

Informatiedocument Ontploffbare Oorlogsresten (OO) op zee

Informatie over risico's en risicobeheersing bij suppletiewerkzaamheden voor het programma Kustlijnzorg

Datum	21 december 2023
Versie	1.0
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door Programma's, Projecten en Onderhoud
 Afdeling Veiligheid in Projecten.
 Auteur L.J.J. Arlar MA
 E-mail explosieven@rws.nl

 Datum 21 december 2023
 Versie 1.0
 Status Definitief

Versiebeheer

0.1	5 juni 2023	Eerste concept, ter beoordeling voorgelegd aan adviseurs OO
0.2	21 juni 2023	Opmerkingen AOO verwerkt, ter beoordeling voorgelegd aan V&G-coördinatoren.
0.3	17 augustus 2023	Opmerkingen V&G-coördinatoren verwerkt. Ter beoordeling voorgelegd aan technisch management en contractmanagement.
0.4	7 september 2023	Opmerkingen TM verwerkt, opmerkingen CM deels verwerkt. Laatste studies toegevoegd en nogmaals voorgelegd aan CM.
0.5	26 september 2023	Herstructurering doorgevoerd op basis van opmerkingen CM, voorgelegd aan juristen van ICM PPO.
0.6	23 oktober 2023	Eerste juridische check door ICM, opmerkingen verwerkt en nogmaals voorgelegd aan ICM.
0.7	27 november 2023	Opmerkingen tweede beoordeling ICM/contract verwerkt. Voorgelegd ter finale beoordeling aan coördinator ontwerpfase, PIV en VGC.
0.8	29 november 2023	Laatste beoordeling door coördinator ontwerpfase (TM), PIV en VGC voor vrijgave en verwerking in IVP.
1.0	21 december 2023	Opmerkingen VGC, PIV en TM verwerkt. Document klaar voor gebruik als onderdeel van IVP's van het programma Kustlijnzorg.

Inhoud

1	Inleiding en achtergrond 4
2	Onderzoeken naar OO 6
2.1.	M. Helsloot en I. Helsloot (2023) - Risicostudie 6
2.2.	E. Kroon en E.H.B. Bouma, Ammunition Trigger Study 7
2.3.	S. Knees et al (DNV-GL, 2020), UXO response simulation 7
2.4.	J.E. van Aanhold et al (TNO, 2017): Effect van een explosie op een TSHD 7
2.5.	T. Roetert et al (Deltares, 2023) – Morfologie 7
2.6.	P. Menzel et al/G. Wolters (Deltares) – verplaatsing 8
3	Arbowetgeving en beleid 9
3.1.	Artikel 3 Arbeidsomstandighedenwet ("Arbowet") 9
3.1.1.	Toelichting op artikel 3 Arbowet 10
3.1.2.	Invulling Rijkswaterstaat 10
3.2.	Artikel 2.26 Arbeidsomstandighedenbesluit ("Arbobesluit") 11
3.3.	Arbeidsomstandighedenbesluit artikel 2.28 12
3.3.1.	Invulling Rijkswaterstaat 12
3.4.	Artikel 4.10 Arbobesluit 13
3.4.1.	Invulling Rijkswaterstaat 14
3.5.	Artikel 4.17f Arboregeling 14
3.5.1.	Toepasbaarheid CS-OOO 15
3.5.2.	Ondertekening Projectplan CS-OOO door opdrachtgever 15
3.5.3.	Ondertekening Projectplan door bevoegd gezag 15
4	Mogelijke beheersmaatregelen 16
4.1.	Bronmaatregelen 16
4.1.1.	Actief zand winnen 16
4.1.2.	Detecteren en vermijden 16
4.1.3.	Detecteren en benaderen 17
4.2.	Collectieve maatregelen 18
4.2.1.	Toepassen bommenrooster 18
4.2.2.	Protocol onverwacht aantreffen 18
4.3.	Individuele maatregelen 18
5	Managementsamenvattingen 19
5.1.	Managementsamenvatting Crisislab, UXO North Sea (2023) 20
5.2.	Managementsamenvatting TNO, Ammunition trigger study (2020) 22
5.3.	Managementsamenvatting DNV-GL, UXO response simulation (2021) 29
5.4.	Managementsamenvatting TNO, <i>Effects of an explosion</i> (2017) 36
5.5.	Managementsamenvatting Deltares, <i>Estimating burial depth</i> (2023) 39
5.6.	Managementsamenvatting Menzel en Deltares, Mobilization (2023) 42

1 Inleiding en achtergrond

Door oorlogen en schietoefeningen in de twintigste eeuw liggen Ontploffbare Oorlogsresten (OO) verspreid over de Noordzeebodem. Met dit informatiedocument, dat als bijlage bij het IVP wordt gevoegd, beoogt Rijkswaterstaat de opdrachtnemers van het programma Kustlijnzorg te informeren over de risico's van OO en de mogelijke door opdrachtnemers te treffen beheersmaatregelen. Daarnaast beoogt Rijkswaterstaat de opdrachtnemer met dit informatiedocument te ondersteunen bij het treffen van maatregelen om de risico's door OO te beheersen in overeenstemming met geldende wet- en regelgeving.

Leeswijzer

Om tot een rationele en effectieve beheersstrategie te komen, is het onder meer belangrijk inzicht te verkrijgen in i) de omvang van de respectievelijke risico's, ii) de (on)mogelijkheden die de te treffen beheersmaatregelen bieden en iii) de daarmee samenhangende verantwoordelijkheden van zowel opdrachtgever als opdrachtnemer, die op basis van de geldende wet- en regelgeving en/of de onderhavige overeenkomst bij een van de partijen zijn belegd.

Ten aanzien van het bovenstaande hecht Rijkswaterstaat waarde aan het delen van kennis over de huidige stand van de wetenschap en professionele dienstverlening. In dit document wordt daarom informatie verstrekt over wetenschappelijke onderzoeken naar de risico's, het wettelijk kader waarbinnen risico's geïnventariseerd, geëvalueerd en beheerst worden en over mogelijke beheersmaatregelen om tot een veilige en efficiënte uitvoering van het werk te komen.

In hoofdstuk 2 van dit informatiedocument worden de strekking en conclusies van diverse recente studies behandeld (in hoofdstuk 5 zijn managementsamenvattingen terug te vinden). Hierop volgt in hoofdstuk 3 een toelichting op relevante wet- en regelgeving ten aanzien van OO. Er wordt toegelicht welke stappen Rijkswaterstaat neemt om te voldoen aan deze wet- en regelgeving. In hoofdstuk 4 worden de mogelijke beheersmaatregelen conform de Arbeidshygiënische Strategie toegelicht.

Gevaar versus risico

Om de verstrekte informatie te kunnen duiden, is het voor opdrachtnemers van belang om zich bewust te zijn van het verschil tussen gevaar, risico en risicofactor:

- Gevaar: gevaar is de intrinsieke eigenschap van een situatie, een apparaat, een installatie, een stof e.d. die de potentie bezit om schade, menselijk letsel of ziekte te veroorzaken.
- Risico: Wanneer we het begrip gevaar gaan omschrijven in termen van kans op optreden EN het optredend effect, spreken we van een risico. De kans kan worden opgesplitst in blootstelling maal waarschijnlijkheid. Kortom: $\text{Risico} = \text{Effect} \times \text{Blootstelling} \times \text{Waarschijnlijkheid}$. Een risico is een variabele, die middels een risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) in gradaties of getallen worden uitgedrukt.

OO op of in de zeebodem vormen een gevaar bij suppletiewerkzaamheden in het kader van programma Kustlijnzorg van Rijkswaterstaat. Het risico van OO is een explosie met mogelijke materiële schade, letsel en/of fataliteit als gevolg. Enkele concrete voorbeelden van risico's van OO bij zandwinning zijn:

- Explosie van een vliegtuigbom op de zeebodem door het raken met een sleepkop met letsel als gevolg;

- Explosie van een luchtdoelgranaat in de pomp van een schip met letsel als gevolg;
- Explosie van een opgebaggerde granaat door ondeskundig verwijderen uit de sleepkop met dodelijke afloop.

De grootte van deze risico's is afhankelijk van i) de waarschijnlijkheid van het optreden van de gebeurtenis, ii) de blootstellingsfrequentie en iii) de effecten ervan. Daarbij dient in ogenschouw te worden gehouden dat de effecten van een explosie in een *worst case scenario* weliswaar groot zijn, maar dat de kans dat dit worst case scenario optreedt extreem klein is. Dit maakt het inventariseren, evalueren en beheersen van de risico's van OO complex.

Het beheersen van de risico's door OO is een belangrijk onderdeel van de werkzaamheden van opdrachtnemers. Een juiste, volledige en (dus) deugdelijke risicobeheersing is afhankelijk van veel variabelen. Daarbij valt te denken aan de grootte van mogelijk aanwezige OO, de technische staat ervan, de waterdiepte, het gedrag van de zeebodem en de ontwerpkeuzes voor het te realiseren project. Volgend uit de onderhavige overeenkomst is het aan de opdrachtnemer om – ongeacht de benoemde complexiteit en diversiteit van variabelen – de werkzaamheden zo in te richten dat sprake is van een aanvaardbaar risico.

Volledigheidshalve dient te worden opgemerkt dat de risico's door OO en de (on)mogelijke beheersmaatregelen op zee wezenlijk (kunnen) verschillen van de maatregelen die worden getroffen bij het werken met OO op land. Bekende en beproefde maatregelen op het land zijn niet zondermeer toepasbaar op zee.

2 Onderzoeken naar OO

Onderstaande onderzoeken, uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat en/of samenwerkingspartners, stelt Rijkswaterstaat beschikbaar in het kader van werkzaamheden voor het programma Kustlijnzorg. Dit met de bedoeling om de opdrachtnemers van Rijkswaterstaat meer inzicht te geven in de risico's door OO, en te ondersteunen bij het beheersen van deze risico's. De strekking en conclusie van de onderzoeken worden in de volgende volgorde toegelicht:

- M. Helsloot MSc en Prof. Dr. I. Helsloot (Crisislab), *UXO North Sea. An exploratory Risk Assessment for Unexploded Ordnance (UXO) in the North Sea* (Renswoude 2023).
- E. Kroon MSc. en R.H.B. Bouma PhD (TNO), *TNO 2019 R10272 Ammunition trigger study v2* (Den Haag 2020).
- S. Knees et al (DNV-GL), *UXO Study. Full-ship and local structure UXO response simulation* (Hamburg 2020).
- J.E. van Aanhold et al (TNO), *TNO 2017 R11126 Effects of an explosion on a trailing suction head dredger* (Den Haag 2017).
- T. Roetert et al (Deltares), *Estimating the burial depth of conventional explosives. A hindcast of sandwaves on the Dutch Continental Shelf* (Delft 2023).
- P. Menzel et al, 'Mobilization of Unexploded Ordnance on the Seabed'; *Toxics* 10 (2022) 389.
- G. Wolters et al (Deltares), *Stability of UXO in waves. Measurement report* (Delft 2023).

In hoofdstuk 5 zijn de managementsamenvattingen van de betreffende studies opgenomen. Opdrachtnemers en gegadigden voor aanbestedingen kunnen de laatste versies van de onderzoeksrapporten opvragen via explosieven@rws.nl.

2.1. M. Helsloot en I. Helsloot (2023) - Risicostudie

M. Helsloot MSc en Prof. Dr. I. Helsloot (Crisislab), *UXO North Sea. An exploratory Risk Assessment for Unexploded Ordnance (UXO) in the North Sea* (Renswoude 2023).

In opdracht van Rijkswaterstaat en TenneT heeft Crisislab onderzoek verricht naar de gevaren van OO op zee bij kabelleggen, zandwinning en visserij. Aan de basis van dit onderzoek liggen diverse technische studies, ongevallenstatistieken en data van op zee aangetroffen explosieven. Middels deze studie zijn drie kansen onderzocht, die gezamenlijk leiden tot een kwantificering van de kans op overlijden per arbeidsjaar. Deze drie kansen zijn de kans op raken van een OO, de kans op detonateren van een OO en de kans op overlijden door detonatie van het OO.

Door het risico van OO te kwantificeren kan het risico beter worden geïnventariseerd en geëvalueerd, waardoor beheersmaatregelen proportioneel en beter in lijn met de Arbeidshygiënische Strategie (zie paragraaf 3.1) getroffen kunnen worden. Uit het onderzoek van Crisislab blijkt dat de kans op een dodelijk ongeval door OO vermoedelijk lager is dan de kans op een ongeval tijdens algemene werkzaamheden offshore. Deze studie kan gebruikt worden om de proportionaliteit te wegen van de verschillende beheersmaatregelen om veiligheidsrisico's te beheersen.

De managementsamenvatting van deze studie is opgenomen in bijlage 5.1.

