

Voor de monitoring van de concentraties van polluenten in het sediment werd tot op heden telkens gewerkt met monsters uit de **oppervlakkige sedimentlaag**, waar zowel de fractie droog sediment als het poriewater worden geanalyseerd. De jaarlijkse staalnamecampagne maakt het mogelijk om de risico's van polluenten in de toplaag op te volgen.

In combinatie met het nemen van sedimentstalen worden ook stalen verzameld van het **zeewater** net boven de zeebodem. De analyse van de zeewaterstalen biedt meer zicht op de biobeschikbaarheid van de toxische stoffen en het bereik van contaminatiepluimen.

De analyse van chemicaliën in zowel sediment als poriewater en bovenliggend water dient verdergezet te worden. Opvolging van de waterkolom en het poriewater is noodzakelijk om de biologische beschikbaarheid van de polluenten correct in te schatten. De vaste punten waarop de laatste jaren stalen worden genomen, dienen kritisch bekeken te worden. Enerzijds is geweten dat contaminatie met munitie-gerelateerde chemicaliën wijdverbreid is, zelfs op locaties buiten de pentagonale zone. Anderzijds blijkt uit de staalnamecampagnes van 2019 en DISARM een duidelijke link tussen positieve stalen en plaatsen waar de magnetische modellering aangeeft dat veel munitie aanwezig is. Bij voorkeur voorziet de jaarlijkse staalnamecampagne in opvolging van beide vaststellingen. In het geval het aantal stalen dat kan genomen worden beperkt is, zal **gerichte staalname** des te belangrijker zijn met idealiter een verdeling tussen stalen afkomstig van punten waar reeds enkele jaren gemonitord wordt en deze vanop locaties met munitieclusters.

De procedures voor het nemen en analyseren van stalen dienen zo snel mogelijk verder gestandaardiseerd te worden om vergelijkbaarheid van resultaten doorheen de jaren en tussen labo's te vergemakkelijken. De **gestandaardiseerde staalname- en analysestrategie** zal ook bijdragen aan een betere risicoanalyse onder andere door het bekomen van een meer betrouwbare inschatting van de ecotoxiciteit.

De Paardenmarkt is een dynamisch systeem. Onder invloed van stroming en verstoring kunnen gecontamineerde sedimenten in suspensie worden gebracht en elders afgezet worden. Dit brengt enerzijds het probleem met zich mee dat polluenten zich verspreiden in de omgeving met een potentiële impact op het milieu en de volksgezondheid. Kennis over deze dynamiek is van belang en met **voorspellende modellen** – op voorwaarde dat voldoende en kwaliteitsvolle data wordt aangeleverd – kan dergelijke verspreiding verduidelijkt worden (zie Modellering). Anderzijds kan de vraag gesteld worden in welke mate de gemeten concentraties in de oppervlakkige zeebodem representatief zijn. De toplaag kan immers uitgewassen worden waardoor de werkelijke concentratie polluenten in het milieu hoger zal zijn dan wat de metingen laten blijken. Het nemen van **dieptestalen** kan een antwoord geven op deze vraag. Gezien de toegevoegde waarde die de analyse van diepere sedimenten kan geven, wordt zo'n onderzoek door vele experts ingeschat als zijnde van zeer hoge prioriteit.

4.2 Geofysische monitoring

Op basis van de gradiometrische data van 2022 kan niet goed ingeschat worden hoe diep de munitie ligt en welke massa ze heeft. Daarnaast is het niet mogelijk om een onderscheid te maken tussen munitie en andere ijzerhoudende objecten. Meer gedetailleerde data zoals deze verzameld in een klein deelgebied van de Paardenmarkt tijdens het DISARM-project, bleek wel uiterst waardevol (zie Lokalisatie en diepteligging munitie). Gelijkaardige data verzamelen voor de ganse zone gecombineerd met 3D inverse modellering wordt aanzien als een prioriteit om een beter beeld te krijgen van de exacte locatie, concentratie en diepteligging van de munitie. Met dergelijk onderzoek kan ook een betere inschatting gemaakt worden van de massa.

