

ONGERUBRICEERD

Lange Kleiweg 137
2288 GJ Rijswijk
Postbus 45
2280 AA Rijswijk**TNO-rapport**

www.tno.nl

TNO 2015 R10074T +31 88 866 80 00
F +31 88 866 69 49**Inventarisatie van WOII vliegtuigbom
ontstekers in NL bodem**

Datum	15 Oktober 2015
Auteur(s)	Ir. E.J. Kroon Drs. N.H.A. van Ham Dr. R.H.B. Bouma
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	Luitenant kolonel C. (Kees) Bergman
Vastgesteld d.d.	15 Januari 2015
Titel	Ongerubriceerd
Managementuittreksel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Aantal pagina's	93 (incl. bijlage, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	4

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO. Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2015 TNO

ONGERUBRICEERD

Samenvatting

Het voorschrift opsporen en ruimen van explosieven, druk 2 [VS-9-861, 2010] van de EOD Defensie (EODD), geeft een richtlijn voor de veiligheidsafstand tussen constructiewerkzaamheden (heien, het slaan van een damwand) en een (mogelijke) blindganger. Deze richtlijn is gebaseerd op een rapport van de IFCO [Muller, 1990] waarin horizontale versnellingen van circa 1 m/s^2 als kritisch worden beschouwd. Omdat er in WOII veel verschillende typen ontstekers zijn toegepast, is het de vraag of en welke ontstekers bij een bepaalde versnelling functioneren. De verwachting is dat de trillingsgevoeligheid per type varieert en kan veranderen met de tijd als gevolg van veroudering.

In december 2012 heeft de Vereniging voor Explosieven Opsporing (VEO) het initiatief genomen tot overleg over dit onderwerp met de gemeente Rotterdam, gemeente Zwolle, Prorail en de EODD. De gemeente Rotterdam en de EODD zijn bereid gevonden een financiële bijdrage te leveren aan wetenschappelijk onderzoek, uit te voeren door TNO. Het doel is het borgen van een veilige werk- en gebruiksomgeving in en nabij Conventionele Explosieven (CE) verdacht gebied en een bijdrage te leveren aan de doelmatigheid van opsporing en ruiming. Met de resultaten uit dit onderzoek kan mogelijk, afhankelijk van het type ontsteker, de trillingsnorm worden verhoogd of verlaagd, respectievelijk leidend tot een grotere en kleinere veiligheidsafstand tussen constructiewerkzaamheden en bom.

Het onderzoek gaat over trillingen in de bodem die worden overgedragen op het bomlichaam en uiteindelijk inwerken op de ontsteker. Het onderzoek bestaat uit 2 fases met de volgende werkpakketten. Fase I levert:

- een inventarisatie van alle ontstekertypen en een inschatting van hun trillingsgevoeligheid;
- resultaten van veldmetingen hoe trillingen in de bodem zich voortplanten in/door een bomlichaam;
- de vaststelling hoe trillingen op een ontsteker gesimuleerd worden met behulp van een triltafel.

Fase II levert trillingscriteria per ontstekertype op basis van trillingsexperimenten op een triltafel.

Uitgesloten van het onderzoek is de zetting of verschuiving van de bodem die kunnen leiden tot het wijzigen van de positie van het bomlichaam en de mogelijke gevolgen daarvan.

Dit rapport beschrijft de inventarisatie en trillingsgevoeligheid van ontstekers in blindgangers die in de Nederlandse bodem worden aangetroffen als gevolg van het niet functioneren van het ontstekingsmechanisme na afworp.

Op basis van het werkingsmechanisme heeft TNO een inschatting gemaakt van de trillingsgevoeligheid van een serie ontstekers¹:

- de Duitse elektrische buizen zijn niet trillingsgevoelig omdat de batterij is uitgeput;

¹ Die naar voren zijn gekomen uit de inventarisatie in samenwerking met de EODD.

- de mechanisme veer-gebaseerde impactontsteker no36 wordt als niet trillingsgevoelig ingeschat omdat de activeringskracht hoog is en de eigenfrequentie buiten het overkoepelende frequentiebereik ligt voor constructiewerkzaamheden;
- de mechanisme veer-gebaseerde ontstekers:
 - M103/M163/M139 in delay stand;
 - M103/M163/M139 in super quick stand;
 - no28/no30;
 - no846;
 - M100/M101/M102
 worden ingeschat als mogelijk trillingsgevoelig (van boven naar onder oplopend in gevoeligheid op basis van activeringskracht en met eigenfrequenties binnen het overkoepelende bereik voor constructiewerkzaamheden waardoor resonantie en opslingering van de amplitude van de impact-ophoudveer combinatie mogelijk zijn);
- de diafragma gebaseerde mechanische ontstekers no 45, no873 en no44 worden als trillingsgevoelig ingeschat omdat de benodigde arbeid voor initiatie overeenkomt met mechanische veer-gebaseerde ontstekers;
- de chemisch lange vertraging ontstekers worden als zeer trillingsgevoelig ingeschat omdat het (plastic) celluloid plaatje dat de voorgespannen slagpin ophoudt, onderhevig is aan veroudering.

In samenwerking met de EODD is een inventarisatie uitgevoerd door middel van een zoekopdracht in de PLANON digitale database van het Ministerie van Defensie, een enquête onder (voormalig) EOD'ers en een gerichte lichting Uitvoering Opdrachten (UO's) op basis van bombardementen op steden en vliegvelden. Tevens is de (voormalig) EOD'ers gevraagd naar hun inschatting van de trillingsgevoeligheid van de ontstekers.

De meest voorkomende ontstekertypen uit deze inventarisatie zijn:

- de Amerikaanse (AN-) M100, 101, 102 serie staart impact buis;
- het Engelse no 30 staart impact pistool;
- de Amerikaanse AN-M103 neus impact buis;
- het Engelse no 37 staart pistool met chemisch lange vertraging & anti-demonteer inrichting.

De trillingsgevoeligheid van de impact ontstekers wordt door de geënquêteerden ingeschat als *niet tot mogelijk* en van de ontsteker met chemisch lange vertraging als *zeer gevoelig*.

De trillingsgevoeligheid van het ontstekingsmechanisme wordt bepaald door de gevoeligheid van de energetische materialen en de mechanische onderdelen.

Beide zijn onderhevig aan veroudering:

- *Veroudering van energetische materialen maakt deze ongevoeliger en de kans op correct functioneren van de ontsteker wordt kleiner, zeker na indringing van vocht. Dit geldt zowel voor pyrotechnische mengsels, Tetryl en zwart buskruit in Duitse elektrische ontstekers en Engelse en Amerikaanse impact buizen, als voor kwikfulminaat, loodazide en loodstfyfnaat in de detonatoren die werden toegepast in combinatie met Engelse pistool impact ontstekers. Correct functioneren van de ontsteker kan echter niet worden uitgesloten ook al zijn deze begraven geweest onder natte condities.*

Vocht kan mogelijk doordringen tot het loodazide in een ontsteker langs een verouderde of (door de inslag van de bom) beschadigde afdichting (seal of schroefdraad). Onder deze voorwaarde kan dit leiden tot de tijdelijke vorming van het zeer gevoelige koperazide. Deze instabiele verbinding wordt naar verwachting binnen een jaar omgezet naar minder gevoelige verbindingen. Tevens geldt dat de vlam dovende werking van vocht de energetische lading ongevoeliger maakt. Het is onwaarschijnlijk dat na 70 jaar de vorming van koperazide nog optreedt, maar indien dit gebeurt zal uiteindelijk de ontsteker ongevoeliger worden door veroudering.

- *De mechanische onderdelen van de ontstekers uit de inventarisatie worden niet gevoeliger door veroudering, met uitzondering van de celluloid disk in ontstekers met een chemisch lange vertraging.* Deze disk wordt zacht door chemische degradatie onder invloed van vocht of is onderhevig aan degradatie en verbrossing in droge condities als gevolg van inwendige materiaalspanningen. In beide gevallen verzwakt de disk door veroudering en wordt daardoor gevoeliger voor trillingen.

Externe expertise door NATO MSIAC onderschrijft de beschouwingen in dit rapport met betrekking tot:

- de werking van het ontstekingsmechanisme van ontstekers en de aanwezige energetische lading;
- de trilling ongevoeligheid van Duitse elektrische ontstekers;
- de trillingsgevoeligheid van de aan veroudering onderhevige celluloid disk in chemisch lang vertraagde ontstekers, die trillingsgevoeliger wordt met de tijd;
- de mogelijkheid dat ontstekeronderdelen nog in uitstekende conditie kunnen verkeren maar dat vocht mogelijk door de afdichtingsseal kan dringen.

En voegt toe dat een ingedrongen slagpin als meest risicovol wordt beschouwd. Dit wordt door TNO bevestigd voor ontstekers met een chemisch lange vertraging en een slagpin onder veerspanning. Voor mechanische ontstekers met een ophoudveer wordt de kans op initiatie bij het loskomen door trilling van een ingedrongen slagpin klein geschat. Maar omdat de slagpin in contact is met de initiatie lading kan de verandering in trillingsgevoeligheid voor mechanische ontstekers met een ophoudveer en ingedrongen slagpin niet worden beoordeeld relatief ten opzichte van een niet ingedrongen slagpin.

Externe expertise door [Lausch, 2015] onderschrijft de conclusies in dit rapport met betrekking tot:

- de trillingsgevoeligheid van de ontstekers die naar voren zijn gekomen uit de inventarisatie, met enkele uitzonderingen (zie paragraaf 5.2);
- het niet verouderen van de mechanische onderdelen;
- het minder gevoelig worden van energetische ladingen door degradatie;
- het gevoeliger worden van de celluloid disk in chemisch lange vertraging ontstekers.

[Lausch, 2015] stelt dat de slagpin van de Engelse pistool no30 kan zijn ingedrongen in het slaghoedje en dat de vorming van koperazide niet kan worden uitgesloten.

[Reilly, 2015] onderschrijft de conclusies in dit rapport met betrekking tot degradatie van de celluloid disk die inherent is aan het materiaal en die kan versnellen onder invloed van vocht.

[Reilly, 2015] voegt toe dat degradatie kan worden versneld door temperatuur fluctuaties (met bevriezing en ontdooiing) en de aanwezigheid van koper corrosie producten en de potentiële afwezigheid van additieven in het celluloid die degradatie tegengaan.

Op basis van de TNO inschatting van de trillingsgevoeligheid en de frequentie van aantreffen en de ingeschatte trillingsgevoeligheid volgend uit de inventarisatie, wordt geadviseerd de volgende mechanische impact ontstekers te onderzoeken naar trillingsgevoeligheid in het frequentiebereik van grondtrillingen als gevolg van constructiewerkzaamheden (5 – 40 Hz):

- Engels no30 impact staartpistool (representatief voor de no28);
- Amerikaans M100 staart impact buis (representatief voor de M101 en M102);
- Amerikaans AN-M103 in superquick stand (representatief voor de M139 en M163 en conservatief voor de delay stand van deze ontstekers);
- Engels no873 neus impact diafragma buis;
- Engels no846 neus impact buis;
- Amerikaans M106 staart impact buis;
- Amerikaans M112 staart buis impact.

Een studie wordt afgeraden naar de veroudering van de celluloid disks onder veerspanning in ontstekers met chemisch lange vertraging omdat een dergelijke studie te complex is als gevolg van de vele parameters voor veroudering.

