



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

Informatiepakket-CE

Rapport:	Informatiepakket-CE
Opdrachtgever:	Rijkswaterstaat
Rapport nr.:	RO-180223
Datum:	14-09-2018
Versie:	1.0
Auteurs:	E. van den Berg, Bsc, L. Arlar, MA, J. Kapel, Senior OCE-deskundige

Informatiepakket-CE

Projectnummer	Status	Versie	Datum	Auteur	Gecontroleerd	Vrijgegeven
73257	Concept	0.1	06-09-2018	E. van den Berg, J. Kapel, L. Arlar	M. Taks	A. van Riel
73257	Definitief	1.0	14-09-2018	E. van den Berg, J. Kapel, L. Arlar	M. Taks	A. van Riel



Informatiebescherming. Op grond van artikel 6:162 BW mag niets uit dit document worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of welke andere wijze, inclusief digitale verwerking, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van REASeuro en NjordIC. De opdrachtgever mag dit document in het kader van aanbestedingen aan inschrijvers verstrekken en voor intern gebruik duplicaten maken.

Informatiepakket-CE

INHOUDSOPGAVE

1	Algemeen	6
1.1	Proces Conventionele Explosieven (CE) RWS Kustlijnzorg	6
1.2	Informatiepakket CE	7
1.3	Scope	7
1.4	Leeswijzer	8
2	Verdeling in hoofdgroepen CE	9
2.1	Klein Kaliber Munitie	10
2.2	Geschutmunitie	11
2.2.1	Toepassing.....	11
2.2.2	Uiterlijk	11
2.2.3	Inhoud	12
2.2.4	Typen ontstekers	12
2.3	Handgranaten.....	12
2.4	Geweergranaten.....	12
2.5	Munitie voor granaatwerpers	12
2.6	Raketten	13
2.6.1	Toepassing.....	13
2.6.2	Uiterlijk	13
2.6.3	Inhoud	14
2.6.4	Typen ontstekers	14
2.7	Afwerpmunitie.....	14
2.7.1	Toepassing.....	14
2.7.2	Uiterlijk	14
2.7.3	Inhoud	15
2.7.4	Typen ontstekers	15
2.8	Submunitie	15
2.8.1	Toepassing.....	16
2.8.2	Uiterlijk	16

2.8.3	Inhoud	17
2.8.4	Typen ontstekers	17
2.9	Onderwatermunitie: grondmijnen	17
2.9.1	Toepassing.....	18
2.9.2	Uiterlijk	18
2.9.3	Inhoud	18
2.9.4	Werkingsprincipe.....	18
2.9.5	Typen ontstekers	18
2.10	Onderwatermunitie: mijnen voor toepassing in de waterkolom.....	19
2.10.1	Toepassing.....	19
2.10.2	Uiterlijk	19
2.10.3	Inhoud	20
2.10.4	Werkingsprincipe.....	20
2.10.5	Typen ontstekers	21
2.11	Torpedo's.....	21
2.11.1	Toepassing.....	22
2.11.2	Uiterlijk	22
2.11.3	Inhoud	22
2.11.4	Werkingsprincipe.....	22
2.11.5	Typen ontstekers	23
2.12	Dieptebommen.....	23
2.12.1	Toepassing.....	23
2.12.2	Uiterlijk	23
2.12.3	Inhoud	24
2.12.4	Werkingsprincipe.....	24
2.12.5	Typen ontstekers	24
2.13	Landmijnen	24
2.14	Valstrikken	24
2.15	Explosieve stoffen	25
2.16	Vuurwerken	25
2.17	Vernielingsmiddelen.....	25
2.18	Ontstekingsinrichtingen	25

2.19	Toebehoren van munitie	26
3	Springstoffen, explosieketen en invloedsfactoren	27
3.1	Springstof.....	27
3.2	Explosieketen	28
3.3	TNT-equivalenten	28
3.4	Invloedsfactoren op explosieve stoffen	29
4	Ontstekers.....	30
4.1	Gewapende en ongewapende ontstekers	30
4.2	Schokontstekers	30
4.3	Tijdontstekers.....	32
4.3.1	Pyrotechnische vertraging.....	32
4.3.2	Mechanische vertraging	32
4.3.3	Chemische vertraging.....	32
4.4	Hydrostatische ontstekers.....	33
4.5	Elektrische ontstekers	33
4.6	Toepassing werkingsprincipes op ontstekers binnen de hoofdgroepen CE	33
4.7	Invloedsfactoren op ontstekers.....	34
5	Effecten van langdurig verblijf in zeewater	35
5.1	Corrosie	35
5.2	Inwerking zeewater op explosieve stoffen.....	36
5.2.1	Inleidspringstoffen.....	36
5.2.2	Vertragingsas	38
5.2.3	Overdrachtsspringstoffen.....	39
5.2.4	Hoofdlading	39
5.2.5	Metaalbrandbom.....	39
6	Uitwerkingsfactoren	41
6.1	Scherfwerking.....	41
6.2	Gasdruk.....	42
6.3	Schokgolf	44
6.3.1	Hull Shock Factor	44
6.3.2	Equipment Shock Factor.....	45
6.3.3	Schade aan huidbeplating	45

6.3.4	Falen van boordapparatuur.....	46
6.3.5	Schade aan appendages	47
6.4	Letsel van personeel.....	48
6.5	Hitte	49
7	Analyse invloedsfactoren.....	50
7.1	Geschutmunitie	50
7.2	Raketten	50
7.3	Afwerpmunitie.....	51
7.4	Submunitie	51
7.5	Onderwatermunitie: grondmijnen	52
7.6	Onderwatermunitie: mijnen voor toepassing in de waterkolom.....	52
7.7	Onderwatermunitie: torpedo's	53
7.8	Onderwatermunitie: dieptebommen.....	54
8	Leemten in kennis en aanbevelingen	55
8.1	Leemten in kennis	55
8.2	Aanbevelingen.....	55
	BIJLAGE 1: Definities	56

1 Algemeen

In het kader van het Arbobesluit hebben Opdrachtgever en Opdrachtnemer¹ gezamenlijk de verplichting een Risico-Inventarisatie en Evaluatie (RI&E) uit te voeren. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de Ontwerpfase en de Uitvoeringsfase. Voor de Ontwerpfase en de Uitvoeringsfase wordt uiteindelijk één Veiligheids- en Gezondheidsplan (V&G-plan) opgesteld zoals genoemd in art. 2.28 van het Arbobesluit. Hiertoe wordt het door Opdrachtgever opgestelde V&G-plan na gunning door de Opdrachtnemer aangevuld.

Rijkswaterstaat (RWS) heeft het V&G-plan opgenomen in het Integraal Veiligheidsplan (IVP) dat door Opdrachtgever (RWS) wordt opgesteld en na aanbesteding wordt overgedragen aan Opdrachtnemer. Deze vult het plan vervolgens aan. Dit rapport beschrijft in het kader van de problematiek met betrekking tot achtergebleven Conventionele Explosieven (CE) de te doorlopen processtappen (zie paragraaf 1.1) en geeft inhoudelijke informatie als input voor het proces Conventionele Explosieven RWS.

1.1 Proces Conventionele Explosieven (CE) RWS Kustlijnzorg

RWS is het uitvoerende agentschap van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) in Nederland. RWS beheert en ontwikkelt in opdracht van het ministerie de hoofdwegen, hoofdvaarwegen en hoofdwatersystemen. Omdat tijdens de Tweede Wereldoorlog de complete vervoersstructuur een potentieel doelwit was voor zowel de Duitse bezetter als de geallieerde strijdkrachten, wordt RWS bij de uitvoering van projecten regelmatig geconfronteerd met de (mogelijke) risico's veroorzaakt door achtergebleven CE. Teneinde dit risico goed te borgen in het IVP heeft RWS Kustlijnzorg beleid ontwikkeld aangaande het thema CE. Dit beleid is verwoord in het rapport "Proces Conventionele Explosieven (CE) RWS Kustlijnzorg" (versie 1.0, 9 september 2018).

Het proces bestaat uit de volgende stappen:

- Processtap 1 - Indicatieonderzoek CE
 - Processtap 2 - Analyseonderzoek CE
 - Processtap 3 - Contra-indicatie onderzoek CE
 - Processtap 4 - Opstellen Informatiepakket-CE
 - Processtap 5 - Goedkeuring beheersmaatregelen
 - Processtap 6 - Uitvoering /controle
 - Processtap 7 - Verwerken projectinformatie
- } Vooronderzoek CE

RWS bewaakt permanent of met het voor CE geformuleerde beleid, in het kader waarvan dit document is opgesteld, daadwerkelijk het beoogde resultaat wordt bereikt (veilige omgang met CE). Dit betekent dat het beleid en daarmee dit document aan wijziging onderhevig kan zijn. In het tenderdossier wordt door RWS altijd de meest recente versie van dit document verstrekt. Bij meerjarige contracten kunnen tijdens de looptijd van het contract wijzigingen optreden. In dit geval informeert RWS de Opdrachtnemer en wordt de meest recente versie ter beschikking gesteld.

¹ Indien op een contract de UAV-2012 van toepassing zijn, dient in dit document voor de term 'Opdrachtnemer' de term 'Aannemer' te worden gelezen.

1.2 Informatiepakket CE

Als uit de processtappen 1 en 2 is gebleken dat door diverse oorlogshandelingen die in de zandwingebeden hebben plaatsgevonden sprake is van een feitelijk onderbouwde kans op aanwezigheid van CE in de zandwingebeden, wordt processtap 3 doorlopen. Indien uit processtap 3 is gebleken dat er geen, of onvoldoende contra-indicaties zijn, worden tevens de processtappen 4 tot en met 7 doorlopen. Voor deze situaties is, als onderdeel van processtap 4, in opdracht van RWS, voorliggend “Informatiepakket-CE” opgesteld.

Dit informatiepakket-CE bevat achtergrondinformatie over CE in het algemeen en de blijkens de uitgevoerde “Vooronderzoeken CE” mogelijk achtergebleven CE. Het document dient slechts ter generieke informatie voor Opdrachtnemer. Conform het door RWS geformuleerde beleid (zie bijlage 1 voor het bijbehorende processchema) is het de verantwoordelijkheid van de Opdrachtnemer dat deze de verstrekte informatie toetst. Vervolgens dient Opdrachtnemer door een deskundige een “Risicoanalyse CE” te laten uitvoeren. In dit kader dient ten minste een identificatie van invloedsfactoren en uitwerkingsfactoren en een beoordeling van de risico’s plaats te vinden. Op basis van deze beoordeling dienen beheersmaatregelen te worden gedefinieerd. Deze beheersmaatregelen dienen te worden opgenomen in het IVP en - indien opsporing van CE dient plaats te vinden - het Projectplan OCE. Dit Projectplan OCE dient conform het WSCS-OCE door een gecertificeerd opsporingsbedrijf te worden opgesteld. RWS toetst de onder verantwoordelijkheid van Opdrachtnemer vervaardigde risicoanalyse, de gedefinieerde beheersmaatregelen en de toepassing van deze maatregelen.

1.3 Scope

Dit “Informatiepakket-CE” beperkt zich tot een beschrijving van de algemene werkingsprincipes van CE, de mogelijke effecten van een langdurig verblijf in zeewater, alle op grond van de uitgevoerde Historische Vooronderzoeken mogelijk achtergebleven hoofdgroepen CE en de mogelijke uitwerking bij een detonatie op de zeebodem. Deze informatie wordt door RWS in de tenderfase aan inschrijvers/opdrachtnemers verstrekt. Dit stelt inschrijvers/opdrachtnemers in de gelegenheid de risico’s tijdens de door hen aan te bieden/uit te voeren werkzaamheden te identificeren en passende beheersmaatregelen te definiëren. Op deze wijze kunnen de geïdentificeerde risico’s tot Arbo-technisch aanvaardbaar niveau worden teruggedrongen. Hierbij dienen tevens de effecten op de omgeving in relatie tot Openbare Orde en Veiligheid in ogenschouw te worden genomen.

In dit rapport is geen informatie opgenomen inzake de uitwerking van een CE in de zuigketen, het beun of bij het verwerken van suppletiezand. Het beoordelen van de uitwerking van de mogelijk achtergebleven CE op deze locaties valt onder verantwoordelijkheid van de inschrijver/opdrachtnemer en dient door middel van maatregelen beheerst te zijn.

Dit rapport bevat geen informatie over de kans op aanwezigheid van de diverse hoofdgroepen CE in de zandwingebeden. Voor informatie inzake de kans op aanwezigheid van CE en specifieke informatie over de kenmerken van de te verwachten CE (kaliber/gewicht, afmetingen, inhoud, etc.), wordt verwezen naar de voor de zandwingebeden uitgevoerde Vooronderzoeken CE.

1.4 Leeswijzer

Offshore kunnen ten gevolge van oorlogshandelingen, munitiedump en militaire oefeningen een veelheid aan verschillende typen CE zijn achtergebleven. Al deze CE zijn onder te verdelen in hoofdgroepen. In hoofdstuk 2 wordt de indeling in hoofdgroepen beschreven. Tevens wordt beschreven hoe ten behoeve van dit Informatiepakket-CE een nadere onderverdeling van de hoofdgroep onderwatermunitie is aangebracht.

Per hoofdgroep die relevant is voor het gebied waar zandwinning plaatsvindt², wordt een beschrijving gegeven van de toepassing, de herkomst, het uiterlijk, de explosieve inhoud en de typen ontstekers.

In hoofdstuk 3 wordt de uitwerking van explosieve stoffen beschreven. Aangegeven wordt hoe initiatie van springstoffen plaatsvindt, wat de gevoeligheid van de diverse in CE aanwezige springstoffen is en hoe de explosieketen werkt.

Deze beschrijving geeft niet-deskundigen op hoofdlijnen de benodigde achtergrondinformatie om de beschrijving van de verschillende groepen CE te begrijpen. De beschrijving is niet uitputtend en kan daarom niet als alomvattend worden gehanteerd.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op verschillende typen ontstekers. Uitgelegd wordt wat het verschil is tussen gewapende en ongewapende ontstekers. Tevens worden verschillende typen ontstekers beschreven. Hierbij wordt aangegeven op welke hoofdgroepen CE de verschillende typen ontstekers kunnen zijn geplaatst en welke factoren van invloed kunnen zijn op deze typen ontstekers.

In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de mogelijke effecten van het langdurig verblijf van CE onder (zee-)water. Beschreven wordt welke mogelijke effecten kunnen zijn opgetreden op het CE-lichaam en de in CE aanwezige explosieve stoffen.

De mogelijke uitwerkingsfactoren bij een detonatie van een CE op de waterbodem worden in hoofdstuk 6 behandeld. Er wordt ingegaan op scherfwerking, gasbeffecten, schokgolf, letsel van personeel en hitte.

In hoofdstuk 7 wordt van de relevante hoofdgroepen een analyse van de invloedsfactoren gepresenteerd die kunnen leiden tot activatie van een CE van een betreffende hoofdgroep.

Uit dit informatiepakket-CE blijkt dat er diverse leemten in kennis zijn inzake de invloed van tijd en zeewater op CE die ten gevolge van oorlogshandelingen op/in de zeebodem zijn achtergebleven. In hoofdstuk 8 worden de leemten in kennis beschreven en worden aanbevelingen gegeven voor onderzoek teneinde de leemten in kennis op te vullen.

In bijlage 1 worden de definities gegeven van enkele in dit rapport gebruikte termen.

² De zandwingebieden zijn gelegen in de Noordzee tussen de doorgaande NAP -20m dieptelijn en landwaarts van de 12-mijlsgrens, buiten het kustfundament (bron: RWS, Programma Kustlijnzorg, *Notitie Reikwijdte en Detailniveau Winning suppletiezand Noordzee 2018-2027*, 30 mei 2016).

2 Verdeling in hoofdgroepen CE

Er bestaat een enorme variëteit aan CE. Om tot een juiste begripsvorming te komen wordt binnen het kader van de Nederlandse regelgeving; het Werkveld Specifiek Certificatie Schema – Conventionele Explosieven (WSCS-OCE) een indeling gehanteerd in 16 hoofdgroepen.

De 16 hoofdgroepen munitie zijn:

1. Klein Kaliber Munitie (KKM);
2. Geschutmunitie;
3. Handgranaten;
4. Geweergranaten;
5. Munitie voor granaatwerpers;
6. Raketten;
7. Afwerpmunitie;
8. Submunitie;
9. Onderwatermunitie;
10. Landmijnen;
11. Valstrikken;
12. Explosieve stoffen;
13. Vuurwerken;
14. Vernielingsmiddelen;
15. Ontstekingsinrichtingen;
16. Toebehoren van munitie.

In de volgende paragrafen wordt per hoofdgroep een korte toelichting gegeven. Tevens wordt aangegeven of en in welke toestand het CE behorende tot de verschillende hoofdgroepen kan zijn achtergebleven.

Binnen de munitietechniek is sprake van een kaliberaanduiding. Dit is de aanduiding van de maatvoering van een CE. Dit kan zijn uitgedrukt in diameter (in mm, cm of inch) of gewicht (in kg of pond / Lb), eventueel aangevuld met speciale toevoegingen.

Binnen de zandwingebieden kan onderwatermunitie zijn achtergebleven ten gevolge van onder andere aanvallen op schepen en konvoeien, gevechten tussen schepen/onderzeeërs en/of het leggen van mijnevelden.

Onderwatermunitie bestaat uit CE speciaal bedoeld om onder water te worden ingezet, zoals riviermijnen, zeemijnen, torpedo's en dieptebommen. Omdat de verscheidenheid aan relevante CE binnen deze hoofdgroep groot is, wordt in dit rapport binnen de hoofdgroep onderwatermunitie een nadere onderverdeling toegepast.

Met betrekking tot de zeemijnen kan een onderverdeling worden gemaakt op basis van de positie in de waterkolom waarop de mijnen zich na plaatsing bevonden. Dit leidt tot de volgende verdeling:

- A. Grondmijnen
Dit zijn mijnen die zich op de zeebodem bevinden. De mijnen werden vooral toegepast in offensieve mijnevelden. Dit zijn mijnevelden gelegd in een gebied dat door de vijand wordt beheerst.
- B. Mijnen voor toepassing in de waterkolom
Dit zijn drijvende mijnen, oscillerende mijnen en verankerde mijnen.

Deze bevonden zich afhankelijk van het type drijvend aan het wateroppervlak (drijvende mijnen) op wisselende diepten in de waterkolom (oscillerende mijnen) of op een vooraf ingestelde diepte onder het wateroppervlak (verankerde mijnen). Mijnen voor toepassing in de waterkolom werden gedurende zowel de Eerste als Tweede Wereldoorlog toegepast in zowel offensieve als defensieve mijnenvelden. Een defensief mijnenveld dient ter verdediging van de eigen kust, of een door de eigen strijdkrachten beheerst zeegebied.

Het uitgangspunt van RWS is dat mijnen uit deze categorie zich momenteel wegens het verlies van hun drijfvermogen op, of in de zeebodem bevinden.

Er kan tevens een (nadere) onderverdeling worden gemaakt naar de wijze waarop de mijnen zijn gelegd (onder andere per vliegtuig, schip of onderzeeër) of activering van de mijn (onder andere invloed- en contactmijnen).

In dit rapport is gekozen voor een onderverdeling in 'grondmijnen' en 'mijnen voor toepassing in de waterkolom'. Binnen beide categorieën komen mijnen voor die op verschillende wijzen zijn gelegd. Tevens komen in beide groepen mijnen voor die worden geactiveerd door contact met en/of invloed van het beoogde doelwit.

Naast genoemde categorieën mijnen worden binnen de hoofdgroep onderwatermunitie in dit rapport tevens torpedo's en dieptebommen als afzonderlijke categorieën onderscheiden. Dit leidt tot de volgende onderverdeling:

- A. Grondmijnen;
- B. Mijnen voor toepassing in de waterkolom;
- C. Torpedo's;
- D. Dieptebommen.