5. Modellerings

Ter ondersteuning van de reguliere monitoring kunnen modellen ontwikkeld worden die een degelijke inschatting maken van de risico's voor mens en milieu en dus als een vroeg waarschuwingssysteem fungeren. Zo'n voorspellende modellen laten toe om:

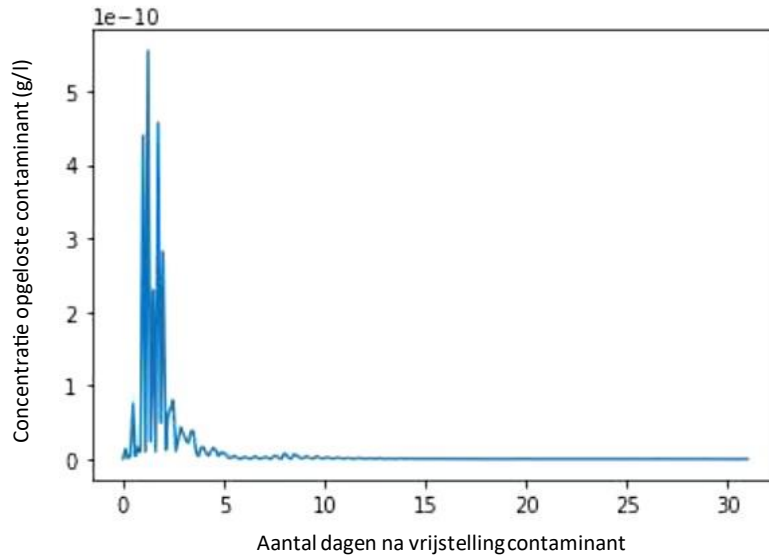
- De staalnamecampagnes te optimaliseren door stalen te nemen op de meest relevante locaties;
- Een inschatting te maken van de verspreiding doorheen de tijd van de polluenten in het water en de sedimentlaag;
- De migratie van chemicaliën van het sediment naar de waterkolom via het poriewater te modelleren;
- De ecotoxicologische impact in te schatten, met specifieke focus op het voedselweb en de menselijke gezondheid.

Dergelijke modellen laten ook toe om bepaalde scenario's te testen en voorspellingen te maken, en kunnen ingezet worden bij incidenten met een impact op de munitiestortplaats (zie Figuur en Figuur).

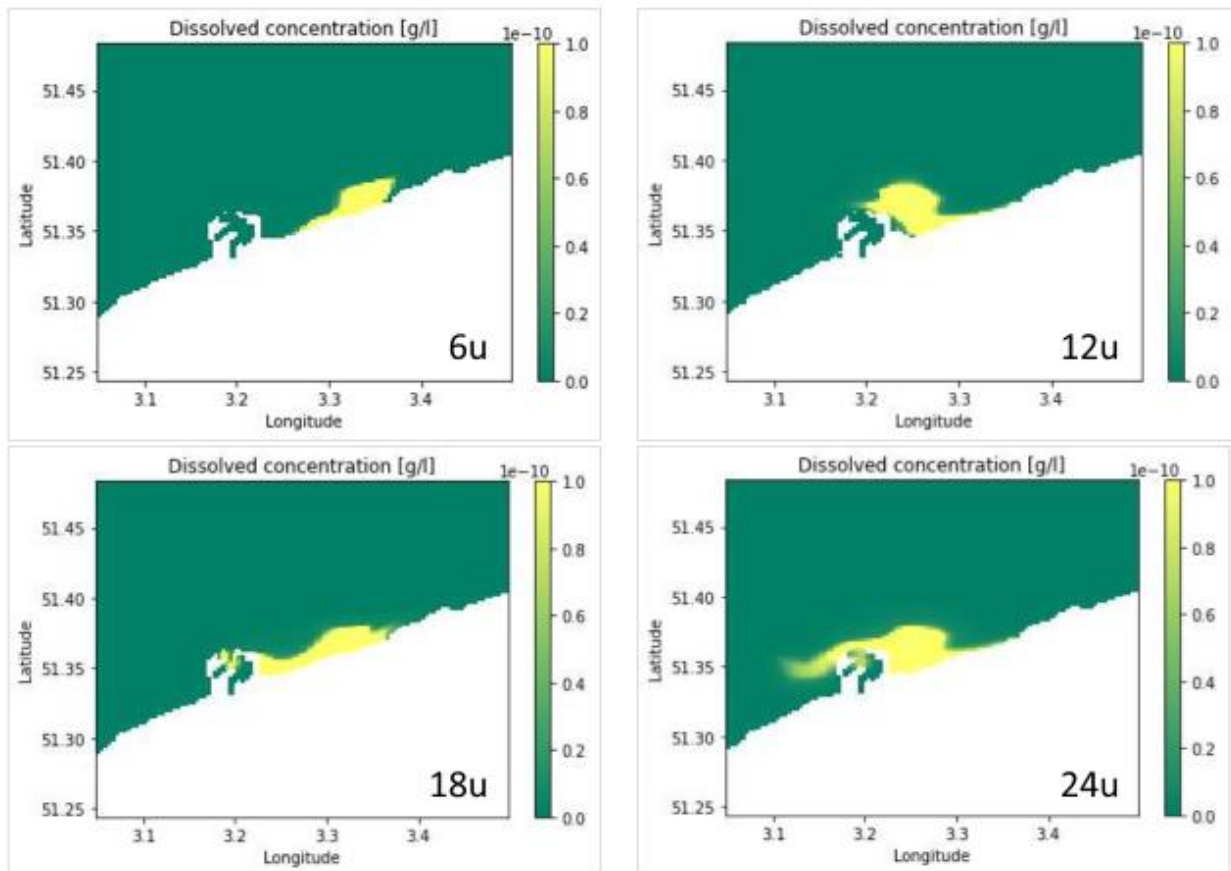
De haalbaarheid voor de ontwikkeling van modellerings van de Paardenmarkt werd in opdracht van de dienst Marien Milieu reeds onderzocht. Voor optimalisatie van de ontwikkeling van zo'n tool en de output die het kan leveren, worden bijkomende onderzoeken aanbevolen nl.