2.2. E. Kroon en E.H.B. Bouma, Ammunition Trigger Study

E. Kroon MSc. en R.H.B. Bouma PhD (TNO), *TNO 2019 R10272 Ammunition trigger study v2* (Den Haag 2020).

In opdracht van TenneT heeft TNO onderzoek verricht naar de kans op detonatie van veelvoorkomende OO op zee door diverse soorten werkzaamheden. Hierbij is uitgegaan van een conservatieve en een realistische kans op detonatie. Uitgangspunt van deze studie zijn *as designed* functionerende munitieartikelen, gewapend en in nieuwstaat, maar waar van toepassing met lege batterijen. Deze studie kan, in combinatie met kennis van de invloed van corrosie, gebruikt worden voor een inschatting van de kans op een detonatie.

De managementsamenvatting van deze studie is opgenomen in bijlage 5.2.

2.3. S. Knees et al (DNV-GL, 2020), UXO response simulation

S. Knees et al (DNV-GL), *UXO Study. Full-ship and local structure UXO response simulation* (Hamburg 2020).

DNV-GL heeft in opdracht van TenneT onderzoek verricht naar de gevolgen van explosies op schepen. Hierbij is een computersimulatie uitgevoerd met een aantal gemodelleerde schepen bij verschillende TNT-equivalenten en variërende waterdiepte. Onderzochte scenario's zijn detonaties 20 meter achter een schip en scenario's onder de zijkant halverwege de lengte van het schip. Deze studie kan gebruikt worden om de effecten van een detonatie op een schip nader te beschouwen.

De managementsamenvatting van deze studie is opgenomen in bijlage 5.3.

2.4. J.E. van Aanhold et al (TNO, 2017): Effect van een explosie op een TSHD

J.E. van Aanhold et al (TNO), *TNO 2017 R11126 Effects of an explosion on a trailing suction head dredger* (Den Haag 2017).

TNO heeft in opdracht van Rijkswaterstaat onderzoek verricht naar de effecten van een explosie op een sleepopperzuiger. Er is uitgegaan van sleepopperzuigers van de *Strandway*-klasse, met verschillende hoeveelheden TNT-equivalent bij variërende waterdiepte en diepgang. Deze studie kan gebruikt worden om de effecten van een detonatie op een (gelijkend) schip nader te beschouwen.

De managementsamenvatting van deze studie is opgenomen in bijlage 5.4.

2.5. T. Roetert et al (Deltares, 2023) – Morfologie

T. Roetert et al (Deltares), *Estimating the burial depth of conventional explosives. A hindcast of sandwaves on the Dutch Continental Shelf* (Delft 2023).

Deltares heeft in opdracht van Rijkswaterstaat en TenneT onderzoek gedaan naar de begravingsdiepte van OO door de aanwezigheid van zandgolven. Het product is een datapakket waarin de begravingsdiepte voor het Nederlands Continentaal Plat is weer gegeven. Op basis van dit datapakket kan de diepte van mogelijk aanwezige OO indicatief worden vastgesteld. Bovendien kan worden bepaald of er sprake is van een significante actieve zandlaag, waarbinnen mogelijk sprake is van een verlaagde kans op aanwezigheid van OO.

De managementsamenvatting van deze studie is opgenomen in bijlage 5.5.

2.6. P. Menzel et al/G. Wolters (Deltares) – verplaatsing

P. Menzel et al, 'Mobilization of Unexploded Ordnance on the *Seabed*'; Toxics 10 (2022) 389; G. Wolters et al (Deltares), *Stability of UXO in waves. Measurement report* (Delft 2023).

Peter Menzel (2022) heeft in opdracht van TenneT een studie verricht naar de verplaatsing van OO door stroming op zee. Het rekenmodel dat hieruit voortvloeit is in Wolters (2023) gevalideerd middels empirisch onderzoek in de *Delta Flume* van Deltares. Op basis van deze onderzoeken wordt het volgende geconcludeerd:

- Begravingsdiepte van OO door *scouring* (begraafing door onderspoeling) fluctueert en is afhankelijk van de vorm van het object. Tijdens testen raakten vliegtuigbommen tot 92% begraven door scour.
- De kans op het verplaatsen van explosieven op de zeebodem door natuurlijke processen is verwaarloosbaar klein.

De resultaten van deze studies geven meer inzicht in natuurlijke begravingsprocessen, de diepte waarop OO begraven raken en de mogelijkheden tot verplaatsen van OO op de zeebodem. Deze studie kan gebruikt worden voor het vaststellen van de diepte waarop explosieven zich bevinden.

De managementsamenvatting van deze studies zijn opgenomen in bijlage 5.6.

3 Arbowedgeving en beleid

De omgang met OO wordt genormeerd door de Nederlandse (Arbeidsomstandigheden)wetgeving. Rijkswaterstaat verlangt van haar opdrachtnemers kennis en inzicht van deze wetgeving en de daarmee samenhangende consequenties. In dit hoofdstuk worden daarom relevante aspecten van respectievelijk i) de Arbowed, ii) de Arbobesluiten en iii) Arboregelingen toegelicht. Hierbij wordt per artikel aangegeven hoe Rijkswaterstaat en haar opdrachtnemers invulling geven aan de wettelijke verplichtingen en contractuele verplichtingen, voortvloeiend uit de contracten die RWS vanuit het programma Kustlijnverzorg met opdrachtnemers sluit.

Samengevat

Volgens de arbeidsomstandighedenwet (artikel 3) dienen arbeidsrisico's te worden beheerst middels de Arbeidshygiënische Strategie (AHS). Opdrachtnemers dienen vanuit hun verantwoordelijkheid als werkgever beheersmaatregelen te treffen in een vaststaande hiërarchische volgorde: bronmaatregelen, collectieve maatregelen, individuele maatregelen en persoonlijke beschermingsmaatregelen. Maatregelen treffen van lagere orde in de hiërarchie mag op basis van het "redelijkerwijsprincipe", waarbij wordt gekeken naar technische, operationele en economische haalbaarheid:

- Technische haalbaarheid: een maatregel is technisch wel of niet uitvoerbaar.
- Operationele haalbaarheid: een maatregel heeft substantiële invloed op productkwaliteit of bedreigt de arbeidsveiligheid in andere zin.
- Economische haalbaarheid: de maatregel heeft te hoge absolute kosten of verstoort de concurrentieverhoudingen.

Het onderliggende Arbeidsomstandighedenbesluit geeft meer gedetailleerde bepalingen ten aanzien van arbeidsveiligheid. Volgens de bouwprocesbepalingen dient de opdrachtgever zich ervan te vergewissen dat het werk veilig kan worden uitgevoerd (artikel 2.26), en dient de opdrachtgever risico's (bijvoorbeeld ten aanzien van OO) op te nemen in een risico-inventarisatie en evaluatie (artikel 2.28).

Ten aanzien van OO zijn specifieke bepalingen opgenomen in artikel 4.10 van het Arbeidsomstandighedenbesluit. Indien OO een risico kunnen vormen, dient de aanwezigheid van OO voorafgaand aan de werkzaamheden middels een bureaustudie te worden vastgesteld. Indien het uitsluiten van de aanwezigheid van OO niet mogelijk is, wordt opsporing uitgevoerd of worden andere passende maatregelen getroffen. Ook hierin dienen, conform de AHS, redelijkerwijs uitvoerbare beheersmaatregelen te worden getroffen. Opsporing is geen wettelijke verplichting.

3.1. Artikel 3 Arbeidsomstandighedenwet ("Arbowed")

In de Arbowed staan de algemene bepalingen die gelden voor alle plaatsen waar arbeid wordt verricht. Voor de omgang met OO is [artikel 3](#) van belang:

1. De werkgever zorgt voor de veiligheid en de gezondheid van de werknemers inzake alle met de arbeid verbonden aspecten en voert daartoe een beleid dat is gericht op zo goed mogelijke arbeidsomstandigheden, waarbij hij, gelet op de stand van de wetenschap en professionele dienstverlening, het volgende in acht neemt:

- a. tenzij dit redelijkerwijs niet kan worden gevergd organiseert de werkgever de arbeid zodanig dat daarvan geen nadelige invloed uitgaat op de veiligheid en de gezondheid van de werknemer;*
- b. tenzij dit redelijkerwijs niet kan worden gevergd worden de gevaren en risico's voor de veiligheid of de gezondheid van de werknemer zoveel mogelijk in eerste aanleg bij de bron daarvan voorkomen of beperkt; naar de mate waarin dergelijke gevaren en risico's niet bij de bron kunnen worden voorkomen of beperkt, worden daartoe andere doeltreffende maatregelen getroffen waarbij maatregelen gericht op collectieve bescherming voorrang hebben boven maatregelen gericht op individuele bescherming; slechts indien redelijkerwijs niet kan worden gevergd dat maatregelen worden getroffen die zijn gericht op individuele bescherming, worden doeltreffende en passende persoonlijke beschermingsmiddelen aan de werknemer ter beschikking gesteld;*

3.1.1. *Toelichting op artikel 3 Arbowet*

In Artikel 3 van de Arbowet en de memorie van toelichting¹ worden concrete taken en verantwoordelijkheden uiteengezet voor het organiseren van arbeidsveiligheid. De opdrachtnemer is als werkgever² verantwoordelijk voor de veiligheid en gezondheid van de werknemers die worden ingezet ter uitvoering van het werk in de zin van de onderhavige overeenkomst. De opdrachtnemer dient hiertoe op basis van de stand der wetenschap en de stand der professionele dienstverlening de werkwijze, zoals toegelicht onder artikel 3 lid b van de Arbowet, toe te passen. Deze werkwijze is ook bekend als de Arbeidshygiënische Strategie ("AHS").

De AHS is een hiërarchie van bronmaatregelen, collectieve maatregelen, individuele maatregelen en persoonlijke beschermingsmaatregelen ("PBM's"). Er mag pas in de hiërarchie van de AHS worden afgedaald als het redelijkerwijs niet anders gevergd kan worden. Dit redelijkerwijsprincipe maakt het mogelijk om de arbeidsomstandigheden af te wegen tegen andere belangen. Deze belangen betreffen de technische, operationele en economische haalbaarheid:

- Technische haalbaarheid: een maatregel is technisch wel of niet uitvoerbaar.
- Operationele haalbaarheid: een maatregel heeft substantiële invloed op productkwaliteit of bedreigt de arbeidsveiligheid in andere zin.
- Economische haalbaarheid: de maatregel heeft te hoge absolute kosten of verstoort de concurrentieverhoudingen.

Bij het beheersen van risico's dient de opdrachtnemer de AHS in acht te nemen. Het is niet verplicht om bronmaatregelen (zoals opsporing) te treffen. Wat wél van opdrachtnemer verlangd wordt is dat deze inzichtelijk maakt dat mogelijke bronmaatregelen zijn afgewogen langs de AHS. Als het treffen van bronmaatregelen technisch, operationeel of economisch niet haalbaar is, kan voor maatregelen van lagere orde worden gekozen.

3.1.2. *Invulling Rijkswaterstaat*

Het toepassen van de AHS acht Rijkswaterstaat van belang voor het waarborgen van de arbeidsveiligheid en het beheersen van arbeidsrisico's. Rijkswaterstaat doet het volgende om opdrachtnemers te ondersteunen bij het volgen van de AHS bij de omgang met OO:

Verbeteren stand der wetenschap / stand der professionele dienstverlening

Opdrachtgevers en opdrachtnemers hebben belang bij een duidelijke stand der wetenschap en stand der professionele dienstverlening. Rijkswaterstaat en TenneT

¹ Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Staatsblad 1997, 60 (25-02-1997), geraadpleegd op 3 maart 2023 <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-1997-60.html>.

² In dit informatiedocument staat 'werkgever' gelijk aan 'opdrachtnemer'.

hebben diverse wetenschappelijke onderzoeken laten uitvoeren om de stand der wetenschap en professionele dienstverlening te versterken en eenduidiger te maken. Deze onderzoeken kunnen opdrachtnemers gebruiken om bij werkzaamheden in het kader van het programma Kustlijnzorg onderbouwde keuzes te maken ten aanzien van veiligheid. Het kennisniveau van alle betrokken partijen wordt hiermee verhoogd, wat leidt tot een gelijk spelveld. De uitgevoerde onderzoeken worden in hoofdstuk 2 nader toegelicht.

Ondersteunen van rationele keuzes voor beheersmaatregelen

Toepassen van de AHS vergt een objectief beeld van risico's. Omdat de waarschijnlijkheid van ongevallen met letsel door toedoen van OO zeer klein is maar de mogelijke gevolgen zeer groot, is het rationeel inschatten van de risico's uitdagend. Middels een risicostudie, uitgevoerd door Crisislab in opdracht van Rijkswaterstaat en TenneT, zijn risico's door OO bij werkzaamheden op zee gekwantificeerd. De resultaten van deze studie zijn opgenomen in paragraaf 2.1, en dienen voor Rijkswaterstaat als uitgangspunt voor het definiëren van de veiligheidsrisico's. Bij het volgen van de AHS dienen expliciete keuzes te worden gemaakt die de veiligheid ten goede komen. De beheersmaatregelen dienen geen aanvullende of grotere veiligheidsrisico's te introduceren.