Opgemerkt wordt dat binnen de hoofdgroep onderwatermunitie nog andere categorieën kunnen worden onderscheiden (zoals vernietigingsladingen, draadknippers, etc.). Deze zijn echter voor de scope van dit Informatiepakket-CE niet relevant en daarom niet nader uitgewerkt.

Diverse andere hoofdgroepen CE zijn tevens nader onder te verdelen op basis van hun specifieke kenmerken. Voor de scope van dit Informatiepakket CE is nadere onderverdeling van deze hoofdgroepen echter niet van meerwaarde.

2.1 Klein Kaliber Munitie

Klein Kaliber Munitie (KKM) bestaat uit CE voor pistolen, revolvers, geweren en machinegeweren met een kaliber kleiner dan 20 mm. Een KKM-patroon bestaat over het algemeen uit een huls voorzien van een slaghoedje, gevuld met een voortdrijvende lading en een projectiel. KKM kan voorzien zijn van een brisante, chemische (niet zijnde strijdgasen) of pyrotechnische lading.

In de zandwingebieden zijn concentraties KKM naar verwachting uitsluitend aanwezig in gedumpte vorm. Eventueel kan ook verschoten KKM aanwezig zijn, afkomstig van luchtaanvallen op schepen. In het Nederlandse deel van de Noordzee zijn enkele gekarteerde dumplocaties aanwezig. Bij de locatiekeuze van de wingebieden in het MER³ worden gekarteerde dumpgebieden in principe gemedan.

Omdat KKM op grond van de uitgevoerde Historische Vooronderzoeken in geen van de zandwingebieden wordt verwacht, wordt deze hoofdgroep in dit rapport niet nader uitgewerkt.

³ Milieu Effect Rapportage.
73257/RO-180223 versie 1.0

2.2 Geschutmunitie

Geschutmunitie bestaat uit alle CE voor houwitser, kanonnen, terugstootloze vuurmonden en mortieren, met een kaliber van 20 mm of groter. De belangrijkste sub-soorten granaten bij geschutmunitie zijn: detonerende (brisant), chemische (niet zijnde strijdgassen) en pyrotechnische granaten. Detonerende granaten zijn gevuld met springstof. Chemische granaten bevatten een chemische lading zoals witte fosfor, meestal voor het stichten van brand of het leggen van een rookgordijn. Pyrotechnische granaten zijn gevuld met een pyrotechnisch middel, bedoeld om rook, licht, of een sein te geven.

Uit de Vooronderzoeken CE is gebleken dat binnen de zandwingebieden geschutmunitie kan zijn achtergebleven.

2.2.1 Toepassing

Geschutmunitie werd gedurende de Eerste en Tweede Wereldoorlog in het offshore bereik verschoten vanaf schepen, vliegtuigen en de kust. Schepen beschikten over scheepsgeschut voor aanvallen tegen zowel andere schepen als kustdoelen over grote afstanden. Daarnaast beschikten schepen over luchtafweergeschut ter verdediging tegen aanvallen door vliegtuigen. Vliegtuigen beschikten op hun beurt over boordgeschut, waarmee met hoge vuursnelheid andere vliegtuigen en gronddoelen konden worden beschoten. Geschut als onderdeel van de kustverdediging werd tevens ingezet tegen doelen op zee en luchtdoelen.

2.2.2 Uiterlijk

Geschutmunitie komt voor in de klassieke bolvorm, de kanonskogel, een gegoten ijzeren kogel. Aan het eind van de 19e eeuw kwamen de cilindrische granaten in gebruik, een gegoten ijzeren lichaam met uitwendige nokken of een loden mantel en voorzien van de eerste modellen schokbuizen of tijdbuizen. Al vroeg in de 20e eeuw werden de stalen granaten steeds gestroomlijnder en voorzien van zogenaamde geleibandjes van koper of ijzer. De gebruikte ontstekers evolueerden van simpele enkelvoudige typen naar soms ingewikkelde combinatieontstekers van diverse materialen zoals koper, aluminium legeringen, kunststof, etc.



Figuur 1: kanonskogel, nokkenprojectiel, loodmantelprojectiel en een moderne granaat (v.l.n.r.).

2.2.3 Inhoud

De eerste gevulde projectielen hadden een lading van zwart buskruit. De nokken- en loodmantelprojectielen konden qua vulling meer variëren: zwart buskruit, schietkatoen of vroege vormen van springstof. Moderne granaten zijn afhankelijk van hun toepassing gevuld met diverse soorten springstof, fosfor, chemische of pyrotechnische ladingen (ook wel sassen genoemd). De meest gebruikte sassen zijn rook-, licht- en brandsas.

De explosieve ladinggewichten, de Netto Explosieve Massa (NEM), kunnen variëren van enkele grammen tot meerdere kilo's.

2.2.4 Typen ontstekers

Op geschutmunitie is een grote verscheidenheid aan typen ontstekers toegepast. Alle beschreven typen schok- en tijdontstekers, met uitzondering van de chemische tijdontstekers zijn op deze hoofdgroep toegepast (zie hoofdstuk 4 voor een toelichting op ontstekers).

2.3 Handgranaten

Een handgranaat is een lichaam, al of niet voorzien van een ontsteker, bedoeld om met de hand te werpen, met een detonerende, chemische of pyrotechnische lading.

In de zandwingebieden zullen handgranaten naar verwachting uitsluitend aanwezig zijn in gedumpte vorm. De bekende dumplocaties worden bij de winning van zand vermeden. Door migratie kunnen handgranaten ook buiten deze dumplocaties zijn terechtgekomen. Derhalve wordt deze hoofdgroep in dit rapport niet nader uitgewerkt.

2.4 Geweergranaten

Een geweergranaat is een lichaam, voorzien van een ontsteker en/of stabilisatie-inrichting, bedoeld om met behulp van een geweer te verschieten, met een detonerende, chemische of pyrotechnische lading.

In de zandwingebieden zullen geweergranaten naar verwachting uitsluitend aanwezig zijn in gedumpte vorm.

Bij de locatiekeuze van de wingebieden in het MER worden gekarteerde dumpgebieden in principe gemedan. Derhalve wordt deze hoofdgroep in dit rapport niet nader uitgewerkt.

2.5 Munitie voor granaatwerpers

Munitie voor granaatwerpers zijn CE, bedoeld om met een speciaal hiervoor ontwikkeld wapensysteem te worden verschoten. Zij zijn opgebouwd uit een gevechtsskop, voortdrijvende lading, ontstekingsinrichting en stabilisatievoorziening. Munitie voor granaatwerpers verschilt van geweergranaten in die zin, dat zij met een speciaal wapensysteem verschoten of gelanceerd worden. In vergelijking tot geweergranaten kan een relatief groot projectiel worden verschoten met de daarbij horende uitwerking.

In de zandwingebieden kan munitie voor granaatwerpers naar verwachting uitsluitend aanwezig zijn in gedumpte vorm. Bij de locatiekeuze van de wingebieden in het MER worden gekarteerde dumpgebieden in principe gemedan. Derhalve wordt deze hoofdgroep in dit rapport niet nader uitgewerkt.

2.6 Raketten

Raketten zijn CE die na het afvuren vanuit een lanceerpijp, lanceerrail of vanaf een lanceerplatform, tijdens de vlucht worden voortgestuwd door een raketmotor. Raketten zijn over het algemeen samengesteld uit een: gevechtsskop, raketmotor, ontstekingsinrichting voor gevechtslading en stabilisatievoorziening.

Uit de Vooronderzoeken CE is gebleken dat binnen de zandwingebieden raketten kunnen zijn achtergebleven in de vorm van 3 inch luchtgrondraketten.

2.6.1 Toepassing

De meest toegepaste raket was de Britse 3 inch raket. Deze werd hoofdzakelijk door vliegtuigen ingezet tegen gronddoelen. Op zee werd deze luchtgrondraket gebruikt bij aanvallen op Duitse konvooien en onderzeeërs. Door de combinatie van penetrerend vermogen en een explosieve lading waren de raketten hiervoor bij uitstek geschikt. Naast vliegtuigen konden ook speciale landingsvaartuigen, de LCT(R), worden uitgerust met raketten, om voorafgaand aan een amfibische landing de kustlijn te beschieten. Deze lanceerplatformen konden in korte tijd meer dan 1.000 raketten afvuren op kustdoelen.

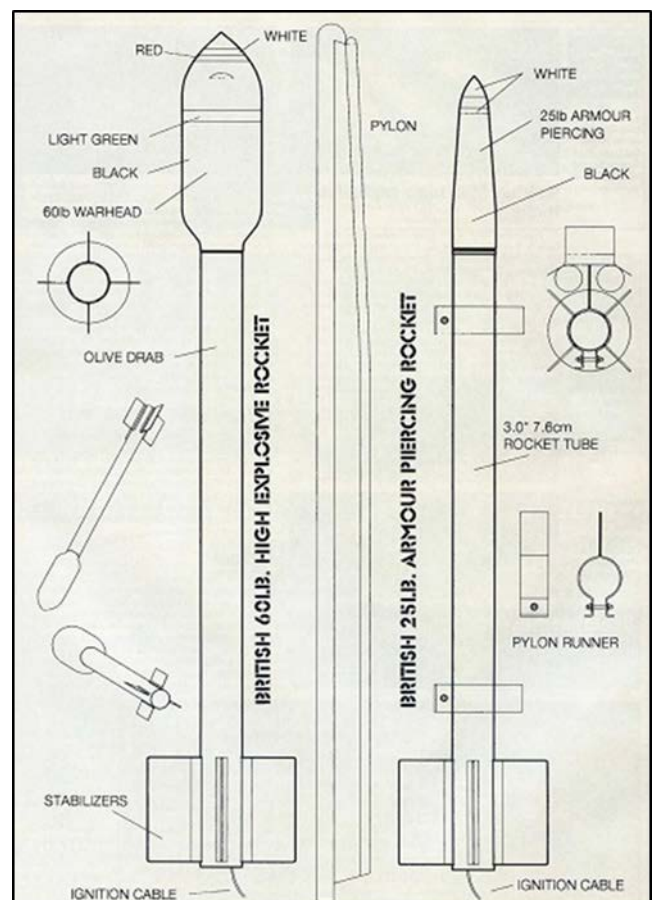
2.6.2 Uiterlijk

Een raket bestaat uit een raketmotor met stabilisatievinnen en een gevechtsskop. Bij aanvallen op schepen werden drie typen gevechtsskopen toegepast: een massief stalen gevechtsskop, een brisante gevechtsskop en een half-pantser gevechtsskop. Bij een blindganger is in veel gevallen de gevechtslading losgekomen van de raketmotor.

De massief stalen gevechtsskop bevat geen explosieve stoffen. Deze is bedoeld om het doel op basis van kinetische energie te doorboren.



Figuur 2: Aanval met raketten en boordkanonnen door Beaufighters op Duitse mijnenvegers ten oosten van Ameland (Bron: IWM, C4312).



Figuur 3: Illustratie van een 3 inch lucht grondraket met 60 Lb en 25 Lb gevechtsskop.

Derhalve wordt deze gevechtsskop in de verdere beschrijving van de raketten buiten beschouwing gelaten.

2.6.3 Inhoud

De half-pantser gevechtsskop heeft een maximale explosieve inhoud van circa 1,8 kg. De brisante gevechtsskop heeft een maximale explosieve inhoud van circa 5,5 kg.

2.6.4 Typen ontstekers

In raketten werden zowel bodembuizen als neusbuizen toegepast. Alle ontstekers op raketten waren schokontstekers van het ophoudveer type (zie hoofdstuk 4 voor een toelichting op ontstekers).

2.7 Afwerpmunitie

De hoofdgroep afwerpmunitie bestaat uit CE die bedoeld zijn om vanaf een vliegtuig te worden losgelaten. In de volksmond wordt veelal over bommen gesproken. De grootse groep binnen de hoofdgroep afwerpmunitie bestaat uit brisantbommen. Er komen echter ook andere soorten voor zoals pyrotechnische en chemische bommen.

Naast een enkelvoudige bom komen ook systemen voor waarbij meerdere kleine projectielen (submunitie) in of aan een groter systeem zijn ondergebracht (clusterbommen en bundelrekken).

Uit de Vooronderzoeken CE is gebleken dat binnen de zandwingebieden afwerpmunitie kan zijn achtergebleven.

2.7.1 Toepassing

Afwerpmunitie kan op de zeebodem zijn achtergebleven ten gevolge van gerichte aanvallen op doelen op zee (oppervlakteschepen en onderzeeërs).

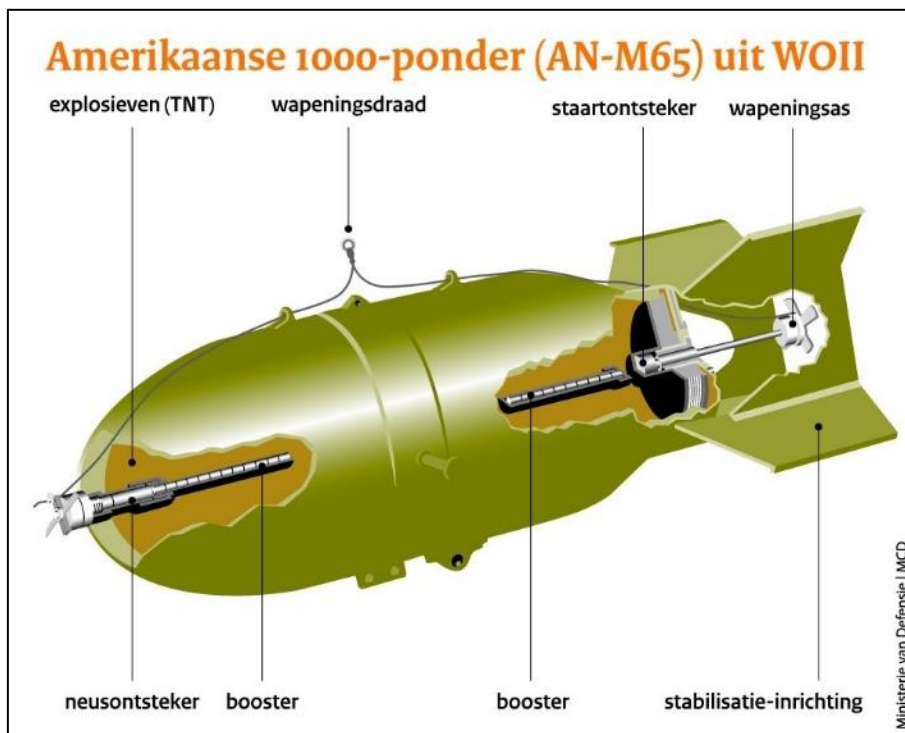
Afwerpmunitie kan tevens zijn achtergebleven ten gevolge van (nood-) afwerpen boven zee. Dit soort afwerpen kwam veelvuldig voor. Vliegtuigen in nood en vliegtuigen die niet in staat waren hun lading op het beoogde doel af te werpen, wierpen de lading vaak in de Noordzee af. Aanvliegroutes van zowel geallieerde als Duitse bommenwerpers liepen over de Nederlandse Noordzee.



Figuur 4: Strike photo van bombardement op een jager. Op de voorgrond is een afgeworpen bom zichtbaar.

2.7.2 Uiterlijk

Een vliegtuigbom bestaat uit een lichaam met een lading, één of meerdere ontstekers (pistolen of buizen) en een stabilisatie-inrichting (staartstuk).



Figuur 5: Illustratie Amerikaanse 1.000 pponder⁴.

2.7.3 Inhoud

De afwerpmunitie die gericht werd ingezet tegen doelen op zee bestond voornamelijk uit verschillende typen 250 Lb en 500 Lb vliegtuigbommen. De explosieve inhoud van deze bommen varieert van circa 28 tot 150 kg.

Afwerpmunitie afkomstig van (nood-) afwerpen kan bestaan uit een veel grotere variatie aan gewichten tot en met 4.000 Lb en een maximale explosieve inhoud van circa 1.500 kg.

2.7.4 Typen ontstekers

Op afwerpmunitie is een grote verscheidenheid aan typen ontstekers toegepast. Alle beschreven typen ontstekers zijn op deze hoofdgroep toegepast (zie hoofdstuk 4). Tevens kunnen antidemontage-inrichtingen, e.d. aanwezig zijn.

2.8 Submunitie

De hoofdgroep submunitie bestaat uit CE die zijn opgenomen in een ander CE en op enig moment daaruit vrijkomen. Submunitie wordt niet alleen in afwerpmunitie toegepast, maar ook in CE als geschutmunitie en raketten. Submunitie komt voor als detonerende, pyrotechnische, metaalbrand en chemische variant en is doorgaans opgebouwd uit een lichaam met vulling, een ontstekingsinrichting en een stabilisatie inrichting.

Uit de Vooronderzoeken CE is gebleken dat binnen de zandwingsgebieden submunitie kan zijn achtergebleven in de vorm van 4 Lb staafbrandbommen, 30 Lb fosfor/rubber bommen en 20 - 40 Lb brisant/scherfbommen.

⁴ Bron: Geldere van, P., Landmacht 03, *Geruimd staat netjes*, 7 april 2015.
73257/RO-180223 versie 1.0

2.8.1 Toepassing

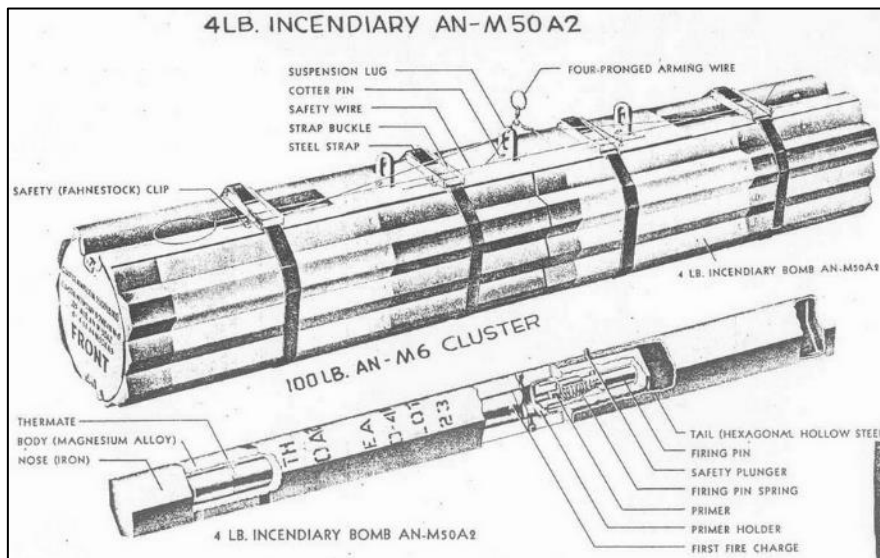
Submunitie kan op de zeebodem zijn achtergebleven ten gevolge van (nood-) afwerpen boven zee. Het betreft in dit geval relatief kleinere munitie die in grote aantallen werden afgeworpen bij aanvallen op landdoelen in Europa. De bommen waren gebundeld in een clusterbom of bundelrek die, afhankelijk van het type, tot 192 submunitie-artikelen kon bevatten.

2.8.2 Uiterlijk

Een 4 Lb staafbrandbom is een zeskantige staaf van circa 54 cm lengte. Het lichaam bestaat uit een brandbare magnesium/aluminium legering en is voorzien van een ijzeren neus.

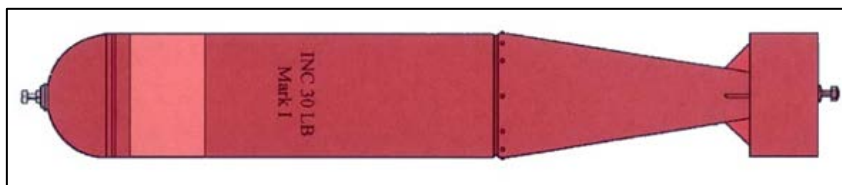


Figuur 6: Lancaster bommenwerper werpt 4 Lb brandbommen af boven Duisburg (Bron: Wikipedia Commons).