- ✓ Hoge resolutie magnetische en gradiometrische metingen over de ganse stortplaats, gevolgd door inverse modellerings van een representatief aantal anomalieën of filtratie met behulp van empirische orthogonale functies voor hoge resolutie karakterisatie van het interessegebied;
- ✓ Installatie van een monitoringnetwerk via chemische sensoren tussen de Paardenmarkt en de kust;
- ✓ Verkrijgen van bijkomende data om de indirecte blootstelling van mensen aan toxische munitie-gerelateerde substantie in de voedselketen in te schatten. In het bijzonder wordt gedacht aan bioaccumulatie van deze substanties en mengsels ervan in oesters, mosselen en vissen;
- ✓ Het analyseren van dieptestalen – bij voorkeur in alle richtingen t.o.v. een projectiel(cluster) – wat toelaat de verspreiding van de chemicaliën in het sediment beter in te schatten en waarvan het resultaat het model kan voeden en valideren.

Een modulaire ontwikkeling van zo'n modelleringsstool is mogelijk. Indien dergelijke modellen ontwikkeld worden, dient tegelijk geïnvesteerd te worden in het continue onderhoud van dit systeem.



Figuur 3. De gemodelleerde evolutie in de tijd van de concentratie 2,4,6-TNT wanneer $5,9 \cdot 10^{-10}$ g/l 2,4,6-TNT ter hoogte van de Paardenmarkt zou zijn vrijgekomen (DISARM, 2024)



Figuur 15. Verspreiding en concentratie van $5,9 \cdot 10^{-10}$ g/l 2,4,6-TNT ter hoogte van de Paardenmarkt na respectievelijk 6, 12, 18 en 24 uur (DISARM, 2024)

6. Bioremediatie

Micro-organismen bezitten het potentieel om toxische stoffen af te breken. Binnen het DISARM-project werd aangetoond dat de microbiële gemeenschap van nature aanwezig op de munitiedumpplaats in staat is om toxische stoffen afkomstig van TNT en Clark-metabolieten af te breken in de mariene omgeving. Ook biodegradatie van mosterdgas werd vastgesteld.