Voor het meten van trillingen op de ontsteker als gevolg van trillingen door constructiewerkzaamheden, wordt geadviseerd om een bomlichaam zowel in verticale als in horizontale positie te testen. Dit zijn respectievelijk de meest en minst kritische conditie voor de werking van de zwaartekracht op de slagpin in een mechanische impact ontsteker met een ophoudveer.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	7
2	Ontstekingsmechanisme en trillingsgevoeligheid.....	10
2.1	Algemeen.....	10
2.2	Activeringskracht, weglengte en frequentie	15
2.3	Parameters voor trillingsgevoeligheid.....	19
2.4	Oriëntatie van het bomlichaam	22
3	Veroudering.....	24
3.1	Energetische materialen	24
3.2	Mechanische onderdelen	34
4	Inventarisatie.....	38
4.1	PLANON database	38
4.2	Enquête	39
4.3	Gerichte lichting UO's	40
4.4	Samenvatting aantallen en trillingsgevoeligheid	42
5	Externe expertise.....	44
5.1	NATO MSIAC	44
5.2	EOD Duitsland	46
5.3	Degradatie van celluloid disk in chemische lange vertraging ontstekers	48
6	Conclusies.....	50
7	Advies	53
8	Referenties	54
9	Ondertekening	58
	Bijlage(n)	
	A Resultaat zoekopdracht in PLANON database	
	B Respons op enquête	
	C Resultaat gerichte lichting UO's	
	D MSIAC rapport	

1 Inleiding

In juli 2012 heeft TNO een analyse en advies afgegeven aan de gemeente Zwolle met betrekking tot de mogelijke aanwezigheid en kans op detonatie van niet-ontploffte Tweede Wereldoorlog (WOII) 500 lb vliegtuigbommen (blindgangers) onder woonhuizen in de wijk Holtenbroek [Kroon & van Ham, 2012]. Geadviseerd werd om conform [Muller, 1990] een gebied met een straal van 50 m af te bakenen waarbinnen heiwerkzaamheden en het slaan van een damwand zijn verboden; bij gebrek aan relevante gegevens is dit de grens waarbij versnellingen kleiner worden dan de natuurlijke achtergrond trilling van 0.15 m/s^2 , dat wil zeggen, de trilling die onder normale gebruikscondities op het maaiveld wordt gemeten². [Muller, 1990] stelt tevens dat op 10 m vanaf de heipaal:

- horizontale versnellingen optreden van circa 1 m/s^2 bij een frequentie van 10 – 20 Hz waarbij voorwerpen met een wrijvingscoëfficiënt van 0.1 gaan schuiven;
- geen grondverschuivingen van betekenis worden verwacht.

Op bovenstaande stellingen van het Instituut voor Funderingscontrole (IFCO) [Muller, 1990] baseert [Huibers, 1990] de volgende richtlijn voor de Explosieven Opruimings Dienst (EOD):

- Heien op een afstand van minder dan 10 m van een mogelijke blindganger kan zeer wel mogelijk een detonatie van die blindganger veroorzaken;
- Het is onwaarschijnlijk dat heien op een afstand tussen de 10 en 50 m van een mogelijke blindganger een detonatie van die blindganger veroorzaakt;
- Het is praktisch onmogelijk dat heien op een afstand van meer dan 50 m van een mogelijke blindganger detonatie van die blindganger veroorzaakt³.

Deze richtlijn is overgenomen in het Voorschrift opsporen en ruimen van explosieven, druk 2 [VS-9-861, 2010] van de EOD Defensie (EODD) met deze toevoeging voor trein- en wegverkeer:

- Binnen 150 meter van het explosief kan een snelheidsrestrictie opgelegd worden aan trein- en wegverkeer, afhankelijk van type en toestand van de ontsteker (maximaal 8 km/uur).

Trillingen zijn niet relevant voor de energetische hoofdlading in WOII vliegtuigbommen. Deze is vaak gebaseerd op TNT, Compositie B (RDX/TNT) of Amatol (ammonium nitraat/TNT) en wordt via een “ontsteektrein” tot detonatie gebracht met een schok afkomstig van een explosieve versterker (booster) lading die geactiveerd wordt door een detonator, die geïnitieerd wordt door een ontstekingsmechanisme. De hoofdlading is ongevoelig voor trillingen door constructiewerkzaamheden omdat deze veel zwakker zijn dan een schok en dus niet krachtig genoeg voor initiatie⁴.

De versnelling en de wrijvingscoëfficiënt zijn wel relevant voor het begin van de ontsteektrein, het ontstekingsmechanisme in de bom.

² Gebaseerd op metingen te Schiphol-Oost in november 1989 [Muller, 1990].

³ Opvallend is de abrupte overgang in kans op detonatie van “zeer wel mogelijk” naar “onwaarschijnlijk” bij heien op een afstand rond de 10 meter van een mogelijke blindganger.

⁴ Ter illustratie: de acceleratie van een artillerie granaat in de loop van een houwtiser en de deceleratie van een vliegtuigbom bij inslag in de bodem zijn onvoldoende om de hoofdlading tot detonatie te brengen.

In WOII zijn er veel verschillende typen ontstekers toegepast en de verwachting is dat de trillingsgevoeligheid per type varieert. [Muller, 1990] merkt op dat het de IFCO, opererend als grondmechanisch adviesbureau, aan de kennis ontbreekt om een uitspraak te doen of het ontstekingsmechanisme bij een versnelling van circa 1 m/s^2 functioneert. Deze onzekerheid ondermijnt feitelijk de onderbouwing van de EODD richtlijn.

Het advies in [Kroon & van Ham, 2012] wijkt af van de EOD richtlijn; omdat de wetenschappelijke onderbouwing onzeker is kan TNO deze richtlijn niet onderschrijven.

[Bouma, 2012] stelt dat het onduidelijk is of alleen wrijvingscoëfficiënten > 0.1 van toepassing zijn op het ontstekingsmechaniek. Daarnaast is de versnelling waarbij de wrijvingskracht tussen twee mechanische onderdelen van een ontsteekmechanisme wordt overwonnen kleiner dan of gelijk aan de wrijvingscoëfficiënt maal de zwaartekrachtversnelling, vanwege de hoek ten opzichte van het aardoppervlak waaronder die twee onderdelen bewegen. [Bouma, 2012] concludeert dat men op voorhand niet kan uitsluiten dat versnellingen kleiner dan 1 m/s^2 kunnen leiden tot functioneren van de ontsteker. Dit geldt ook voor "grondverschuivingen van geen betekenis", omdat voor het functioneren van een ontsteker de relatieve verplaatsing van onderdelen binnen in de ontsteker bepalend zijn en niet zozeer de verplaatsing van het totale bomlichaam. Gebaseerd op [Muller, 2007], illustreert [Bouma, 2012] ook dat op 10 m afstand versnellingen bij heien en trillen groter kunnen zijn dan het criterium van 1 m/s^2 bij een maximale trillingsbeweging bij maximale frequentie en een maximale correctiefactor voor bodemvastheid en gewicht. Daarnaast geldt zowel voor de energetische stoffen als voor de mechanische onderdelen dat de trillingsgevoeligheid van een ontsteker door veroudering mogelijk kan veranderen met de tijd. Indien dit het geval is doet zich de vraag voor of een bepaald type ontsteker zelfs door natuurlijke achtergrondtrilling "spontaan" tot werking kan komen⁵.

[VEO Position paper, 2013] concludeert dat de afwijking tussen het TNO advies aan de gemeente Zwolle en de EOD richtlijn onduidelijkheid creëert over de te hanteren veiligheidsafstand bij trillingsveroorzakende activiteiten in de nabijheid van een Conventioneel Explosief (CE). Dit geldt voor lopende projecten maar ook voor de planning en uitvoering van nieuwe (ruimtelijke) ontwikkelingen in of nabij een CE verdacht gebied. Ook is er onduidelijkheid bij het plaatsen van een damwandkuip rondom een vermoede locatie van een CE zoals gebruikt wordt door opsporingsbedrijven voor het benaderen (blootleggen) van een CE. Het is al een jarenlange praktijk dat de damwandkuip doorgaans op een afstand van 3 m van de vermoede locatie van het CE wordt geplaatst. Daarbij kunnen trillingsniveaus optreden hoger dan 1 m/s^2 .

[VEO Position paper, 2013] stelt dat deze onduidelijkheid onwenselijk is. In december 2012 heeft de Vereniging voor Explosieven Opsporing (VEO) daarom het initiatief genomen tot overleg over dit onderwerp met de gemeente Rotterdam, gemeente Zwolle, Prorail en de EODD. De VEO heeft de gemeente Rotterdam en de EODD bereid gevonden een financiële bijdrage te leveren aan wetenschappelijk onderzoek door TNO.

⁵ Een spontane detonatie heeft plaatsgevonden in Wenen in 2008 volgens [Daily Mail, 2013].

Het doel van dit onderzoek is:

- het borgen van een veilige werk- en gebruiksomgeving in en nabij CE verdacht gebied;
- een bijdrage te leveren aan de doelmatigheid van opsporing en ruiming van CE.

Dit doel kan bereikt worden door wetenschappelijk onderzoek; met de resultaten uit dit onderzoek kan mogelijk, afhankelijk van het type ontsteker, de trillingsnorm zowel worden verhoogd als verlaagd (respectievelijk leidend tot een grotere en kleinere veiligheidsafstand). Kennis over de trillingsgevoeligheid van ontstekingsmechanismen levert ook kennis en informatie op die breder toepasbaar is, bijvoorbeeld voor het beoordelen van risico's in de projectgebonden risicoanalyse en voor de methode van het tijdelijk veiligstellen en ruimen van CE. Het totale onderzoek bestaat uit 2 fases met de volgende werkpakketten:

Fase 1

- Deel A
 - a. Een inventarisatie van alle ontstekertypen in blindgangers die in Nederlandse bodem worden aangetroffen;
 - b. Het maken van onderscheid tussen ontstekertypen die wel en niet trillingsgevoelig zijn, of worden na veroudering;
 - c. Verificatie van de bevindingen bij derden;
- Deel B
 - a. Een studie (en indien mogelijk experimenteel onderzoek) naar trillingen in de bodem tijdens het slaan van damwanden, heien en weg- en treinverkeer;
 - b. Bepalen hoe trillingen in de bodem zich voortplanten in/door een bomlichaam;
- Deel C
 - Vaststellen hoe trillingen gesimuleerd kunnen worden voor een ontsteker op een triltafel (shaker). Globaal vaststellen hoe het testprogramma van de tweede fase gedefinieerd is.

Fase 2

- Deel D:
 - Opstellen van een definitief testprotocol;
- Deel E:
 - Uitvoeren van trillingsexperimenten op de ontstekertypen die gevoelig zijn voor trillingen, en het afleiden van trillingscriteria voor ontsteking per type.

Dit rapport beschrijft Fase 1 deel A van het onderzoek.

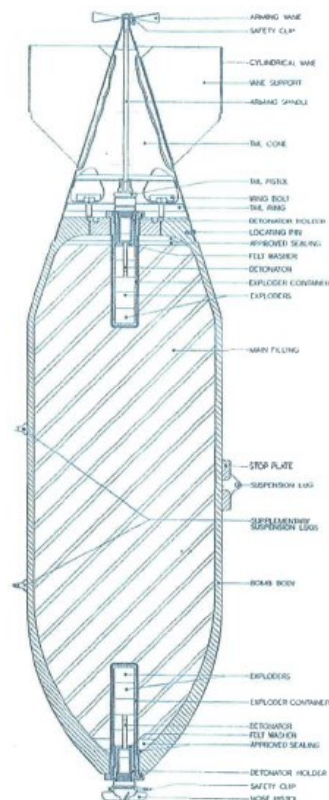
Hoofdstuk 2 beschrijft de werking van het ontstekingsmechanisme van een vliegtuigbom en analyseert de trillingsgevoeligheid. Hoofdstuk 3 beschrijft de veroudering van het ontstekingsmechanisme en de invloed op de trillingsgevoeligheid. Hoofdstuk 4 geeft een inventarisatie van de ontstekers die in Nederlandse bodem worden aangetroffen en hoe vaak. Een onderscheid wordt gemaakt tussen ontstekers die wel en niet als trillingsgevoelig worden ingeschat. In hoofdstuk 5 wordt externe expertise ingebracht ter verificatie van de bevindingen in de voorgaande hoofdstukken. Hoofdstuk 6 geeft de conclusies en hoofdstuk 7 geeft advies voor experimenteel werk.