Figuur 7: Illustratie 4 Lb brandbom en An-M 50 A2 container.

Brandbommen met een vulling van fosfor/rubber hebben een dunwandig lichaam met een diameter van 12,7 cm en een totale lengte van 83 cm.



Figuur 8: Illustratie 30 Lb fosfor/rubber brandbom.

Brisante submunitie heeft doorgaans de uiterlijke kenmerken van een verkleinde uitvoering van afwerpmunitie (zie paragraaf 2.7).

De bommen kunnen zowel los als in een container op de zeebodem zijn achtergebleven, afhankelijk van de wijze waarop is afgeworpen.

2.8.3 Inhoud

Er zijn diverse typen vullingen gebruikt. De 4 Lb staaftbrandbom kan naast de hoofdloading van thermiet als brandsas een springlading van circa 11 gram zwart buskruit hebben. Er bestond tevens een type met 15 gram springstof. Tussen de 10 en 40 % was voorzien van deze springlading.

De 30 Lb brandbommen zijn gevuld met een chemische lading die bestaat uit een mengsel van witte fosfor en natuurrubber die bij aanslag uit het bomlichaam wordt verspreid door een uitstootlading van 425 gram.

Brisante submunitie kan zijn gevuld met diverse soorten springstof met een massa tussen circa 0,8 en 3 kg.

2.8.4 Typen ontstekers

Submunitie is voorzien van schokontsteker van het ophoudveer, scheurdraad of membraamtype (zie hoofdstuk 4).

2.9 Onderwatermunitie: grondmijnen

Grondmijnen zijn CE die op de zeebodem worden toegepast. Deze soort mijnen worden veelal geactiveerd door de invloed van passerende schepen (geluid, magnetisme, hydrostatische druk). Vanwege de specifieke ontstekers en de gewenste uitwerking was de maximale effectieve diepte voor het leggen van grondmijnen beperkt tot circa 30 m.



Figuur 9: Kaart waarop het gebied is aangegeven waar de waterdiepte kleiner is dan 30 m en derhalve geschikt is voor de toepassing van grondmijnen (bron: Bundesarchiv Militärarchiv Freiburg, RM/7/174).

Uit de Vooronderzoeken CE is gebleken dat binnen de zandwingebieden grondmijnen kunnen zijn achtergebleven.

2.9.1 Toepassing

Grondmijnen zijn in Duitsland tijdens het interbellum⁵ ontwikkeld. In tegenstelling tot drijvende mijnen, werden grondmijnen op de zeebodem gelegd. Grondmijnen konden worden gelegd door oppervlakteschepen, onderzeeërs en vliegtuigen. Hierdoor werd het mogelijk offensieve mijnevelden dicht bij de vijand te brengen. Snelle Britse vaartuigen en bommenwerpers van de Royal Air Force hebben op grote schaal grondmijnen gelegd in Duitse vaarroutes voor de Nederlandse



Figuur 10: Grondmijnen op een Vorpostenboot (Bron: <http://www.feldgrau.net>).

kust. Duitse schepen en vliegtuigen hebben ook dergelijke mijnen gelegd ter verdediging van dezelfde vaarroutes en om geallieerde konvooivaart richting Antwerpen te hinderen.

2.9.2 Uiterlijk

Een grondmijn is doorgaans cilindervormig met diameters variërend van 0,4 m tot en met 1 m en een lengte tussen de 1,5 en de 3 m. De meeste mijnlichamen van Britse origine zijn gemaakt van ijzer, de Duitse grondmijnen zijn vanwege hun specifieke ontstekingsprincipes doorgaans van non-ferro materialen (zoals bijvoorbeeld aluminium) gemaakt.

2.9.3 Inhoud

Grondmijnen hebben een explosieve inhoud variërend van circa 300 tot 700 kg. In veel gevallen is een springstof toegepast met een TNT-equivalent groter dan 1.

2.9.4 Werkingsprincipe

Grondmijnen wapenen zich na het leggen. Vanwege hun specifieke inzet zijn zij doorgaans voorzien van afwijkende ontstekingsprincipes in verhouding tot de overige hoofdgroepen munitie. De meeste grondmijnen zijn voorzien van zogenaamde invloedsontstekers, die reageren op de invloed die het doel veroorzaakt op de omgeving. Een uitzondering is de Duitse KMA-mijn, een contactgrondmijn. De detonatie van een grondmijn veroorzaakt een gasbel die de romp van het schip kan beschadigen of zelfs breken.

2.9.5 Typen ontstekers

Het ontsteken van een grondmijn kan op een aantal manieren: akoestisch, magnetisch, hydrostatisch of door contact.

Akoestische ontstekers werken met een onderwatermicrofoon die geluiden van de schroef/motoren opvangt en omzet naar een elektrisch afvuursignaal.

Magnetische sensoren registreren de veranderingen in het aardmagnetisch veld of werken op het magnetische inductie-principe en initiëren hierdoor het elektrisch afvuurcircuit.

⁵ De periode tussen de Eerste en de Tweede Wereldoorlog.

Hydrostatische schakelaars daarentegen werken op de drukgolven van een passerend vaartuig en kunnen zo een mechanische of elektrische afvuring veroorzaken.

Combinaties van eerdergenoemde ontstekers komen eveneens voor, al dan niet gecombineerd met een zogenaamde snagline (zie figuur 12 voor een illustratie van een snagline).

Grondmijnen zijn in veel gevallen voorzien van een extra ontstekingsmechanisme dat voorkomt dat de mijn straffeloos gelicht of geruimd kan worden.

2.10 Onderwatermunitie: mijnen voor toepassing in de waterkolom

Mijnen die werden ingezet in de waterkolom zijn doorgaans opgebouwd uit een drijflichaam, vulling en ontstekingsinrichting. Deze mijnen zijn doorgaans verankerd op de zeebodem en drijven door middel van het drijflichaam onder water op een vooraf ingestelde diepte. Er kwamen echter ook vrij drijvende en oscillerende mijnen voor.

Dit type mijnen kan tot op grote diepten worden toegepast. De mijnen worden geactiveerd door contact met het doel (een schip of onderzeeër) of door de invloed van het passerende doel: geluid, magnetisme en hydrostatische druk.

Uit de Vooronderzoeken CE is gebleken dat binnen de zandwingebieden mijnen voor toepassing in de waterkolom kunnen zijn achtergebleven.

2.10.1 Toepassing

Mijnen voor toepassing in de waterkolom werden gebruikt om vijandelijke schepen te beschadigen/tot zinken te brengen of om schepen ervan te weerhouden bepaalde gebieden te bevaren. Mijnen voor toepassing in de waterkolom werden gelegd met oppervlakteschepen en onderzeeërs.

2.10.2 Uiterlijk

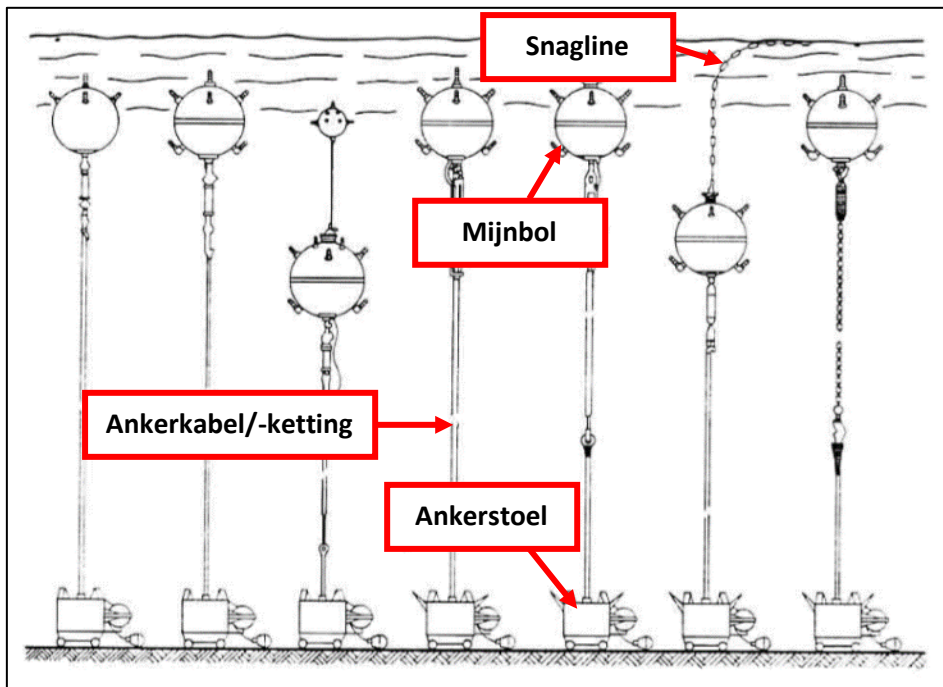
Een mijn voor toepassing in de waterkolom is bol- of cilindervormig.

De mijn bestaat uit een mijnbol. Bij verankerde mijnen is daarnaast een mijnanker/ankerstoel en een

ankerkabel/-ketting waarmee de mijnbol aan het mijnanker/de ankerstoel is verbonden, aanwezig. In Figuur 12 is een illustratie opgenomen van diverse typen en toepassingen van een Duitse mijn voor toepassing in de waterkolom. In de afbeelding zijn de genoemde onderdelen van de mijn weergegeven. De ankerstoelen en mijnbollen worden veelal los van elkaar aangetroffen.



Figuur 11: Mijnen voor toepassing in de waterkolom op een Leberecht Maas-klasse Destroyer (Bron: <http://www.navweaps.com>).



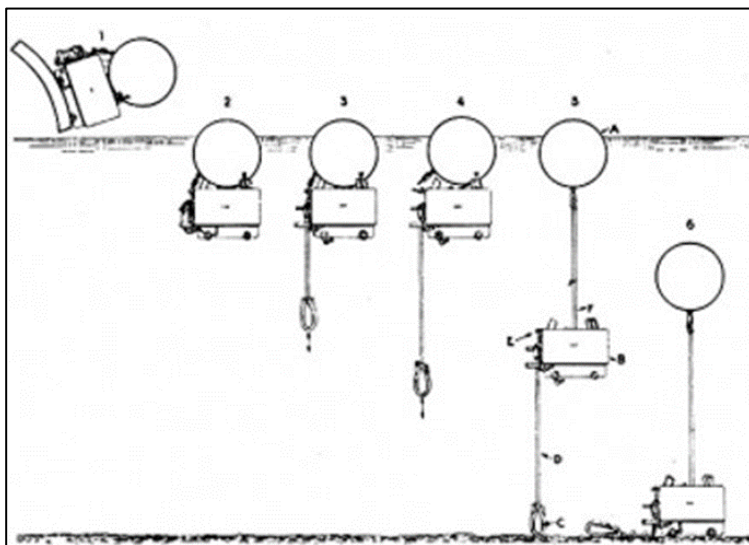
Figuur 12: Diverse typen en toepassingen van een Duitse (verankerde) mijn voor toepassing in de waterkolom⁶.

2.10.3 Inhoud

Mijnen voor toepassing in de waterkolom hebben een explosieve inhoud variërend van circa 30 tot 300 kg. In veel gevallen is een springstof toegepast met een TNT-equivalent groter dan 1.

2.10.4 Werkingsprincipe

Mijnen voor toepassing in de waterkolom werden geplaatst vanaf oppervlakteschepen of vanuit speciaal daarvoor ontworpen onderzeeërs. Veelal werden ze over een railsysteem in het water geduwd. Bij verankerde mijnen zorgde hydrostatische druk ervoor dat de mijn los kwam van het anker en dat de mijnbol op de vooraf ingestelde diepte onder de waterspiegel kwam te drijven. Het loskomen van de mijn van de ankerstoel zorgde tevens voor de wapening van de mijn. Hierdoor werd een mechanisme geactiveerd, waardoor de explosieketen gesloten werd. Ook het oplossen van een zouttablet kon het wapeningsproces starten.



Figuur 13: Legprincipe van een verankerde mijn.

⁶ Bron: Bureau of Ordnance, German under water ordnance, mines, OP 1673A, 14 juni 1946.
73257/RO-180223 versie 1.0

Een mijn voor toepassing in de waterkolom wordt geïnitieerd als hij door een schip wordt geraakt of als de invloedsonsteker wordt geactiveerd. Door de detonatie die volgt, bezwijkt de huidbeplating, waardoor één of meerdere compartimenten van het schip lek raken. Hierdoor raakt het schip ten minste ernstig beschadigd. Bij fataal verlies van drijfvermogen en/of hydrostatische stabiliteit leidde dit tot het zinken van het schip.

2.10.5 Typen ontstekers

Mijnen voor toepassing in de waterkolom kennen twee soorten afvuurmechanismen: contact en invloed. Voor een beschrijving van de invloedontstekers wordt verwezen naar paragraaf 2.9.

Al in de Eerste Wereldoorlog zijn mechanische ontstekers ingezet, de zogenaamde ‘pendule ontstekers’. Bij dit type ontstekers wordt een voorgespannen slagpin vastgehouden door een vrij hangend gewicht dat bij aanvaren of kantelen door de boegwolk van het doelschip de slagpin loslaat.

Naast mechanische zijn elektrische principes toegepast, de schakelhoorn en de (chemische) hertzhorn. De schakelhoorn is te vergelijken met een normale aan/uit kantelschakelaar in een batterij gevoed elektrisch circuit. De chemische hertzhorn is een loden omhulsel met daarin een glazen ampul met een elektrolyt. Door het verbuigen van een intacte hertzhorn breekt de inwendige ampul en wordt een elektrische spanning opgewekt. In beide gevallen loopt de elektrische stroom via inwendige bedrading naar het elektrische ontstekingsmechanisme van de hoofdloading. Deze bevindt zich meestal centraal in de contactmijn. Bij sommige contactmijnen is de werkingssfeer vergroot door de toevoeging van een zogenaamde “snagline” aan de schakel- of hertzhorn.

Een ander afvuurprincipe is de galvanische ontsteker. De werking berust op het galvanisch effect van de ijzeren scheepshuid en een koperen onderdeel van de mijn (hoorn of antenne) met het zeewater als elektrolyt. Dergelijke mijnen werden vaak gebruikt tegen onderzeeboten. Bij aanraking van een hoorn of antenne ontstaat een galvanisch stroompje waardoor, na versterking, de ontsteker wordt geïnitieerd en de mijn detoneert.

Samenvattend kan worden gesteld dat op drijvende mijnen hoofdzakelijk elektrische ontstekers werden toegepast. De schakelhoorn en galvanische principes maken gebruik van een batterijvoeding die na enkele jaren geen spanning meer levert. De Hertzhorn en pendule ontsteker hebben geen batterijvoeding en kunnen in principe nog op de gebruikelijke wijze worden geactiveerd.

2.11 Torpedo's

Torpedo's worden, net als zeemijnen, al vóór de Eerste Wereldoorlog toegepast bij aanvallen tussen oppervlakteschepen en onderzeeërs. Een torpedo is een wapen met een grote hoeveelheid springstof voorzien van een voortstuwingssysteem, aangedreven door een elektromotor, brandstofmotor, perslucht of stoomturbine. De ontsteking van de gevechtsskop kan worden veroorzaakt door contact of magnetische invloed.

Uit de Vooronderzoeken CE is gebleken dat binnen de zandwingebeden torpedo's kunnen zijn achtergebleven.

2.11.1 Toepassing

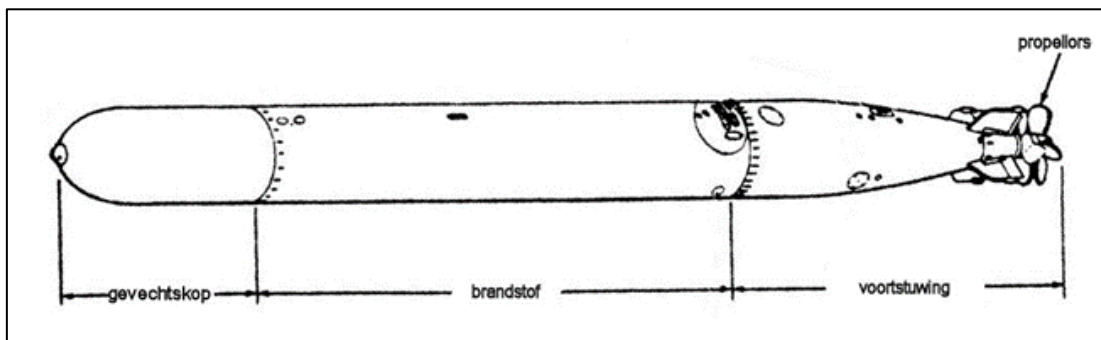
Een torpedo is een zelf aangedreven onderwaterwapen met een explosieve lading voor inzet tegen schepen en onderzeeërs. Torpedo's konden worden ingezet door oppervlakteschepen, onderzeeërs en vliegtuigen en werden zowel in de Eerste als in de Tweede Wereldoorlog ingezet in Nederlandse wateren. Duitse en geallieerde onderzeeërs jaagden in de Eerste Wereldoorlog in Nederlandse wateren op konvoien en vijandelijke schepen. In de Tweede Wereldoorlog werden torpedo's in Nederlandse wateren hoofdzakelijk ingezet door vliegtuigen en patrouillerende Britse en Duitse schepen.



Figuur 14: Torpedo's worden geladen in een Bristol Beaufort van Coastal Command in december 1940 (Bron: IWM 1854).

2.11.2 Uiterlijk

Torpedo's zijn gestroomlijnde cilindervormig met een diameter van circa 0,5 m, bij een lengte van 4,7 tot en met 7,2 m. Aan de voorzijde is de met springstof gevulde gevechtshoofd met bouten gemonteerd, met een op de neus of in de zijkant (transversaal) geplaatste ontsteker. Het middengedeelte bevat de brandstof of de accu's voor de voortstuwing, afhankelijk van het voortstuwingsprincipe. Het achterste gedeelte bevat de motor en tandwielkast, met aan de buitenkant een viertal vinnen en twee propellers.



Figuur 15: Uiterlijk van de meest toegepaste torpedo's.

2.11.3 Inhoud

Torpedo's hebben een explosieve inhoud variërend van circa 170 tot circa 365 kg. In veel gevallen is een springstof toegepast met een TNT-equivalent groter dan 1.

2.11.4 Werkingsprincipe

Na het lanceren van de torpedo zal deze zich door middel van de propellers met hoge snelheid richting het doel bewegen, waarbij de torpedo zichzelf wapent door gebruik van langsstromend water. Afhankelijk van het type torpedo zal de gevechtshoofd worden geïnitieerd door rechtstreeks contact tegen het doelschip of door activering van de magnetische inductie ontsteker.

De detonatie van de hoofdlading zal de beplating van het schip openscheuren en samen met het gasbeleffect zorgen voor verlies van drijfvermogen. Als de torpedo geen doel heeft getroffen, zal hij na uitputting van de voortstuwing naar de bodem zinken en daar achterblijven.

2.11.5 Typen ontstekers

Gevechtsschepen kunnen zijn voorzien van zowel mechanische als elektrische contact ontstekers. In beide gevallen moet de torpedo daadwerkelijk met de scheepshuid in contact komen. Om de kans op contact te vergroten zijn sommige typen uitgerust met “snorharen” die bij contact ombuigen en zo een voorgespannen slagpin loslaten of een elektrisch circuit sluiten.

Om de invloedssfeer van een torpedo te vergroten worden ook magnetische inductie ontstekers toegepast. Deze werkt volgens het principe van de metaaldetector, als een metalen voorwerp (schip) binnen een gestelde afstand wordt gedetecteerd detoneert de hoofdlading.