3.2. Artikel 2.26 Arbeidsomstandighedenbesluit ("Arbobesluit")

In artikel 2.26 ([link](#)) van het Arbobesluit is de vergewisplicht inzake veiligheid en gezondheid bij het ontwerpen van een bouwwerk opgenomen:

De opdrachtgever³ [hier: Rijkswaterstaat] is verplicht in de ontwerpfase zich ervan te vergewissen dat de betrokken werkgevers [hier: de opdrachtnemers] en zelfstandigen in staat zijn de verplichtingen voor de arbeidsomstandigheden die gelden in de uitvoeringsfase na te komen, in het bijzonder de verplichtingen, bedoeld in de artikelen 3, 5, eerste en derde lid, en 8 van de wet en hoofdstuk 4, afdeling 5.

Hieronder vallen dus specifiek de verplichtingen zoals bedoeld in artikel 3 Arbowet.

Invulling Rijkswaterstaat

In de ontwerpfase voor gunning voldoet Rijkswaterstaat aan in voorgaande alinea genoemde verplichting door onderhavige informatie, met betrekking tot het hanteren en volgen van de AHS, aan haar opdrachtnemer(s) aan te bieden. Na gunning doet Rijkswaterstaat het volgende om zich ervan te overtuigen dat opdrachtnemers de verplichtingen voor de arbeidsomstandigheden kunnen nakomen:

Explosievenverlet

Indien bij werkzaamheden OO aan boord van een schip komen, betaalt Rijkswaterstaat explosievenverlet. De tijd dat een schip stilligt om te wachten op de Explosieven Opruimingsdienst (EOD) wordt vergoed. Zo wordt voorkomen dat onder tijdsdruk onveilige handelingen worden verricht.

Werkplannen en projectplannen

Opdrachtnemers dienen beheersmaatregelen ten aanzien van OO op te nemen in het IVP-uitvoering (in de Arbowet het V&G-plan, zie paragraaf 3.3). Dit plan wordt door Rijkswaterstaat inhoudelijk getoetst. Rijkswaterstaat ziet onder andere middels veiligheidsrondes toe op implementatie en naleving van het V&G-plan.

³ De Arbowet kent geen onderscheid tussen opdrachtgever en hoofdopdrachtgever. Volgens de Arbowet is de opdrachtgever degene voor wiens rekening en of op wiens initiatief het bouwwerk tot stand wordt gebracht.

3.3. Arbeidsomstandighedenbesluit artikel 2.28

In artikel 2.28 ([link](#)) van het Arbobesluit is aangegeven dat er, onder verantwoordelijkheid van de opdrachtgever (Rijkswaterstaat), een veiligheids- en gezondheidsplan moet worden opgesteld:

1. *De opdrachtgever zorgt ervoor dat ten aanzien van bouwwerken die voor de veiligheid en gezondheid van werknemers bijzondere gevaren met zich meebrengen als bedoeld in bijlage II bij de richtlijn of een bouwwerk ten aanzien waarvan een melding verplicht is, een veiligheids- en gezondheidsplan wordt opgesteld.*
2. *Afhankelijk van de voortgang in het bouwproces, worden in het veiligheids- en gezondheidsplan ten minste vermeld en opgenomen:*
 - a) *een beschrijving van het tot stand te brengen bouwwerk, een overzicht van de betrokken ondernemingen op de bouwplaats, de naam van de coördinator voor de ontwerp- en uitvoeringsfase;*
 - b) *een inventarisatie en evaluatie van de specifieke gevaren voor het betreffende bouwwerk, waaronder de eventuele aanwezigheid van asbest of asbesthoudende producten als bedoeld in [artikel 4.37](#), verontreinigde grond, verontreinigd water of grondwater of verontreinigde waterbodems, en specifieke gevaren die het gevolg zijn van de gelijktijdige en achtereenvolgende uitvoering van de bouwwerkzaamheden en in voorkomend geval van de wisselwerking met doorgaande exploitatiewerkzaamheden;*
 - c) *de maatregelen die volgen uit de risico-inventarisatie en -evaluatie, bedoeld onder b;*
 - d) *de afspraken met betrekking tot de uitvoering van de maatregelen, bedoeld onder c;*
 - e) *de wijze waarop toezicht op de maatregelen wordt uitgeoefend;*
 - f) *de bouwkundige, technische en organisatorische keuzen die in verband met de veiligheid en gezondheid van de werknemers en zelfstandigen worden gemaakt alsmede de onderzoeken en rapporten die de onderbouwing van deze keuzen ondersteunen;*
 - g) *de wijze waarop voorlichting en instructie aan de werknemers op de bouwplaats wordt gegeven.*

3.3.1. Invulling Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat geeft als volgt invulling aan artikel 2.28 Arbobesluit:

Integraal Veiligheidsplan

Het in artikel 2.28 genoemde Veiligheids- en Gezondheidsplan is bij Rijkswaterstaat het Integraal Veiligheidsplan (IVP). Onderzoeken naar OO worden geborgd in het IVP, en opgenomen in ontwerp risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) als specifiek gevaar voor het betreffende werk. De opdrachtnemer(s) van Rijkswaterstaat is/zijn verplicht tot naleving van, en medewerking aan, het veiligheids- en gezondheidsplan: het IVP van de ontwerpfase dient als basis voor het IVP in de uitvoeringsfase.

Toelichting BTO-keuze en risicoallocatie

De belangrijkste bouwkundige, technische en organisatorische keuze in het kader van werkzaamheden voor het programma Kustlijn zorg, is de keuze om zand te winnen in gebied waar OO verwacht worden. De aanwezigheid van OO kan immers nergens op de Noordzee volledig worden uitgesloten, waardoor uitwijken naar alternatieve zandwingebieden geen oplossing is. Met de juiste beheersmaatregelen kunnen de risico's echter worden beheerst.

In overeenstemming met de geldende wet- en regelgeving en de onderhavige overeenkomst, is de beheersing van risico's door OO gealloceerd bij de opdrachtnemer.

Dit omdat de risico's afhankelijk zijn van de door opdrachtnemer te hanteren werkwijze(n) en de keuze van het in te zetten materieel. Bovendien kan Rijkswaterstaat de risico's voorafgaand aan gunning niet wegnemen door bronmaatregelen, zoals opsporing. Dit is in lijn met de AHS redelijkerwijs niet mogelijk. Er is sprake van technische en operationele bezwaren. Ten eerste is detectie in voorkomende gevallen technisch onmogelijk door de laag zand die op de OO's ligt, waardoor het meetbereik van detectieapparatuur niet volstaat. Ten tweede brengt detectie een significant eigen risico van offshore arbeid met zich mee, wat een belangrijk operationeel bezwaar vormt. Als het risico van OO in de uitvoeringsfase door de opdrachtnemer anderszins beheerst kan worden, is nemen van de risico's van offshore arbeid in termen van veiligheid contraproductief. Kortom, de opdrachtnemer is de meest geschikte partij om de risico's te beheersen.

IVP en RI&E

Voorafgaand aan de aanbesteding verricht Rijkswaterstaat een oriënterend en/of nader onderzoek naar de aanwezigheid van OO in een winvak (zie paragraaf 3.4). Indien mogelijk stelt Rijkswaterstaat bij aanbesteding bathymetrische data beschikbaar aan de inschrijvers. Deze data kan ondersteunen bij het vaststellen van een mogelijke zandlaag waarin de kans op aanwezigheid van OO sterk verlaagd is.

De informatie over de aanwezigheid van OO en de waterbodem dienen als input voor het IVP en de RI&E, waarin de risico's worden opgenomen. Door deze informatie al bij aanbesteding beschikbaar te stellen, kunnen afwegingen over de risicobeheersing al bij de inschrijving worden meegenomen.

3.4. Artikel 4.10 Arbobesluit

In artikel 4.10 ([link](#)) van het Arbobesluit is de omgang met Ontploffbare Oorlogsresten vastgelegd. In de memorie van toelichting op artikel 4.10⁴ wordt beschreven dat lid 2 tot en met 6 een nadere invulling geven aan de AHS (artikel 3 Arbowet) en de verplichting tot het opstellen van een risico-inventarisatie en evaluatie (artikel 5 Arbowet). Lid 2 tot en met 6 zijn van belang voor projecten van Rijkswaterstaat:

2. *In alle gevallen waarin gevaar voor de veiligheid of gezondheid van werknemers kan bestaan door de mogelijke aanwezigheid van ontplofbare oorlogsresten, wordt, alvorens werkzaamheden worden aangevangen, hiernaar een oriënterend onderzoek ingesteld.*
3. *Indien het oriënterend onderzoek de mogelijke aanwezigheid van ontplofbare oorlogsresten die gevaar kunnen opleveren voor de veiligheid of gezondheid van werknemers niet uitsluit wordt een nader onderzoek ingesteld.*
4. *Indien uit het nader onderzoek blijkt dat gevaar bestaat voor de veiligheid of gezondheid van werknemers door de aanwezigheid van ontplofbare oorlogsresten, worden die ontplofbare oorlogsresten opgespoord of andere passende maatregelen getroffen om dit gevaar te voorkomen.*
5. *Het opsporen van ontplofbare oorlogsresten wordt uitsluitend verricht door een bedrijf dat voor de te verrichten arbeid in het bezit is van een certificaat opsporen ontplofbare oorlogsresten dat is afgegeven door Onze Minister of een door hem aangewezen certificerende instelling.*
6. *De arbeid ten behoeve van het opsporen van ontplofbare oorlogsresten wordt uitsluitend verricht door een daarvoor gekwalificeerde persoon die is geregistreerd in het Register veilig werken defensiemedewerkers of het Register veilig werken met explosieve stoffen, bedoeld in artikel 1.5j, eerste lid, onderdelen b of d, dan wel door een persoon van wie de beroepskwalificaties zijn gecontroleerd en*

⁴ Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Staatsblad 2019, 471 (28-11-2019), geraadpleegd op 23 oktober 2023 (<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2019-471.html>).

toereikend bevonden overeenkomstig de artikelen 23, 27 en 28 van de Algemene wet erkenning EU-beroepskwalificaties en die deze arbeid verricht onder voortdurend toezicht van een daarvoor gekwalificeerde persoon die is geregistreerd in het Register veilig werken met explosieve stoffen.

3.4.1. Invulling Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat geeft als volgt invulling aan artikel 4.10 van het Arbobesluit:

Oriënterend/nader onderzoek

In de memorie van toelichting op artikel 4.10 wordt de inhoudelijke invulling van het oriënterend en/of nader onderzoek aan het werkveld gelaten. Wel wordt duidelijk gemaakt dat het bureau studies zijn. Er is geen wettelijk verankerde normering voor de wijze van uitvoeren van dergelijke onderzoeken. Wel wordt in de memorie van toelichting aangegeven dat het oriënterend/nader onderzoek dienen te bepalen of opsporing noodzakelijk is, en dat het input is voor de RI&E en risicobeheersing volgens de AHS. Door specialistische bedrijven is een private certificering⁵ opgezet voor nadere onderzoeken naar OO, maar deze is niet van toepassing op gebieden buiten gemeentegrenzen op zee.

Omdat een onderzoek met een oriënterend karakter de aanwezigheid van OO niet kan uitsluiten, wordt direct overgegaan tot een nader onderzoek. Dit nader onderzoek wordt bij aanbesteding verstrekt in de vorm van een historisch vooronderzoek. Dit onderzoek wordt volgens de huidige stand der wetenschap en stand der professionele dienstverlening aangeleverd door Rijkswaterstaat, en is bruikbaar voor het inventariseren van de kans op aanwezigheid van OO.

Bureauonderzoeken naar de aanwezigheid van OO op de Noordzeebodem hebben te kampen met grotere onnauwkeurigheden en onzekerheden dan bureauonderzoeken die betrekking hebben op OO op het land. Er is sprake van grotere leemten in kennis, omdat oorlogshandelingen zoals bombardementen en scheepsgevechten op zee moeilijker te positioneren zijn. De stand der wetenschap en professionele dienstverlening is hierin nog altijd in ontwikkeling, waarbij het gebruik van *big data* een steeds grotere rol krijgt.

Opsporing of andere passende maatregelen

Om risico's door OO te beheersen, worden opsporing of andere passende maatregelen als middelen genoemd. Opsporing is dus geen wettelijke verplichting, ook andere passende maatregelen kunnen worden toegepast om het risico te beheersen. De keuze tussen opsporing of andere passende maatregelen dient volgens de memorie van toelichting in de context van de AHS te worden gezien, en te worden gebaseerd op de uitkomsten van de RI&E.

3.5. Artikel 4.17f Arboregeling

De certificering, zoals genoemd in artikel 4.10 lid 5 Arbobesluit, geschiedt aan de hand van het zogenaamde [Certificatieschema voor het Opsporen van Ontploffbare Oorlogsresten \(CS-OOO\)](#). Dit schema is van kracht sinds 1 januari 2021, en vervangt het WSCS-OCE (Werkveld Specifiek Certificatieschema voor het Systeemcertificaat voor Opsporing van Conventionele Explosieven). Alleen bedrijven die op basis van het CS-OOO gecertificeerd zijn, mogen conform het Arbobesluit opsporing verrichten. Het schema is verankerd in artikel 4.17f van de arbeidsomstandighedenregeling, en beoogt de veiligheid en gezondheid van werknemers die zich bezighouden met explosievenopsporing te borgen.