2 Ontstekingsmechanisme en trillingsgevoeligheid

Dit hoofdstuk geeft een algemene beschrijving van het ontstekingsmechanisme in paragraaf 2.1 en een specifieke beschrijving van de activeringskracht, weglengte en frequentie van mechanische slagpin-ophoudveer ontstekers in paragraaf 2.2. De parameters voor trillingsgevoeligheid en de invloed van de oriëntatie van het bomlichaam worden beschreven in paragraaf 2.3 en 2.4.

2.1 Algemeen

Een vliegtuigbom bestaat voornamelijk uit een stalen mantel met een explosieve hoofdloading, zie Figuur 1. Bij een detonatie verscherft de mantel en worden met hoge snelheid fragmenten uitgeworpen, er ontstaat een drukgolf in lucht en een grondschok. De mate van fragment uitworp en de kracht van de drukgolf en grondschok worden bepaald door de penetratiediepte in de grond of het doel. De hoofdloading treedt in werking als laatste stap van de "ontsteektrein"; een stimulus (impact, luchtdruk of waterdruk) ontsteekt een kleine zeer gevoelige initiatielading (primer, detonator). Deze zet een vlam om in een detonatie die de minder gevoelige versterker- (booster, exploder) of overdrachtslading (relay) ontsteekt, die vervolgens de zeer ongevoelige hoofdloading (main filling) doet detoneren.



Figuur 1 Opbouw van een Britse 1000 lb Medium Capacity (MC) High Explosive (HE) vliegtuigbom met in de neus en staart: wapeningsvaantjes, pistool ontstekers, detonators en exploders voor initiatie van de hoofdloading [Andrews & Swan, 2011].

Ontstekingsmechanismen voor de activering van de initiatielading staan tijdens opslag, handling en (lucht)transport standaard in de veilige stand (safe position); een veiligheidspin (safety clip) voorkomt dat de slagpin (striker) kan inslaan op de detonator. Deze pin wordt mechanisch verwijderd met een wapeningsdraad (arming wire) op het moment dat de bom wordt gelost van het vliegtuig.

De ontsteker blijft in de veilige stand totdat een wapeningsvaantje of impeller (arming vane) als gevolg van luchtstroming een aantal omwentelen heeft gemaakt en de ontsteker op scherp zet; dit extra veiligheids-mechanisme zorgt ervoor dat de bom zich van het vliegtuig kan verwijderen voordat deze gewapend is en detonatie mogelijk wordt.

Rond de WOI werd naar ontstekers gerefereerd met het woord "fuse". Later Rond 1920 werd de term "fuze" gebruikt en werd er onderscheid gemaakt tussen pistoolontstekers (pistols) en buizen (fuzes) [Andrews & Swan, 2011]. Over het algemeen worden er in de Nederlandse bodem Engelse pistoolontstekers, Amerikaanse en Engelse buizen en Duitse elektrische buizen aangetroffen:

- Engelse pistoolontstekers of pistolen zijn mechanische ontstekers zonder energetische lading. Deze worden gecombineerd met een detonator met energetische initiatielading. Eerst wordt de detonator ingebracht en dan de pistoolontsteker in de bom geschroefd waarna deze klaar is voor gebruik. De veerspanning van een ophoudveer bewaart de afstand tussen de punt van de slagpin en de detonator ter voorkoming van voortijdige initiatie, bijvoorbeeld door trillingen als gevolg van turbulentie tijdens de val van de bom. Door de traagheidskrachten veroorzaakt door de inslag van de bom, overwint de slagpin de veerspanning en slaat in op de detonator. Voor een verhoogde uitwerking op het doel kan een mechanische, chemische of explosieve (pyrotechnische) vertraging worden ingebouwd, zodat de bom het doel penetreert voordat de hoofdloading wordt geïnitieerd;
- Engelse en Amerikaanse buizen werken, vergelijkbaar met pistoolontstekers, met een slagpin, maar bezitten een energetische initiatielading; de primer of detonator is feitelijk geïntegreerd in de ontsteker;
- Duitse buizen bezitten, in tegenstelling tot Engelse en Amerikaanse buizen, veelal een elektrische component (batterij) die de vertragingstijd bepaalt.

[Andrews & Swan, 2011] maakt een onderverdeling van de typen ontstekers naar de functie van de bom en het beoogde doel. Deze typen worden onderscheiden:

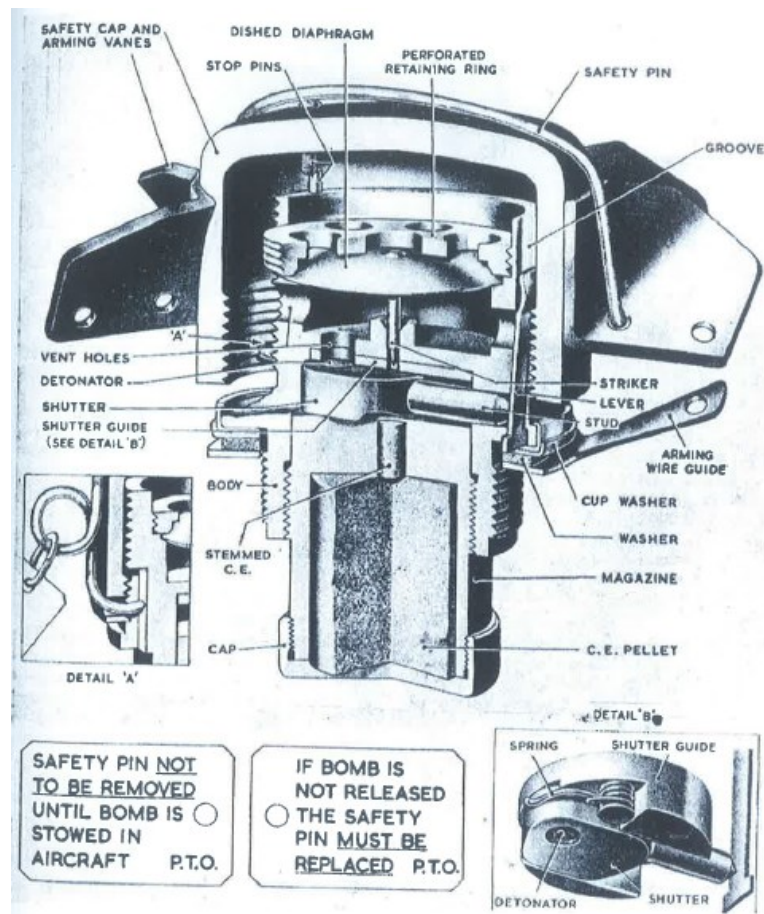
- Airburst ontstekers die de bom doen detoneren boven het doel met een drukgolf en fragmentatie tegen personeel en materieel. De vertragingstijd wordt bepaald door een drukverdeelpaat (diafragma) in de ontsteker die reageert op de drukgolf afkomstig van een andere bom die (eerder) in de nabijheid detoneert. De slagpin slaat in op de detonator als de druk op de verdeelpaat de kritische grens bereikt of door traagheidskrachten ten gevolge van inslag op het doel;
- Impact ontstekers die de bom (vrijwel) instantaan laten detoneren bij inslag of met een korte vertraging met een drukgolf en fragmentatie tegen personeel en materieel. Een slagpin overwint de spanning van de ophoudveer door de traagheids-krachten bij inslag van de bom. De vertragingstijd wordt doorgaans bepaald door het ontwerp van de detonator⁶. Door een korte vertragingstijd (bijvoorbeeld 25 ms) kan de bom voorafgaand aan een detonatie de grond penetreren ter optimalisering van de grondschok tegen infrastructuur.

⁶ Aambeeld (anvil plug) type ontstekers hebben een vertraging tot maximaal 11 s. Ontstekers van het gevoelige (sensitive) type hebben een vertraging tot maximaal 30 s [Andrews & Swan, 2011].

Een alternatief voor de slagpin met ophoudveer is de toepassing van een "shear-wire". De slagpin wordt tegengehouden door een draad die bij het bereiken van de kritische (traagheids)kracht afschuift, waarna de slagpin inslaat op de detonator;

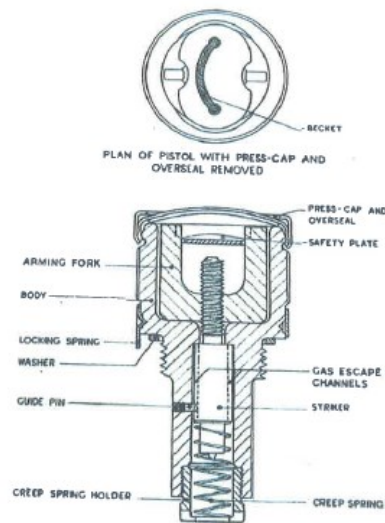
- Lange vertraging ontstekers voor gebiedsontzegging en langere tijd hinderen van operaties (bijvoorbeeld van een vliegveld). Een glazen ampul met aceton (of aceton-alcohol) wordt gebroken door een impeller als gevolg van luchtstroming of door een inwendige hamer als gevolg van traagheidskrachten bij inslag. Een celluloid (plastic) disk die een voorgespannen slagpin ophoudt, verweekt/lost op door de vrijgekomen aceton. Zodra de disk de veerspanning niet langer kan dragen slaat de slagpin in op de detonator. De vertragingstijd is afhankelijk van de dikte van de disk [OP 1664, 1947], de aceton concentratie⁷ en de temperatuur [TM 9-1325-200].

Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4 geven respectievelijk een voorbeeld van een Engelse airburst buis, een impact pistool en een pistool met chemisch lange vertraging.

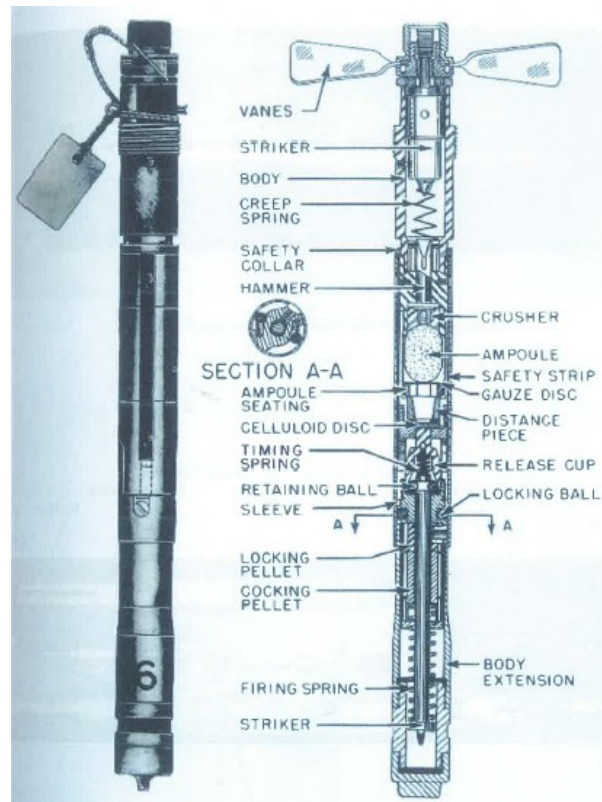


Figuur 2 Engelse airburst ontsteker No. 873 Mk.III; neus buis met impact diafragma [Andrews & Swan, 2011].

⁷ US Bomb Fuze M123 and M124: Functioning time is determined-for the 1, 2, 6 and 12 hour delays by varying the concentration of the alcohol-acetone solution, and for the 24, 26, 72 and 144 hour delays, by varying the thickness of the celluloid disc (the thickness increases as delays increase) [OP 1664, 1947].



Figuur 3 Engelse impact ontsteker No. 28 Mk.III; start pistool met slagpin en ophoudveer [Andrews & Swan, 2011].