Eenzijds kan de aanwezigheid van deze organismen fungeren als bio-indicator voor de aanwezigheid van munitie-gerelateerde polluenten (biomonitoring). Anderzijds kunnen diezelfde micro-organismen een efficiënte, kosteneffectieve en laag-risico oplossing bieden voor het beperken van de milieuvervuiling en de hiermee geassocieerde milieu- en gezondheidsrisico's. Verder onderzoek is nodig om na te gaan of passieve opvolging volstaat of kan ingezet worden op actieve stimulatie van dergelijke processen. Het kan zelfs leiden tot het opzetten van collaboromen¹⁰ die gericht bioremediatieprocessen op sites zoals de Paardenmarkt kunnen faciliteren.

“The DISARM research demonstrates the great potential of microbial communities as indicators for biomonitoring as well as bioremediators of toxic compounds at marine dump sites as the Paardenmarkt”

DISARM, 2024

7. Bereiken kantelpunt

Het kantelpunt of het moment waarop blijkt dat een andere oplossing dan de huidige aanpak (de nulstrategie) opportuun wordt, kan op twee manieren worden bekeken.

- **Absolute grens:** Wanneer een parameter hoger ligt dan een kritieke waarde op één of meerdere staalnamepunten is het kantelpunt bereikt.
Bv. Bij een $RQ \geq 1$ op vijf verschillende punten voor één polluent, bereiken we het kantelpunt.
- **Trends:** Wanneer trends binnen de in situ metingen aangeven dat binnen een bepaald aantal jaren een kritieke waarde bereikt zal worden op één of meerdere staalnamepunten, is het kantelpunt bereikt.
Bv. Wanneer een $RQ \geq 1$ binnen de 10 jaar wordt overschreden op 5 locaties voor één polluent, bereiken we het kantelpunt.

Het invullen van deze kantelpunten met concrete cijfers is een politieke beslissing en dient in dat geval te gebeuren op basis van door de wetenschap uitgewerkt scenario's en in overleg met de experts ter zake. De studies die worden geselecteerd als onderdeel van de monitoringstrategie zijn van belang om deze beslissing gefundeerd te maken. UGent geeft met haar nog lopende ecotoxiciteitsstudie alvast een aanzet tot het concretiseren van kantelpunten.

Wanneer het kantelpunt wordt bereikt, moet een model met voldoende voorspellende kracht een inschatting kunnen maken van de risico's. Op korte termijn moeten vervolgens maatregelen genomen worden om de risico's te mitigeren of weg te nemen. Bij externe impact is die termijn korter dan bij spontane pollutie. De verschillende beheersopties werden hierboven reeds behandeld.

¹⁰ Gemeenschappen van (micro-)organismen erop gericht om samen te werken om een bepaald doel te bereiken.

8. Bijkomende onderzoeken en hun prioriteit

De in vorige hoofdstukken aangebrachte studies die bijdragen aan een kwalitatieve risicoanalyse worden opgelijst en – om richting te geven betreffende timing en beste besteding van budget – opgedeeld in drie categorieën naargelang hun prioriteit.

- Hoge prioriteit zo snel mogelijk uit te voeren
- Matige prioriteit bij voorkeur de komende vier jaar uit te voeren
- Lage prioriteit de andere prioriteiten hebben voorrang

Onderzoek van de archieven

Prioriteit: Hoog

De Paardenmarkt is geen uniform samengestelde zone, maar bestaat onder meer uit hotspots op verschillende dieptes en verdwaalde projectielen. De totale hoeveelheid gestorte munitie, het aandeel projectielen met/zonder ontsteker, de verhouding conventionele/toxische munitie en het aandeel per type toxische munitie zijn niet gekend. Alle mogelijkheden tot grondig archiefonderzoek over de dumpingoperatie dienen daarom volledig uitgeput te worden, vooral gezien de hieraan gekoppelde werklast niet groot hoeft te zijn.

Gedetailleerd gradiometrisch onderzoek

Prioriteit: Hoog

Met de techniek voor gradiometrische survey uitgetest binnen DISARM werd sterk gedetailleerde data verkregen. Deze data kon in combinatie met 3D inverse modellering een absolute meerwaarde creëren voor het inschatten van de diepteligging en de massa van de munitie, zeker wanneer dit werd vergeleken met resultaten op basis van data uit de beperkte magnetische survey van 2022.

Het voorstel is dan ook om een gebiedsdekkende, gedetailleerde magnetometrische survey te plannen, gevolgd door 3D inverse modellering. Dit wordt als één van de belangrijkste onderzoeksprioriteiten beschouwd.