⁵ Het Certificatieschema Vooronderzoek en Risicoanalyse Ontploffbare Oorlogsresten (CS-VROO), te raadplegen op <https://www.vomes.nl/certificatie/certificatie-vooronderzoek-en-risicoanalyse-oo/>.

3.5.1. *Toepasbaarheid CS-000*

Partijen die zich bezighouden met het opsporen van explosieven dienen CS-000 gecertificeerd te zijn. Opsporing is in het CS-000 gedefinieerd als de organisatie en uitvoering van werkvoorbereiding, detecteren, lokaliseren en laagsgewijze detectie, identificeren van de vermoede ontplofbare oorlogsresten, tijdelijk veiligstellen van de situatie, de overdracht aan de EOD en Proces-verbaal van oplevering. Opsporing van OO zonder certificering is wettelijk niet toegestaan. Wel kunnen onder lid 3.3 van het CS-000 arbeidsmiddelen en personeel voor het opsporen van OO worden ingehuurd door certificaathouders. Voor het in kaart brengen van metalen anomalieën op zee is geen CS-000 certificatie vereist.

3.5.2. *Ondertekening Projectplan CS-000 door opdrachtgever*

Het volgens het CS-000 verplichte projectplan dient door de opdrachtgever te worden ondertekend. Dit is de opdrachtgever zoals bedoeld in de Arbeidsomstandighedenwetgeving: degene voor wiens rekening een project als bedoeld in dit certificatieschema wordt uitgevoerd, dan wel op wiens initiatief het project wordt uitgevoerd, dan wel beiden tezamen. Indien de opdrachtgever van het gecertificeerde opsporingsbedrijf niet dezelfde partij is als de initiatiefnemer, dienen zowel de hoofdaannemer als de initiatiefnemer voor akkoord te tekenen.⁶ Bij werkzaamheden voor Kustlijnzorg dienen dus zowel de hoofdaannemer als Rijkswaterstaat voor akkoord te tekenen.

3.5.3. *Ondertekening Projectplan door bevoegd gezag*

Volgens het CS-000 dienen projectplannen te worden ondertekend door het bevoegd gezag voor openbare orde en veiligheid. Binnen gemeentegrenzen is dit de burgemeester van de betreffende gemeente. Op zee, buiten de gemeentegrenzen, is geen sprake van een bevoegd gezag Openbare Orde en Veiligheid vergelijkbaar met een gemeente.⁷

⁶ Stichting VOMES en CCvD-000, *Interpretatiedocument CS-000*, 15 juli 2022. Te raadplegen op: https://www.vomes.nl/site/media/upload/files/1720_1701-vomes-004-interpretatiedocument-versie-juli-2022-nw-pdf-202210211123171_pdf_20221021141900.pdf

⁷ Instituut Fysieke Veiligheid, *Bestuurlijke Netwerkkarten Crisisbeheersing Bevoegdheidenschema 5 – Noordzee, scheepvaart, havens*. Geraadpleegd op 25 mei 2025, <https://archieff.nipv.nl/wp-content/uploads/sites/2/2022/03/20210215-IFV-BVS-5-Noordzee-zeescheepvaart-havens.pdf>.

4 Mogelijke beheersmaatregelen

Voor het beheersen van risico's door OO dient de AHS te worden toegepast. In het kader hiervan dient de opdrachtnemer op zorgvuldige en herleidbare wijze passende maatregelen te kiezen. Einddoel is om tot een aanvaardbaar restrisico te komen. In dit hoofdstuk worden de maatregelen, die op dit moment in de praktijk worden toegepast door uitvoerende partijen, per stap in deze strategie beschreven. Hiermee beoogt Rijkswaterstaat de kennispositie van alle betrokken opdrachtnemers te verbeteren. De maatregelen dienen in samenhang te worden gezien. Combinaties van maatregelen leiden veelal tot de meest veilige en efficiënte werkmethode.

4.1. Bronmaatregelen

Een bronmaatregel neemt het gevaar weg. In het geval van OO betekent dit dat de kans op het raken van een OO wordt weggelaten. Volgens de AHS heeft het de voorkeur bronmaatregelen te nemen, tenzij dit niet redelijkerwijs gevergd kan worden. In dat geval mag voor beheersmaatregelen van lagere orde worden gekozen (zie paragraaf 3.1). Op basis van de gemaakte BTO-keuzen (zie paragraaf 3.3.1) is ervoor gekozen zand te winnen op zee, waarbij het risico door de opdrachtnemer beheerst dient te worden. De volgende bronmaatregelen kunnen daarmee worden toegepast bij baggerwerkzaamheden op zee:

4.1.1. *Actief zand winnen*

Op een groot deel van de Nederlandse zeebodem liggen zandgolven. Deze zandgolven variëren van hoogte en lengte en zijn met wisselende snelheid in beweging. In deze zogenaamde actieve zandlaag is de kans op aanwezigheid van OO sterk gereduceerd. Voorafgaand aan de zandwinning kan deze actieve zandlaag in beeld worden gebracht. De bij de aanbesteding geleverde morfologische bodemgegevens van de winlocatie bieden hier input voor. Als de actieve zandlaag vastgesteld is, kan de opdrachtnemer besluiten om alleen deze laag te winnen.

Aandachtspunten:

- Studies naar mobiele zandlagen en begraving van OO kunnen helpen bij het vaststellen van de actieve zandlaag (zie paragraaf 2.5 en 2.6).
- OO kunnen volledig zijn ingegraven in de passieve laag, of hier nog enigszins boven uitsteken. Bovendien is er sprake van een uitvoeringstolerantie bij het winnen van zand. Deze variabelen zijn van invloed op de kans op het raken van een OO bij zandwinning.
- Zandgolven liggen veelal haaks op de dominante stromingsrichting. Het uitsluitend winnen van actief zand kan daarom technisch moeilijk uitvoerbaar zijn.
- Ook in mobiele zandlagen is sprake van een kans op aanwezigheid van OO, bijvoorbeeld door verplaatsing door vissers. De kans is echter sterk verlaagd.

4.1.2. *Detecteren en vermijden*

Door objecten die mogelijk een OO zijn te detecteren en te vermijden bij het winnen van zand, wordt het gevaar bij de bron aangepakt. Hiervoor wordt eerst vastgesteld welke OO bij detonatie tot onaanvaardbare gevolgen leiden. Dit is afhankelijk van de waterdiepte, het in te zetten materieel en de explosieve inhoud van mogelijk aanwezige OO. Vervolgens wordt detectie uitgevoerd, waarbij metalen contacten gelijkend op deze OO op de zeebodem in beeld worden gebracht. Deze metalen objecten worden vervolgens met een veiligheidsstraal bij het winnen van zand vermeden.

Aandachtspunten:

- Voorafgaand aan de interpretatie van detectiedata moet worden bepaald welke OO een onaanvaardbaar risico vormen bij een explosie op de zeebodem. De

ijzermassa van het kleinste onaanvaardbare OO bepaalt de drempelwaarde. Hoe lager de drempelwaarde, hoe meer objecten er vermeden moeten worden. Onderzoeken naar de effecten van detonaties kunnen worden gebruikt voor het vaststellen van de drempelwaarde (zie paragraaf 2.3 en 2.4).

- Historisch onderzoek kan worden gebruikt om mogelijk aanwezige OO vast te stellen. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de onnauwkeurigheden en onzekerheden die in het historisch onderzoek benoemd worden.
- De ijzermassa van OO kan door corrosie zijn afgenomen tot een fractie van de oorspronkelijke massa. Dit heeft invloed op de detecteerbaarheid en geldt met name voor dunwandige objecten, zoals contactmijnen.
- Rond de te vermijden objecten wordt een buffer aangehouden. De grootte van de buffer is afhankelijk van de locatienauwkeurigheid, uitvoeringstolerantie en de winddiepte.
- Ook objecten die geen OO zijn worden vermeden, waardoor het winbare volume zand afneemt.
- Detectiebereik is beperkt. Als er sprake is van een dikke actieve zandlaag, kan hier mogelijk niet doorheen gedetecteerd worden.
- Niet alle OO zijn (volledig) van ferrometaal. Sommige OO, zoals de Luftmine B, zijn nagenoeg volledig van aluminium of *presstoff*. Deze zijn moeilijker te detecteren met magnetometers.
- Objecten onder de drempelwaarde worden niet vermeden, waardoor kleinere OO alsnog in de zuigketen kunnen komen.
- Voor opsporing op zee dient offshore arbeid te worden verricht. Ondanks diverse veiligheidsmaatregelen is arbeid op zee risicovol. Met het toenemen van het aantal uren op zee door opsporing, neemt ook de blootstelling aan andere significante arbeidsrisico's toe (zie ook paragraaf 2.1). Opsporing als beheersmaatregel vormt daarmee een bedreiging voor de arbeidsveiligheid in andere zin.
- Tot slot betekent opsporing en de werkwijze waarbij OO worden vermeden dat er meer vaarbewegingen moeten worden gemaakt voor het winnen van zand, met belasting van het milieu als gevolg.

4.1.3. Detecteren en benaderen

In plaats van gemeten objecten te vermijden, kan ervoor gekozen worden deze objecten te benaderen en te verwijderen met duikers of *remotely operated vehicles* (ROV's) voorafgaand aan zandwinning. Deze activiteit is voorbehouden aan CS-OOO gecertificeerde bedrijven.

Aandachtspunten

- Vaststellen van de mogelijk aanwezige OO kan aan de hand van historisch onderzoek. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de onnauwkeurigheden en onzekerheden die in het historisch onderzoek benoemd worden.
- De ijzermassa van OO kan door corrosie significant zijn afgenomen. Dit geldt met name voor dunwandige OO, zoals contactmijnen.
- Aan de hand van informatie over mogelijk aanwezige OO wordt bepaald welke OO een onaanvaardbaar risico vormen bij een explosie op de zeebodem. Hiervoor kunnen studies over de effecten van een detonatie worden gebruikt (zie paragraaf 2.3 en 2.4). De ijzermassa van de kleinste OO bepaalt de drempelwaarde. Hoe lager de drempelwaarde, hoe meer objecten benaderd moeten worden.
- Detectiebereik is beperkt. Als er sprake is van een dikke actieve zandlaag, kan hier mogelijk niet doorheen gedetecteerd worden. Bovendien is de kans dat deze laag OO bevat klein (zie paragraaf 4.1.1).
- Niet alle OO zijn (volledig) van ferrometaal. Sommige OO, zoals de Luftmine B, zijn nagenoeg volledig van aluminium. Deze zijn moeilijker te detecteren.
- Objecten onder de drempelwaarde blijven liggen, waardoor kleinere OO alsnog in de zuigketen kunnen komen.

- Voor detecteren en benaderen op zee dient offshore arbeid te worden verricht. Ondanks diverse veiligheidsmaatregelen is arbeid op zee risicovol. Met het toenemen van het aantal uren op zee door detecteren en benaderen, neemt ook de blootstelling aan andere significante arbeidsrisico's toe (zie ook paragraaf 2.1). Opsporing als beheersmaatregel vormt daarmee een bedreiging voor de arbeidsveiligheid in andere zin. Dit geldt in het bijzonder voor duikarbeid.

4.2. Collectieve maatregelen

Collectieve maatregelen beperken het gevaar of schermen het af, onafhankelijk van het individu. In het geval van OO betekent dit dat collectieve maatregelen het gevaar op afstand houden van het personeel.

4.2.1. Toepassen bommenrooster

Voor de sleepkop wordt een stalen of kunststof rooster gemonteerd. Dit rooster houdt explosieven en andere objecten tegen die significante schade in het schip kunnen veroorzaken. Door het monteren van een bommenrooster worden detonaties van OO groter dan de maaswijdte van het rooster in de zuigketen voorkomen. Grotere OO blijven hiermee tijdens het zuigen op de zeebodem, waardoor de waterkolom en de scheepshuid bescherming bieden bij een eventuele detonatie.