Figuur 4 Engelse lange vertraging ontsteker No.17 Mk.II; start pistool met chemisch lange vertraging en anti-demonteer inrichting met behulp van kogeltjes (locking balls) die het onderste gedeelte van de ontsteker vastzetten in de bom [Andrews & Swan, 2011]⁸.

⁸ Omdat door een val de glazen ampul kon breken (waarna de ontsteker aan het eind van de vertragingstijd kon functioneren), moesten sommige chemisch lange vertraging pistolen na een val als gewapend worden beschouwd. Dit gold bijvoorbeeld voor de Engelse pistolen no. 17, no. 37 en no 53. Het Engelse pistool no. 73 had hiertegen een ingebouwde extra beveiliging (en een inspectieglasje voor het controleren van de ampul (alleen de Mk. 3)).

Voor detonatie van de bom boven de grond of op het doel worden ontstekers gebruikt in de neus van de bom. Als back-up kan de bom tevens worden voorzien van een staart ontsteker ter verkleining van de faalkans. Indien penetratie van het doel gewenst is wordt de bom alleen voorzien van een staart ontsteker vanwege de kans op falen van een neusontsteker door de inslag. Sommige ontstekers kunnen worden gecombineerd met een anti-demonteer (anti-withdrawal, zie Figuur 4) of een anti-handling inrichting⁹.

Falen van het ontstekingsmechanisme kan een aantal oorzaken hebben:

- Productie- of ontwerpfouten in de ontsteker;
- Menselijk falen (bijvoorbeeld het niet verwijderen van de veiligheidspin of verkeerde bevestiging van de wapeningsdraad);
- De bom is ongewapend omdat deze is afgeworpen in de veilige stand (bijvoorbeeld door een noodsituatie aan boord van het vliegtuig);
- De bom is deels gewapend:
 - Door het te vroeg raken van het doel. Dit kan optreden bij te lage afwerphoogte of te steile duikvlucht van het vliegtuig met een te hoge snelheid van de bom. In beide gevallen is de vluchttijd van de bom te kort voor het volledig scherpstellen van de ontsteektrein;
 - Door een slappe ondergrond of bij een verkeerde afwerphoek of te lage afwerphoogte (lage impact snelheid) zijn mogelijk de traagheidskrachten op de slagpin te laag om deze te laten functioneren;
 - Doordat het wapeningsvaantje te weinig omwentelingen heeft gemaakt door een verstoorde luchtstroom (bijvoorbeeld door tuimeling van de bom nadat deze een andere bom in de lucht geraakt heeft [Kroon & van Ham, 2012]);
 - Door een niet-optimale hoek van inslag als gevolg van een verkeerde afwerphoek of tuimeling van de bom, waardoor de slagpin de detonator niet of niet goed (in het midden) raakt¹⁰;
 - Door het niet of deels verweken/oplossen van de celluloid disk in chemisch lange vertraging ontstekers. Niet verweken/oplossen kan optreden indien de glazen ampul niet is gebroken (door de impeller en de inslag)¹¹. Deels verweken/oplossen kan optreden indien de bom na inslag met de neus omhoog eindigt waardoor de aceton niet of ten dele de disk heeft bereikt (bijvoorbeeld in de vorm van acetondamp). De celluloid disk heeft zijn originele sterkte behouden of nog voldoende reststerkte om de veerspanning te weerstaan. Figuur 5 geeft een voorbeeld van een ontsteker waarbij dit (of een vergelijkbaar) scenario zich heeft voorgedaan.

⁹ Een voorbeeld is de Engelse No. 845 neus buis. Deze bezit een elektrisch circuit dat door beweging wordt gesloten via een kwikschakelaar (Mercury tilt switch). Dit anti-handling systeem functioneert nu niet meer omdat 1.5V batterij die het circuit moet voeden na verloop van tijd is leeggelopen.

¹⁰ Navraag bij ongeveer 15 (voormalig) EODD'ers leert dat de slagpin gescheiden van de detonator (duplex plaatje) wordt aangetroffen. Grofweg geldt dat in 1/3 van de gedemonteerde ontstekers een deukje zichtbaar is in de percussie cap van de detonator welke duidt op een "poor strike" van de slagpin, in 1/3 van de gevallen er geen deukje zichtbaar is en in 1/3 van de gevallen de aanwezigheid van een deukje onbekend is.

¹¹ Navraag bij ongeveer 15 (voormalig) EODD'ers leert dat de glas ampul in het Engelse staartpistool no 37 met chemisch lange vertraging vaker intact wordt aangetroffen dan in gebroken toestand.



Figuur 5 Opengewerkte Engelse pistool 37 ontsteker met chemisch lange vertraging en anti-demonteer inrichting met een gebroken glas ampul en intacte celluloid disk.

2.2 Activeringskracht, weglengte en frequentie

De ontstekers in vliegtuig bomluchamen zijn veelal van het massa-veer impact type; onder traagheidskrachten beweegt de slagpin tegen de kracht van zijn ophoudveer in en wordt een voldoende grote weg afgelegd waardoor de slagpin een gevoelige energetische lading (primer of sas) bereikt en initieert.

De algemene bewegingsvergelijking voor een massa-veersysteem met demping wordt gegeven door:

$$F = -kz - c \frac{dz}{dt} = m \frac{d^2z}{dt^2} \quad (1)$$

met F de kracht, k de veerconstante, c de demping, m de massa, z de verplaatsing en t de tijd. Deze bewegingsvergelijking reduceert tot:

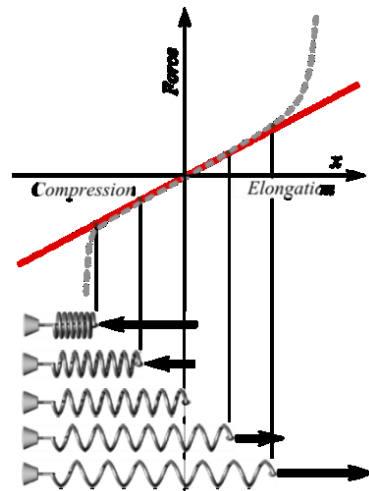
$$F = -kz = m \frac{d^2z}{dt^2} \quad (2)$$

voor een massaveer systeem met verwaarloosbare demping. Het werkingsprincipe van ontstekers is gebaseerd op massa-traagheid en demping is niet bepalend voor het ontwerp en wordt daarom verwacht zeer laag te zijn.

De benodigde kracht F_{act} , om het sas te activeren is gelijk aan:

$$F_{act}(N) = k_{veer} \left(\frac{N}{m} \right) \Delta z_{act}(m) \quad (3)$$

waarbij k_{veer} de veerconstante van de ophoudveer is, en Δz_{act} de afstand waarover de veer moet worden ingedrukt. Deze vergelijking staat bekend als de wet van Hooke, en de veerconstante is gelijk bij indrukking c.q. uitrekking, zie Figuur 6.



Figuur 6 Werking van een veersysteem.

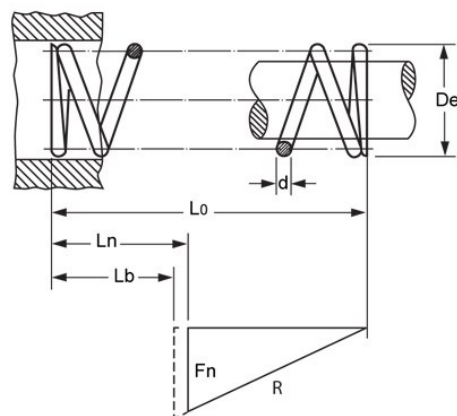
De gevoeligheid van ontstekers voor directe indrukking kan worden gerangschikt op basis van de benodigde kracht F_{act} ; hoe hoger de waarde, des te ongevoeliger de ontsteker. De waarde van F_{act} is echter niet bekend. Voor een veer met constante spoed, draaddikte en veerdiameter, is de veerconstante k_{veer} gelijk aan:

$$k_{veer} = G(Pa) \frac{d(m)^4}{8nD(m)^3} \tag{4}$$

met G de afschuifmodulus van het metaal, d de diameter van de draad, D de diameter van de veer, en n het aantal actieve windingen. Voor een compressieveer is de actieve weglengte Δz_{act} maximaal gelijk aan de initiële lengte L_0 van de veer minus de lengte van de veer waarbij alle windingen op elkaar liggen (en verdere indrukking onmogelijk is):

$$\Delta z_{act} \leq L_0(m) - nd \tag{5}$$

De lineaire opbouw van de kracht met indrukking van de veer, en de maximale compressie zijn schematisch weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7 Opbouw van de kracht met indrukking van de veer en de maximale compressie.

Onder de aanname dat alle veren van hetzelfde of vergelijkbaar materiaal zijn gemaakt, kan men de gevoeligheid van verschillende ontstekers rangschikken op basis van de volgende parameter:

$$\frac{F_{act}}{G} \leq \frac{(L_0 - nd)d^4}{8nD^3} \quad (6)$$

Deze parameter is slechts afhankelijk van de dimensionering van een compressieveer. Met name de nauwkeurige bepaling van de draaddiameter alsook de externe veerdiameter zijn van belang gegeven de vierde respectievelijk derde macht in bovenstaande vergelijking.

De algemene dominante frequenties ten gevolge van heien, trillen van damplanken en verkeer, zijn weergegeven in Tabel 1. Deze trillingen verplaatsen zich door de grond en kunnen een bomlichaam bereiken en deze in beweging zetten ook al is een bomlichaam star en zwaar. Zelfs wanneer de amplitude van de trilling in het bomlichaam klein is, kan de amplitude van de slagpin bij resonantie zelfs groter worden dan de amplitude van de bom. Deze situatie kan optreden wanneer:

1. de frequentie van de trilling in de grond vrijwel gelijk is aan de eigenfrequentie van het massa-veersysteem van slagpin en ophoudveer;
2. de demping van de massa-veersysteem verwaarloosbaar klein is (ondergedempte trilling);
3. de trilling in de grond meerdere tot vele trillingsperiodes beslaat.

Een mogelijke opslinging van de amplitude in de ontsteker betekent dat er een groter risico is dat de activeringsweglengte Δz_{act} wordt overschreden met initiatie van de sas of primer tot gevolg.

Tabel 1 Algemene dominante frequentie van trillingsbronnen en soort trilling [Muller, 2007].

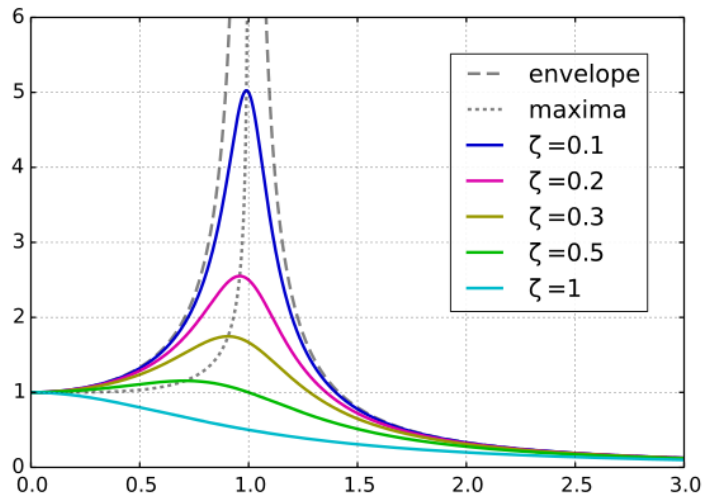
Trillingsbron	Soort trilling	Dominante frequentie [Hz]
heien van palen	herhaald kortdurend	5-25
hoogfrequent trillen van damplanken (vibrator 1800-2300 toeren/min)	continu	30-40
laagfrequent trillen van damplanken (vibrator 1200-1500 toeren/min)	continu	20-25
verkeer	herhaald kortdurend	5-20

De theorie van de harmonische oscillator in mechanische gedempte massa-veersystemen wordt in verschillende tekstboeken beschreven, zie voor een beknopte verhandeling bijvoorbeeld [Elert, 2007]. De eigenfrequentie f_0 van de slagpin in de mechanische ontsteker wordt gegeven door:

$$f_0(\text{hz}) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{veer}}{m_{striker}(\text{kg})}} \quad (7)$$

waarbij $m_{striker}$ niet alleen de slagpin is maar de volledige massa die door de ophoudveer wordt tegengehouden. Er zijn drie situaties te onderscheiden ten gevolge van de frequentie f van de trilling in het bomlichaam. Bij elk van deze situaties hoort een typische verhouding van amplitudes van slagpin en trilling in het bomlichaam, zie Figuur 8.