2.12 Dieptebommen

Dieptebommen worden vanaf oppervlakteschepen en vliegtuigen ingezet tegen onderzeeërs. Tevens werden dieptebommen ingezet bij het ruimen van mijnen. Dit type CE is meestal voorzien van een ontsteker die werkt op basis van waterdruk (hydrostatische druk). Zo kan na het peilen van de onderzeeër de dieptebom zo worden ingesteld dat deze op de juiste diepte tot werking komt. Uit de Vooronderzoeken CE is gebleken dat binnen de zandwingebeden dieptebommen kunnen zijn achtergebleven.



Figuur 16: Inzet dieptebom in WOI (Bron: <http://warfarehistorynetwork.com>).

2.12.1 Toepassing

Dieptebommen zijn ontworpen voor inzet tegen doelen onder het wateroppervlak. Deze wapens werden door vliegtuigen of door schepen, al dan niet met een lanceerinrichting, in het water geworpen op een locatie waar een onderzeeër vermoed werd. Na het afwerpen moest de dieptebom zinken tot de diepte van het doelwit en nabij het doel detoneren. De effectieve radius voor het uitschakelen van een onderzeeër van gemiddeld formaat was circa 10 meter.

2.12.2 Uiterlijk

De dieptebom heeft een vorm die veel gelijkenis vertoont met een olievat. De dieptebom varieert in diameter van 0,28 tot 0,45 m en een lengte van respectievelijk 0,98 en 0,71 m.

Om het bereik te vergroten werden dieptebommen ook gelanceerd met een speciaal



Figuur 17: Restant dieptebom (bron: REASeuro).

wapensysteem, het K-device. Het zadel van dit afvuursysteem kan nog aan achtergebleven dieptebommen bevestigd zijn.

Tevens werd de zogenaamde 'Hedgehog' ingezet, dit systeem kon 24 projectielen afvuren met een diameter van 0,18 m en een lengte van 0,88 m.



Figuur 18: Afvuren van de K-device en het laden van dieptebommen op een Hedgehog systeem.

2.12.3 Inhoud

Dieptebommen hebben een explosieve inhoud variërend van circa 15 tot 135 kg. In veel gevallen is een springstof toegepast met een TNT-equivalent groter dan 1.

2.12.4 Werkingsprincipe

De klassieke dieptebom wordt voor inzet ingesteld op de gewenste diepte (de diepte van het doelwit). Na te zijn afgeworpen of geschoten, zinkt de dieptebom af. Doordat de waterdruk tijdens het zinken toeneemt wordt middels een balg of diafragma druk uitgeoefend op een veer. Op de ingestelde diepte wordt de weerstand van de veer overwonnen.

Hierdoor komt de voorgespannen slagpin vrij en de dieptebom detoneert. Op het meervoudig systeem Hedgehog worden schokontstekers toegepast die bij treffen van het wateroppervlak met een korte vertraging de lading laten detoneren.

2.12.5 Typen ontstekers

Op dieptebommen werden hydrostatische ontstekers toegepast met een voorgespannen slagpinveer en schokontstekers met een voorgespannen slagpinveer.

2.13 Landmijnen

Landmijnen zijn CE die in of op een terrein worden aangebracht en die door het te treffen doel worden geactiveerd. Landmijnen bestaan uit een lichaam met vulling, voorzien van een ontstekingsinrichting.

In de zandwingebieden zullen landmijnen uitsluitend aanwezig zijn in gedumpte vorm. Bij de locatiekeuze van de wingebieden in het MER worden gekarteerde dumpgebieden in principe gemeden. Daarom wordt deze hoofdgroep in dit rapport niet nader uitgewerkt.

2.14 Valstrikken

Een valstrik is een fabrieksmatig aangemaakt CE dat wordt geplaatst met als doel om door het uitvoeren van een ogenschijnlijk onschuldige handeling tot werking te komen. Zij zijn opgebouwd uit een hoofdlading (dit kan een handgranaat, vernielingslading, brandlading, etc. zijn) voorzien van een ontstekingsinrichting.

In de zandwingebieden zullen valstrikken uitsluitend aanwezig zijn in gedumpte vorm. Bij de locatiekeuze van de wingebieden in het MER worden gekarteerde dumpgebieden in principe gemeden. Daarom wordt deze hoofdgroep in dit rapport niet nader uitgewerkt.

2.15 Explosieve stoffen

Onder de hoofdgroep explosieve stoffen worden explosieve stoffen verstaan zonder ontstekingsinrichting die niet zijn onder te brengen bij een van de overige hoofdsoorten. Wanneer kruit, springstof of een sas zonder herkenbare verpakking worden aangetroffen, vallen deze in de categorie explosieve stoffen.

In de zandwingebieden zullen explosieve stoffen uitsluitend aanwezig zijn in gedumpte vorm. Bij de locatiekeuze van de wingebieden in het MER worden gekarteerde dumpgebieden in principe gemeden.

De hoofdgroep explosieve stoffen wordt echter in dit rapport wel nader uitgewerkt teneinde lezers te informeren over de onderverdeling in explosieve stoffen, de wijzen van initiatie en de explosieketen. Inzicht hierin is noodzakelijk om de uitwerking van de overige hoofdgroepen te begrijpen.

2.16 Vuurwerken

Vuurwerken zijn CE voorzien van pyrotechnische mengsels bedoeld voor het creëren van speciale effecten, zoals brand, licht, knal, rook en/of gas. Vuurwerken zijn samengesteld uit een lichaam met vulling en een ontstekingsinrichting. Voor offshore omstandigheden zijn uitsluitend ernstvuurwerken relevant. Het betreft in dit geval militaire vuurwerken en/of scheepsvuurwerken.

Omdat uit geen van de Historische Vooronderzoeken is gebleken dat vuurwerken kunnen zijn achtergebleven, wordt deze hoofdgroep in dit rapport niet nader uitgewerkt.

2.17 Vernielingsmiddelen

Vernielingsmiddelen zijn speciaal vervaardigd om vernietigingen mee uit te voeren.

Vernielingsmiddelen worden door onder andere explosieven opruimers en genie-eenheden gebruikt om ladingen aan te brengen. Voorbeelden zijn: een elektrisch slagpijpje, non-elektrisch slagpijpje, slagsnoer, vuurkoord en vernielingsladingen (zoals de Marine deze toepast voor het onder water vernietigen van munitie).

In de zandwingebieden zullen vernielingsmiddelen uitsluitend aanwezig zijn in gedumpte vorm. De bekende dumplocaties worden bij de winning van zand vermeden. Door migratie kunnen vernielingsmiddelen ook buiten de dumplocaties zijn terechtgekomen. Derhalve wordt deze hoofdgroep in dit rapport niet nader uitgewerkt.

2.18 Ontstekingsinrichtingen

Ontstekingsinrichtingen (kortweg ontstekers) zijn inrichtingen en middelen die op of in een CE zijn geplaatst of kunnen worden geplaatst, waarmee CE op het gewenste tijdstip en/of plaats tot werking komen. CE die op een bepaald moment tot uitwerking moeten komen, dienen op een of andere manier te worden voorzien van een ontstekingsinrichting. Gezien de vele soorten CE is eveneens een grote verscheidenheid aan ontstekers toegepast.

In de zandwingebieden zullen losse ontstekers uitsluitend aanwezig zijn in gedumpte vorm. De bekende dumplocaties worden bij de winning van zand vermeden. Door migratie kunnen ontstekingsinrichtingen ook buiten de dumplocaties zijn terechtgekomen.

Omdat de op CE toegepaste ontstekers van groot belang zijn bij de inschatting van de risico's van de aanwezigheid van een bepaald munitieartikel in de zandwingebieden worden verschillende typen ontstekers in hoofdstuk 5 nader uitgewerkt.

2.19 Toebehoren van munitie

De hoofdgroep toebehoren van munitie betreft voorwerpen die onderdeel uitmaakten van of toebehoorden aan CE en zelf geen explosieve stoffen bevatten en die niet zijn onder te brengen bij een van de overige hoofdgroepen. Vanwege het ontbreken van explosieve stoffen wordt deze hoofdgroep in dit rapport niet nader uitgewerkt.

3 Springstoffen, explosieketen en invloedsfactoren

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op springstoffen, de onderverdeling in springstoffen en de explosieketen. Daarnaast wordt het begrip TNT-equivalent uitgelegd en worden de invloedsfactoren die kunnen leiden tot het tot uitwerking komen van springstof beschreven. Deze informatie is van belang voor het begrijpen van de verdere inhoud van dit rapport.

3.1 Springstof

Veel CE zijn gevuld met springstof. Dit is een stof waarin een detonatie⁷ plaatsvindt, als de stof wordt blootgesteld aan een geschikte invloed van buiten. De gevoeligheid van de explosieve stof varieert per stof. De gevoeligheid is de mate waarin een explosieve stof neigt over te gaan tot een explosie, ofwel het 'gemak' waarmee een explosieve stof tot reactie komt. Deze overgang van rust naar een explosie wordt veroorzaakt door een externe invloed. Deze invloed kan worden veroorzaakt door:

- Stoot;
- Wrijving;
- Warmte;
- Vonk (ook statische ontlading);
- Schok.

De gevoeligheid van explosieve stoffen is afhankelijk van diverse factoren zoals:

- De soort stof;
- De dichtheid van de stof;
- Indien korrelig: de korrelgrootte;
- Eventuele toevoegingen (oxidator, katalysator).

Springstoffen zijn met betrekking tot gevoeligheid onder te verdelen in de volgende groepen:

1. Inleidspringstoffen.

Dit zijn zeer gevoelige springstoffen die in geringe hoeveelheden worden gebruikt in slaghoedjes en slagpijpjes. Inleidspringstoffen, ook wel primaire springstoffen genoemd, worden als eerste springstof gebruikt in de explosieketen (zie paragraaf 3.2). Ze worden gebruikt om de overdrachtsspringstof te initiëren⁸ (NATO-definitie).

2. Overdrachtsspringstoffen.

Dit zijn minder gevoelige springstoffen die in kleine hoeveelheden worden toegepast in CE. De springstoffen worden geïnitieerd door de uitwerking van de inleidspringstof. De overdrachtsspringstof, ook wel booster springstof genoemd, werkt als schokversterker en overdrager en brengt de hoofdlading tot detonatie.

3. Springstoffen voor hoofdladingen

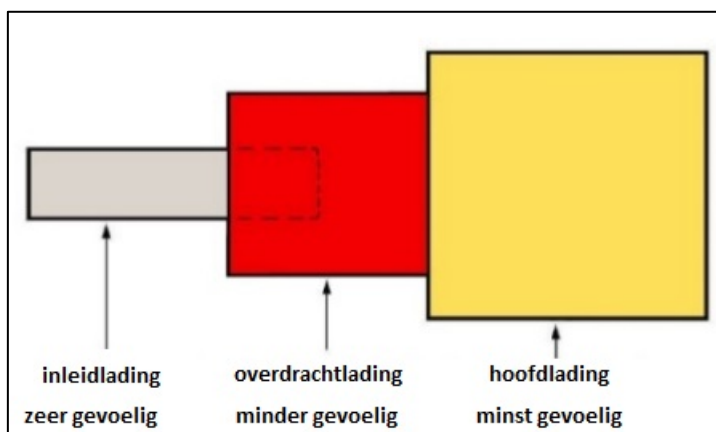
Springstoffen voor hoofdladingen, ook wel secundaire springstoffen genoemd, zijn het minst gevoelig voor externe impulsen. Hierdoor kunnen de stoffen veilig worden verwerkt, opgeslagen, getransporteerd en toegepast. Tevens verkleint dit de kans op uitwerking door de invloed van bijvoorbeeld vijandig vuur. Deze springstoffen vormen de hoofdlading van het CE en worden afhankelijk van het soort CE tot grote hoeveelheden van honderden kilo's in CE toegepast. Ze worden tot detonatie gebracht door de uitwerking van de overdrachtsspringstof.

⁷ Een detonatie is een explosie waarbij het reactiefront in het explosief zich sneller voortplant dan de geluidssnelheid in die stof. Hierdoor ontstaat een schokgolf.

⁸ Tot detonatie te brengen.

3.2 Explosieketen

Onder explosieketen wordt een opeenvolging van explosieve stoffen verstaan. Hierbij wordt de aanvangsimpuls via een kleine hoeveelheid zéér gevoelige explosieve stof (inleidspringstof) overgebracht naar één of meerdere minder gevoelige explosieve stoffen (overdrachtsspringstoffen) die uiteindelijk de grotere hoeveelheid minst gevoelige explosieve stof (hoofdlading) tot uitwerking brengt. Het is dus een opeenvolging van een aantal explosieve stoffen waarvan iedere volgende stof door de vorige stof tot reactie wordt gebracht. In Figuur 19 wordt de explosieketen geïllustreerd.



Figuur 19: Illustratie explosieketen.

3.3 TNT-equivalenten

In onderwatersmunitie wordt veelal een springstof toegepast die een zo groot mogelijke schokgolf genereert (torpex, amatol, hexaniet). Om de uitwerking van een detonatie van een CE met een bepaalde springstof (niet zijnde TNT) vast te stellen, dient de explosieve inhoud van betreffend CE (kg) te worden vermenigvuldigd met de voor de geplaatste springstof geldende omrekenfactor en toe te passen volgens de tabel uit de VS 9-861.

Tabel 1 geeft enkele voorbeelden van de meest gebruikte springstoffen in onderwatersmunitie. Ter vergelijking zijn schietkatoen en dynamiet toegevoegd wegens het gebruik van deze stoffen in CE die in WO I in Nederlandse wateren zijn ingezet.

Springstof	Omrekenfactor
Amatol	1,36
RDX/hexogeen/cycloniet	1,25
PETN	1,4
Torpex	1,6
Minol	1,65
Schietkatoen	1,02
Dynamiet	0,7 – 1,4

Tabel 1: Omrekenfactoren voor diverse springstoffen naar TNT-equivalent.

Tabel 1 geeft ter illustratie enkele voorbeelden van TNT-equivalenten. De TNT-equivalent van springstof is sterk afhankelijk van de samenstelling en de dichtheid van de springstof. Er komen derhalve variaties voor binnen dezelfde springstof.

3.4 Invloedsfactoren op explosieve stoffen

Bij het uitvoeren van werkzaamheden in de zandwinkvakken kunnen diverse factoren een eventueel aanwezig CE beïnvloeden. De voornaamste invloedsfactor is de deformatie van de springstof (inleid-, overdrachtsspringstof of hoofdlading) in de ontsteker en/of het lichaam van het CE.

Er zijn nog enkele andere invloedsfactoren die effect kunnen hebben op CE. Voorbeelden zijn het blootstellen van een CE aan zuurstof uit de buitenlucht of hitte. De scope van deze rapportage beperkt zich tot op de zeebodem aanwezige CE. Blootstelling aan zuurstof uit de buitenlucht en hitte treden onder deze omstandigheden niet op en worden derhalve niet behandeld in deze rapportage.

Blootstelling aan zuurstof uit de buitenlucht en hitte kunnen invloedsfactoren zijn die optreden tijdens de door Opdrachtnemer uit te voeren werkzaamheden. De risico's en beheermaatregelen dienen in dit geval te worden opgenomen in het door Opdrachtnemer aan te vullen V&G plan.

De invloedsfactoren die van invloed kunnen zijn op geplaatste ontstekers worden behandeld in paragraaf 4.7.

4 Ontstekers

Er bestaan 16 hoofdgroepen CE en op de hoofdgroep toebehoren van munitie na kan elke hoofdgroep verschillende typen ontstekers bevatten. In deze paragraaf wordt ingegaan op het verschil tussen gewapende en ongewapende ontstekers en de meest voorkomende werkingsprincipes van ontstekers. Vervolgens wordt aangegeven op welke hoofdgroepen CE de verschillende werkingsprincipes kunnen worden aangetroffen. In de beschrijving van de hoofdgroepen CE wordt per werkingsprincipe aangegeven welke invloedsfactoren kunnen leiden tot initiatie van betreffend type ontsteker.

4.1 Gewapende en ongewapende ontstekers

In de munitietechniek wordt gesproken over het ‘wapenen’ van CE. Wapenen is het wegnemen van blokkeringen dan wel veiligheidsvoorzieningen, waardoor inleid- of ontsteekladingen op de beoogde wijze tot uitwerking kunnen worden gebracht, of het in één lijn brengen van de verschillende onderdelen van de explosieketen.

Wapenen kan het best worden omschreven als het omzetten van het CE van een veilige toestand naar een scherpe (gewapende) toestand door middel van een ingebouwde inrichting. Hierdoor kan het CE op de beoogde wijze tot uitwerking worden gebracht. Over het algemeen kan gesteld worden dat een gewapende ontsteker gevaarlijker is dan een niet gewapende ontsteker. Hierbij dient te worden opgemerkt dat ook niet gewapende ontstekers als gevolg van externe factoren gevoeliger kunnen worden.

Bekend is dat in de Noordzee zowel gewapende als ongewapende CE worden aangetroffen.

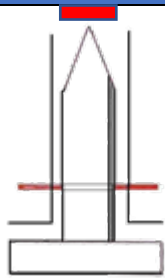
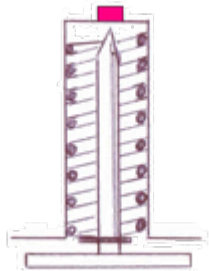
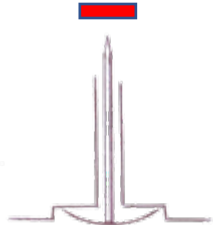
4.2 Schokontstekers

Schokontstekers zijn ontstekers waarvan de werking berust op de ontstane schok, veroorzaakt door de aanslag. De uiteindelijke werking berust op massatraagheid door (abrupte) vertraging. Schokontstekers kunnen een directe werking of een ingebouwde (korte) vertraging bezitten.

De gevoeligheid van schokontstekers voor initiatie door externe invloeden hangt af van de wijze waarop de slagpin van het slaghoedje wordt weggehouden. Er worden verschillende principes onderscheiden:

- Scheurdraad type;
- Ophoudveer type;
- Diafragma type;
- Voorgespannen slagpinveer.

In Tabel 2 worden genoemde typen ontstekers nader toegelicht.

Ontsteker type	Beschrijving	Illustratie
Scheurdraad	Bij dit type schokontsteker loopt een draad door het lichaam en de slagpin. Deze draad houdt de slagpin voor inslag weg bij het slaghoedje. Bij inslag scheurt de scheurdraad en wordt de slagpin in het slaghoedje gedrukt.	
Ophoudveer	Hierbij wordt de slagpin van het slaghoedje weggehouden door een ophoudveer. Bij inslag wordt de veerdruk overwonnen waardoor de slagpin het slaghoedje treft.	
Diafragma	De slagpin is voorzien van een bol dun metalen plaatje (boldiafragma). Bij inslag zal de samengeperste lucht boven het diafragma het diafragma indrukken. Hierdoor slaat de bolle vorm van het diafragma om in een holle vorm. Door het 'omslaan' van het diafragma wordt de slagpin in het slaghoedje gedreven.	
Voorgespannen slagpinveer	Bij dit type buis wordt de slagpin door een veer onder voortdurende spanning gehouden. Door een segment (groen in tekening) wordt de slagpin geblokkeerd. Door aanslag, tijdverloop, verstoring of een andere oorzaak valt de blokkering weg. De veer drijft vervolgens de slagpin in het slaghoedje.	

Tabel 2: Beschrijving typen schokontstekers (bron: REASeuro, Lesstofpakket OCE-deskundige, Ontstekers, december 2016).

Het falen van een ontsteker kan diverse oorzaken hebben: variërend van productie en ontwerpfouten, menselijk falen, veilig (ongewapend) afwerpen, het deels gewapend zijn van een CE en het niet tot uitwerking zijn gekomen van een volledig gewapende ontsteker⁹.