Aandachtspunten

- Vooronderzoeken naar OO op zee zijn minder nauwkeurig dan vooronderzoeken op het land (zie paragraaf 3.4) . Er is vooral sprake van leemten in kennis over oorlogshandelingen waarbij geschutmunitie werd ingezet. Met een bommenrooster kan worden voorkomen dat blindgangers van geschutmunitie en andere OO in de zuigketen komen.
- Bij het toepassen van een bommenrooster wordt eerst bepaald wat het kleinste OO is dat een onacceptabel risico vormt bij een detonatie in het schip. Dit kan per schip verschillen, en is afhankelijk van variabelen als de robuustheid van het schip en de locatie van de pompkamer. De maaswijdte van het bommenrooster wordt afgestemd op het kleinste OO dat bij detonatie onaanvaardbare gevolgen heeft.
- Als een sleepkop met bommenrooster waarin een OO zit boven water komt, dient te worden voorkomen dat het OO uit de sleepkop op het dek valt. Hiervoor kan een matras of net onder de rustpositie van de sleepkop worden geplaatst. Ook kunnen scherfwerende schermen rondom de zuigkop worden geplaatst. Inspectie van de sleepkop kan op afstand met een camera worden gedaan.
- Rijkswaterstaat vergoedt de verletkosten die optreden als het schip met een OO aan boord in afwachting van de EOD stil ligt.
- Een rooster kan ook andere voorwerpen tegenhouden, die vast kunnen komen tussen de spijlen. Het verwijderen van deze objecten kan veiligheidsrisico's introduceren voor de bemanning.

4.2.2. Protocol onverwacht aantreffen

Ondanks diverse maatregelen is het aantreffen van een OO tijdens werkzaamheden nooit volledig uitgesloten. Om deze reden dient een 'protocol onverwacht aantreffen' te worden gehanteerd indien onverwacht en onverhoopt een OO wordt gevonden. In dit protocol dient uiteen te worden gezet welke handelingen worden verricht om een onverwachte vondst veilig af te handelen.

4.3. Individuele maatregelen

Individuele maatregelen voorkomen het risico op persoonsniveau. Middels werkprotocollen kan het personeel worden weggehouden van risicovolle locaties op het schip tijdens risicomomenten. Personeel dat normaliter onder de waterlijn werkzaam is, kan bijvoorbeeld worden verplicht om tijdens het winnen van zand op de brug te verblijven.

5 Managementsamenvattingen

In deze bijlage zijn de managementsamenvattingen, afkomstig uit de in hoofdstuk 2 genoemde studies, opgenomen.

5.1. Managementsamenvatting Crisislab, UXO North Sea (2023)

Executive summary

The seabed of the North Sea is extremely important for the future of the Netherlands, as it not only protects the coastal areas through sand extraction, but also plays a vital role in the energy transition by installing cables for wind turbines, which secures the country's sustainable energy supply both now and in the future.

These works are obstructed by the current 'UXO-worst case approach'. One risk associated with activities in the North Sea is the possibility of encountering unexploded ordnance (UXO), which could lead to an explosion resulting in injury or death. However, there is currently no record of this risk materializing during dredging or cable installation activities in the Netherlands (at least since 1970). In this study, we have therefore examined the objective risk of UXO in the North Sea bed during these activities.

In the Netherlands, a risk is considered unacceptable if the probability of death for an individual is greater than once in one hundred thousand years (10^{-5} per year ie 1 in 100,000 years). For cable installation workers, we have demonstrated that the UXO risk is at least smaller than once in one hundred thousand years, which meets the general safety standard in the Netherlands. However, due to a lack of data, we have not yet been able to demonstrate this for dredging workers, making it uncertain whether the UXO risk meets the general safety standard or not.

Despite the fact that we cannot yet conclude that the UXO risk for dredging workers is sufficiently low, there are insights that suggest it is. The UXO risk for fishermen is estimated to be around once in twenty thousand years ($5 * 10^{-5}$ i.e. 1 in 20,000 year). Tens of thousands of explosives have been retrieved from the North Sea by fishermen, with only two fatal incidents since 1970. In all these cases, the explosive was brought on board the ship. Therefore, it is expected that the UXO risk for dredging workers is at least lower than for fishermen.

At the same time, implementing mitigation measures presents a demonstrable and objective risk. People die every year while working at sea, and the general risk of working on *service ships* is once in thirty-five thousand years ($3 * 10^{-5}$ i.e. 1 in 35,000 year). This means that the risk of implementing mitigation measures is higher than the UXO risk for at least cable installation workers, but likely also for dredging workers. This means that the probability of a fatality is higher with UXO mitigation measures than without.

The third aspect that has been considered is the cost-benefit of implementing mitigation measures. It is an objective of governmental and semi-governmental organisations to use societal resources as effectively as possible. Each *safety euro* should be preventing as much damage as possible. Given the small risk, the benefits of the measures are limited. However, the direct and indirect costs of the mitigation measures are enormous. Over a hundred million euros have been spent on controlling the risk, while it has hardly or not at all contributed to increasing safety.

5.2. Managementsamenvatting TNO, Ammunition trigger study (2020)

Summary

Unexploded Ordnance (UXO) risk mitigation is required for the development of offshore wind energy in the Dutch sector of the North Sea known as the German Bight. As an energy grid operator, TenneT is accountable for controlling and reducing the costs. For this reason TenneT has set up a UXO Risk Management Strategy Program to establish a proportional balance between cost and risk. The latter is based on the ammunition detonation effects multiplied by the likelihood of exposure to ammunition, the likelihood of interaction between underwater activities and ammunition and the likelihood of detonation of ammunition. This report presents the likelihood of detonation or “trigger likelihood” of an ammunition article due to interaction with an underwater activity.

The ammunition is composed of forty WWII German, American and British articles, including aerial bombs, depth bombs, projectiles, ground influence and contact mines and torpedoes, that were placed, dropped or dumped in the German Bight. The scope is set to articles with a main explosive charge of 100 kg or more. The underwater activities are composed of twenty-six activities including cone penetration test, borehole, horizontal directional drilling, piling (sheet and platform), dredging (hopper, cutter, bucket ladder and backhoe), anchoring, jacking up, cable installation (jet trenching, cutter trenching, burial sledge and vertical injector), airlift, rock placement (fall-pipe and side dumping), filler unit placement, pre-lay grapnel run, route clearance by cutting out of service cables, surface laying, mass flow excavation, vibro core, cable ploughing and vibration ploughing.

The trigger likelihood of an ammunition article is obtained by comparing the “severity” of the underwater activity against the initiation thresholds for deformation of the main charge and against the sensitivity of the initiation system based on its configuration and functionality. Quantitative likelihood numbers are obtained by averaging the results of assessments performed by a group of experts (five from TNO and one from NATO MSIAC), based on a method in line with [Kinney, 1976], which correlates qualitative likelihood categories to quantitative likelihood percentages.

The assessments are performed using a conservative and a realistic approach. Both approaches assume that the:

- articles are located on the seabed (including buoyant mines) or that the depth of burial is reachable for the underwater activity;
- initiation system is in the armed condition;
- mechanical components and energetic materials of initiation systems function correctly and according to design.

The conservative approach assumes that if ammunition articles can be equipped with different initiation systems, the type most sensitive to external stimuli is present. For the realistic approach an exception is made for allied aerial bombs, which are assumed to be equipped with mechanical impact/hydrostatic/diaphragm/proximity pistols/fuzes instead of the highly sensitive chemical delay pistols/fuzes.

The conservative approach assumes that the underwater equipment directly strikes at the location of the initiation system. The realistic approach assumes that the equipment does not strike the initiation system, with the exception of contact mines of which the initiation system (Herz horns) is dispersed over the mine body.

The following figures present the trigger likelihood per underwater activity for the German, American and British ammunition. The trigger likelihood is set to the maximum of the main charge and the initiation system. The accordingly obtained results are ranked on the average trigger likelihoods of the underwater activities and subsequently ranked on the average trigger likelihoods of the ammunition articles. This exercise is performed per the realistic approach (in the left column per underwater activity) and allow for comparison with the results for the conservative approach (in the right column). The resulting matrix presents the highest trigger likelihoods in the top left corner with a gradual decrease in trigger likelihood towards the bottom right corner¹.

Cutter dredging, cutter trenching and piling are the underwater activities with the highest trigger likelihood. Airlift, mass flow excavation, vibro core and surface laying are the activities with the lowest trigger likelihood.

Contact mines and aerial bombs with chemical delay pistols/fuzes are considered the most sensitive ammunition articles. Aerial bombs without chemical delay pistols/fuzes, projectiles and ground influence mines are considered the least sensitive articles.

Trigger likelihood for the German ammunition articles per underwater activity from cutter dredging to horizontal directional drilling, for the realistic and conservative approach.

Trigger likelihood [%]		Underwater activity											
Realistic approach Conservative approach		Ammunition											
UXO origin	Article	Cutter dredging	Cutter trenching cable installation	Platform piling	Sheet piling	Vertical injector cable installation	Burial sledge cable installation	Hopper dredging	Backhoe dredging	Horizontal directional drilling			
German	EMA contact mine	92	92	92	92	92	92	90	90	85	85	90	90
	EMC contact mine	92	92	92	92	92	92	90	90	85	85	90	90
	EMD contact mine	92	92	92	92	92	92	90	90	85	85	90	90
	G7e torpedo	53	82	51	72	46	70	46	70	46	67	36	62
	LMB ground influence mine	68	68	65	65	46	47	46	47	46	46	50	50
	LMA ground influence mine	68	68	65	65	46	47	46	47	46	46	50	50
	RMA ground influence mine	53	53	65	65	46	46	46	46	46	50	50	36
	SC 1000 aerial bomb	53	53	65	65	46	46	50	50	46	46	50	50
	BM1000 ground influence mine	41	65	27	57	38	38	30	32	26	38	22	43
	SD 500A aerial bomb	41	41	41	41	37	37	30	30	26	26	36	36
	28 cm HE projectile	41	41	27	28	38	38	30	30	27	27	22	22

Trigger likelihood for the German ammunition articles per underwater activity from cable ploughing to bucket ladder dredging, for the realistic and conservative approach.

Trigger likelihood [%]		Underwater activity											
Realistic approach Conservative approach		Ammunition											
UXO origin	Article	Cable ploughing	Vibration ploughing	Pre Lay Grapnel Run	Jacking up	Route clearance by cutting Out of Service cables	Anchoring	Borehole	Cone penetration test	Bucket ladder dredging			
German	EMA contact mine	90	90	90	90	90	92	92	75	75	87	87	85
	EMC contact mine	90	90	90	90	90	92	92	75	75	87	87	85
	EMD contact mine	90	90	90	90	90	92	92	75	75	87	87	85
	G7e torpedo	33	53	34	53	28	53	26	62	24	47	23	57
	LMB ground influence mine	17	42	17	42	16	27	17	31	22	26	9	22
	LMA ground influence mine	17	42	17	42	16	27	17	31	22	26	9	22
	RMA ground influence mine	14	37	13	37	13	31	16	31	22	27	10	16
	SC 1000 aerial bomb	14	14	10	13	12	12	9	13	12	12	9	9
	BM1000 ground influence mine	14	33	13	33	13	22	13	22	12	33	13	16
	SD 500A aerial bomb	7	10	7	10	8	8	4	7	9	9	7	7
	28 cm HE projectile	8	24	8	25	8	20	6	23	8	20	7	18

¹ Per originating country the figures should be read as being connected from left to right.

Trigger likelihood for the German ammunition articles per underwater activity from rock placement by side dumping to airlift, for the realistic and conservative approach.

Trigger likelihood [%]		Underwater activity															
Realistic approach Conservative approach		Ammunition															
UXO origin	Article	Rock placement by side dumping		Filler Unit placement		Rock placement through fall-pipe		Jet trenching cable installation		Surface laying		Mass flow excavation		Vibro Core		Airlift	
German	EMA contact mine	80	80	80	80	80	80	67	67	67	67	52	52	44	44	33	33
	EMC contact mine	80	80	80	80	80	80	67	67	67	67	52	52	44	44	33	33
	EMD contact mine	80	80	80	80	80	80	67	67	67	67	52	52	44	44	33	33
	G7e torpedo	19	40	16	37	15	37	27	53	13	37	13	27	14	33	3	10
	LMB ground influence mine	3	8	3	7	3	7	5	8	1	8	1	3	2	3	1	6
	LMA ground influence mine	3	8	3	7	3	7	5	8	1	8	1	3	2	3	1	6
	RMA ground influence mine	3	10	3	10	3	10	3	5	2	7	1	6	6	9	1	8
	SC 1000 aerial bomb	3	3	3	3	3	3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1
	BM1000 ground influence mine	3	9	2	7	2	7	3	4	1	8	1	3	1	4	1	7
	SD 500A aerial bomb	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	28 cm HE projectile	6	10	3	6	3	6	2	3	3	4	2	4	2	13	1	2

Trigger likelihood for the American ammunition articles per underwater activity from cutter dredging to jacking up, for the realistic and conservative approach.

Trigger likelihood [%]		Underwater activity																	
Realistic approach Conservative approach																			
Ammunition		Cutter dredging		Cutter trenching cable installation		Platform piling		Sheet piling		Vertical injector cable installation		Backhoe dredging		Hopper dredging		Burial sledge cable installation		Jacking up	
UXO origin	Article																		
US	GP 500 lb aerial bomb	58	77	57	77	51	75	52	80	51	70	42	70	41	70	41	70	18	65
	LC 4000 lb aerial bomb	54	57	53	58	46	55	47	60	47	48	38	50	36	47	37	52	17	30
	MK 25 ground influence	53	53	52	52	46	46	47	47	46	46	37	37	36	36	36	36	11	14
	MK 36 ground influence	53	53	52	52	46	46	47	47	46	46	37	37	36	36	36	36	11	14
	GP 1000 lb aerial bomb	41	72	27	72	37	65	29	65	27	65	32	65	24	65	22	65	17	57

Trigger likelihood for the American ammunition articles per underwater activity from bucket ladder dredging to filler unit placement, for the realistic and conservative approach.