In deze figuur staat op de horizontale as de verhouding van de frequentie van de trilling in de grond en de eigenfrequentie van het slagpin-veersysteem. Op de verticale as staat de verhouding van de verplaatsing van de slagpin en het bomlichaam¹². In deze figuur wordt ook de mate van demping van de slagpin-veer combinatie weergegeven met de dempingsparameter $\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$ (met demping c , slagpin-massa m en veerconstante k). Hoe lager de demping, hoe lager ζ en hoe groter de verplaatsing van de slagpin bij een trilling nabij zijn eigenfrequentie.



Figuur 8 Verhouding van de verplaatsing van de slagpin en het bomlichaam (verticaal) versus de verhouding van de frequentie van de grondtrilling en de eigenfrequentie van de slagpin-veer combinatie, voor verschillende waarden van de dempingsparameter ζ .

De drie situaties zijn:

1. De eigenfrequentie van de slagpin-veer combinatie is (veel) groter dan de frequentie van de trilling in de grond: $f/f_0 \ll 1$ (geheel links in Figuur 8). De slagpin massa volgt in essentie de beweging van het bomlichaam. In deze situatie is de massa traagheid van de slagpin van ondergeschikt belang. De relatieve verplaatsing tussen bomlichaam en slagpin is ongeveer 0, een situatie die niet leidt tot initiatie van de ontsteker;
2. De eigenfrequentie van de slagpin-veer combinatie is ongeveer gelijk aan de frequentie van de trilling in de grond. De demping van de ontsteker is (zonder onderzoek) onbekend. Volgens Tabel 1 is het frequentie bereik van grondtrillingen 5 – 40 Hz. Wanneer de eigenfrequentie van de slagpin-veer combinatie in het bereik 2,5 tot 60 Hz ligt ($0,5 \leq f/f_0 \leq 1,5$ in Figuur 8) kan resonantie van de slagpin optreden met mogelijk initiatie tot gevolg. De eigenfrequentie van de slagpin-veer combinatie wordt bepaald door:

$$f_0 = \frac{1}{4\pi} d^2 \sqrt{\frac{(35 \text{ tot } 80) \cdot 10^9 \text{ Pa}}{2nD^3 m_{\text{striker}}}} \quad (8)$$

In deze vergelijking is een gemiddelde afschuifmodulusbereik weergegeven van brons, koper, nikkel, ijzer, staal¹³;

¹² De overdracht van de amplitude van de trilling in de grond naar die van het bomlichaam wordt bepaald in fase 1B van het project.

¹³ Zie bijvoorbeeld:

http://www.efunda.com/materials/common_matl/common_matl.cfm?MatlPhase=Solid&MatlProp=Mechanical

3. De eigenfrequentie van de slagpin-veer combinatie is (veel) kleiner dan de frequentie van de trilling in de grond: $f/f_0 \gg 1$ (geheel rechts in Figuur 8). De slagpin kan door zijn massa-traagheid de trilling van het bomlichaam niet volgen; de amplitude van de slagpin is diensgevolge bijna 0, en de relatieve verplaatsing van bomlichaam en niet-bewegende slagpin is de maat voor de initiatie van de ontsteker.
De rangschikking van de gevoeligheid wordt voor deze situatie bepaald door de parameter:

$$\Delta z_{act} \text{ of } L_0 - nd \tag{9}$$

Des te kleiner Δz_{act} , c.q. $L_0 - nd$, des te gevoeliger de ontsteker.

2.3 Parameters voor trillingsgevoeligheid

De parameters die de trillingsgevoeligheid van de mechanische impact ontstekers bepalen zijn weergegeven Tabel 2.

Tabel 2 Parameters bepalend voor de trillingsgevoeligheid van impact ontstekers.

	Parameter voor gevoeligheid	Opmerking
Activeringskracht <i>Directe impact</i>	$\frac{G\Delta z_{act}d^4}{8nD^3}$ of $\frac{G(L_0 - nd)d^4}{8nD^3}$	Een lagere waarde betekent grotere gevoeligheid
Activeringsweglengte <i>Ontsteker met zeer kleine eigenfrequentie</i>	Δz_{act} of $(L_0 - nd)$	Een lagere waarde betekent grotere gevoeligheid
Eigenfrequentie <i>In vergelijking tot typische frequenties trilling in de grond</i>	$2,5\text{Hz} \leq \frac{1}{4\pi}d^2\sqrt{\frac{(35 \text{ tot } 80) \cdot 10^9\text{Pa}}{2nD^3m_{striker}}} \leq 60\text{Hz}$	Gevaar voor resonantie van slagpin en initiatie van sas in ontsteker
Ontsteker met zeer grote eigenfrequentie	Geen initiatie	

De trillingsgevoeligheid is afgeschat van mechanische ontstekers van het massa-veersysteem type, die relatief veel worden aangetroffen in Nederlandse bodem (zie hoofdstuk 4). Voor de Engelse ontstekers zijn de figuren uit [Andrews & Swan, 2011] gebruikt. Deze figuren zijn geen ontwerptekeningen met maatvoering, maar doorsnede tekeningen, (3-dimensionale) schetsen en foto's. Bij elk type fuze of pistol worden basis data weergegeven waaronder "vane span", "maximum body diameter", en "overall length". Deze data zijn genomen als referentie, om veerlengte, diameter draad en veer, en het aantal actieve windingen uit de figuren af te schatten. Voor de Amerikaanse ontstekers is geput uit [TM 9-1325-200, 1966; AN-M100, 1944; AN-M103, 1944].

De geschatte kracht voor activering van mechanische ontstekingsmechanismen en de eigenfrequentie van deze ontstekers, zijn weergegeven in Tabel 3. Deze zijn respectievelijk gebaseerd op vergelijking (6) met Δz_{act} , c.q. $L_0 - nd$, en vergelijking (8) (conform Tabel 2).

De ontstekingsmechanismen zijn in deze tabel gerangschikt op basis van de geschatte kracht voor activering. Voor de interpretatie van de waarden zie de opmerkingen onder de tabel.

Tabel 3 De benodigde kracht voor activering van mechanische impact ontstekers en de eigenfrequentie van deze mechanismen, geschat op basis van dimensionering en (verwachte) materiaalkeuze (niet op basis van gemeten veerafmetingen en slagpin massa).

	F_{act} / N	f_0 / Hz
Engels no 45 neus pistool impact diafragma	≥63	
Engels no 873 neus buis impact diafragma	≥59	
Engels no 44 neus pistool impact diafragma	≥55	
Engels no 36 neus pistool impact	19-42	46-69
Amerikaans AN-M103 neus buis impact, delay	14-32	8-13
Amerikaans 163 serie neus buis impact, delay		
Amerikaans 139 serie neus buis impact, delay		
Amerikaans AN-M103 neus buis impact, super quick	3-7	8-13
Amerikaans 163 serie neus buis impact, super quick		
Amerikaans 139 serie neus buis impact, super quick		
Engels no 28 staart pistool impact	2-6	10-15
Engels no 30 staart pistool impact*		
Engels no 846 neus buis impact	1-3	9-14
Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	1-2	6-9

* Bepaald op basis van daadwerkelijk gemeten veerlengte L_0 en veerdiameter D , draaddiameter d en massa van de slagpin.

Belangrijke opmerkingen voor interpretatie van de waarden in Tabel 3 zijn:

- De waarden gelden voor mechanische impact ontstekers met ophoudveer en niet voor elektrische ontstekers, chemisch lange vertraging ontstekers of ontstekers met een "shear wire"¹⁴;
- Een en hetzelfde ontstekingsmechanisme kan met een zelfde massa veersysteem een verschillende kracht voor activering hebben. Bij de M103 bijvoorbeeld wordt door het "programmeren" van de buis in de delay-stand of in de super quick-stand een voorgespannen veer tijdens de wapeningscyclus tot een verschillende mate vrijgegeven. Een buis in delay-stand kent een additionele voorspanning die moet worden overwonnen. De M163 en de M139 zijn voor wat betreft het ontstekingsmechanisme identiek aan de M103;
- Het aantal windingen van de veer in de M103 in de datasheet uit 1944 [AN-M103, 1944] is gelijk aan 14. In de [TM 9-1325-200, 1966] van latere datum zijn slechts 9 actieve windingen zichtbaar. In combinatie met de geschatte draaddiameter van de veer, geeft dit een aanzienlijk verschil in zowel de verwachte activeringskracht als de eigenfrequentie. Omdat deze studie is gericht op bommen uit WWII is het aantal windingen gelijk genomen aan 14;
- De activeringskracht F_{act} van de ontstekingsmechanismen op basis van een diafragma mag niet worden vergeleken met de activeringskracht van een mechanisme op basis van een veer. Het verschil in werkingsmechanisme maakt een verantwoorde rangschikking tussen deze type ontstekers onmogelijk;

¹⁴ Zoals toegepast in de Engelse no 29 en no 42 neus impact pistolen en de Engelse no 38 MKII neus impact buis.

- De mechanische ontstekingsmechanismen van de no 44, no 45 en no 873, zijn gebaseerd op een diafragma, uitgevoerd als een dun gekromd metaalfolie. De dikte van een dergelijk membraan is heel klein en kan niet betrouwbaar uit de gebruikte referenties worden geschat. Een goede afleiding van de veerconstante en eigenfrequentie is daarom niet mogelijk. Echter, een inschatting kan worden gemaakt van de maximale druk waaraan het diafragma wordt blootgesteld tijdens zijn vrije val; een GP bom valt namelijk met een hoge snelheid die is begrensd door de geluidssnelheid. De bijbehorende stagnatiedruk is gelijk aan $1/2\rho_{lucht}c^2$ met ρ de dichtheid van lucht ca. 1.2 kg/m^3 , en geluidssnelheid c van ca. 340 m/s . Omdat een bom functioneel niet zal afgaan op de effecten ten gevolge van een vrije val in lucht, zal het ontstekingsmechanismen bestand zijn tegen de bijbehorende stagnatiedruk van 0.69 bar . Deze druk vermenigvuldigd met het blootgestelde oppervlak van het diafragma geeft een buis/pistool afhankelijke kracht die minimaal moet worden overwonnen. De marge ten opzichte van initiatie is niet bekend, maar deze krachten zijn relatief groot ten opzichte van de andere ontstekers. Echter uit de tekeningen van deze ontstekers is ook te zien dat de activeringsweglengte relatief klein is ten opzichte van de andere ontstekers (ongeveer 1 mm).

Een drietal diafragma gebaseerde mechanische ontstekingsmechanismen zijn beschouwd. De activeringskracht is groot en bedraagt meer dan 55 N (5.5 kg), de activeringsafstand is echter zeer klein. De benodigde arbeid voor initiatie (kracht x weg) is daarmee van de zelfde orde als die voor de slagpin-ophoudveer combinatie; grofweg is de kracht een factor 20 hoger en de weglengte een factor 20 lager.¹⁵

Een tiental veer-gebaseerde pistolen en buizen zijn beschouwd. Oplopend in gevoeligheid op basis van activeringskracht, zijn dit de no36, de M103/M163/M139 in delay stand, de M103/M163/M139 in super quick stand, de no28/no30, de no846 en de M100/M101/M102. Voor de laatste is de benodigde kracht slechts $1 - 2 \text{ N}$ ($100 - 200 \text{ gram}$).