Door TNO¹⁰ is een aantal op diafragma en op ophoudveer gebaseerde schokontstekers beschouwd op hun gevoeligheid voor trillingen. Geconcludeerd wordt dat de beoordeelde ontstekers zijn ingeschat als mogelijk trillingsgevoelig.

Voor de op diafragma gebaseerde ontstekers stelt TNO dat de benodigde arbeid voor initiatie ongeveer gelijk is aan die voor ontstekers op basis van het ophoudveerprincipe.

⁹ Gebaseerd op: Kroon, E.J., et al., *Inventarisatie van WOII vliegtuigbom ontstekers in NL bodem* (15 oktober 2015).

¹⁰ Ibidem.

In 2012 is de vraag gerezen welk trillingsniveau ten gevolge van hei- en trilwerkzaamheden in landbodems in relatie tot het risico op het ongewenst tot uitwerking komen van een vliegtuigbom aanvaardbaar is. Hierop is door TNO onderzoek uitgevoerd. De resultaten van een drietal deelonderzoeken zijn beschikbaar. Het onderzoek is nog niet afgerond.

In Nederland wordt tot op heden algemeen aangenomen dat een trilling/versnelling $> 1 \text{ m/s}^2$ tot initiatie van specifieke CE kan leiden¹¹.

4.3 Tijdontstekers

Tijdontstekers zijn ontstekers die werden gebruikt om het CE op een vooraf ingesteld tijdstip tot uitwerking te laten komen. Dit kon zowel voor impact als na impact van het CE zijn. Er werden verschillende mechanismen toegepast om het tijdstip van tot uitwerking komen in te stellen. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen pyrotechnische, mechanische en chemische tijdontstekers.

Ontstekers kunnen tevens een combinatie van werkingsprincipes bevatten (bijvoorbeeld tijdschokontstekers).

4.3.1 Pyrotechnische vertraging

De pyrotechnische vertragingssketen wordt ontstoken wanneer het CE wordt ingezet. Bijvoorbeeld wanneer het CE het vliegtuig of de loop verlaat. De werking is te vergelijken met die van een lont. De vertraging brengt op zijn beurt na een bepaalde tijd de explosiesketen tot ontsteking of inleiding. Veel toegepaste pyrotechnische mengsels zijn gevoelig voor de inwerking van zeewater. Er zijn echter ook pyrotechnische mengsels toegepast die nauwelijks gevoelig zijn voor de inwerking van zeewater.

4.3.2 Mechanische vertraging

Mechanische tijdbuizen zijn buizen waarvan de werking berust op het verlopen van een, voor het vuren, middels een uurwerk ingestelde vertraging. Het grote voordeel van een mechanische tijdbuis ten opzichte van een (pyrotechnische) tijdbuis is in het algemeen de betere betrouwbaarheid en de grotere precisie. Wanneer een segment van het uurwerk een bepaalde stand inneemt, laat een pal de onder veerdruk staande slagpin (voorgespannen slagpinveer) vrij.

Mechanische tijdontstekers kunnen gevoelig zijn voor trillingen, beweging en schok. Deze invloeden kunnen het uurwerk in werking zetten, waardoor de vorgespannen slagpinveer wordt losgelaten.

4.3.3 Chemische vertraging

Bij een chemische vertraging berust de vertraging op een chemische reactie tussen een vloeistof en celluloid schijfjes. In de ontsteker wordt een onder veerdruk staande slagpin (voorgespannen slagpinveer) vastgehouden door oplosbare celluloid schijfjes.

Tijdens de val na het vrijkomen van het vliegtuig of bij het treffen van het doel, breekt een ampul met oplosmiddel dat de schijfjes aantast. Hierdoor komt de slagpin los en wordt deze onder veerdruk in het slaghoedje gedreven.

Door TNO wordt gesteld¹² dat de chemisch lange vertraging ontstekers zeer trillingsgevoelig zijn omdat het (plastic) celluloid plaatje dat de vorgespannen slagpin ophoudt, onderhevig is aan

¹¹ Muller, T.K., *Mogelijke ondergrondse bomexplosies als gevolg van trillingen veroorzaakt door heien*, 1990 en Huibers, M.J. *Risico van een ondergrondse bomexplosie als gevolg van trillingen veroorzaakt door heien*, 1990.

¹² Kroon, idem.

veroudering. Ontstekers met een chemische vertraging zijn daarom tevens gevoelig voor bewegen en schok.

4.4 Hydrostatische ontstekers

Dit type ontstekers werkt op basis van een balg of diafragma tegen de kracht van een veer in. Bij een toename van de waterdruk overwint de balg/het diafragma de weerstand van de veer. Hierdoor komt de slagpin vrij (voorgespannen slagpinveer), waardoor de veer de slagpin in het slaghoedje drijft. Dit werkingsprincipe werd tevens toegepast als anti-lift ontsteker, ter voorkoming van het ruimen van het CE.

Hydrostatische ontstekers werden toegepast op afwerpmunitie, dieptebommen, drijvende mijnen en grondmijnen.

Omdat de werking van hydrostatische ontstekers berust op een voorgespannen slagpinveer kunnen deze ontstekers gevoelig zijn voor trillingen, beweging en schok.

4.5 Elektrische ontstekers

Bij een elektrisch werkende ontsteker wordt de uiteindelijke explosieketen ingeleid of ontstoken door een elektrische afvuurbrug. Een elektrische ontsteker is voor het tot uitwerking komen afhankelijk van een elektrische energiebron. Elektrische ontstekers werden toegepast op geschutmunitie, afwerpmunitie, submunitie, en verschillende categorieën onderwatermunitie (mijnen voor toepassing in de waterkolom, grondmijnen, torpedo's).

De energiebron kan een batterij/accu, laadcondensator, generator (o.a. torpedo) of droge batterij met gescheiden elektrolyt (hertzhoorn op mijnen voor toepassing in de waterkolom) zijn.

Op diverse hoofdsoorten CE werden invloedsontstekers toegepast. Voorbeelden zijn, nabijheidsontstekers, akoestische ontstekers, magnetische ontstekers, anti-storingsinrichtingen en/of combinatie van deze ontstekers. Al deze typen ontstekers zijn gekoppeld aan een elektrische ontsteker die in de hoofdlading zijn geplaatst. Het functioneren van deze ontstekers is daarom afhankelijk van de aanwezigheid van voldoende spanning.

Door het langdurig verblijf op/in de zeebodem kan de aanwezigheid van voldoende spanning worden uitgesloten. Hierdoor is de gebruikelijke initiatie van elektrische ontstekers uitgesloten.

Omdat initiatie van een CE door invloedsontstekers uiteindelijk afhankelijk is van het functioneren van de elektrische ontsteker worden invloedsontstekers in dit rapport niet nader uitgewerkt. In de gepresenteerde overzichtstabellen zijn invloedsontstekers ingedeeld onder het werkingsprincipe 'elektrisch'.

4.6 Toepassing werkingsprincipes op ontstekers binnen de hoofdgroepen CE

Binnen de diverse hoofdgroepen CE werd een grote variëteit aan ontstekers toegepast. In Tabel 3 is een overzicht opgenomen waarin is weergegeven welke werkingsprincipes werden toegepast in ontstekers die op de diverse hoofdgroepen CE kunnen zijn geplaatst.

Omdat het werkingsprincipe van mechanisch en chemisch vertraagde tijdontstekers en hydrostatische ontstekers berust op de aanwezige voorgespannen slagpinveer worden deze typen ontstekers in de tabel niet afzonderlijk benoemd. Ze maken onderdeel uit van ontstekers op basis van het werkingsprincipe 'voorgespannen slagpinveer'.

Werkingsprincipe ontsteker	Geschutmunitie	Raketten	Afwerpmunitie	Submunitie	Mijnen voor toepassing in de waterkolom	Grondmijnen	Torpedo's	Dieptebommen
Scheurdraad	X		X	X				
Ophoudveer	X	X	X	X				X
Diafragma	X		X	X				
Voorgespannen slagpinveer	X		X	X	X	X	X	X
Pyrotechnisch	X		X	X				
Elektrisch	X		X		X	X	X	

Tabel 3: Overzicht van de werkingsprincipes van de op diverse hoofdgroepen CE toegepaste ontstekers.

4.7 Invloedsfactoren op ontstekers

Bij het uitvoeren van grondroerende werkzaamheden kunnen diverse factoren een eventueel aanwezig CE beïnvloeden. Er kunnen bij het winnen van zand de volgende invloedsfactoren optreden:

- Mechanische impact op het lichaam van een CE, waardoor zich een schokgolf door het CE-lichaam verplaatst, die zich doorzet in de ontsteker (MI);
- Deformatie van het CE en in het bijzonder de geplaatste ontsteker (DO);
- Beweging van een CE met een gewapende ontsteker van het voorgespannen slagpinveer type (BE);
- Het veroorzaken van versnellingen (trillingen) in de waterbodem waarin zich een CE met een gewapende ontsteker van het voorgespannen slagpinveer type bevindt (V).

In Tabel 4 zijn de invloedsfactoren samengevat die kunnen leiden tot initiatie van de beschreven typen ontstekers.

Werkingsprincipe ontsteker	MI	DO	BE	V
Scheurdraad	X	X		
Ophoudveer type	X	X	X	X
Diafragma type	X	X	X	X
Voorgespannen slagpinveer	X	X	X	X
Pyrotechnisch		X		
Elektrisch		X		

Tabel 4: Mogelijke invloedsfactoren op ontstekers met verschillende werkingsprincipes. Hierbij is MI = Mechanische Impact, DO = Deformatie Ontsteker, BE = Beweging, V = Versnellingen.

5 Effecten van langdurig verblijf in zeewater

De winning van suppletiezand vindt plaats buiten de doorgaande NAP –20 m lijn, in waterdiepten variërend tussen circa 20 en 30 m. Ter plaatse van mobiele zandgolven kunnen geringere waterdiepten aanwezig zijn. CE die tijdens de oorlog in/op zee zijn ingezet of die na de oorlog in zee zijn gedumpt, bevinden zich thans tot ruim 100 jaar op deze diepten op/onder de zeebodem. Hierbij wordt opgemerkt dat tot de tachtiger jaren van de vorige eeuw dumpingen van CE hebben plaatsgevonden.

Het verblijf in zeewater kan effect hebben gehad op de integriteit van het lichaam van het CE, de op CE geplaatste ontstekers en de aanwezige explosieve stoffen. In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de te verwachten effecten door langdurig verblijf in zeewater zijn.

5.1 Corrosie

Door langdurig verblijf in het zeewater kan corrosie¹³ zijn opgetreden. Er is weinig kennis over hoe corrosieprocessen in zeewater aanwezige CE aantasten. In 2015 is gericht onderzoek uitgevoerd naar de effecten van corrosie op CE¹⁴. Het doel was inzicht te krijgen in de diverse mechanismen van invloed op corrosie en het identificeren van de parameters die het voorspellend vermogen met betrekking tot het moment van bezwijken van een CE-lichaam vergroten.

Naast de samenstelling van het materiaal van het CE-lichaam blijkt corrosie vooral afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden (begraven of volledig blootgesteld aan zout water). De corrosiesnelheid bleek sterk af te nemen in meer anaerobe omstandigheden (begraven CE). De aanwezigheid van zuurstof blijkt een doorslaggevende rol te spelen in de corrosiesnelheid. In aerobe (zuurstofrijke) omstandigheden is de corrosiesnelheid vele malen hoger dan in anaerobe (zuurstofarme) omstandigheden. Ook biologische processen (aangroei) en erosie (slijtage van gecorrodeerde laag) kunnen van invloed zijn op de corrosiesnelheid en de aantasting van het CE-lichaam. Tevens bleek het optreden van galvanische corrosie¹⁵ van invloed te zijn op CE bestaande uit meerdere soorten metalen (bijvoorbeeld koperen geleiband of messing ontstekers).

Het genoemde onderzoek concludeert dat door het koppelen van observaties, toepassing van modellen met empirisch bepaalde corrosie parameters voor de diverse componenten van CE het mogelijk moet zijn een orde grootte inschatting te maken van de tijd waarbinnen het CE-lichaam bezwijkt ten gevolge van corrosie. Hiervoor zijn volgens het onderzoek echter nog aanvullende studies noodzakelijk.

In het *Seawater corrosion handbook*¹⁶ is veel informatie opgenomen over het gedrag van diverse metalen en (spring-)stoffen. In het document wordt beschreven dat CE die gereed waren voor gebruik anders reageren op een langdurig verblijf in zeewater dan de individuele componenten van CE. De CE zijn namelijk ontworpen om zware terrein- en oorlogsomstandigheden te weerstaan.

Volgens het onderzoek blijven bepaalde soorten CE, die zijn ontworpen voor toepassing onder water, zoals mijnen, torpedo's en dieptebommen, in zeewater gedurende lange tijd intact en operationeel¹⁷.

¹³ Corrosie is de aantasting van metalen door inwerking van hun omgeving. Corrosie bestaat voornamelijk uit diverse elektrochemische reacties.

¹⁴ Robert George et al., *Recovery, Corrosion Analysis, and Characteristics of Military Munitions from Ordnance Reef (HI-06)* (12 maart 2015).

¹⁵ Galvanische corrosie treedt op wanneer aan elkaar bevestigde metalen worden blootgesteld aan een elektrolyt, zoals zeewater. Hierbij zal het minst edele metaal versneld corroderen en het andere metaal minder snel.

¹⁶ Schumacher, M.M., *Seawater corrosion handbook*, 1979.

¹⁷ Onbekend is hoe lang CE in zeewater intact en operationeel blijven.

CE die zijn ontwikkeld voor andere toepassingen zijn niet ontworpen om de invloeden van zeewater te weerstaan. Van deze CE is dikwandige afwerpmunitie vanwege de solide constructie naar verwachting het best bestand tegen de invloeden van hydrostatische druk en lekkage.

De kans op bezwijken van het CE-lichaam neemt volgens het onderzoek toe met een toename van de diepte. Door de grotere hydrostatische druk neemt de kans op bezwijken van het lichaam van het CE en/of afdichtingen in het CE toe. De lichamen van grote robuuste CE, zoals dikwandige afwerpmunitie kunnen beter bestand zijn tegen een verblijf op grotere diepte en kunnen mogelijk de waterdruk goed weerstaan.

Het lichaam van CE kan door mechanische impact zijn beschadigd. Voorbeelden zijn het lek schieten van drijvende mijnen tijdens de ruiming van mijnen na de oorlogen, mechanische invloeden van baggerwerkzaamheden of bodemvisserij, etc. Corrosie gedurende een langdurig verblijf op de zeebodem kan resulteren in het bezwijken van het lichaam van een CE. Hierdoor kan zeewater het CE binnendringen.

Kunststof onderdelen (afdichtingen) in een CE kunnen bezwijken door inwerking van bijproducten van de reactie tussen brandstof (in geval van raketten en torpedo's) en zeewater. De invloed van dergelijke bijproducten op metalen is geringer.

De mate waarin een CE langdurig verblijf onder zeewater doorstaat, is derhalve afhankelijk van het specifieke type CE, de materialen waaruit het CE bestaat, de mate van corrosie en inwerking door biologische processen, dichtheid van de aanwezige afdichtingen, gevoeligheid van constructieonderdelen voor inwerking van reactieproducten van optredende chemische reacties en de invloed van zeewater op aanwezige brandstof en explosieve stoffen.

Het onderzoek¹⁸ concludeert dat het onmogelijk is te voorspellen of het lichaam van een CE is bezweken door de invloed van langdurig verblijf onder water en of de inhoud is blootgesteld aan zeewater.

De beschikbare onderzoeken geven uitsluitend informatie over het effect van corrosie op de individuele in CE aanwezige componenten (metalen waaruit het lichaam van het CE is opgebouwd). Er is echter weinig bekend over de invloed van corrosie op geassembleerde CE die ten gevolge van oorlogshandelingen op/in de zeebodem zijn achtergebleven. Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar deze leemte in kennis. De leemten in kennis en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 8.

Voor het bepalen van de drempelwaarde voor interpretatie van de detectiedata dient rekening te worden gehouden met de effecten van corrosie. Een halve mijnbol kan nog steeds de maximale lading springstof bevatten, maar wel slechter te detecteren zijn door het verlies van ferro-houdende massa.

5.2 Inwerking zeewater op explosieve stoffen

Met betrekking tot het effect van zeewater op explosieve stoffen wordt in deze paragraaf onderscheid gemaakt tussen inleidspringstof, vertragingssas, overdrachtsspringstof en hoofdloading.

5.2.1 Inleidspringstoffen

Inleidspringstoffen zijn opgenomen in de op CE geplaatste ontstekers. De ontstekers zetten bij impact van de slagpin (striker) in het slagpijpje (detonator) een vlam om naar een detonatie.

¹⁸ Schumacher, idem.
73257/RO-180223 versie 1.0

Inleidspringstoffen zijn veelal loodazide verbindingen, kwikfulminaat mengsels of mengsels met vergelijkbare eigenschappen⁵.

Veroudering van inleidspringstoffen treedt meestal op door het ontleden van de inleidspringstof ten gevolge van de chemische reactie met zeewater. Hierbij ontstaan diverse reactieproducten.

Het bekendste voorbeeld hiervan is loodazide. Loodazide wordt na verloop van tijd omgezet in loodoxides en hydroxides die geen explosieve eigenschappen meer bezitten.

Het resultaat is dat de ontsteker een verminderde of geen reactie meer kan vertonen ten gevolge van mechanische impact. Ontstekers kunnen door veroudering dus ongevoeliger worden.

Als het gevormde loodazide in contact komt met koperen delen van de ontsteker en blootstelling aan waterdamp en kooldioxide, kan het zeer (schok)gevoelige koperazide worden gevormd¹⁹. Dit is een tussenproduct dat met vocht verder reageert tot koperoxide en koperhydroxide, stoffen die geen explosieve eigenschappen bezitten. Omdat koperazide gevoeliger is dan loodazide bestaat onder de genoemde condities dus de mogelijkheid dat de ontsteker tijdelijk gevoeliger is. Deze situatie treedt bij CE aanwezig op de zeebodem echter niet op. Onder deze omstandigheden kan geen waterdamp en kooldioxide binnendringen.

Door het verblijf op de zeebodem kan wel vocht de ontsteker binnen dringen. Hierdoor wordt de springstof aan zout water blootgesteld in plaats van aan waterdamp. Zeewater leidt niet tot de vorming van koperazide. In plaats daarvan worden de energetische stoffen omgezet in niet-energetische stoffen. Dit maakt de ontsteker ongevoeliger vanwege de vlamdovende werking²⁰.

In het "Seawater corrosion handbook" ²¹ wordt gesteld dat als inleidspringstof veelal makkelijk ontbrandbare stoffen worden gebruikt. Inleidspringstoffen zijn ontworpen om hete gassen, hete deeltjes of een combinatie van beiden te produceren. Deze stoffen moeten ontsteken op het gewenste moment en de vereiste hitte of druk leveren in een zeer korte tijd. Inwerking van slechts een geringe hoeveelheid zeewater kan derhalve de werking al beïnvloeden. Langdurige inwerking van zeewater kan ertoe leiden dat de stoffen geheel niet meer tot uitwerking kunnen komen.

Veel verbindingen die als inleidspringstof gebruikt worden, zoals zwart buskruit, bevatten voor de werking essentiële, maar goed oplosbare ingrediënten. Deze verbindingen worden in zeer geringe hoeveelheden gebruikt. Doorgaans is de verhouding tussen het soortelijk oppervlak en het volume van deze stoffen hoog. Hierdoor tast de inwerking van zeewater de werking van deze stoffen sneller aan dan die van massievere goed geconsolideerde stoffen. Binnen enkele uren na binnendringing van zeewater komen door oplossing/uitloging dit soort stoffen niet meer tot uitwerking.