3D inverse modellering

Prioriteit: Hoog

Op basis van hooggedetailleerde gradiometrische data kan niet-conventionele 3D inverse modellering een beter beeld schetsen van de vorm, grootte en samenstelling van de munitieclusters, alsook hun diepteligging, iets wat tot nu toe niet mogelijk was via conventionele UXO-surveys en conventionele UXO-interpretatie. Zo wordt meer precieze bemonstering mogelijk. Het laat ook toe om de verwachte massa van een object(cluster) in te schatten.

De (software)code die wordt gebruikt voor deze 3D inverse modellering, werd ontwikkeld specifiek bij onderzoek op de Paardenmarkt, en wordt momenteel verder verfijnd. De verwerkingstijd van data laat op dit moment enkel toe om de techniek toe te passen op een beperkt aantal anomalieën, en niet op de ganse Paardenmarkt. Automatisatie kan in de toekomst snellere verwerking toelaten en *machine learning* kan betere distinctie tussen munitie en andere ijzerhoudende voorwerpen bewerkstelligen. De code ondergaat bijgevolg een continue evolutie.

3D inverse modellering wordt bij voorkeur uitgevoerd van zodra gedetailleerde gradiometrische data is verzameld.

Staalname toplaag

Prioriteit: Hoog

Continue jaarlijkse monitoring van de toplaag blijft sterk aangeraden om plotse stijging van polluenten in het milieu tijdig op te sporen. Wel dient de locatie van de bemonstering kritisch bekeken te worden. Het is reeds bekend dat de vervuiling wijdverspreid is over de site. Heroriëntatie van minstens enkele staalnamepunten die enkel ter bevestiging hiervan dienen, naar locaties met sterke ferromagnetische afwijkingen waarvan de coördinaten in recente onderzoeken zoals 3D inverse modellering verfijnd werden, is nodig. Er zou tevens geopteerd kunnen worden voor twee staalnames per jaar op dezelfde staalnamepunten om de seizoensinvloed te achterhalen.

Passieve bemonsteringstoestellen

Prioriteit: Matig

Het capteren van polluenten met een sorptiemedium klinkt veelbelovend, maar dit type onderzoek heeft nog niet het punt bereikt waarop ze kan ingezet worden op de Paardenmarkt.

Monitoringsnetwerk van chemische sensoren

Prioriteit: Laag

Data verzameld met chemische sensoren gepositioneerd tussen de stortplaats en de kust zou in real-time kunnen geïntegreerd worden in een operationeel model. Gezien deze modellen nog niet voorhanden zijn, heeft zo'n investering op dit moment weinig zin.

Dieptestalen

Prioriteit: Hoog

Het nemen van sedimentstalen op verschillende dieptes én dicht bij munitie kan zeer waardevolle informatie opleveren over de verspreiding van contaminanten in het sediment rondom de munitie. Met de huidige oppervlakkige sedimentstalen is dergelijke inschatting niet mogelijk, zeker niet gezien de hoge dynamiek in de toplaag.

Met deze kennis zou voorspeld kunnen worden welke concentraties polluenten zich naar de toplaag begeven en in de waterkolom zullen opduiken. Deze informatie vormt een betere basis voor een vroeg waarschuwingssysteem, waarbij remediëring opgestart zou kunnen worden vooraleer het risico voor leefmilieu en volksgezondheid te hoog oploopt.

De haalbaarheid van het nemen van dieptestalen werd onderzocht in DISARM. Zeer strikte technische voorwaarden werden bij het marktonderzoek opgelegd om ongewenste impact te vermijden en operationele risico's alsook aansprakelijkheid tot een minimum te beperken. De technologie en knowhow was beschikbaar. Het nemen van stalen op diepte met sterk gespecialiseerde en innovatieve boortechneken met ingebouwde (elektro)magnetische sensoren bleek mogelijk en haalbaar. De aansprakelijkheid voor zo'n onderzoek bleek echter onoverkomelijk voor een private partij. Onderzoek op initiatief van de overheid zou deze laatste horde kunnen nemen.