De eigenfrequentie van de no36 ligt buiten het overkoepelende frequentiebereik van $5 - 40 \text{ Hz}$ ten gevolge van heien, trillen van damwanden en verkeer (Tabel 1). Het risico voor resonantie en opslingering in amplitude ten gevolge van grondtrilling is voor deze ontsteker vrijwel nihil. De eigenfrequenties van de overige ontstekers liggen binnen het overkoepelende bereik. Met name voor de no846, no28/no30 en de M103/163/139 geldt dat de eigenfrequentie midden in het typische bereik ligt voor grondtrillingen ten gevolge van heien en verkeer. Het risico voor resonantie en opslingering in amplitude ten gevolge van grondtrilling is naar verwachting voor deze ontstekers het grootst.

In welke mate de uitwijking van detonator of slagpin hoger dan wel substantieel hoger wordt (zie Figuur 8), hangt mede af van de demping c van de massa-veercombinatie. Deze demping is onbekend en dient experimenteel bepaald te worden. Voor deze analyse is daarom vooralsnog uitgegaan van een perfect massa-veersysteem dat sterk zal resoneren bij een trillingsbelasting nabij de eigenfrequentie.

¹⁵ Bijvoorbeeld: de activeringskracht en weglengte voor de no873 zijn circa 59 N en 1 mm versus circa 4 N en 18 mm voor de no30.

Met uitzondering van de Engelse no36, worden alle mechanische impact ontstekers in voorgaande analyse ingeschat als mogelijk trillingsgevoelig. Van de overige type ontstekers zoals beschreven in paragraaf 2.1, wordt gesteld dat:

- de Duitse elektrische buizen niet trillingsgevoelig zijn omdat de batterij is uitgeput;
- de chemisch lange vertraging ontstekers zeer trillingsgevoelig zijn omdat het (plastic) celluloid plaatje dat de voorgespannen slagpin ophoudt, onderhevig is aan veroudering (zie paragraaf 3.2).

2.4 Oriëntatie van het bomlichaam

Een complicerende factor in de beoordeling van de gevoeligheid van een ontsteker voor trillingen in de bodem is de oriëntatie van het bomlichaam in de grond. Afhankelijk van inslaghoek en inslagsnelheid, en ondervonden weerstand tijdens penetratie van de bodem, ligt de bom verticaal, onder een hoek met de neus naar beneden, horizontaal of zelfs met de neus omhoog na het volgen van een J-vormig pad. Het effect van de zwaartekracht op de indrukking van de veer is direct zichtbaar in Figuur 9. In horizontale positie zijn 3 vrije windingen van de veer zichtbaar, en in verticale positie slechts 1 vrije winding. Een deel van de benodigde kracht voor activering van de ontsteker wordt geleverd door de zwaartekracht en is gelijk aan

$$F_g = m_{striker} g \cos \varphi \quad (10)$$

met g de zwaartekrachtversnelling en φ de hoek tussen de lengte-as van de veer en de verticaal¹⁶.

De maximale bijdrage van de zwaartekracht ($\varphi=0^\circ$), is voor de no28/no30, no846, M100/M101/M102 en M103/139/M163, is aanzienlijk en bedraagt enkele tientallen procenten van de benodigde kracht voor activering F_{act} . Tevens geldt dat de activeringsweglente (ΔZ_{act} of $L_0 - nd$) significant korter is.

Dit betekent dat het meest kritische scenario wordt gevormd voor een ontsteker in een bomlichaam in een verticale oriëntatie met de neus naar beneden, die wordt onderworpen aan verticale trillingen. Een minder kritisch scenario wordt gevormd voor een bomlichaam in horizontale positie onderworpen aan horizontale trillingen. Het minst kritische scenario wordt gevormd voor een bomlichaam in een verticale oriëntatie met de neus naar boven, onderworpen aan verticale trillingen (waarbij de zwaartekracht tegen de activeringskracht inwerkt).

Voor testen in het veld waarbij trillingen op de ontsteker worden gemeten als gevolg van trillingen door constructiewerkzaamheden, verdient het meest kritische scenario de voorkeur omdat dit conservatieve waarden oplevert ten opzicht van de overige scenario's. Een alternatief is om zowel een bomlichaam in verticale als in horizontale positie te testen om te voorkomen dat te conservatieve waarden worden gegenereerd voor bomlichamen met een horizontale oriëntatie.

¹⁶ De zwaartekracht heeft geen invloed op de eigenfrequentie van het massa-veersysteem.



Figuur 9 Opengewerkt model van pistool no30 met verschil in indrukking van de veer afhankelijk van oriëntatie. In de foto links is de no30 in horizontale positie en in de foto rechts in verticale positie.

3 Veroudering

De trillingsgevoeligheid van niet ontplofte munitie wordt bepaald door de trillingsgevoeligheid van de energetische materialen en de mechanische onderdelen van het ontstekingsmechanisme¹⁷. Beide zijn potentieel onderhevig aan veroudering waardoor de trillingsgevoeligheid van het ontstekingsmechanisme kan veranderen met de tijd. De verandering van trillingsgevoeligheid door veroudering van energetische materialen en de mechanische onderdelen wordt respectievelijk behandeld in paragraaf 3.1 en 3.2.

3.1 Energetische materialen

De trillingsgevoeligheid van een ontsteker wordt bepaald door de (rest)gevoeligheid van de aanwezige energetische lading, die onderverdeeld wordt in de volgende materialen:

- Pyrotechnische mengsels (sassen);
- Kruit;
- Springstoffen:
 - primaire springstoffen zoals loodazide, loodstyfnaat en tetraceen;
 - secundaire en booster springstoffen als TNT, PETN (pentriet) en CE.

Al deze stoffen kunnen in principe detoneren, terwijl de gevoeligheid varieert van praktisch ongevoelig tot uiterst gevoelig voor stimuli van buiten af, zoals schok, trilling, wrijving en hitte. Voorbeelden van relatief ongevoelige energetische materialen zijn zwart buskruit en secundaire springstoffen. Voorbeelden van zeer gevoelige energetische materialen zijn primaire springstoffen en pyrotechnische mengsels zoals kaliumchloraat/rode fosfor en kaliumchloraat/antimoon sulfide.

Voor trillingen moet onderscheid gemaakt worden tussen trillingen die direct inwerken op de energetische lading, en die inwerken op het werkingsmechanisme van de ontsteker (bijvoorbeeld de slagpin die door trillen in contact komt met de energetische lading). Het trillen van de energetische lading zelf, kan deze niet tot ontsteking brengen; een dergelijke gevoelige lading zou het gebruik ervan in ontstekers onmogelijk maken (omdat bijvoorbeeld handling en transport niet meer mogelijk zijn).

Sommige pyrotechnische stoffen zijn zeer stabiel en hebben een goede houdbaarheid (zoals zwart buskruit: $\text{KNO}_3/\text{S/C}$). Over het algemeen is de houdbaarheid van pyrotechnische mengsels beperkt tot 20 à 30 jaar.

Kruit is ook aan veroudering onderhevig door het auto katalytisch uiteenvallen van de moleculen; er geldt een levensduur van gemiddeld 30 jaar.

Secundaire springstoffen hebben een grote stabiliteit en kunnen gemakkelijk honderden jaren overleven zonder noemenswaardige ontleding te ondergaan. De primaire springstoffen zijn minder stabiel en kunnen ontleden, vaak onder invloed van water(damp).

¹⁷ De hoofdloading van WOII vliegtuigbommen is ongevoelig voor trillingen door constructiewerkzaamheden (zie hoofdstuk 1).

De gebruikte energetische lading verschilt per type ontsteker. Ontstekers kunnen grofweg worden onderverdeeld in Duitse (voornamelijk) elektrische ontstekers, Engelse en Amerikaanse buizen en Engelse mechanische pistolen:

- De elektrische ontstekers bevatten soms kleine hoeveelheden pyrotechnische mengsels die weinig gevoelig zijn voor trillingen. Door veroudering, zeker na indringing van vocht, neemt de gevoeligheid af met de tijd;
- In Engelse buizen kunnen springstoffen en pyrotechnische mengsels voorkomen [Andrews & Swan, 2011]:
 - Composition Exploding (C.E.) of Tetryl, als vaste stof of in korrels;
 - TNT (Trotyl);
 - Zwart buskruit korrels.

De secundaire springstoffen (CE, Tetryl en TNT) zijn relatief ongevoelig voor trillingen en worden niet gevoeliger door veroudering. Zwart buskruit is ook relatief ongevoelig voor trillingen en wordt ongevoeliger door veroudering;

- De Engelse pistool ontstekers hebben geen energetische lading maar worden gecombineerd met detonatoren. Deze worden onderverdeeld in:
 - Wrijvingsdetonatoren gevuld met kwikfulminaat (fulminate of mercury), soms in combinatie met antimoon sulfide en kalium chloraat;
 - Percussie detonatoren van het aambeeld (anvil) type met een botte striker (pre 1938 - 1940) of van het gevoelige (sensitive) type met een scherpe striker (post 1938 – 1949) [Andrews & Swan, 2011]¹⁸. Beide hebben een slaghoedje (percussion cap) gevuld met kwikfulminaat of het ASA mengsel bestaande uit een combinatie van loodazide (LA) en loodtrinitroresorcinaat, ook wel loodstyfnaat (LS) genoemd, soms aangevuld met aluminium poeder.

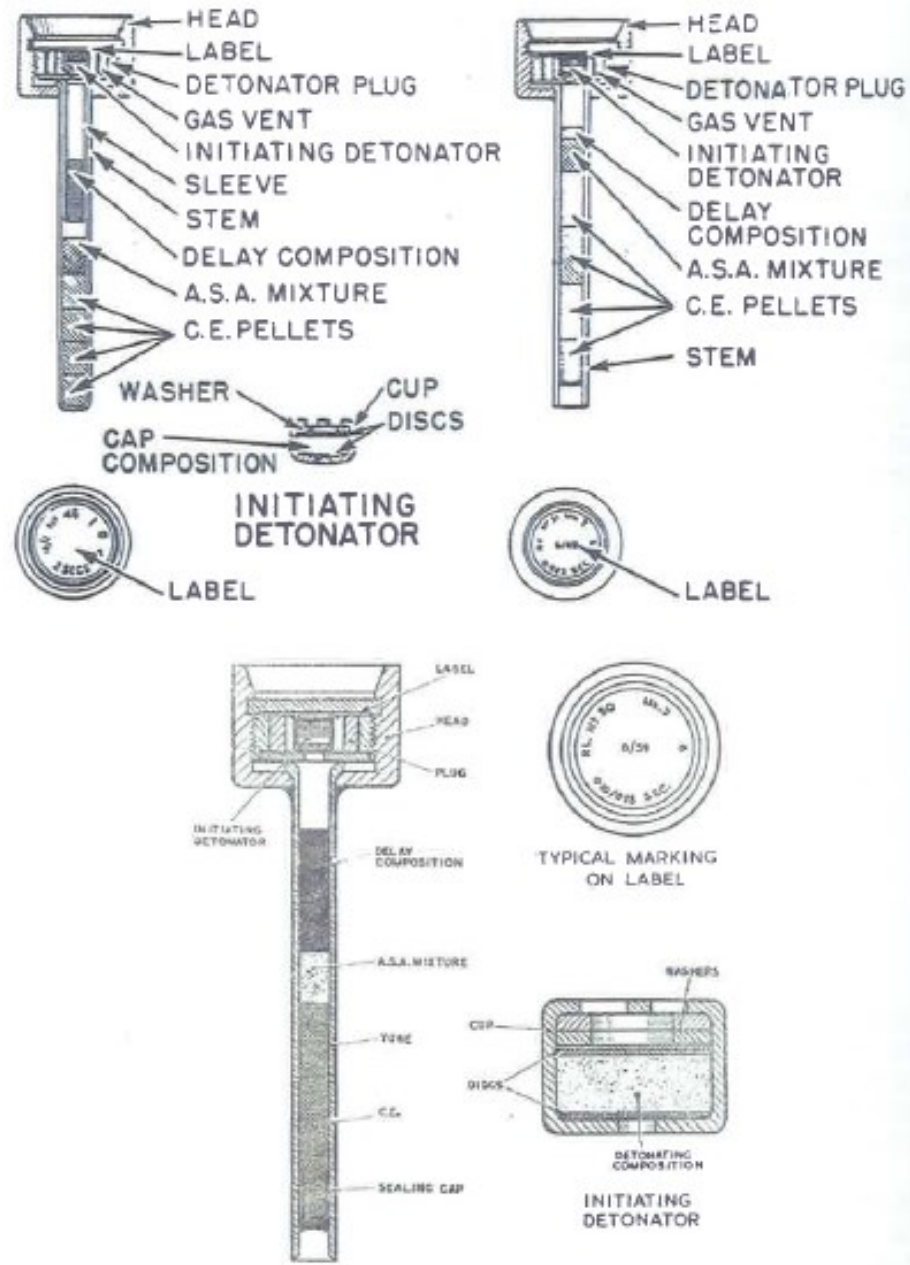
Onder de initiërende lading in het slaghoedje zit de (minder gevoelige) detonerende lading (Detonating Composition) bestaande uit C.E. (korrels). In het geval van een vertraging zit er tussen het slaghoedje en de detonerende lading nog een vertraginglading (Delay Composition), zwart buskruit (in het geval van het aambeeld type) en het ASA mengsel, zie Figuur 10¹⁹.