In het document worden in tabelvorm van een groot aantal explosieve stoffen de effecten van de inwerking van zeewater gepresenteerd. De verwachte levensduur in zeewater van veel gebruikte inleidspringstoffen varieert van circa 1 jaar tot 5 jaar. De verwachte levensduur van loodazide en loodstyfnaat bedraagt 5 jaar. Beide stoffen kunnen ook onder water worden geïnitieerd.

¹⁹ Picatinny Arsenal Technical Group Chemical Department, *Study on the action of Lead Azide on Copper*, Technical Report (21 februari 1942).

²⁰ Kroon, E. et al, *Analyse en advies met betrekking tot potentiële WOII blindgangers in de Zwolse wijk Holtenbroek (TNO 2012 R10104)* (7 juli 2012).

²¹ Schumacher, idem.

In het “Seawater corrosion handbook” wordt de invloed van zeewater op onbeschermde explosieve stoffen beschreven. In CE die op de zeebodem zijn achtergebleven, bevinden de explosieve stoffen zich in een ontsteker en/of het CE-lichaam. De explosieve stoffen in een CE zijn derhalve, afhankelijk van de constructie en integriteit van het CE en eventueel aanwezige afdichtingen, in meer of mindere mate beschermd tegen de invloed van zeewater. Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar deze leemte in kennis. De leemten in kennis en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 8.

Door TNO is onderzoek gedaan naar AT 26 ontstekers²². Dit is een ontsteker die werd toegepast op landmijnen. Het onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van het veelvuldig aantreffen van dit soort ontstekers langs de Oosterschelde, teneinde de risico's voor de bevolking te bepalen.

De ontstekers zijn afkomstig van een naoorlogse munitiedump. Het slagpijpje in deze ontsteker detoneert doordat bij initiatie door de wrijving een vlam ontstaat.

Het slagpijpje bestaat uit een kunststof huls waarin drie verschillende springstoffen zijn geperst: pentriet, loodazide en loodstyfnaat. Loodazide vormt de noodzakelijke schakel om het slagpijpje te laten functioneren. Het gaat bij hitte belasting snel over van verbranding naar detonatie. Loodstyfnaat is zeer vlamgevoelig en vergemakkelijkt de ontsteking van het loodazide. De loodazide initieert de pentriet, waardoor het CE waarop de ontsteker geplaatst is tot uitwerking komt.

De slagpijpjes zijn aan een verouderingsexperiment onderworpen. Hierbij zijn de ontstekers in een vat met zeewater geplaatst en onder druk bewaard. De druk kwam overeen met aanwezigheid van een waterkolom van circa 40 m. De ontstekers bleken na een verblijf van een half jaar onder water nog goed te functioneren. Hierop is een tweede verouderingstest uitgevoerd. De ontstekers zijn onderworpen aan een functioneringstest. Deze beperkte zich tot het functioneren van het slagpijpje. Getest werd of het slagpijpje met behulp van een *squib*²³ tot detonatie kon worden gebracht.

Bij het onderzoek werd een goed meetbare ontleding van het loodazide vastgesteld. Uit het onderzoek bleek dat na een verblijftijd van 2 tot 3 jaar in zeewater de slagpijpjes niet meer functioneerden. De kans op aanwezigheid van nog functionerende slagpijpjes in de munitiedump wordt in het onderzoek praktisch uitgesloten.

Het door TNO uitgevoerde onderzoek richtte zich op de invloed van zeewater op losse AT 26 ontstekers. In CE die op de zeebodem zijn achtergebleven, bevinden de explosieve stoffen zich in een ontsteker en/of het CE-lichaam. De explosieve stoffen in een CE zijn derhalve, afhankelijk van de constructie en integriteit van het CE en eventueel aanwezige afdichtingen, in meer of mindere mate beschermd tegen de invloed van zeewater. Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar deze leemte in kennis. De leemten in kennis en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 8.

5.2.2 Vertragingssas

Vertragingssassen werden veel toegepast in diverse soorten CE. Net als veel inleidspringstoffen hebben deze mengsels een hoge verhouding tussen het soortelijk oppervlak en het volume. Daarom zijn ze bijzonder gevoelig voor de inwerking van water. De stoffen werden gebruikt om de uitwerking van een CE na het moment van impact te vertragen. De ontbrandingssnelheid wordt al door invloed

²² Ham, N.H.A., *Onderzoek AT26 ontstekers* (15 juli 2003).

²³ Een ‘miniatur explosief’ dat bij functioneren een vuurstraal geeft.

van een geringe hoeveelheid water vertraagd. Doordat het water verdampt, wordt warmte onttrokken aan de verbranding.

5.2.3 Overdrachtsspringstoffen

Overdrachtsspringstoffen, gewoonlijk PETN²⁴, tetryl of RDX²⁵ worden in kleine hoeveelheden gebruikt om de uitwerking van de inleidspringstof te versterken en zo de hoofdlading te initiëren. Gewoonlijk is de ruimte in het CE waarin de overdrachtsspringstof is opgenomen (ontsteker) goed afgesloten en tegen de invloed van water beschermd door toepassing van afdichtingen. De verwachting is dat de overdrachtsspringstoffen gedurende lange tijd functioneel blijven.

Als het lichaam van het CE is bezweken en de overdrachtsspringstof wordt blootgesteld aan zeewater blijven sommige springstoffen (zoals RDX) lang in goede staat, terwijl andere stoffen (zoals ammoniumpikraat) goed oplosbaar zijn en daardoor snel degenereren.

5.2.4 Hoofdlading

De hoofdlading van de op de zeebodem achtergebleven CE bestaat veelal uit TNT of een mengsel van springstoffen, waaronder TNT met ammoniumnitraat, aluminium, etc. (zoals amatol en hexaniet). TNT is zeer stabiel. Veroudering kan optreden in de vorm van exudatie (uitzwetting). Dit proces begint echter bij temperaturen nabij het smeltpunt (bijvoorbeeld rond de 80°C voor TNT). In de omgeving waarin de CE zich bevinden worden deze temperaturen niet bereikt. Veroudering door uitzwetting kan derhalve worden uitgesloten.

Indien het CE-lichaam door corrosie of mechanische impact is bezweken, komt de hoofdlading in contact met zeewater. De oplosbaarheid van TNT is zeer beperkt en neemt bovendien snel af met een afname van de zuurtegraad (pH-waarde van zeewater is circa 8,5)²⁶. Hierdoor lost TNT langzamer op in zout water dan in zoet water²⁷. Vanwege de slechte oplosbaarheid weken bij een langdurige blootstelling aan water kleine vaste deeltjes los van de hoofdlading.

Degradatie van TNT kan optreden door fotolyse²⁸ (afbraakproces onder invloed van licht). Hiervoor is het noodzakelijk dat het CE-lichaam niet meer intact is, zodat licht tot de TNT kan doordringen. Door de invloed van licht wordt TNT afgebroken in diverse afbraakproducten (o.a. nitrobenzeen, benzaldehyde, nitrophenolen).

Tevens kan degradatie van TNT optreden door diverse biotische (organismen) en abiotische (omstandigheden) afbraakprocessen in en op de zeebodem²⁹. Degradatie verloopt sneller in zuurstofloze (begraven CE) omstandigheden dan in aerobe omstandigheden.

De meeste springstoffen zijn slecht oplosbaar in zeewater. Voor alle springstoffen die als hoofdlading zijn gebruikt, met uitzondering van amatol, geldt dat ze onder zeewater tot detonatie kunnen worden gebracht³⁰.

5.2.5 Metaalbrandbom

De Geallieerde- en Duitse luchtmacht hebben op grote schaal zogenaamde “metaalbrandbommen” ingezet. Dit zijn submunitie-artikelen die een lichaam hebben dat is samengesteld uit een mengsel

²⁴ Pentaerythritoltetranitraat.

²⁵ Cyclotrimethylenetrinitramine.

²⁶ Kyoung, S. et al, *Solubility of 2,4,6-Trinitrotoluene (TNT) in Water* (12 juli 1996).

²⁷ Brannon, J.M. et al, 'Comparison of environmental fate and transport process descriptors of explosives in saline and freshwater systems' in: *Marine Pollution Bulletin*, 2005:3.

²⁸ Pichte, J., 'Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review' (19 maart 2012) <https://www.hindawi.com/journals/aess/2012/617236/> (geraadpleegd op 21 augustus 2018).

²⁹ Pennington J.C., et al, 'Environmental fate of explosives' in: *Thermochimica Acta*, 384:1-2, (februari 2002).

³⁰ Schumacher, idem.

van aluminium en magnesium. Dit lichaam wordt met een aanvuurlading van thermiet ontstoken. De aanvuurlading wordt op zijn beurt met een schokontsteker via een vlamversterker gestart. De vlamversterker bestaat uit zwart buskruit. Zowel de vlamversterker, het thermiet als het lichaam zijn sterk onderhevig aan de invloeden van zeewater.

6 Uitwerkingsfactoren

Bij de detonatie van een met springstof gevuld CE komt in een zeer korte tijd een grote hoeveelheid energie vrij. De vrijgekomen energie uit zich in een deel thermische energie en een deel mechanische energie. De uitwerkingsverschijnselen van een detonatie zijn scherfwerking, gasdruk, schokgolf en hitte. De luchtdruk, schokgolf en scherfwerking kunnen een alom vernietigende uitwerking hebben op de omgeving van het detonatiepunt en schade en (dodelijk) letsel veroorzaken.

6.1 Scherfwerking

Scherfwerking ontstaat doordat bij een detonatie het stalen lichaam van het CE verscherft en door de drukwerking met een hoge snelheid wordt weggeblazen. Bij scherfwerking, ook wel fragmentatie genoemd, wordt onderscheid gemaakt tussen primaire scherven en secundaire scherven. Primaire scherven zijn afkomstig van het CE-lichaam. Secundaire scherven zijn afkomstig van materialen uit de directe omgeving van het detonatiepunt, zoals puin, transportbuizen en de hopperkop. Bij een detonatie onder water op, of in de waterbodem (zand) zal geen sprake zijn van secundaire scherfwerking. Indien een CE in de zuigketen detoneert kunnen wel secundaire scherven ontstaan (delen van zuigbuis, waaier, pomphuis). Analyse van de effecten van een detonatie in de zuigketen valt echter buiten de scope van dit rapport.

De uitwerking van primaire scherfwerking is afhankelijk van de waterdiepte en het Netto Explosief Gewicht (NEG) van het CE. TNO heeft onderzoek gedaan naar de effecten van onderwaterexplosies in ondiep water. De resultaten van dit onderzoek zijn gepresenteerd in het 'VOORSCHRIFT Opruimen en Ruimen van Explosieven'³¹. De minimale waterdiepten waarbij in geval van een detonatie geen "dodelijke" scherven (Dmin no lethal frags) of helemaal geen scherven boven water komen (Dmin no frags) kunnen worden bepaald met behulp van benaderingsformules op basis van TNT equivalent explosief gewicht ($W_{\text{exp TNT equiv}}$):

$$D_{\text{min no lethal frags}} = 1,14 \times (W_{\text{exp TNT equiv}})^{0,38}$$

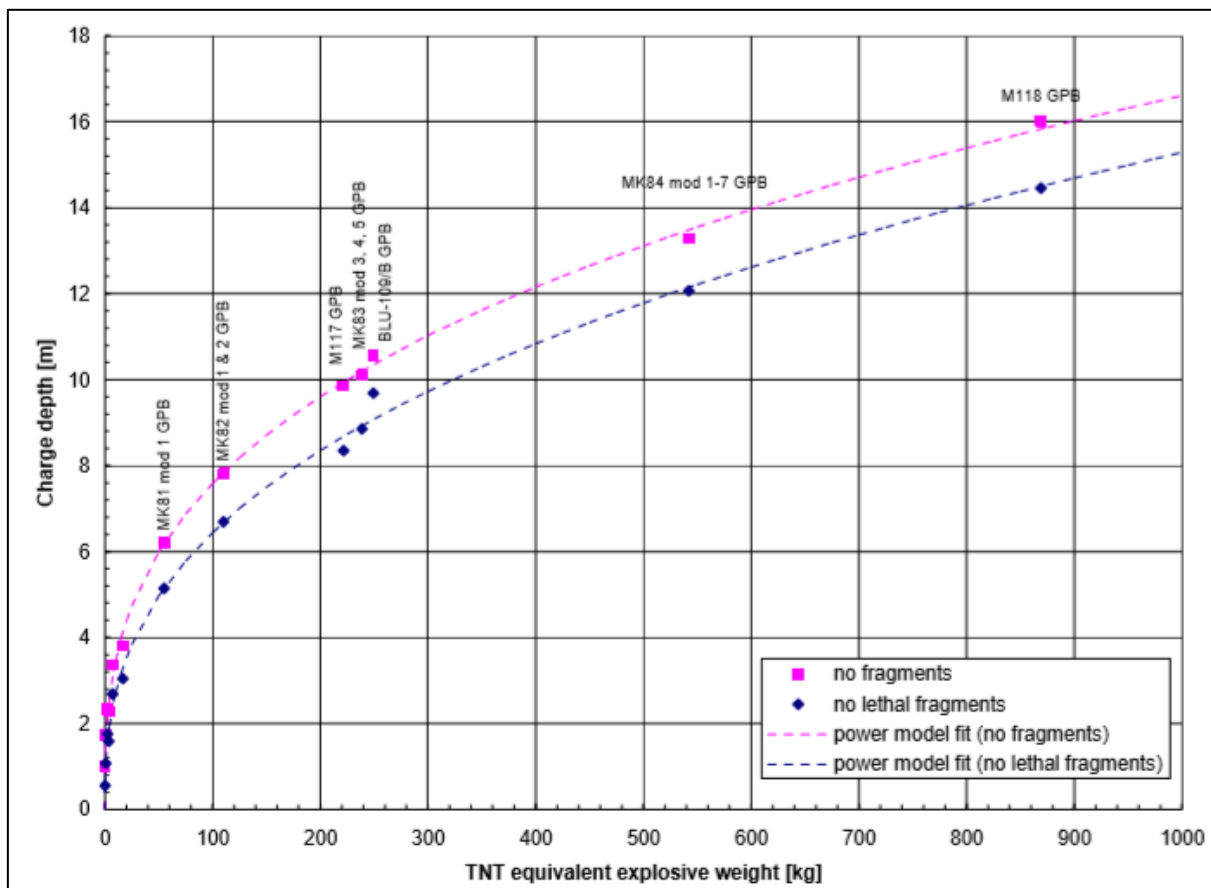
Vergelijking 1: Benaderingsformule ter bepaling van de minimale waterdiepte waarbij geen dodelijke scherven uittreden boven de waterspiegel (alleen ter informatie).

$$D_{\text{min no frags}} = 1,58 \times (W_{\text{exp TNT equiv}})^{0,34}$$

Vergelijking 2: Benaderingsformule ter bepaling van de minimale waterdiepte waarbij geen scherven uittreden boven de waterspiegel (alleen ter informatie).

In Figuur 20 zijn de resultaten van het uitgevoerde onderzoek gevisualiseerd voor CE met een explosieve inhoud tot 1.000 kg TNT equivalent gewicht. Uit de tabel blijkt dat bij een waterdiepte groter dan 18 m geen scherven boven de waterspiegel uittreden bij een detonatie op de waterbodem van CE met een TNT equivalent gewicht tot en met 1.000 kg. De weergegeven waarden zijn gebaseerd op een worst case benadering, waarbij is uitgegaan van speervormige fragmenten en een verticale fragmentbaan (loodrecht op de waterspiegel). Bij niet verticale fragmentbanen is de afgelegde weg van de fragmenten door de waterkolom groter. Tevens moet worden opgemerkt dat een explosieve inhoud van meer dan 250 kg TNT equivalent gewicht vrijwel uitsluitend voorkomt in onderwatermunitie. Een uitzondering wordt gevormd door 4.000 Lb afwerpmunitie. De lichamen van deze afwerpmunitie en onderwatermunitie zijn echter niet geconstrueerd om te fragmenteren. Hierdoor ontstaan bij een detonatie van onderwatermunitie geen speervormige scherven. De scherven van deze CE worden daarom bij een geringere waterkolom al voldoende afgeremd.

³¹ Koninklijke Landmacht, VS 9-861: VOORSCHRIFT Opruimen en Ruimen van Explosieven (29 september 2010). 73257/RO-180223 versie 1.0



Figuur 20: Minimale waterdiepte voor onderdrukken scherfwerking bij 0-1000 kg TNT³² (alleen ter informatie).

6.2 Gasdruk

Bij een detonatie onder water treden ten gevolge van de gasdruk zogenaamde gasbeleffecten op. Deze effecten treden op wanneer een CE direct onder, of net naast een schip detoneert. Door de detonatie ontstaat een gasbel. De gasbel bevat ongeveer de helft van de energie van de detonatie. Door de opwaartse druk stijgt de gasbel naar de oppervlakte. Als de luchtbel het wateroppervlak bereikt implodeert hij, waardoor een pijler van water ontstaat (het zogenaamde 'bubble jet effect'). Als de gasbel implodeert tegen de romp van het schip kan dit ernstige schade aan het schip veroorzaken. De imploderende bel vormt een hoogenergetische straal die een gat door het schip kan slaan. Hierdoor kunnen één of meer compartimenten overstroom en kan het schip zelfs breken.

Wanneer een detonatie plaatsvindt op korte afstand van de scheepswand kunnen additionele effecten optreden. De gassen die bij een detonatie ontstaan, zitten opgesloten in een gasbel die afwisselend groeit en krimpt (oscillatie), terwijl de bel opstijgt naar het wateroppervlak. De energie van de gasbel neemt af met een toename van het aantal oscillaties³³.

De maximale straal van de gasbel tijdens de eerste oscillatie kan worden uitgerekend met behulp van de in Vergelijking 3 weergegeven formule.

³² Koninklijke Landmacht, VS 9-861.

³³ Aanhold van, J.E. et al, *Effects of an explosion on a trailing suction head dredger* (20 februari 2018). Rapport wegens vertrouwelijkheid niet openbaar beschikbaar.

$$R_b = 3.4 \sqrt[3]{\frac{W}{d + 10}}$$

Vergelijking 3: Formule ter bepaling van de maximale gasbeldiameter tijdens de eerste oscillatie (alleen ter informatie).

In deze formule staat R_b voor de maximale straal van de gasbel gedurende de eerste oscillatie. d staat voor de diepte waarop de detonatie plaatsvindt. Bij de winning van zand op zee is dit gelijk aan de waterdiepte. W staat voor het ladinggewicht in TNT equivalenten.

De gasbel kan zich in de richting van de romp van het schip verplaatsen. Dit verergert de zogenaamde *whipping*, hetgeen kan leiden tot het bezwijken van het schip. Tevens kan op het minimum van de eerste oscillatie een hoogenergetische straal ontstaan. Deze kan een verwoestende uitwerking hebben op het schip. Deze effecten worden *close proximity underwater explosion effects* genoemd. De gevolgen van deze effecten op schepen kunnen worden ingeschat met behulp van de *Gas Bubble Proximity Parameter* (GBPP). Dit is een vuistregel voor het inschatten van gasbeleffecten op een schip.

Effecten worden verwacht als de GBPP aan de volgende voorwaarde voldoet.

$$GBPP = \frac{R_b}{R} \geq 0.33$$

Vergelijking 4: Formule ter bepaling van de GBPP (alleen ter informatie).

In deze formule staat R_b voor de maximale gasbelstraal. R staat voor de kleinste afstand van de lading tot de romp.

Bij een GBPP-waarde > 0.9 treedt naar alle waarschijnlijkheid ernstige whipping op en zal waarschijnlijk een hoogenergetische straal ontstaan.