Om de uitdagingen van het nemen van dieptestalen verder tegemoet te gaan, wordt een aanpak in twee fasen voorgesteld. Fase 1 dient als test om staalnametechnieken in het sediment te verfijnen en valideren, in een gebied buiten maar vergelijkbaar met de Paardenmarkt. Bij positieve resultaten kan fase 2 opgestart worden waarbij dieptestalen worden genomen op de munitiestortplaats zelf.

Toxicologisch onderzoek op diepe sedimentstalen, bij voorkeur aangevuld met microbiologisch en ecotoxicologisch vlak van dezelfde stalen (wat mogelijk is), zal antwoord bieden op vele Paardenmarkt-gerelateerde onderzoeksvragen. Op basis van de output kan de monitoring geoptimaliseerd worden en kan eventueel een nieuwe beheerstrategie de voorkeur genieten bv. bioremediatie.

Analyse van stalen op grotere diepte zal dus op vele vlakken bijkomend inzicht geven, zoals:

- Een geleidelijke of abrupte overgang in pollutentenconcentratie tussen toplaag en dieper gelegen sediment,
- De concentratie-evolutie naarmate dieper in het sediment wordt gegaan,
- De verspreiding van contaminanten in het sediment,
- De microbiologische samenstelling op verschillende diepten,
- De invloed op corrosie van een aan- of afwezig microbioom,
- Het potentieel voor bioremediatie, enz.

Testruiming

Prioriteit: Laag

De veiligheids- en milieurisico's lijken momenteel te hoog om te overwegen om munitie vanop de dumpplaats boven te halen. Eerst dient ingezet te worden op detectiemethoden om de projectielen exact te lokaliseren en op het bepalen van de eigenschappen van de omgeving en de munitie zelf.

Positionering

Prioriteit: Hoog

Meer nauwkeurige positionering van duikers is cruciaal voor het nemen van monsters op zeer specifieke locaties/coördinaten. Dit is zeker het geval wanneer wordt overgeschakeld van de monitoring van de verspreiding van contaminanten naar de meting van pieken op locaties waarvan geweten is dat er veel munitie voorkomt bv. uitgaande van de uiterst gedetailleerde beelden verkregen via 3D inverse modellering. De benodigde technologie hiervoor bestaat reeds, al zijn de sterke stroming en zeer beperkte zichtbaarheid op de Paardenmarkt mogelijk beperkende factoren.

Modellering risico's mens en milieu

Prioriteit: Matig

De modellering van ruimtelijke verspreiding en evolutie in de tijd van contaminanten in het sediment, van migratie van deze stoffen van sediment naar de waterkolom en van de ecotoxicologische impact werd hierboven reeds besproken. Modulaire uitwerking van zo'n model is mogelijk.

Module 1. Ontwikkeling van een diagenetische module gekoppeld aan de bestaande module voor sedimenttransport (COHERENS)

Module 2. Via *machine learning* de kinetische transfercoëfficiënten tussen vastgehecht aan sediment en in oplossing verfijnen (grote hoeveelheid data nodig)

Module 3. Ontwikkeling van een risicoanalysemodule (3 delen: 1/ kans op lekkage en concentratie van het lek; 2/risicomatrix met classificatie van mogelijke gevolgen incl. de verspreiding van chemicaliën; 3/ combinatie van volume, verspreiding en gevoeligheid in dit gebied)

Module 4. Ontwikkeling van een ecotoxicologische module, incl. het indirecte risico voor de menselijke gezondheid door consumptie van gecontamineerd zeevoedsel

Modellering corrosie

Prioriteit: Laag

De lokale fysicochemische karakteristieken van het sediment en de microbiële effecten op corrosie blijven een vraagteken zolang geen dieptestalen worden genomen. Er zijn ook nog heel wat onzekerheden over chemische corrosie van binnenuit, het temperatuureffect, het gecombineerde erosie-corrosie effect, de invloed van de begravingdiepte, het zuurstofgehalte en al of niet concreteivorming rond de projectielen. Er dient dus eerst informatie gehaald te worden uit mesokosmosen, laboratoriumstudies, dieptestalen en/of analyse van munitie in-situ, waarna deze ook kan gebruikt worden om modellen te voeden en te valideren.