In bovenstaande analyse wordt voor de Engelse buizen en pistool ontstekers gerefereerd aan Engelse documentatie. Uit [US EOD Manual, datum onbekend] en [Duits EOD Handboek, datum onbekend] blijkt dat dezelfde of vergelijkbare energetische materialen werden gebruikt in Amerikaanse buizen. In eerstgenoemde referentie wordt melding gemaakt van zwart buskruit als delay element en loodazide als relay (overdracht) element (en voornamelijk Tetryl en RDX, maar ook granulair TNT en PETN als booster lading). In laatstgenoemde referentie wordt voor de Amerikaanse M103 neus impact buis melding gemaakt van Schwarzpulver (zwart buskruit) als vertragingselement en Bleiazid (loodazide) als overdrachts-lading. Het Sprengkapsel/Duplexkapsel (slaghoedje) wordt aangezet door de vuurstraal van de overdrachtslading of door impact van een naald. Het slaghoedje is gemaakt van aluminium en gevuld met (1) een 0,03 g wrijvingsas bestaande uit Bleiazid (loodazide), Schwefelantimon (zwavelantimon) en Bleichlorat (kaliumchloraat) en (2) een initiaallading met 0,15 g Bleiazid en (3) een detonerende lading met 0,15 g graphitertes Tetryl.

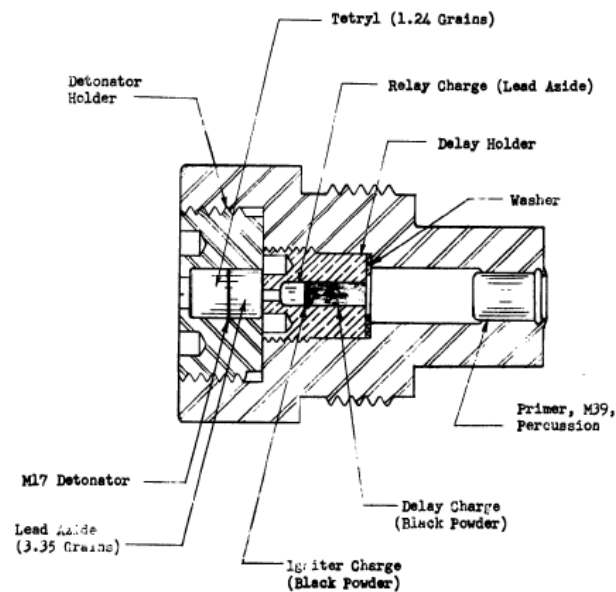
¹⁸ In [Duits EOD Handboek, datum onbekend] wordt vermeld dat het percentage blindgangers met gevoelige type detonatoren aanzienlijk lager is dan met anvil type detonatoren.

¹⁹ In [Duits EOD Handboek, datum onbekend] wordt de initiërende lading (Initialladung) beschreven als: Knallsatz met 80% Knallquecksilber (kwikfulminaat) en 20% Kaliumchlorat of als Trizinat, Azid und Aluminiumpulver (ASA mengsel). De vertraginglading (Verzögerungssatz) wordt beschreven met Schwarzpulver (zwart buskruit) of als Blei – Dinitroresorcinaat en Graphit. De detonerende lading (Unterladung) met Tetryl.

Figuur 11 toont de Amerikaanse M14 primer detonator. Deze ontsteker werd gebruikt in combinatie met de M100 staart impact buis [Higgins, 1961]. De hiervoor beschreven energetische materialen werden gebruikt. De tevens aanwezige M39 percussion primer was gebaseerd op 37% Potassium Chlorate (Kalium Chloraat), 8,7% Barium Nitrate (Barium Nitraat), 38,1% Lead Thiocyanate (Lood Rhodanide) en 5,7% TNT. 10,5% powdered glass (glas poeder) werd toegevoegd om de mix gevoeliger te maken [Ellern, 1968].



Figuur 10 Detonators (sensitive type), met initiërende energetische lading in de detonator kop (slaghoedje), en vertraginglading, initiërende (overdracht) lading en detonerende lading in de detonator stam.



Figuur 11 US M14 primer detonator [Higgins, 1961].

Het M39 primer mengsel bestaat uit kristallijne vaste stoffen, die bij normale druk en temperatuur alleen met elkaar kunnen reageren op die locaties van de kristallen die contact maken met de kristallen van de andere stoffen. Snelle reacties zoals explosieve reacties zijn alleen mogelijk als een van de samenstellende stoffen ontleedt, waarna de ontledingsproducten op het oppervlak van de andere kristallen een vervolgreactie kunnen starten. Een maat voor het gemak waarmee stoffen ontleden wordt gegeven door de ontledingstemperatuur. Hoe hoger deze temperatuur, des te stabielere de stof zich gedraagt.

De chemische stabiliteit van dit mengsel wordt bepaald door de stabiliteit van de vijf componenten. Van deze stoffen kunnen we het glaspoeder buiten beschouwing laten; dit dient alleen om de wrijvings-gevoeligheid te vergroten. Het TNT is een zeer stabiele verbinding die bij kamertemperatuur en omgevingsdruk niet gemakkelijk met andere stoffen zal reageren. Bariumnitraat is een zuurstofdonor die vrij stabiel is, de stof begint pas tegen de 600°C te ontleden. Kaliumchloraat is een zeer reactieve zuurstofdonor, die bij 400°C ontleedt. Daarom zal kaliumchloraat gemakkelijker zijn zuurstof afstaan vergeleken met bariumnitraat. Mengsels van kaliumchloraat met reducerende stoffen (die zuurstof van andere stoffen afnemen) kunnen explosief reageren. Lood rhodanide, beter bekend onder de naam lood thiocyanide is een sterk reducerende stof die bij 190°C ontleedt. De stof is uitermate reactief en daardoor weinig stabiel. De combinatie van kaliumchloraat en lood rhodanide levert een zeer gevoelig explosief mengsel op. De grote reactiviteit betekent ook dat het mengsel geen lange houdbaarheid kan bezitten. Naar verwachting zal de betrouwbare functionering na een paar jaren niet meer zijn gegarandeerd. Dit mengsel lijkt typisch een product uit de oorlogsindustrie; met andere woorden alleen geschikt voor onmiddellijk gebruik. Uit het voorgaande blijkt dat door veroudering van deze primer de gevoeligheid voor trillingen afneemt omdat de kans op functioneren afneemt; zoals ook blijkt uit de functioneringstesten beschreven in [Higgins, 1961].

De zeer gevoelige primaire (initiaal) springstoffen kwikfulminaat, loodazide en loodstijfnaat worden beschreven in de volgende paragrafen.

3.1.1 *Kwikfulminaat*

Kwikfulminaat $\text{Hg}(\text{CNO})_2$ is voor het eerst gebruikt door Alfred Nobel voor de betrouwbare detonatie van nitroglycerine patronen voor de mijnbouw. Kwikfulminaat is een weinig stabiele verbinding die bij verhoogde temperatuur ontleedt. De levensduur van kwikfulminaat zal onder normale omstandigheden zelden meer dan 20 jaar bedragen. Dit betekent dat het risico van accidentele reacties van deze stof na een periode van 70 jaar verwaarloosbaar klein zal zijn. De instabiliteit wordt veroorzaakt door de CNO groep die makkelijk uit elkaar valt; als er ongeveer 50% is ontleed kan er geen explosieve reactie meer optreden.

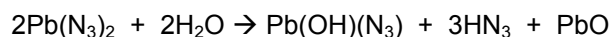
Het gebruik van kwikfulminaat beperkt zich thans tot jachtpatronen; die hebben een levensduur van 10 jaar. Het gebruik in ontstekers voor munitie is sinds de tweede wereldoorlog helemaal gestopt, daar de levensduur van munitie normaliter 30 jaar moet zijn. In verband met de geringe thermische stabiliteit zijn reeds voor WOII initiaal springstoffen met verbeterde thermische stabiliteit ingevoerd zoals loodazide en loodstyfnaat.

Op basis van de voorgaande beschouwing wordt gesteld dat ontstekers met kwikfulminaat als initiërende lading door veroudering met de tijd minder gevoelig of ongevoelig worden voor trillingen.

3.1.2 *Loodazide en loodstyfnaat*

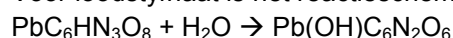
Vanwege de verbeterde thermische stabiliteit zijn loodazide ($\text{Pb}(\text{N}_3)_2$) en loodstyfnaat ($\text{PbC}_6\text{HN}_3\text{O}_8$) ingevoerd ter vervanging van kwikfulminaat. Deze stoffen zijn echter wel gevoelig voor water (damp) daar deze verbindingen in contact met water (H_2O) een irreversibele reactie vertonen.

Voor loodazide is het reactieschema:



Loodoxide (PbO) is niet explosief. Basisch loodazide $\text{Pb}(\text{OH})(\text{N}_3)$ heeft nog explosieve eigenschappen maar is minder gevoelig dan loodazide. Uiteindelijk zal ook het basisch loodazide met water verder reageren tot loodhydroxide ($\text{Pb}(\text{OH})_2$) en loodoxide (PbO) [Lamnevik, 1966]. Waterstofazide (HN_3) is een zwak anorganisch zuur met explosieve eigenschappen. In aanraking met messing of koper kan het zeer explosieve koperazide ontstaan, zie paragraaf 3.1.3.

Voor loodstyfnaat is het reactieschema:



Loodstyfnaat ondergaat een vergelijkbare reactie als loodazide waarbij in eerste instantie basisch loodstyfnaat, $\text{Pb}(\text{OH})\text{C}_6\text{N}_2\text{O}_6$, wordt gevormd, dat vervolgens door reageert tot loodhydroxyde en loodoxide. Basisch loodstyfnaat heeft nog explosieve eigenschappen maar is minder gevoelig dan loodstyfnaat.

Net als voor kwikfulminaat, geldt voor loodazide en loodstyfnaat dat als er 50% is ontleed er geen explosieve eigenschappen meer aanwezig zijn. Onder normale opslagcondities van munitie treden deze reacties niet op en de ontsteker zal gemakkelijk 50 jaar betrouwbaar blijven functioneren. Bij munitie die als UXO in de bodem is achtergebleven zijn deze reacties mogelijk wel aan de orde.