Trigger likelihood [%]		Underwater activity																	
Realistic approach Conservative approach		Ammunition																	
UXO origin	Article	Bucket ladder dredging		Cable ploughing		Vibration ploughing		Anchoring		Pre Lay Grapple Run		Route clearance by cutting Out of Service cables		Jet trenching cable installation		Rock placement by side dumping		Filler Unit placement	
US	GP 500 lb aerial bomb	28	70	15	70	13	75	14	65	13	60	12	45	15	55	12	50	12	50
	LC 4000 lb aerial bomb	9	32	15	43	11	48	10	33	11	38	10	30	6	33	8	30	5	27
	MK 25 ground influence	4	5	14	14	10	10	10	10	9	8	8	8	6	8	3	3	3	3
	MK 36 ground influence	4	5	14	14	10	10	10	10	9	8	8	8	6	8	3	3	3	3
	GP 1000 lb aerial bomb	27	60	12	65	12	70	14	57	12	55	11	45	14	50	11	50	11	50

Trigger likelihood for the American ammunition articles per underwater activity from rock placement through fall-pipe to vibro core, for the realistic and conservative approach.

Trigger likelihood [%]		Underwater activity															
Realistic approach Conservative approach		Ammunition															
UXO origin	Article	Rock placement through fall-pipe		Mass flow excavation		Airlift		Horizontal directional drilling		Surface laying		Borehole		Cone penetration test		Vibro Core	
US	GP 500 lb aerial bomb	12	50	14	27	13	19	9	70	6	33	4	60	4	60	3	43
	LC 4000 lb aerial bomb	4	27	2	17	2	15	7	29	3	16	3	25	3	25	3	24
	MK 25 ground influence	3	3	1	1	1	1	3	6	2	2	3	3	3	3	2	2
	MK 36 ground influence	3	3	1	1	1	1	3	6	2	2	3	3	3	3	2	2
	GP 1000 lb aerial bomb	11	50	13	27	12	19	8	65	6	33	4	55	3	60	3	43

Trigger likelihood for the British ammunition articles per underwater activity from cutter dredging to jacking up, for the realistic and conservative approach.

Trigger likelihood [%]		Underwater activity																	
Realistic approach Conservative approach																			
Ammunition		Cutter dredging		Cutter trenching cable installation		Sheet piling		Vertical injector cable installation		Platform piling		Backhoe dredging		Burial sledge cable installation		Hopper dredging		Jacking up	
UXO origin	Article																		
UK	MK XIV contact mine	92	92	92	92	92	92	90	90	92	92	90	90	90	90	90	90	87	87
	MK XVI contact mine	92	92	92	92	92	92	90	90	92	92	90	90	90	90	90	90	87	87
	H II MK II contact mine	87	87	87	87	82	82	80	80	77	77	80	80	80	80	80	80	77	77
	T MK III contact mine	87	87	87	87	82	82	80	80	77	77	80	80	80	80	80	80	77	77
	Vickers Elia contact mine	87	87	87	87	82	82	80	80	77	77	80	80	80	80	80	80	77	77
	British Elia contact mine	87	87	87	87	82	82	80	80	77	77	80	80	80	80	80	80	77	77
	MK XVII contact mine	82	82	82	82	77	77	80	80	77	77	76	76	80	80	76	76	75	75
	MK XXII contact mine	82	82	82	82	77	77	80	80	77	77	76	76	80	80	76	76	75	75
	MK XXV contact mine	82	82	82	82	77	77	80	80	77	77	76	76	80	80	76	76	75	75
	MK XV contact mine	82	82	82	82	72	72	75	75	72	72	71	71	75	75	71	71	70	70
	MK XX contact mine	77	77	72	72	67	67	65	65	62	62	66	66	70	70	66	66	60	60
	Squid	57	68	52	68	47	72	55	80	46	67	43	62	38	62	37	57	36	50
18 in MK XII, XV torpedo	60	70	52	67	47	60	46	53	46	57	51	62	36	53	36	57	36	46	
21 in MK VIII, XV torpedo	60	70	52	67	47	60	46	53	46	57	51	62	36	53	36	57	36	46	
HC 4000 lb aerial bomb	53	57	52	52	47	50	46	46	46	46	37	50	36	42	36	47	23	38	
GP 1000 lb aerial bomb	48	77	33	77	37	75	32	70	37	75	41	70	25	65	31	70	21	57	
MC 500 lb aerial bomb	48	77	33	77	37	75	32	70	37	75	41	70	25	65	31	70	21	57	
MC 1000 lb aerial bomb	48	77	33	77	37	75	32	70	37	75	41	70	25	65	31	70	21	57	
DB 500 lb depth bomb	53	60	52	52	47	47	46	46	46	46	37	50	36	36	36	47	14	26	
DB 600 lb depth bomb	53	53	52	52	47	47	46	46	46	46	37	39	36	36	36	38	17	27	
A MK V, VII ground influence mine	53	53	52	52	47	47	46	46	46	46	37	42	36	36	36	36	13	27	
M MK III, V ground influence mine	53	53	52	52	47	47	46	46	46	46	37	37	36	36	36	36	13	28	
A MK I-IV ground influence mine	53	53	52	52	47	47	46	46	46	46	37	37	36	36	36	36	13	27	
15 in XVI lb projectile	41	41	27	27	29	29	26	26	37	37	29	34	22	22	24	34	12	23	

Trigger likelihood for the British ammunition articles per underwater activity from horizontal directional drilling to anchoring, for the realistic and conservative approach.

Trigger likelihood [%]		Underwater activity																	
Realistic approach Conservative approach																			
Ammunition		Horizontal directional drilling		Bucket ladder dredging		Cable ploughing		Vibration ploughing		Pre Lay Grapnel Run		Route clearance by cutting Out of Service cables		Borehole		Cone penetration test		Anchoring	
UXO origin	Article																		
UK	MK XIV contact mine	92	92	90	90	85	85	85	85	85	85	80	80	90	90	90	90	82	82
	MK XVI contact mine	92	92	90	90	85	85	85	85	85	85	80	80	90	90	90	90	82	82
	H II MK II contact mine	77	77	75	75	75	75	75	75	75	75	70	70	75	75	75	75	72	72
	T MK III contact mine	77	77	75	75	75	75	75	75	75	75	70	70	75	75	75	75	72	72
	Vickers EIIa contact mine	77	77	75	75	75	75	75	75	75	75	70	70	75	75	75	75	72	72
	British EIIa contact mine	77	77	75	75	75	75	75	75	75	75	70	70	75	75	75	75	72	72
	MK XVII contact mine	80	80	76	76	72	72	72	72	71	71	71	71	76	76	76	76	67	67
	MK XXII contact mine	80	80	76	76	72	72	72	72	71	71	71	71	76	76	76	76	67	67
	MK XXV contact mine	80	80	76	76	72	72	72	72	71	71	71	71	76	76	76	76	67	67
	MK XV contact mine	75	75	71	71	67	67	67	67	66	66	66	66	71	71	71	71	62	62
	MK XX contact mine	70	70	66	66	67	67	67	67	66	66	66	66	66	66	66	66	52	52
	Squid	28	62	23	47	37	57	42	62	37	57	24	56	23	56	22	56	31	45
	18 in MK XII, XV torpedo	30	62	36	47	33	52	33	47	33	52	29	48	19	53	18	53	21	46
	21 in MK VIII, XV torpedo	30	62	36	47	33	52	33	47	33	52	29	48	19	53	18	53	21	46
	HC 4000 lb aerial bomb	13	38	23	50	13	40	12	43	15	39	12	31	9	34	9	34	14	33
	GP 1000 lb aerial bomb	17	65	22	55	16	60	16	65	18	55	17	45	13	55	13	60	21	52
	MC 500 lb aerial bomb	17	65	22	55	16	60	16	65	18	55	17	45	13	55	13	60	21	52
	MC 1000 lb aerial bomb	17	65	22	55	16	60	16	65	18	55	17	45	13	55	13	60	21	52
	DB 500 lb depth bomb	13	36	12	25	14	32	19	35	15	31	10	26	9	29	8	29	10	21
	DB 600 lb depth bomb	5	24	5	14	14	26	10	29	9	24	8	20	4	20	3	20	10	18
	A MK V, VII ground influence mine	11	27	8	10	14	25	11	25	11	30	10	30	7	23	7	23	10	19
	M MK III, V ground influence mine	3	22	3	5	14	25	10	25	10	25	9	25	3	18	3	18	10	15
	A MK I-IV ground influence mine	3	22	3	5	14	25	10	25	10	25	9	25	3	17	3	17	10	15
	15 in XVIIb projectile	12	28	12	13	10	21	10	25	10	20	10	20	8	24	8	24	7	17

Trigger likelihood for the British ammunition articles per underwater activity from rock placement by side dumping to airlift, for the realistic and conservative approach.

Trigger likelihood [%]		Underwater activity														
Realistic approach Conservative approach																
Ammunition																
UXO origin	Article	Rock placement by side dumping		Rock placement through fall-pipe		Filler Unit placement		Jet trenching cable installation		Surface laying		Mass flow excavation		Vibro Core		Airlift
UK	MK XIV contact mine	80	80	80	80	80	80	67	67	65	65	50	50	43	43	31
	MK XVI contact mine	80	80	80	80	80	80	67	67	65	65	50	50	43	43	31
	H II MK II contact mine	70	70	70	70	70	70	57	57	57	57	42	42	34	34	23
	T MK III contact mine	70	70	70	70	70	70	57	57	57	57	42	42	34	34	23
	Vickers Elia contact mine	70	70	70	70	70	70	57	57	57	57	42	42	34	34	23
	British Elia contact mine	70	70	70	70	70	70	57	57	57	57	42	42	34	34	23
	MK XVII contact mine	67	67	67	67	67	67	52	52	51	51	45	45	42	42	31
	MK XXII contact mine	67	67	67	67	67	67	52	52	51	51	45	45	42	42	31
	MK XXV contact mine	67	67	67	67	67	67	52	52	51	51	45	45	42	42	31
	MK XV contact mine	62	62	62	62	62	62	47	47	48	48	42	42	39	39	28
	MK XX contact mine	57	57	57	57	57	57	37	37	43	43	37	37	34	34	23
	Squid	27	40	23	37	23	37	36	47	18	28	18	26	21	28	9
	18 in MK XII, XV torpedo	28	38	19	34	24	39	18	32	8	32	17	23	12	25	7
	21 in MK VIII, XV torpedo	28	38	19	34	24	39	18	32	8	32	17	23	12	25	7
	HC 4000 lb aerial bomb	13	33	9	29	10	29	11	38	6	20	15	24	8	25	10
	GP 1000 lb aerial bomb	26	50	26	50	21	45	17	42	11	32	8	20	7	33	11
	MC 500 lb aerial bomb	26	50	26	50	21	45	17	42	11	32	8	20	7	33	11
	MC 1000 lb aerial bomb	26	50	26	50	21	45	17	42	11	32	8	20	7	33	11
	DB 500 lb depth bomb	10	15	5	12	6	12	5	8	5	12	5	7	8	11	4
	DB 600 lb depth bomb	3	7	3	7	3	7	13	19	2	7	5	4	2	4	4
	A MK V, VII ground influence mine	8	8	4	5	4	5	3	4	4	5	3	4	3	8	2
	M MK III, V ground influence mine	4	5	4	5	4	5	3	4	3	4	3	3	2	7	2
	A MK I-IV ground influence mine	4	5	4	5	4	5	3	4	3	4	3	3	2	7	2
	15 in XVIIb projectile	7	11	3	8	3	8	4	4	3	8	2	3	2	4	1

5.3. Managementsamenvatting DNV-GL, UXO response simulation (2021)

EXECUTIVE SUMMARY

The consequences of accidental underwater explosions of unexploded ordnances (UXO) on the hull structure of ships, its personnel and equipment installed on board were assessed. The ships covered by the analysis are merchant ships involved in offshore windfarm cable operations.

In order to reduce the number of vessels to be investigated as a first step the list of ships as provided by the client were clustered and ranked. The subsequent studies were then conducted for "reference ships" only.

An underwater explosion has an impact on the ship as a whole but also locally confined. However, a ship that might be more vulnerable compared to another ship from a global perspective is not necessarily also more vulnerable from a local perspective. Therefore the analysis was divided into fullship analysis and local hull analysis.

In order to quantify the severity of an underwater explosion, numerical analyses have been carried out, where the underwater explosions were simulated fully coupled to numerical ship models. The software Autodyn specialized on this kind of tasks was used to do the simulations. The results of these analyses are accelerations, velocities, displacements as well as stresses and strains over the ship hull in the time domain. These quantities are used for the assessment of the hull integrity as well as assessment of risk of injury to personnel and potential damage to equipment. A description of the approach is given in chapters 6.2 (full ship) and 7.1 (local hull).