Modellering grondwater

Prioriteit: Laag

De verse grondwateraanvoer in de zeebodem kan een invloed hebben op de contaminantmigratie in het sediment en hun uiteindelijke vrijstelling in de waterkolom. Tevens heeft de aanvoer van zoet water een impact op de corrosiesnelheid. Een grondwatermodel van de Paardenmarkt dat verticale fluxen kan kwantificeren, kan ontwikkeld worden.

Mosselkooien

Prioriteit: Laag

Mosselen zijn als filters en opstapelaars van verontreinigende stoffen ideaal om blootstelling van mariene organismen aan munitie-gerelateerde chemicaliën in te schatten, alsook hun opstapeling in de voedselketen met potentiële implicaties voor de gezondheid van de mens. Echter, de concentratie van munitie-gerelateerde stoffen is op de Paardenmarkt vele malen kleiner in vergelijking met detonatiezones op zee met een acuut hoge contaminatie en wrakken met munitie aan boord of munitiestortplaatsen waar de munitie op de zeebodem ligt zoals in de Baltische Zee met chronisch aanzienlijke contaminatie. Ecotoxiciteitstudies met mosselkooien op locaties zoals deze laatste zullen waarschijnlijk efficiënter zijn en resultaten opleveren die vervolgens ook bijkomend inzicht kunnen geven voor de Paardenmarkt.

Invloed op biodiversiteit en ecosysteem

Prioriteit: Laag

Verder onderzoek naar de invloed van munitie-gerelateerde chemicaliën op de biodiversiteit en het ecosysteem kan bijvoorbeeld gebaseerd zijn op eDNA-technieken. Vergelijking van resultaten met zones zonder vervuiling kunnen belangrijk inzicht leveren over de negatieve effecten van deze toxische stoffen op mens en milieu. Tegelijk kan vergeleken worden met de vooroorlogse situatie beschreven in historische documenten.

De invloed van toxische munitie-gerelateerde chemicaliën kan echter makkelijker aangetoond worden op locaties waar hogere concentraties van deze stoffen worden gemeten, bijvoorbeeld ter hoogte van UXO-detonatiezones en oorlogswrakken met munitie aan boord, dan ter hoogte van de Paardenmarkt waar lage concentraties worden gemeten.

Binnen enkele jaren zou alvast meer kennis verworven moeten zijn over zowel bruikbare technieken als de impact op biodiversiteit en ecosystemen.

Kantelpunten vastleggen

Prioriteit: Laag

Wanneer grenswaarden worden bereikt, dient beslist te worden of en wanneer tot actie overgegaan wordt. Alhoewel testresultaten steeds worden doorsproken met experts en adviezen worden gevraagd of en welke actie verder vereist is, kan de politiek ervoor kiezen om effectieve kantelpunten vast te leggen. Bij het bereiken van een kantelpunt worden de beheerstrategieën heroverwogen.

Stuurgroep Paardenmarkt

Prioriteit: Hoog

Goede samenwerking tussen verschillende experts die nauw betrokken zijn bij onderzoek over de Paardenmarkt is van primordiaal belang voor een degelijke aanpak van de site en is reeds aanwezig. Er gaan vele bilaterale gesprekken door en jaarlijks vinden meerdere overlegmomenten plaats om resultaten te bespreken en het verloop van verder onderzoek te bepalen. Het strekt tot aanbeveling om de samenwerking tussen de experts te officialiseren als een ‘Stuurgroep Paardenmarkt’ en een minimum aantal overlegmomenten op jaarbasis vast te leggen om nieuwe resultaten, voortschrijdend inzicht en aanpak te bespreken.

Gezien de stuurgroep een overzicht heeft over de situatie op de site, kan ze aanbevelingen doen over de aanpak en of deze bij het bereiken van bepaalde (kantel)punten dient gewijzigd te worden. Ook kan deze groep prioriteiten aanduiden.

Geoportaal

Prioriteit: Hoog

Binnen het DISARM-project werd een online toegankelijke data-inventaris en geoviewer ontwikkeld waarin de geofysische, geologische, chemische en biologische informatie over de Paardenmarkt werd samengebracht. In dit geoportaal zouden ook alle nieuwe gegevens moeten kunnen gearchiveerd worden. Gezien het potentieel belang als beleidstool dienen de haalbaarheid van de uitbouw het portaal en het onderhoud ervan ook na het beëindigen van het project verder onderzocht te worden.