Door TNO zijn de te verwachten gasbeleffecten voor diverse combinaties van waterdiepte, diepgang en ladinggewicht bepaald³⁴. Gebleken is dat *close proximity underwater explosions effects* waarschijnlijk optreden bij geringe waterdiepten (10 m) en voor enkele combinaties van een grote diepgang en een hoog TNT lading gewicht. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 5.

³⁴ Aanhold, idem.
73257/RO-180223 versie 1.0

Lading gewicht [kg TNT]	Waterdiepte 10 m		Waterdiepte 20 m		Waterdiepte 30 m	
	Diepgang		Diepgang		Diepgang	
	3,8 m	6,8 m	3,8 m	6,8 m	3,8 m	6,8 m
10	0,41	0,72	0,14	0,18	0,08	0,09
20	0,52	0,91	0,18	0,22	0,10	0,12
25	0,56	0,98	0,20	0,24	0,11	0,12
30	0,59	1,04	0,21	0,26	0,12	0,13
40	0,65	1,15	0,23	0,28	0,13	0,15
50	0,70	1,24	0,25	0,30	0,14	0,16
75	0,81	1,41	0,28	0,35	0,16	0,18
100	0,89	1,56	0,31	0,38	0,17	0,20
150	1,01	1,78	0,36	0,44	0,20	0,23
200	1,12	1,96	0,39	0,48	0,22	0,25

Tabel 5: Overzicht van GBPP-waarden voor de verschillende combinaties van factoren. Bij waarden boven 0,33 kunnen gasbeleffecten optreden. Deze waarden zijn weergegeven in rood. Bij waarden > 0,9 kan ernstige whipping optreden en een hoogenergetische straal ontstaan. Deze waarden zijn onderstreept (waarden alleen ter informatie).

De berekende effecten worden naar verwachting enigszins afgezwakt, omdat bij zandwinning met een sleephopper een eventuele detonatie op de zeebodem plaatsvindt. Hierdoor is het waarschijnlijk dat de gasbel aan de bodem blijft kleven. Tevens is het aannemelijk dat de gasbel zich deelt, waardoor maar één van de bellen het schip beïnvloedt. Een deel van de gasbel kan zich door de zuigbuis verplaatsen, waardoor tevens schade in de zuigketen kan ontstaan. In ondiep water kan een gasbel die aan de bodem blijft kleven overigens wel de scheepshuid raken, waardoor schade optreedt (afhankelijk van maximale gasbeldiameter R_b en waterdiepte d , zie Vergelijking 3).

6.3 Schokgolf

Bij detonatie onder water ontstaat een schokgolf, ook wel onderwaterschok genoemd. De schokgolf is een direct gevolg van de snelle expansie van de hete, gasvormige reactieproducten die worden gevormd tijdens de detonatie. Door de snel expanderende gasbel wordt druk uitgeoefend op het omringende water. Omdat water weinig samendrukbaar is, wordt het omringende water door de gasbel verdrongen. Er kunnen afhankelijk van de waterdiepte meerdere oscillaties plaatsvinden. Elke expansie veroorzaakt een schokgolf die zich in alle richtingen door het water verplaatst.

Omdat water weinig samendrukbaar is, zal de maximale druk van de initiële fase van de schokgolf veel hoger zijn dan wanneer deze plaatsvindt in grond of lucht. De piekdruk is echter korter. De schokgolf neemt in kracht af bij een toenemend aantal oscillaties tijdens het stijgen van de gasbel.

6.3.1 Hull Shock Factor

De grootte van de schokgolf is afhankelijk van de massa van de lading en de afstand tot het schip en wordt uitgedrukt in een zogenaamde *Hull Shock Factor* (HSF).³⁵

$$HSF = \frac{\sqrt{C_{bottom} W}}{R}$$

Vergelijking 5: Formule ter bepaling van de Hull Shock Factor (alleen ter informatie).

³⁵ Aanhold, idem.

In Vergelijking 5 staat W voor het ladinggewicht in TNT-equivalenten. R staat voor de kortste afstand tussen de lading en de scheepsromp. C staat voor de reflectiefactor van de bodem. Voor zandbodems kan een reflectiefactor van 1,3 worden aangenomen. De HSF kwantificeerde de schokgolf energie per oppervlakte-eenheid loodrecht op de verplaatsingsrichting van de schokgolf.

6.3.2 Equipment Shock Factor

Wanneer de schokgolf niet loodrecht op de scheepsromp aangrijpt wordt het effect van de schokgolf uitgedrukt in een zogenaamde *Equipment Shock Factor* (ESF).³⁶

$$ESF = HSF \frac{(1 + \cos \theta)}{2}$$

Vergelijking 6: Formule ter bepaling van de Equipment Shock Factor (alleen ter informatie).

In Vergelijking 6 staat θ voor de hoek tussen de inkomende schokgolf en de hoek loodrecht op de scheepsromp.

6.3.3 Schade aan huidbeplating

In opdracht van RWS is door TNO onderzoek verricht naar de te verwachten schade aan sleephopperzuigers ten gevolge van een detonatie³⁷. Als representatief voorbeeld voor een sleephopperzuiger is door Rijkswaterstaat de Strandway van Boskalis gekozen. Uit de studie³⁸ blijkt dat bij de Strandway falen van de huidbeplating ten gevolge van de schokgolf alleen optreedt bij geringe waterdiepten (10 m). Bij een diepgang van 3,8 m bezwijkt de huidbeplating bij ladinggewichten ≥ 20 kg. Bij een diepgang van 6,8 m treedt bezwijken van de huidbeplating alleen op bij ladinggewichten ≥ 75 kg.

De studie heeft zich uitsluitend gericht op de Strandway. De uitkomsten van de studie zijn niet zonder meer extrapoleerbaar naar andere schepen. Toepassing van andere schepen, met een andere constructie en/of configuratie, andere werkwijzen en/of andere typen zuigmonden zullen tot afwijkende resultaten leiden.

In een ten behoeve van het beveiligd baggeren van de Maas uitgevoerd onderzoek wordt aangegeven dat lekraken van een stalen vaartuig (ponton, sleepboot, binnenvaartschip of jacht) niet wordt verwacht bij een Hull Shock Factor van $0,3 \text{ kg}^{0.5}/\text{m}$ of lager³⁹. In het rapport worden de in onderstaande tabel weergegeven afstanden gegeven tot waarop lekraken van schepen wordt verwacht.

Lading gewicht [kg TNT]	Afstand Lekraken [m]
10	12,7
20	18,0
50	28,4
100	40,1
200	56,8

Tabel 6: Afstanden tot waarop ten gevolge van de schokgolf lekraken van schepen verwacht wordt (alleen ter informatie).

³⁶ Ibidem.

³⁷ Aanhold, idem.

³⁸ Aanhold, idem.

³⁹ Wees, R.M.M. van, *Beveiligd baggeren Maas, stuwpand Sambeek*, bijlage bij brief Bijlage bij brief 2012 EBP/180 (11 mei 2012).

De studie ten behoeve van het beveiligd baggeren van de Maas is gericht op de effecten op binnenvaartschepen, pontons en jachten. De resultaten zijn ter informatie. De uitkomsten van de studie zijn niet zonder meer extrapoleerbaar naar andere typen schepen en een andere omgeving.

6.3.4 Falen van boordapparatuur

Door de impact van de schokgolf kan schade ontstaan aan boordapparatuur. De schade die aan boordapparatuur kan ontstaan kan worden beoordeeld op basis van onderstaande indeling in schade klassen.

Schade klasse	Piekversnelling [g]	Te verwachten schade aan apparatuur
0	0-10	Geen schade.
1	10-20	Eerste schade aan elektronische apparatuur.
2	20-50	Eerste schade aan elektrische apparatuur. Uitgebreidere schade aan elektronische apparatuur.
3	50-100	Eerste schade aan zware machines. Toenemende schade aan elektronische en elektrische apparatuur.
4	100-500	Eerste schade aan lichte tot middelzware machines. Toenemende schade aan alle andere apparatuur.
5	>500	Schade aan apparatuur op grote schaal.

Tabel 7: Schade klassen voor schade aan materieel⁴⁰ (gebaseerd op Regoord R., Verende stoelen als bescherming van zittende bemanningsleden tegen de gevolgen van onderwaterexplosies, TNO-Nieuws, June 1972). Let op dit is slechts een grove inschatting (alleen ter informatie).

Uit de tabel blijkt dat de schade die kan optreden afhankelijk is van de piekversnellingen die optreden. In zijn algemeenheid neemt de schade toe bij een toename van de piekversnellingen.

De piekversnellingen nemen af met een toename van de waterdiepte en toe met een toename van de diepgang.

Uit het door TNO uitgevoerde onderzoek naar de effecten van detonaties op sleephopperzuigers⁴¹ is gebleken dat bij alle beoordeelde combinaties van factoren (ladinggewicht, waterdiepte en diepgang) schade aan boordapparatuur optreedt. Bij kleine lading gewichten (bijvoorbeeld 10 kg) blijft de schade beperkt tot de machinekamer en elektronica. Bij grotere lading gewichten (≥ 100 kg) treedt bijna overal op het schip schade aan apparatuur en machines op.

In een ten behoeve van het beveiligd baggeren van de Maas uitgevoerd onderzoek⁴² wordt aangegeven dat apparatuur aan boord onbeschadigd blijft bij een HSF van circa $0,02 \text{ kg}^{0.5}/\text{m}$ of lager. In het rapport worden de volgende afstanden gegeven waarop schade aan elektrische apparatuur wordt verwacht.

⁴⁰ Gebaseerd op Regoord R., 'Verende stoelen als bescherming van zittende bemanningsleden tegen de gevolgen van onderwaterexplosies' in: TNO-Nieuws (juni 1972).

⁴¹ Aanhold, idem.

⁴² Wees, R.M.M. van, Beveiligd baggeren Maas, stuwpand Sambeek, bijlage bij brief EBP/180 (11 mei 2012).

Lading gewicht [kg TNT]	Afstand schade apparatuur [m]
10	190,4
20	269,3
50	425,7
100	602,1
200	851,5

Tabel 8: Afstanden tot waarop ten gevolge van de schokgolf schade aan elektrische apparatuur verwacht wordt (alleen ter informatie).

De studie ten behoeve van het beveiligd baggeren van de Maas is gericht op de effecten op binnenvaartschepen, pontons en jachten. De resultaten zijn ter informatie. De uitkomsten van de studie zijn niet zonder meer extrapoleerbaar naar andere typen schepen en een andere omgeving.

6.3.5 Schade aan appendages

In opdracht van RWS is door TNO onderzoek verricht naar de te verwachten schade aan sleephopperzuigers ten gevolge van een detonatie⁴³. De resultaten van deze studie zijn door REASEuro samengevat en vertaald in mogelijk te treffen maatregelen om de optredende risico's te mitigeren⁴⁴. Uit genoemde rapporten blijkt dat zelfs als de romp intact blijft de machinekamer en/of pompkamer vol water kunnen lopen ten gevolge van het bezwijken van appendages (afdichtingen, kleppen en/of pijpen) bezwijken. Dit soort schade wordt verwacht bij versnellingen groter dan 100 g. In Tabel 9 wordt een overzicht gegeven van de ladinggewichten die bij verschillende waterdiepten en diepgangen van de sleehopper (leeg en gevuld) bij een detonatie op de waterbodem kunnen resulteren in versnellingen groter dan 100 g.

Diepgang [m]	Waterdiepte [m]	Lading gewicht [kg TNT]	
		Machinekamer ⁴⁵	Pompkamer
3,8	10	≥ 10 kg	-
	20	≥ 20 kg	200 kg
	30	≥ 50 kg	≥ 150 kg
6,8	10	≥ 10 kg	≥ 150 kg
	20	≥ 20 kg	200 kg
	30	≥ 40 kg	≥ 150 kg

Tabel 9: Overzicht van de combinaties van factoren die kunnen resulteren in het bezwijken van afdichtingen, kleppen en/of pijpen (alleen ter informatie).

De gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op de door TNO uitgevoerde studie die zich uitsluitend heeft gericht op de Strandway. De uitkomsten van de studie zijn niet zonder meer extrapoleerbaar naar andere schepen. Toepassing van andere schepen, met een andere constructie en/of configuratie, andere werkwijzen en/of andere typen zuigmonden zullen tot afwijkende resultaten leiden.

⁴³ Aanhold, idem.

⁴⁴ Berg, van den E., *Mogelijke maatregelen tegen de gevolgen van een detonatie bij de winning van suppletiezand* (8 maart 2018).

⁴⁵ De machinekamer huisvest de machines die nodig zijn voor de voortstuwing van het schip. De pompkamer huisvest de machines die nodig zijn voor het baggerproces.

6.4 Letsel van personeel

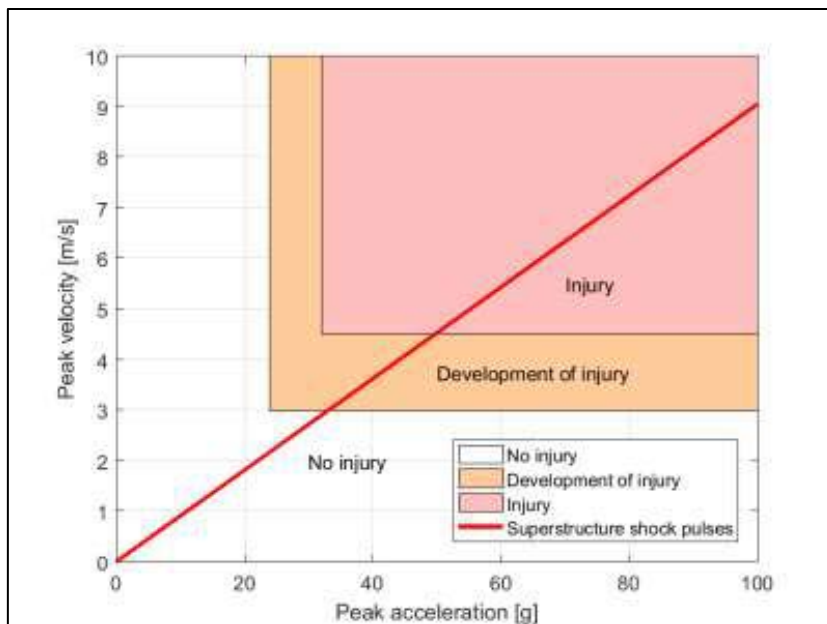
De schokgolf die optreedt bij een detonatie onder water veroorzaakt versnellingen, waarbij mogelijk letsel van personeel kan optreden.

Op basis van toegepast onderzoek⁴⁶ zijn door TNO de criteria voor letsel in termen van piekversnelling en pieksnelheid bepaald. In Figuur 21 is weergegeven bij welke waarden letsel wordt verwacht.

De limietwaarden voor letsel zijn als volgt gedefinieerd:

- Er wordt geen letsel verwacht bij piekversnellingen < 33 g in de bovenbouw van het schip.
- Letsel is waarschijnlijk bij piekversnellingen in de bovenbouw van het schip > 50 g.

In het door TNO uitgevoerde onderzoek naar de effecten van detonaties op sleepopperzuigers⁴⁷ zijn voor alle combinaties van factoren (ladinggewicht, waterdiepte en diepgang) de piekversnellingen bepaald. De berekende waarden zijn weergegeven in Tabel 10. De combinaties waarbij de beschreven limietwaarde kan worden overschreden zijn weergegeven in rood.



Figuur 21: Limietwaarden voor letsel aan bemanning in termen van piekversnelling en pieksnelheid van de schokpuls in de bovenbouw van het schip.

⁴⁶ Regoord, idem; *Report by the Norwegian Delegation on the effect of shock waves on the human organism*, NATO document AC/23 (CD/SH)D/62, 1967 (confidentieel).

⁴⁷ Aanhold, idem.

Lading gewicht [kg TNT]	Waterdiepte 10 m		Waterdiepte 20 m		Waterdiepte 30 m	
	Diepgang		Diepgang		Diepgang	
	3,8 m	6,8 m	3,8 m	6,8 m	3,8 m	6,8 m
10	4-12 g	3-13 g	3-7 g	4-8 g	3-4 g	3-5 g
20	5-17 g	5-18 g	5-10 g	5-12 g	4-6 g	4-7 g
25	6-19 g	5-21 g	5-11 g	6-13 g	4-7 g	5-8 g
30	6-21 g	6-23 g	6-12 g	6-14 g	5-8 g	5-9 g
40	7-24 g	7-26 g	7-14 g	7-17 g	5-9 g	6-10 g
50	8-27 g	8-29 g	8-16 g	8-19 g	6-10 g	7-11 g
75	10-33 g	9-36 g	9-20 g	10-23 g	7-12 g	8-14 g
100	11-38 g	11-41 g	11-23 g	11-26 g	9-14 g	9-16 g
150	14-47 g	13-51 g	13-28 g	14-32 g	10-17 g	11-20 g
200	16-54 g	15-58 g	15-32 g	16-37 g	12-20 g	13-23 g

Tabel 10: Overzicht van verwachte piekversnellingen in de bovenbouw van het schip voor de verschillende combinaties van factoren. Bij waarden boven 33 g letsel kan ontstaan. Deze waarden zijn weergegeven in rood. Bij waarden > 50 g is letsel waarschijnlijk. Deze waarden zijn onderstreept.

Uit de resultaten blijkt dat er alleen een risico op letsel bestaat bij combinaties van geringe waterdiepten en hoge TNT lading gewichten. Uit de tabel blijkt dat er grote variaties aanwezig zijn in de berekende piekversnellingen.

De lage waarden komen voor aan de achterkant van het schip aan bakboordzijde. De hoge waarden komen voor aan de voorzijde van het schip aan stuurboord, omdat deze zich het dichtst bij de sleepkop bevindt.

De gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op de door TNO uitgevoerde studie die zich uitsluitend heeft gericht op de Strandway. De uitkomsten van de studie zijn niet zonder meer extrapoleerbaar naar andere schepen. Toepassing van andere schepen, met een andere constructie en/of configuratie, andere werkwijzen en/of andere typen zuigmonden zullen tot afwijkende resultaten leiden.

6.5 Hitte

Bij de detonatie ontstaat een sterke temperatuuroptoe name. De hete gassen die ontstaan, veroorzaken een vuureffect bij contact met zuurstof in de lucht. Bij een detonatie onder water onttrekt het water warmte, waardoor geen vuur ontstaat. Deze uitwerking van een detonatie is derhalve niet relevant bij uitwerking op/in de zeebodem.

7 Analyse invloedsfactoren

In dit hoofdstuk is de analyse opgenomen van de invloedsfactoren die kunnen leiden tot activatie van de springstof en/of de op de verschillende hoofdgroepen CE geplaatste ontstekers.

7.1 Geschutmunitie

In geschutmunitie kunnen alle typen ontstekers voorkomen, met uitzondering van chemische tijdontstekers en hydrostatische ontstekers. De ontstekers kunnen in de loop der tijd zijn aangetast door corrosie. Vanwege de grote variëteit aan ontstekers kan geschutmunitie gevoelig zijn voor mechanische impact, beroering/beweging en versnellingen.

Afhankelijk van het type geschutmunitie en de wijze waarop de ontsteker is geplaatst, kan de ontsteker gevoelig zijn voor mechanische belasting. Door contact met de sleepkop kan de ontsteker worden gedeformeerd, waardoor deze tot uitwerking kan komen.

Deformatie van de springstof door de mechanische invloed van de sleepkop is gezien de solide constructie van de meeste brisante geschutmunitie en de goede staat waarin deze veelal verkeren niet waarschijnlijk. Geschutmunitie met een afwijkende inhoud (bijvoorbeeld fosfor) kan wel gevoelig zijn voor deformatie. Dit leidt op de waterbodem echter niet tot een detonatie of ontbranding.

In Tabel 11 is aangegeven welke invloedsfactoren kunnen leiden tot initiatie van geschutmunitie.