The water depth, TNT charge size and location of the UXO at the seabed relative to the ship were varied. A combination of these parameters is called a scenario. For each simulated scenario the ship response was assessed with respect to above mentioned criteria. The scenarios were prescribed by the customer.

Fullship Analysis

In a first step a larger number of ships with different operational tasks, dimensions and scantlings were grouped into seven categories, where each category clusters ships of similar response with respect to an UXO explosion. Three of the categories were reserved for ships operating in nearshore area, four of the categories represent ships operating offshore. The distinction between nearshore and offshore is a water depth of 10m at which the ships operate.

For ships within one of these categories similar response during the explosion means, that they respond similar with respect to global hull girder failure ("breaking in two"), risk of injury of personnel on board and risk of equipment failure. Global ship quantities like ship dimensions, displacement and mid ship section moment of inertia are important ship characteristics for this clustering. Analyses referring to these vessels are referred to as "full ship" in the following.

A summary of the results is presented in following tables:

- for nearshore scenarios (Table 0-1)
- offshore scenarios with bomb location at midship below keel (Table 0-2)
- and offshore scenarios with the bomb located 20m behind the vessel (Table 0-3).

The tables are sorted by water depth and bomb size. In the tables a reference to the chapter in this report is given showing the detailed results of the underlying analysis. The last four columns indicate, if assessed items are within defined limit and guidance values (green, i.e. assessment criteria are fulfilled) or if they are exceeded (red).

Table 0-1 Full-Ship Nearshore Result summary

Scenario	Chapter No	Bomb [lbs]	Water Depth [m]	Location of bomb	Ship Category	Global Hull Girder Failure	Equipment	risk of injury	
								at nearest distance	at distance (half breadth of ship)
2.1.0	6.5.1	100	5	below at L/2	Nearshore	1	x	x	x
2.1.0	6.5.4	100	5	below at L/2		2	x	x	x
2.1.0	6.5.5	100	5	below at L/2		3	x	x	x
2.1.1	6.5.2	100	7.5	below at L/2		1	x	x	x
2.1.2	6.5.3	100	10	below at L/2		1	x	x	x

Table 0-2 Full-Ship Offshore Result summary

Scenario	Chapter No	Bomb [lbs]	Water Depth [m]	Location of bomb	Ship Category	Global Hull Girder Failure	Equipment	risk of injury	
								at nearest distance	at distance (half breadth of ship)
1.1.0	6.5.6	250	10	below at L/2	Offshore	1	x	x	x
1.1.0	6.5.7	250	10	below at L/2		2	x	x	x
1.1.0	6.5.8	250	10	below at L/2		3	x	x	x
1.1.0	6.5.9	250	10	below at L/2		4	x	x	x
1.1.1	6.5.10	250	15	below at L/2		2	x	x	x
1.1.2	6.5.11	250	17.5	below at L/2		1	x	x	x
1.1.2	6.5.12	250	17.5	below at L/2		2	x	x	x
1.1.2	6.5.13	250	17.5	below at L/2		3	x	x	x
1.1.2	6.5.14	250	17.5	below at L/2		4	x	x	x
1.1.3	6.5.13	250	20	below at L/2		3	x	x	x
3.1.0	6.5.20	500	20	below at L/2		1	x	x	x
3.1.0	6.5.21	500	20	below at L/2		2	x	x	x
3.1.0	6.5.22	500	20	below at L/2		3	x	x	x
3.1.0	6.5.23	500	20	below at L/2		4	x	x	x
3.1.1	6.5.24	500	25	below at L/2		2	x	x	x
3.1.1	6.5.25	500	25	below at L/2		3	x	x	x

Table 0-3 Full-Ship Offshore Result summary – bomb location behind vessel

Scenario	Chapter No	Bomb [lbs]	Water Depth [m]	Location of bomb	Ship Category	Global Hull Girder Failure	Equipment	risk of injury	
								at nearest distance	at distance (half breadth of ship)
1.2.0	6.5.16	250	10	20m behind	Offshore	1	x	x	x
1.2.0	6.5.17	250	10	20m behind		2	x	x	x
1.2.0	6.5.18	250	10	20m behind		3	x	x	x
1.2.0	6.5.19	250	10	20m behind		4	x	x	x
3.2.0*	6.5.26	500	10	20m behind		1	x	x	x

*) For the ship category 1 showing the highest responses for scenario 1.2.0 (250lbs at 10m depth, 20m behind the ship) the scenario 3.2.0 (500lbs at 10m depth, 20m behind the ship) was added to assess sensitivity with respect to a larger explosive.

Following can be concluded from above tables:

- **A risk of global hull girder failure can be excluded for all investigated scenarios except for the Nearshore Category 1 for the scenario of a 100lbs bomb detonating at 5m water depth.**
- A risk of failure of equipment cannot be excluded for any of the scenarios.
- According to the applied approach in this study the **risk of an injury to the personnel onboard is not given even at the nearest location to the explosion for the following scenarios**
 - 250lbs bomb exploding in the middle of the ship at a water depth equal or greater than 17.5m
 - 250lbs bomb exploding 20m behind the ship at a water depth equal or greater than 10mBombs with a TNT equivalent of less than that of a 250lbs bomb (30.8kg), are considered to be even less severe than the 250lbs bomb, so that the same above conclusions apply.
 - 500lbs bomb exploding 20m behind the ship at a water depth equal or greater than 10m
 - 500lbs bomb exploding in the middle of the ship at a water depth equal or greater than 25mBombs with a TNT equivalent of less than that of a 500lbs bomb (67.8kg), are considered to be even less severe than the 500lbs bomb, so that the same above conclusions apply.
- For the 100lbs bomb exploding at 5m, 7.5m and 10m water depth at the middle of the ship below the keel a risk of injury cannot be excluded for any of the three defined Nearshore ship categories. For the Nearshore Category 1 ship (reference vessel representing the smallest group Nearshore vessels) even at greater distance onboard a risk of injury is likely.
- For the 250lbs bomb exploding at 10m and 15m water depth at the middle of the ship below the keel a risk of injury cannot be excluded for all ship categories.
- For the 500lbs bomb exploding at 20m water depth at the middle of the ship below the keel a risk of injury cannot be excluded for all ship categories

In chapter 6.6.2 it is aimed for a generalisation of the results to transfer them also to other scenarios than those investigated.

In chapter 6.5.7.6 a detailed result evaluation with respect to the risk of injury on a working deck is provided exemplarily for one scenario to get a more precise spatial representation of the risk of injury on deck.

In order to interpret above results well, it is important to observe the assumptions discussed in more detail in chapter 5.1. The assumptions made, result in an implicit conservatism adding an unspecified safety to the results and the assessment:

- The UXO are considered laying unburied on the seabed. This is a conservative assumption since for a buried UXO less energy is transmitted into the water.

- A rigid and flat seabed is assumed (100% reflection). This is a very conservative assumption because by this the entire energy is transmitted into the water. For a less rigid seabed, like sand or mud, a significant amount of energy (e.g. up to 25%) is absorbed by the seabed.
- The UXO is considered intact. So, the full amount of explosive is considered and exploding instantaneously at once.
- No tide was considered. Since the water depth for offshore operations is typically stated for low tide, this assumption is also conservative because an increased explosion stand-off reduces significantly the ship's loading.
- As a conservative assumption, no structural damping was applied in the calculations.

Not only the analyses set-up implies safety due to conservatism, also in the result evaluation conservative approaches were applied in the assessment of equipment on board as well as the risk of injury:

The risk of equipment failure is assessed by comparison with a guidance value developed from an industry standard for merchant ships /13/ and navy standards. In navy shock standards or specifications, typically a residual acceleration threshold is defined, below which resiliently mounted equipment is considered shock resistant without any further testing or simulation. For non-resiliently but rigidly mounted equipment no such threshold exists because in the naval world the underwater explosion scenarios are so severe that a threshold for rigidly mounted equipment would make no sense since the loads would be in any case above such thresholds. However, the resilient mounting causes a prolongation of the duration the equipment is exposed to the residual acceleration resulting in a long shock pulse and thus in a lot more energy than would act on a rigidly mounted equipment exposed to the same residual acceleration. Therefore, although in navy standards the loading on an equipment is often assessed in terms of shock acceleration, the permissible design stress for the equipment is actually dependent upon the time for which the shock acceleration is acting.

Applying the assessment criteria from the navy standard is consequently conservative, because the shock loads predicted in this report are of much shorter duration than assumed by the navy standard, which means less energy is involved in the equipment shock than assumed by the navy standard. It can be taken for granted that rigidly mounted equipment as assumed mostly present on merchant ships could even sustain higher accelerations than those taken from the navy standard applicable for resiliently mounted equipment.

The same is true for the consideration of secondary risks of injury e.g. by equipment coming loose. Even though the predicted accelerations in this study appear relatively high for some scenarios, the time the acceleration is acting is very short. Consequently, the movement an equipment would make would also be very limited.

Furthermore, military equipment is required to remain fully functional after a shock event under the above regime. The risk of an underwater explosion attack for a navy vessel is considered to be 100% in the design phase of the ship. For the equipment in this UXO study it is however deemed acceptable that the equipment itself fails under the shock load but does not endanger the personnel, ship or other equipment. Consequently, other safety factors may apply.

Regarding the "Equipment" column in above tables, it is to mention, that the equipment assessment bases on shock response spectra (SRS), which is a generalized form to present equipment response. In case at any frequency the guidance value is exceeded the criterion is marked as "exceeded" and red.

The assessment does not base on the dynamic properties of a specific equipment itself. Thus, when the in above tables the result is to be read as follows:

- Read from the SRS (shown in chapter 6.5) the frequency range in which exceedance is expected
- Check, if in the area around the location where the SRS was generated equipment is installed, for which shock-relevant natural frequencies exist, that fall into the frequency range of exceedance.

An example is shown in Figure 0-1. In above summary tables the equipment would be marked as "exceeded", however damage or failure may only occur to equipment around evaluation point "G1", if relevant natural frequencies exist in the range of app. 12Hz to app. 45Hz. Exemplarily, assuming a large A-frame on its foundation with relevant natural frequencies well below 12Hz would resist the shock event. Or, assuming in the area around "G1" a very stiff winch on its foundation with relevant natural frequencies above 45Hz would also resist the shock event.

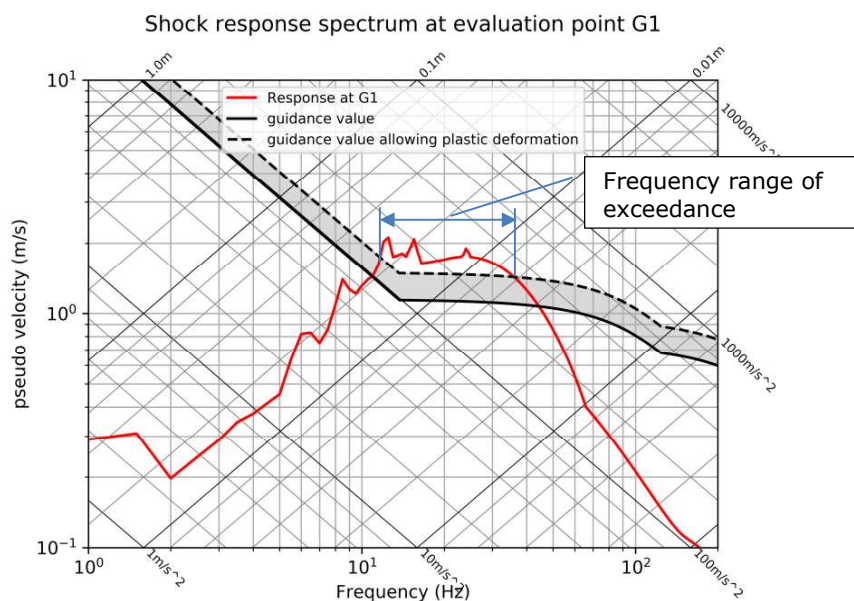


Figure 0-1: Example of an SRS and the frequency range which exceeds the guidance value

The risk of injury assessment bases on navy standard /9. However, the assessment relevant dimensions (maximum velocity $\dot{y}_{\max}$ and characteristic acceleration $\ddot{y}_{\max}$) are not retrieved solely from the SRS, as stipulated by the above-mentioned standard. Instead the highest acceleration and velocity out of SRS and time signal are used in the assessment.

Local Hull Analysis

Like for the fullship analysis, categories were established for local structural response (e.g. shell plating rupture or failure of floors and stiffeners). Bending and shear stiffness as well as natural frequencies of local structures are relevant design parameters for this clustering. Ships in these categories are referred to as "local hull" in the following. The clustering is described in chapter 2.

Table 0-4 gives an overview of the results of all investigated scenarios and a status, whether the criteria are fulfilled (green) or not fulfilled (red). The criteria cover the failure modes rupture of the hull plating, deformation and tearing of stiffeners, collapse of primary supporting members (girders, floors and web-frames, also noted as PSMs) and collapse of sections of the internal vertical bulkheads.