Bathymetrisch onderzoek

Prioriteit: Matig

Het blijft aangewezen om regelmatig bathymetrisch onderzoek uit te voeren om na te gaan in welke mate erosie en/of sedimentatie optreedt ter hoogte van de munitiestortplaats. Er geldt gemiddeld een status quo over de volledige zone wanneer data uit 2013 wordt vergeleken met deze uit 2023, maar er zijn zones waar de sedimentlaag geërodeerd is, onder meer ter hoogte van het centrale deel van de Paardenmarkt. Een bathymetrische verschilkaart 1970-2022 kan meer duidelijkheid brengen over de evolutie in dikte van de sedimentlaag sinds de uitbouw van de haven van Zeebrugge, wanneer het laatste munitie aan het oppervlak werd waargenomen.

Algemeen besluit

Het voorliggend plan van aanpak is een synthese van de informatie verkregen uit studies en tijdens uitwisselingen met experts, en dient als beleidsaanbeveling en vertrekpunt voor de monitoring- en beheerstrategie. De geïdentificeerde prioriteiten worden gestaafd naar haalbaarheid en budgettaire impact. De goede contacten met experts worden verder aangehaald om de beste strategie verder uit te rollen.

Met de huidige kennis blijft de nulstrategie in combinatie met continue monitoring de beste optie. Er zijn momenteel teveel onzekerheden en potentieel negatieve effecten verbonden aan de alternatieve beheersopties. Wat betreft de monitoring van de site wordt aangeraden om op een aantal punten verspreid over hogere en lagere dichtheid van gedumpt materiaal een algemene monitoring op regelmatige basis, minstens jaarlijks, uit te voeren op de verschillende matrices (sediment, zeewater en poriewater).

De voornaamste bezorgdheid ligt bij de lekkende polluenten en het risico dat de munitie-gerelateerde chemicaliën vormen voor het milieu en de volksgezondheid. De situatie dient minstens verder opgevolgd te worden. Daarnaast moet ingezet worden op het verduidelijken van de risico's die op ons afkomen door de chronische lekkage. Dit kan enkel door een beter zicht te krijgen op de situatie dieper in het sediment en door in te zetten op modellen die de polluentconcentraties kunnen voorspellen. Tegelijk moeten de ecotoxicologische effecten op het mariene milieu verder onderzocht worden om de langetermijneffecten op o.a. de biodiversiteit en de veiligheid van de voedselketen te achterhalen.

“Op basis van wat we nu weten, kan geen actie tot opruimen van de site worden aanbevolen, wel integendeel lijkt het beter de dumpplaats onaangeroerd te laten en de ontwikkelingen op de voet te volgen. Als het vrijkomen van de toxische stoffen heel geleidelijk verloopt, is een sterke versterking van de sedimenten ten stelligste te vermijden.”

KBIN, 2022

Het risico op een externe impact op de munitiestortplaats is zeer laag en de risico's verbonden aan zo'n impact zijn beperkt. Indien zich toch een calamiteit voordoet, ligt binnenkort het bijzondere nood- en interventieplan voor de Paardenmarkt klaar. Er zijn tevens oplossingsstrategieën gekend die bij het bereiken van een kantelpunt kunnen gebruikt worden, elkeen met zijn voor- en nadelen. Ze bieden een kader om op terug te vallen wanneer de risico's op de Paardenmarkt directe actie vereisen.

Dé ideale aanpak voor de munitiestortplaats bestaat niet, gezien een exacte kwalitatieve en kwantitatieve bepaling van het probleem onhaalbaar is. De laatste jaren is wel heel wat bijkomende informatie over de Paardenmarktsite verzameld wat tot continu voortschrijdend inzicht en nieuwe initiatieven leidt. De technologische vooruitgang is dermate groot dat onderzoek in 2023 al heel wat gedetailleerder kan dan in 2022. Het nu strikt vastleggen van de monitoring en het beheer van de site in een 10-jarenplan is dan ook niet opportuun. Wel dient geregeld met een kritisch oog de huidige tactiek geherevalueerd worden, ermee rekening houdende dat aan elke gekozen benadering een (vaag) risico verbonden is. Het voorstel is dan ook om in de loop van 2028 een geüpdatet plan van aanpak te leveren.