Werkingsprincipe ontsteker	MI	DO	DS	BE	V
Scheurdraad	+	+	-	-	-
Ophoudveer	+	+	-	+	+/-
Diafragma	+	+	-	+	+/-
Voorgespannen slagpinveer	+	+	-	+	+
Pyrotechnisch	+	+	-	-	-
Elektrisch	-	+	-	-	-

Tabel 11: Invloedsfactoren op geschutmunitie. Hierbij is MI = Mechanische impact, DO = Deformatie Ontsteker, DS = Deformatie Springstof, BE = Beweging, V = Versnellingen. + = invloed, - = geen invloed, +/- = niet uit te sluiten, maar onwaarschijnlijk.

7.2 Raketten

De ontstekers in gevechtskoppen van 60 Lb werken op basis van een ophoudveer. Deze ophoudveer moet worden blootgesteld aan een aanzienlijke impact wil de ontsteker worden geïnitieerd. De ontstekers kunnen in de loop der tijd zijn aangetast door corrosie.

De neusbuis is gevoelig voor mechanische belasting. Door contact met de sleepkop kan de ontsteker worden gedeformeerd, waardoor deze tot uitwerking kan komen.

De bodembuis bevindt zich in de achterzijde van het projectiel en is afgesloten met het verbindingsstuk (spigot) voor de raketmotor. Daarom is deformatie van deze ontsteker door mechanische invloeden minder waarschijnlijk.

Door (hard) toucheren van het CE met de sleepkop kan de weerstand van de ophoudveer worden overwonnen, waardoor deze tot uitwerking kan komen.

Deformatie van de springstof door de mechanische invloed van de sleepkop is gezien de solide constructie van een 60 Lb gevechtskop en de goede staat waarin deze nog steeds verkeren uit te sluiten.

In Tabel 12 is aangegeven welke invloedsfactoren kunnen leiden tot initiatie van raketten.

Werkingsprincipe ontsteker	MI	DO	DS	BE	V
Ophoudveer (bodembuis)	+/-	-	-	-	-
Ophoudveer (neusbuis)	+/-	+/-	-	-	-

Tabel 12: Invloedsfactoren op raketten (60 Lb gevechtsskoppen). Hierbij is

MI = Mechanische impact, DO = Deformatie Ontsteker,

DS = Deformatie Springstof, BE = Beweging, V = Versnellingen.

+ = invloed, - = geen invloed, +/- = niet uit te sluiten, maar onwaarschijnlijk.

7.3 Afwerpmunitie

Indien bommen gericht tegen oppervlakte-doelen op zee werden ingezet, werden tijdontstekers niet gebruikt. Deze ontstekers werden voornamelijk gebruikt in bommen voor aanvallen op landdoelen als vliegvelden en fabrieken.

Indien bommen boven zee zijn afgeworpen (zogenaamde 'jettison') door vliegtuigen deel uitmakende van aanvalsformaties met een doel op land, bestaat de kans dat wel tijdontstekers zijn geplaatst. In deze gevallen had de piloot de optie om de bommen in ongewapende of gewapende toestand af te werpen.

Er is een aantal ontstekers die op afwerpmunitie werden geplaatst die buiten het bomlichaam uitstaken. Deze ontstekers kunnen gevoelig zijn voor deformatie van de ontsteker door contact met de sleepkop. Uitstekende ontstekers kwamen van alle typen voor.

Door TNO⁴⁸ is vastgesteld dat ontstekers van het diafragma, ophoudveer en voorgespannen slagpinveer type gevoelig kunnen zijn voor trillingen. Indien deze ontstekers gevoelig zijn voor trillingen zijn deze tevens gevoelig voor beweging en mechanische impact op het CE-lichaam.

Deformatie van de springstof in het bomlichaam is gezien de solide constructie van een vliegtuigbom en de goede staat waarin deze nog steeds verkeren vrijwel uit te sluiten.

In Tabel 13 is aangegeven welke invloedsfactoren kunnen leiden tot initiatie van afwerpmunitie.

Werkingsprincipe ontsteker	MI	DO	DS	BE	V
Scheurdraad	+	+	-	-	-
Ophoudveer	+	+	-	+	+
Diafragma	+	+	-	+	+
Voorgespannen slagpinveer	+	+	-	+	+
Pyrotechnisch	+	+	-	-	-
Elektrisch	+	+	-	-	-

Tabel 13: Invloedsfactoren op afwerpmunitie. Hierbij is MI = Mechanische impact,

DO = Deformatie Ontsteker, DS = Deformatie Springstof, BE = Beweging,

V = Versnellingen. + = invloed, - = geen invloed, +/- = niet uit te sluiten,

maar onwaarschijnlijk.

7.4 Submunitie

De 4 Lb brandbom is vanwege de constructie en de gebruikte springstoffen en hoofdvlading erg gevoelig voor de inwerking van water. Initiatie van een 4 Lb brandbom op de waterbodem door contact met de sleepkop van een sleepopperzuiger kan worden uitgesloten.

⁴⁸ Kroon, idem.

De 30 Lb fosforrubber bom is vanwege de dunwandige constructie en de inwerking van corrosie op het lichaam gevoelig voor deformatie. Door contact met de sleepkop van een sleephopperzuiger kan het lichaam worden opengescheurd. Onder water zal dit geen effect opleveren maar boven water kan een fosfor besmetting wel spontaan gaan reageren. De schokontsteker op dit type bom is van het ophoudveer type.

Deformatie van de springstof in brisante submunitie is gezien de solide constructie en de goede staat waarin deze nog steeds verkeren vrijwel uit te sluiten. Submunitie is voorzien van schokontsteker van het ophoudveer, scheurdraad of diafragma type

In Tabel 14 is aangegeven welke invloedsfactoren kunnen leiden tot initiatie van submunitie

Werkingsprincipe ontsteker	MI	DO	DS	BE	V
Scheurdraad	+	+	-	-	-
Ophoudveer	+	+	-	+	+
Diafragma	+	+	-	+	+

Tabel 14: Invloedsfactoren op submunitie. Hierbij is MI = Mechanische impact, DO = Deformatie Ontsteker, DS = Deformatie Springstof, BE = Beweging, V = Versnellingen. + = invloed, - = geen invloed, +/- = niet uit te sluiten, maar onwaarschijnlijk..

7.5 Onderwatermunitie: grondmijnen

Binnen de categorie grondmijnen kan onderscheid worden gemaakt tussen contactmijnen en invloedmijnen. Bij de contactmijnen komen schakelhoorns voor als afvuurmechanisme.

Invloedmijnen werken op basis van magnetische, akoestische of hydrostatische invloeden veroorzaakt door het doelwit. Door het ontbreken van spanning in de batterij/accu zal reguliere ontsteking van de elektrische ontsteker in de hoofdlading door de invloedsontstekers niet plaatsvinden.

Grondmijnen kunnen zijn voorzien van specifieke antidemonteer of anti-lift ontstekers die parallel geschakeld zijn aan de reguliere ontstekers. Deze ontstekers zijn dan vaak gebaseerd op het voorgespannen slagpinveer principe.

Vanwege de constructie van met name de non-ferro grondmijn is het CE tevens gevoelig voor deformatie van de springstof en deformatie van de ontsteker.

In Tabel 15 is aangegeven welke invloedsfactoren kunnen leiden tot initiatie van een grondmijn.

Werkingsprincipe ontsteker	MI	DO	DS	BE	V
Voorgespannen slagpinveer	+	+	+	+	+
Elektrisch	+/-	+	+	-	-

Tabel 15: Invloedsfactoren grondmijnen. Hierbij is MI = Mechanische impact, DO = Deformatie Ontsteker, DS = Deformatie Springstof, BE = Beweging, V = Versnellingen. + = invloed, - = geen invloed, +/- = niet uit te sluiten, maar onwaarschijnlijk.

7.6 Onderwatermunitie: mijnen voor toepassing in de waterkolom

Binnen de categorie mijnen voor toepassing in de waterkolom kan onderscheid worden gemaakt tussen contactmijnen en invloedmijnen. Bij de contactmijnen komen schakelhoorns, chemische hertzhorns en pendule ontstekers voor als afvuurmechanisme.

De werking van de reguliere wijze van ontsteking van een contactmijn via het kantelen van een schakelhoorn is uit te sluiten. Door het ontbreken van spanning in de batterij/accu kan de elektrische ontsteker in de hoofdlading niet worden geïnitieerd.

Contactmijnen voorzien van een chemische hertzhoorn zijn niet afhankelijk van een batterij. De spanning wordt geleverd door de hertzhoorn zelf. De elektrische stroom die bij het breken van de glazen ampul in de ontsteker wordt gegenereerd, loopt via de inwendige bekabeling naar het centrale ontstekingsmechanisme. Als de mijn op de zeebodem ligt, betekent dit dat het mijnlichaam "lek" is waardoor deze is volgelopen met zeewater en naar de zeebodem is afgezonken. Het is algemeen bekend dat zoutwater een negatieve uitwerking heeft op elektrische bekabeling/systemen⁴⁹. Het is daarom aannemelijk dat de elektrische bedrading en afvuurmechanisme na decennia invloed van zeewater niet meer naar behoren functioneren, waardoor reguliere initiatie via een chemische hertzhoorn niet waarschijnlijk is. Dit valt echter nooit geheel uit te sluiten.

Mijnen die functioneren op basis van een voorgespannen slagpinveer (zoals pendule mijnen) kunnen zeer gevoelig zijn voor externe invloeden. Door mechanische impact, bewegen en trillingen kan de slagpin worden losgelaten, waardoor de ontsteker tot uitwerking komt en de mijn kan detoneren.

Hydrostatische ontstekers zijn voor hun werking veelal niet afhankelijk van een batterij. Dit soort ontstekers is voorzien van een voorgespannen slagpinveer en kan daarom gevoelig zijn voor mechanische impact, beroering/beweging en versnellingen.

Invloedmijnen werken op basis van magnetische, akoestische of hydrostatische invloeden veroorzaakt door het doelwit. Door het ontbreken van spanning in de batterij/accu zal reguliere ontsteking van de elektrische ontsteker in de hoofdlading door de invloedsontstekers niet plaatsvinden.

Mijnen voor toepassing in de waterkolom zijn vanwege hun dunwandige constructie en de inwerking van corrosie op het mijnlichaam gevoelig voor deformatie. Door contact met de sleepkop van een sleephopperzuiger kan het mijnlichaam en daarmee tevens de hoofdlading met de daarin geplaatste ontsteker worden vervormd. Dit kan leiden tot een detonatie van de mijn.

In Tabel 16 is aangegeven welke invloedsfactoren kunnen leiden tot initiatie van een mijn voor toepassing in de waterkolom.

Werkingsprincipe ontsteker	MI	DO	DS	BE	V
Voorgespannen slagpinveer	+	+	+	+	+
Elektrisch	+/-	+	+	-	-

Tabel 16: Invloedsfactoren op mijnen voor toepassing in de waterkolom. Hierbij is MI = Mechanische Impact, DO = Deformatie Ontsteker, DS = Deformatie Springstof, BE = Beweging, V = Versnellingen. + = invloed, - = geen invloed, +/- = niet uit te sluiten, maar onwaarschijnlijk.

7.7 Onderwatermunitie: torpedo's

De ontstekingsinrichting van torpedo's kunnen door de aanwezige voorgespannen slagpinveer zeer gevoelig zijn voor mechanische impact, beroering/beweging en versnellingen. Het activeren van de magnetische inductie-ontsteker zal door gebrek aan spanning niet mogelijk zijn. Bij de torpedo zal buiten de gevechtslading extra aandacht besteed moeten worden aan het voortstuwingsgedeelte.

⁴⁹ Schumacher, idem.
73257/RO-180223 versie 1.0

Het lekragen van het middengedeelte kan het vrijkomen van accuzuur, brandstof en andere middelen veroorzaken.

In Tabel 17 is aangegeven welke invloedsfactoren kunnen leiden tot initiatie van een torpedo.

Werkingsprincipe ontsteker	MI	DO	DS	BE	V
Voorgespannen slagpinveer	+	+	+	+	+
Elektrisch	+/-	+	+	-	-

Tabel 17: Invloedsfactoren op torpedo's. Hierbij is MI = Mechanische Impact, DO = Deformatie Ontsteker, DS = Deformatie Springstof, BE = Beweging, V = Versnellingen. + = invloed, - = geen invloed, +/- = niet uit te sluiten, maar onwaarschijnlijk.

7.8 Onderwatermunitie: dieptebommen

De dieptebom kan vanwege de aanwezige voorgespannen slagpinveer zeer gevoelig zijn voor mechanische impact, beroering/beweging en versnellingen. Ook door het liften van de dieptebom naar een geringere waterdiepte kan de ontsteker tot uitwerking komen.

Vanwege de constructie van een dieptebom is het CE tevens gevoelig voor deformatie van de springstof en deformatie van de ontsteker.

In Tabel 18 is aangegeven welke invloedsfactoren kunnen leiden tot initiatie van een dieptebom.

Werkingsprincipe ontsteker	MI	DO	DS	BE	V
Voorgespannen slagpinveer	+	+	+	+	+

Tabel 18: Invloedsfactoren op dieptebommen. Hierbij is MI = Mechanische impact, DO = Deformatie Ontsteker, DS = Deformatie Springstof, BE = Beweging, V = Versnellingen. + = invloed, - = geen invloed, +/- = niet uit te sluiten, maar onwaarschijnlijk.

8 Leemten in kennis en aanbevelingen

Uit dit informatiepakket-CE blijkt dat er diverse leemten in kennis zijn, in het bijzonder over de invloed van een langdurig verblijf van CE in zeewater. In dit hoofdstuk worden de leemten in kennis nogmaals benoemd. Tevens worden aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek gericht op het dichten van de vastgestelde leemten in kennis. De aanbevelingen voor nader onderzoek hebben betrekking op in opdracht van RWS uit te voeren onderzoek, ter completering van dit informatiepakket-CE.

8.1 Leemten in kennis

Op dit moment wordt onderzoek gedaan teneinde vast te stellen welk trillingsniveau binnen een op CE verdacht gebied aanvaardbaar is. Dit onderzoek richt zich op CE van de hoofdgroep afwerpmunitie die als blindganger zijn achtergebleven in landbodems en trillingen ontstaan ten gevolge van heil- en trilwerkzaamheden (tijdens bijvoorbeeld het plaatsen van damwanden en funderingspalen). Er wordt geen onderzoek gedaan naar de effecten van trillingen op CE die aanwezig zijn in/op de waterbodem. Ook de effecten van beweging van CE vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Er is weinig kennis over hoe corrosieprocessen in zeewater aanwezige CE aantasten. In 2015 is gericht onderzoek uitgevoerd naar de effecten van corrosie op gedumpte CE⁵⁰. Het doel was inzicht te krijgen in de diverse mechanismen van invloed op corrosie en het identificeren van de parameters die het voorspellend vermogen met betrekking tot het moment van bezwijken van een CE-lichaam vergroten.

Gebleken is dat weinig bekend is over corrosie van CE en degeneratie van de in CE opgenomen (spring-)stoffen ten gevolge van een langdurig verblijf in zeewater. De beschikbare onderzoeken richten zich op het gedrag van individuele componenten van CE en zijn daarom niet goed bruikbaar. De effecten op geassembleerde en tijdens oorlogsomstandigheden ingezette CE zijn vooralsnog niet bekend.

8.2 Aanbevelingen

Geadviseerd wordt (wetenschappelijk) onderzoek te doen naar de invloed van versnellingen en beweging op CE van de diverse in de zandwingebieden mogelijk achtergebleven hoofdgroepen CE. Het doel is onderbouwd vast te stellen of versnellingen en beweging kunnen leiden tot het ongewenst tot uitwerking komen van een CE van betreffende hoofdgroep en, indien kans op een detonatie bestaat, veilige limietwaarden vast te stellen.

Geadviseerd wordt (wetenschappelijk) onderzoek te verrichten naar de invloed van zeewater op corrosie van de lichamen van verschillende hoofdgroepen CE en degeneratie van de in deze CE opgenomen springstoffen. De doelstelling is onderbouwd een orde grootte inschatting te kunnen maken van de tijd waarbinnen een CE-lichaam bezwijkt ten gevolge van corrosie en de kans dat door de inwerking van zeewater de springstoffen in het CE door invloeden van buitenaf tot detonatie kunnen worden gebracht.

⁵⁰ Robert George et al., *Recovery, Corrosion Analysis, and Characteristics of Military Munitions from Ordnance Reef (HI-06)* (12 maart 2015).

BIJLAGE 1: Definities

Term	Definitie
Bewegen	Het veranderen van de stand van een CE op/in de waterbodem, waardoor onderdelen in de op de CE geplaatste ontsteker alsnog in beweging kunnen komen, waardoor het CE tot uitwerking komt. Een voorbeeld is het alsnog oplossen van celluloid plaatjes in een chemische vertraagde ontsteker, waardoor de voorgespannen slaggpinveer alsnog vrijkomt.
Blindganger	Een blindganger is een CE of wapen dat niet op het oorspronkelijk bedoelde moment heeft gefunctioneerd en daardoor niet tot uitwerking is gekomen.
Chemische lading	In dit rapport wordt met de term chemische lading een lading bedoeld die ten doel heeft rook, licht en/of brand te veroorzaken. In dit rapport wordt met de term niet bedoeld op een lading bestaande uit strijdgassen.
Conventioneel explosief	Elk explosief dat niet als geïmproviseerd, nucleair, biologisch of chemisch kan worden aangemerkt. Bij het opsporingsproces wordt aan CE gelijkgesteld en als zodanig behandeld: – CE die geen explosieve stoffen (meer) bevatten; – Restanten van CE die door leken als zodanig herkenbaar zijn; – Voorwerpen die door leken kunnen worden aangemerkt als CE; – Wapens of onderdelen daarvan.
Detonatie	Een detonatie is een explosie waarbij het reactiefront in het explosief zich sneller voortplant dan de geluidssnelheid in die stof. Hierdoor ontstaat een schokgolf.
Fosfor	Fosfor is een chemische stof die als vulling van CE wordt toegepast. Fosfor is een witte vaste stof met een karakteristieke geur. Fosfor ontbrandt spontaan bij contact met zuurstof uit de lucht.
Initiëren	Het in gang zetten van de explosieketen, waardoor het CE tot uitwerking komt.
Interbellum	De periode tussen de Eerste en de Tweede Wereldoorlog.
Kaliber	De aanduiding van de maatvoering van een CE. Dit kan zijn uitgedrukt in diameter (in mm, cm of inch) of gewicht (in kg of pond / Lb), eventueel aangevuld met speciale toevoegingen.
Non-ferro materiaal	Dit zijn materialen die geen ijzer bevatten (bijvoorbeeld hout, karton, etc.), of metalen die geen ijzer als hoofdbestanddeel hebben (bijvoorbeeld koper, lood, aluminium, zink, brons en messing).
Oscillatie	De gassen die bij een detonatie ontstaan zitten opgesloten in een gasbel die afwisselend groeit en krimpt, terwijl de bel opstijgt naar het wateroppervlak. Dit afwisselend groeien en krimpen wordt oscillatie genoemd.
Snagline	Een lijn met drijvers die bevestigd werd aan een CE teneinde de kans op activatie van het CE door het beoogde doelwit te vergroten.
Uitwerking	De verschijnselen die optreden indien een detonatie/activatie van een CE plaatsvindt. Mogelijke uitwerkingsverschijnselen zijn scherfwerking, gasdruk, schokgolf, hitte en rook.

Term	Definitie
Zandwingebied	Gebied waar in het kader van de Kustlijnzorg zand wordt gewonnen. De zandwingebieden zijn gelegen in de Noordzee tussen de doorgaande NAP -20m dieptelijn en landwaarts van de 12-mijlsgrens, buiten het kustfundament (bron: RWS, Programma Kustlijnzorg, Notitie Reikwijdte en Detailniveau Winning suppletiezand Noordzee 2018-2027, 30 mei 2016).