For the ships investigated for the following scenarios **no water ingress is to be expected because of local structural failure of the outer shell plating:**

- **100lbs bomb at distance equal or greater than 7.5m**
- **250lbs bomb at distance equal or greater than 10m**
- **500lbs bomb at distance equal or greater than 20m**

However, severe structural damages are expected in the form of plastic deformation of large areas of structural steel. This may lead to high repair costs.

Bombs with a TNT equivalent of less than that of the 100lbs bomb (14.95kg), 250lbs bomb (30.8kg) and the 500lbs bomb (65.8kg), are considered to cause less severe damages than the 100lbs, 250lbs or the 500lbs bomb respectively, so that the same conclusions apply.

Table 0-4 Local Hull Analysis Result summary

Vessel number	Scenario	Water depth [m]	Bomb [lbs]	Status
1	2.1.0	5	100	Failed
1	1.1.0	10	250	Passed
2	2.1.0	5	100	Failed
2	2.1.2	10	100	Passed
3	1.1.0	10	250	Passed
3	3.1.0	20	500	Passed
5	2.1.0	5	100	Failed
5	2.1.1	7.5	100	Passed
6	1.1.0	10	250	Passed
6	3.1.0	20	500	Passed
7	1.1.0	10	250	Passed
7	3.1.0	20	500	Passed
10	1.1.0	10	250	Passed
10	3.1.0	20	500	Passed

5.4. Managementsamenvatting TNO, *Effects of an explosion* (2017)

Summary

The effects of detonation of an UXO item on a specific dredge vessel have been estimated for the cases that it detonates near or in the suction head, in the dredge lines or in the dredge pump. Indications of the effects on the vessels hull integrity, equipment and crew have been assessed.

For detonation near or in the suction head, 60 combinations of explosive size, water depth and draught have been considered. The results are summarised in Table 1. While all scenarios result in more or less equipment damage, only the shallow water depth scenarios result in hull rupture. Some more cases may result in failure of hull valves and/or their piping. There is only shock wave induced crew injury for large explosive sizes in shallow water depth. The risks of hull rupture and crew injury decrease rapidly with increasing water depth. The results in Table 1 are based on the assumption that rupture of appendages (hull valves etc.) does not result in uncontrollable flooding of the engine rooms and pump room. If this assumption does not hold, the vessel will not survive any cases.

Table 1 Overview of scenarios for detonation in suction head, assuming that failure of appendages can be managed by bilge pumps. H=hull rupture, A=appendages failure/rupture, S=buoyancy/stability affected, E=equipment damage and C=crew injury. The colour scale green-yellow-orange-red-black indicates the increasing severity of effects.

UXO [kg TNT]	Depth 10 m		Depth 20 m		Depth 30 m	
	Draught 3.80 m	Draught 6.81 m	Draught 3.80 m	Draught 6.81 m	Draught 3.80 m	Draught 6.81 m
10	A E	A E	E	E	E	E
20	A E	H A E	A E	E	A E	E
25	A E	H A E	A E	E	A E	E
30	A E	H A E	A E	E	A E	E
40	A E	H A S E	A E	E	A E	A E
50	A E	H A S E	A E	A E	A E	A E
75	H A E	H A S E C	A E	A E C	A E	A E
100	H A E C	H A S E C	A E	A E C	A E	A E
150	H A E C	H A S E C	A E	A E C	A E	A E
200	H A E C	H A S E C	A E	A E C	A E C	A E

For detonation in the dredge lines and dredge pump, an 8.8 cm shell is considered the worst case article that can be sucked in. Detonation of a shell in the dredge lines would in most cases result in a hole in the pipe and ejection of fragments. The crew could be protected from such fragments by addition of some thick steel plates. A risk analysis would be required to determine whether the protection measures are worthwhile.

Detonation in the dredge pump might in some cases result in a hole in the pump casing and ejection of fragments. Severe leakage of the pump can be expected in most detonations inside the pump, which could lead to flooding of the pump room if the explosion would also damage the valves in the dredge line. Protection against fragments can be achieved by addition of steel plating or by maintaining a certain water level in the hopper.

5.5. Managementsamenvatting Deltares, *Estimating burial depth* (2023)

Summary

Rijkswaterstaat and TenneT have requested Deltares to perform a seabed mobility analysis for the Dutch Continental Shelf (DCS). This study modifies and extends the analysis performed in the Deltares (2020a) pilot study for the DCS by applying a more detailed methodology and additional bathymetrical data.

The overall objective of the Deltares activities is to generate one or more data products (i.e., maps and GIS files) that will indicate at what depth below the seabed objects can be expected and what the expected future seabed levels will be. This information will simplify or preclude the choice of means for mitigation measures for Conventional Explosives (CE) and offshore activities in the subsurface – such as cable trenching or sand mining – depending on the location and situation.

The aim of this morphodynamic assessment is to characterise the seabed dynamics and to quantify seabed level changes over the period 1945 to 2022 and over the period 2022 to 2050. Different levels will be provided describing the bandwidth in Lowest Seabed Levels for given years. This study focusses solely on the areas where sand waves are present on the DCS. In areas offshore without sand waves the sea floor dynamics are very low and not predictable on this long timescale.

The DCS is characterised by significant areas of sand waves particularly in the southern part of the DCS. Deepest water is found along the southwestern edge of the sand wave region. As expected, the water depth gradually decreases towards the coast. The area is furthermore characterised by tidal sand banks in the north and south, with the northern banks running from north to south and the southern banks facing the coast of Zeeland. In the southwestern part of the sand wave area, long bed waves with wavelengths of around 1.5 km can be seen. These rhythmic features are larger than sand waves, which typically have lengths ranging from 100 to 1000 m.

To analyse seabed dynamics a detailed analysis is presented focussing on sand waves present in the DCS. Sand wave dynamics are determined by using a 2D cross-correlation technique. The sand waves typically migrate to the north-east, and locally to the south-west, with rates mostly ranging from 0 to 3 m/year. In the south-western part of the sand wave area, migration rates are low. Meanwhile, the north-eastern region shows higher migration rates which gradually increase closer to the Wadden Islands. The highest migration rates are found near coastal areas and on top of sand banks, which significantly redirect the migration direction of the sand waves in several areas.

Based on the extrapolation of seabed trends, several seabed levels have been derived for the period 1945 to 2022 and for the period 2022 to 2050. These levels describe the hindcasted and predicted bandwidths in the Lowest Seabed Levels by means of a lower, mean and upper prediction. Furthermore Best-Estimate Bathymetries are provided for the years 2022 and 2050.

The analysis provides insight in the dynamics of sand waves on the DCS. The quality of the results is subject to a number of limitations. For example, limited spatial coverage of survey data, quality of available data and human interventions can significantly influence results. Quality checks resulted in exclusion of certain datasets because of limited quality.

The predicted seabed level changes presented in this study follow from the applied morphological analysis techniques, describing the (uncertainty of the) physics and the natural variability of the analysed morphological system. No additional safety margins for design purposes have been applied.

The presented hindcasted and predicted future seabed levels are a result of the applied methodology. This methodology was previously successfully applied in detailed morphodynamic assessments for wind farm zones on the DCS. Because of local characteristics, upscaling of the analysis to the entire DCS resulted in increased uncertainties of historic and future seabed levels as compared to detailed, local morphodynamic assessments. The presented seabed levels provide a good insight in historic and future bandwidths of seabed levels, however detailed assessments are recommended in case depths of buried objects and cable burial depths need to be determined with more accuracy.

The presented seabed levels are a valuable dataset to (further) decrease the risks related to CE. Despite the limitations, as can be expected from a hindcast of 60 to 75 years, the resulting surfaces and maps will help in assessing the likelihood of presence of CE at and under the seafloor.

5.6. Managementsamenvatting Menzel en Deltares, Mobilization (2023)

Article

Mobilization of Unexploded Ordnance on the Seabed

Peter Menzel ^{1,2,*} , Anja Drews ², Tjark Mehring ², Christoph Otto ³ and Dorthe Reng Erbs-Hansen ^{4,†}¹ Corvus Works UG, Ernst-Rieck-Str. 6, 18225 Kühlungsborn, Germany² TenneT, Eisenbahnlängsweg 2a, 31275 Lehrte, Germany; anja.drews@tennet.eu (A.D.); tjark.mehring@tennet.eu (T.M.)³ Chair of Ocean Engineering, University of Rostock, Albert-Einstein-Str. 2, 18059 Rostock, Germany; christoph.otto@uni-rostock.de⁴ Vattenfall Vindkraft A/S, Jupitervej 6, 6000 Kolding, Denmark; dorthe@erbs-hansen.dk

* Correspondence: peter.menzel@corvus-works.com; Tel.: +49-(0)-172-493-8238

† Address until August 2021.

Abstract: Unexploded ordnance devices (UXO) pose a potential threat to human life and material during offshore construction activities. Extensive survey activities are conducted to locate, identify, and clear these objects as necessary. For the period thereafter, it is necessary to investigate whether areas that have already been cleared, or even objects that remain in place, may be affected by mobilization under tidal currents or waves, and could thus have an impact on operation and maintenance during the lifetime of the offshore installation. In this study, model simulations based on fluid mechanics are described to derive the loads on the objects caused by currents and waves and combined with knowledge of the known burial condition of the objects. Within the model, the hydrodynamic and hydrostatic loads on the object caused by waves and currents are balanced with inertia and rolling resistance. Thus, the critical current velocity and critical wave conditions for the mobilization of different objects are calculated and compared with the environmental conditions prevailing in the North Sea. As a result, a recurrence interval for the potential mobilization of objects on the seafloor is given, which can now be used to optimize route surveys and thus help accelerate offshore construction work. It is shown that currents are not able to mobilize the objects investigated in the study in almost all regions of the North Sea. Waves can mobilize certain objects in very shallow and extreme conditions.

Keywords: UXO; burial; sediment transport; mobilization; Morrison equation; hydrodynamics

Citation: Menzel, P.; Drews, A.; Mehring, T.; Otto, C.; Erbs-Hansen, D.R. Mobilization of Unexploded Ordnance on the Seabed. *Toxics* **2022**, *10*, 389. <https://doi.org/10.3390/toxics10070389>

Academic Editors: Guillermo Repetto and Ilaria Guagliardi

Received: 6 April 2022

Accepted: 3 July 2022

Published: 13 July 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

As a result of military conflicts and exercises, unknown quantities of unexploded ordnance (UXO) lie on the seabed in numerous marine regions of the world. According to [1], about 1.3 million tons of unexploded ordnance are estimated in the German Bight (North Sea) alone. This UXO can pose a threat to the lives and equipment of maritime users. In particular, during offshore construction work that encroaches on the seabed, such as the installation of offshore wind turbine foundations or cables, a safe working environment must be created by clearing unexploded ordnance. The energy transition in many European countries requires accelerating the installation of complete offshore infrastructures, so flexibility is needed in planning UXO clearance work prior to installation. To assess the probability of recontamination of an already cleared region, a better understanding of the processes and time scales for the mobilization of objects on the seabed is needed. In [2], a probabilistic model for the mobilization of small UXO was presented and successfully tested. However, the applicability of this model to large objects in the North Sea is severely limited. Therefore, the critical current velocity and critical wave condition are modeled for two different types of UXO common in the North Sea region. The model is applied to various offshore developments in the North Sea. The model for flow-induced mobilization

Summary

This document describes the full-scale tests on the mobilisation of UXO's under wave loading in the Delta Flume of Deltares conducted in May till July 2022. Three UXO's (250 lb GP, Mine GY and an Academic Cylinder with slightly modified dimensions to equal an LMB-Mine) were installed on a sand bed and tested at a water depth of 6.5m and a wave height of up to ca. 3.1m (model scale). The test section with sand bed was 25 m long and 1.0 m thick, filled with sand with a median grain size of $D_{50} = 232 \mu\text{m}$, representative for many parts of the North Sea.

The objective of the present study was the provision of a model data set which shows the burial depth of the 3 UXO's under wave loading and if possible some small motion (rocking) of the objects as an indication of the beginning of motion. The study includes 3 data sets:

- Simulating the scour development around the objects (this corresponds to Phase 3 of the original contract, without any changes from the original contract)
- Simulating mobilization. This corresponds to Phase 4 of the original contract with the following changes: Phase 4 includes 2 data sets on burial under increasing wave loading. While the first data set (Series 1) starts with the maximum burial depth after Phase 3 (and an artificially increased burial depth for the Mine GY), the second data set (Series 2) starts with a burial depth which is set to zero for the cylinder and 250lb GP bomb. The burial depth of the mine is reduced to the value measured after Phase 3.

During all tests no mobilisation (initiation of movement) was detected except for slight movements associated with the burial process, despite the high loading with waves up to ca. 3.1m (model scale). This result indicates that the current analytical model for the mobilisation of UXO's under waves overpredicts mobilization (gives conservative results).