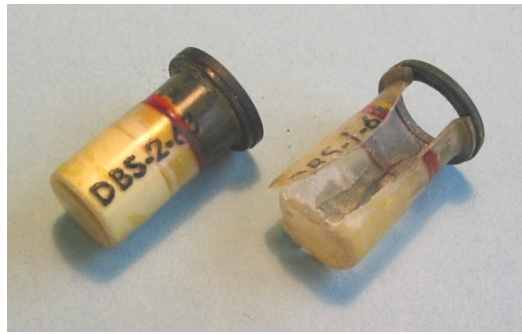
Van belang voor dit onderzoek is de vraag hoe lang het zal duren voordat de ontstekers vrijwel zeker niet meer kunnen reageren.

Uit de proceedings van een congres van 1975 te Watham Abbey UK valt op te maken dat begraven ontstekers snel hun betrouwbare werking verliezen [Lamnevik, 1975]. Tabel 4 laat dit voor drie typen ontstekers zien; type 1 was open, type 2 vrijwel dicht en type 3 had een goede water(vocht)dichtheid. Wat echter opvalt is dat de mate van functionering afhangt van de waterdichtheid; na 20 jaar verblijf ondergronds is er nog steeds een aanzienlijke kans op functionering wanneer de ontsteker redelijk tot goed waterdicht is (2 normaal functionerende ontstekers uit 10 stuks begraven ontstekers van type 2 en 3 na ongeveer 20 jaar).

Tabel 4 Functionering met de tijd van loodazide detonatoren in ontstekers die in de grond begraven zijn geweest [Lamnevik, 1975].

Time years	Number of normal functions per 10 detonators					
	fuze type 1		fuze type 2		fuze type 3	
	soil	soil+manure	soil	soil+manure	soil	soil+manure
1	8	8	10	10	10	10
2	6	0	8	5	5	9
3	1	0	3	3	2	8
4	0	0	8	4	6	8
5	0	0	6	6	4	9
6	1	0	7	4	7	6
7	1	0	7	6	9	9
12	0	0	2	4	3	5
19	0	0	2	1	1	3
21	0	0	2	2	1	2

Onder droge condities is de kans op functionering groter dan onder natte condities. TNO heeft in 2000 onderzocht hoe lang het duurt voordat AT-26 ontstekers die loodazide en loodstyfnaat bevatten onder invloed van zeewater hun explosieve eigenschappen zullen verliezen [Van Ham & Duvalois, 2003]. Hiertoe werden de ontstekers ondergedompeld in zeewater om de omstandigheden na te bootsen van het dumpen van deze munitie in zee. De veroudering werd bepaald op basis van de verkleuring van het water dat de kunststofhouder van de ontstekers was binnengedrongen en die wordt veroorzaakt door het oplossen van het loodstyfnaat dat zich in het slagpijpje bevindt. Functioneren werd getest met behulp van een squib die met een vuurstraal het loodstyfnaat ontsteekt. Het loodstyfnaat gaat van verbranding over in detonatie waarmee ook het loodazide detoneert. Tabel 5 geeft de resultaten van deze testserie; een – betekent geen verkleuring/geen reactie, een + betekent verkleuring/detonatie en een 0 betekent een gedeeltelijke reactie (geen detonatie). In het laatste geval is de ontsteker leeg gebrand zoals blijkt uit Figuur 12.



Figuur 12 Een slagpijpe voor en na de test, waarbij een gedeeltelijke reactie plaatsvond na veroudering in zeewater.

Tabel 5 Resultaten functioneringstesten van AT-26 ontstekers; functioneren versus verkleuring door zeewater [Van Ham & Duvalois, 2003].

Aantal weken in zeewater	Verkleuring	Functionering
1	-,-,-,-	+,+
2	-,-,-,-	+,+
3	-,-,-,-	+,+
4	-,-,+,+	+,+
5	-,-,-,-	+,+
6	-,-,-,+	+,+
8	-,+,,+,+	-,+
10	-,-,-,-	+,+
14	-,-,-,-	+,+
24	-,+,,+,+	-,+
30	+,+,+,+	+,+
43	+,+,+,+	+,+,
64	+,+,+,+	+,+
91	+,+,+,+	-,+
120	+,+,+,+	-,-,-,+
140	+,+,+,+,+,+,+	-,-,-,0,0,0,0

Uit het onderzoek in [Van Ham & Duvalois, 2003] blijkt dat na 2,5 jaar (140 weken) geen enkele geteste ontsteker meer functioneert. Verblijf van de munitie in water of waterverzadigde grond betekent daarom dat de kans afneemt dat deze ontstekers nog functioneren als het water kan binnendringen.

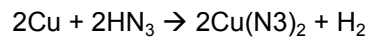
Desalniettemin kan niet gesteld worden of en wanneer deze kans verwaarloosbaar is/wordt onder deze condities. Dit blijkt uit [Duvalois & Van Ham & Kroon, 2011] waarin wordt geconcludeerd dat Duitse op loodzide/loodstyfnaat gebaseerde landmijn-ontstekers nog kunnen functioneren nadat deze 70 jaar begraven zijn geweest in het strand van Skallingen aan de Deense kust²⁰.

²⁰ Functionering is onderzocht door middel van een detonatie test. Van de 16 detonatoren leverden 6 stuks een reactie van alleen de primaire lading (geen detonatie), 1 detonator leverde een partiële (onvolledige) detonatie en 1 detonator leverde een volledige detonatie. Een duidelijke relatie tussen veroudering en functionering kon niet worden vastgesteld.

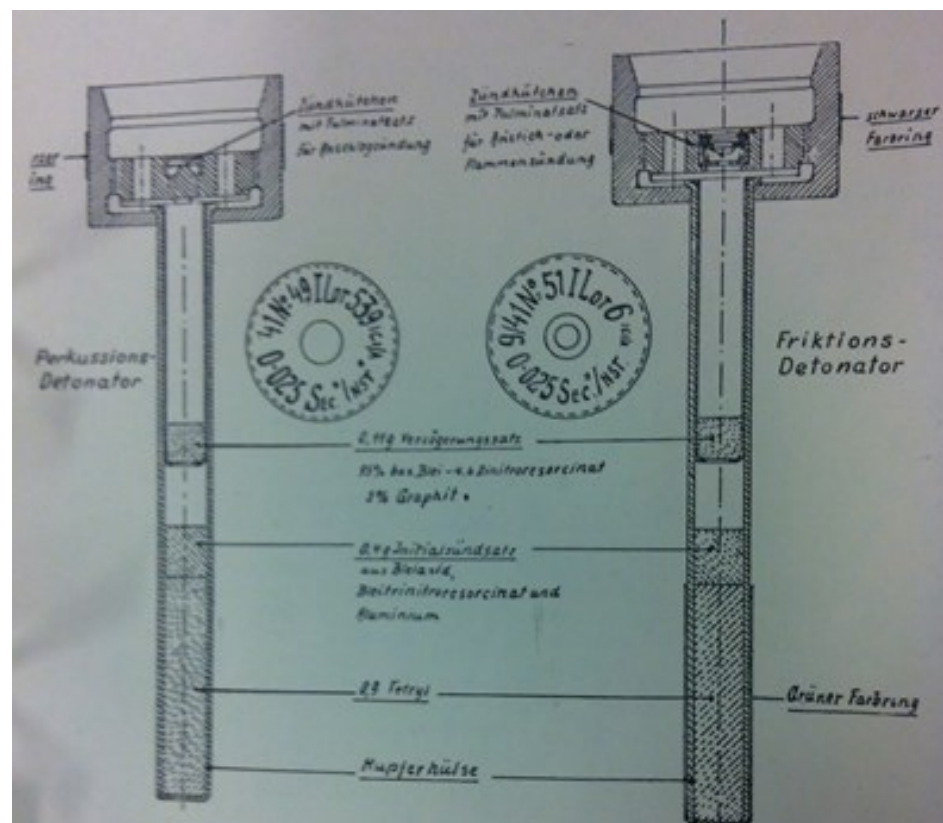
Hoewel blindgangers in de Nederlandse bodem zich meestal onder de grondwaterspiegel bevinden, zullen de ontstekers in een vliegtuigbom beschermd zijn tegen vocht door middel van schroefdraad en een seal. Eventuele vervorming van de ontsteker kan zijn opgetreden door de inslag in de bodem maar deze bevindt zich dan buiten het bomlichaam en niet ter plaatse van de schroefdraad [Monsees, 2014]. Indien een ontsteker gedurende de verblijftijd in de bodem voornamelijk droge condities heeft gekend kan functionering nog steeds mogelijk zijn. Dit geldt ook voor een ontsteker onder natte condities, hoewel de kans op functionering kleiner is dan onder droge condities.

3.1.3 Koperazidevorming

Bij de reactie van loodazide met water ontstaat waterstofazide (N_3H); dit is uitermate reactief en vluchtig en kan met andere metalen een verbinding aangaan. Berucht is de vorming van koperazide ($Cu(N_3)_2$) (en waterstof (H_2)) volgens de reactie:



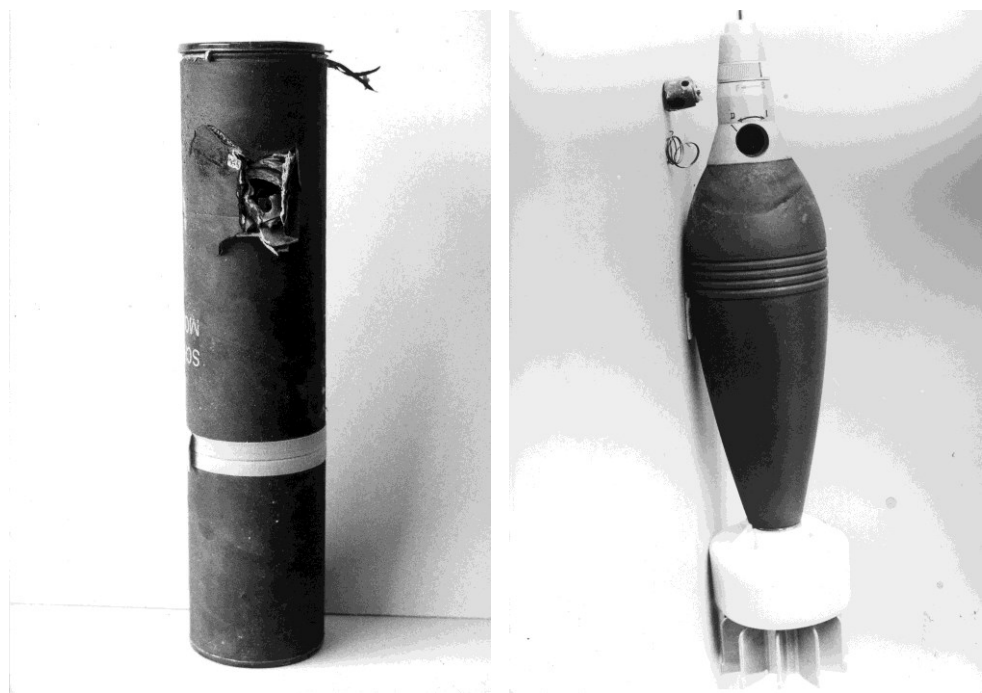
Omdat de huls van een ontsteker is gemaakt van koper (Cu) of messing ($CuZn$)²¹, kan het in de ontsteker aanwezige loodazide hiermee reageren wanneer water de ontsteker is ingedrongen, zie Figuur 13. Aan de binnenzijde van de huls kan daarom koperazide worden gevormd.



Figuur 13 Doorsnede van een Britse percussie (links) en wrijvingsdetonator (rechts) met koperen huls [Duits EOD Handboek, datum onbekend], "Kupferhülse".

²¹ Een legering van koper en zink.

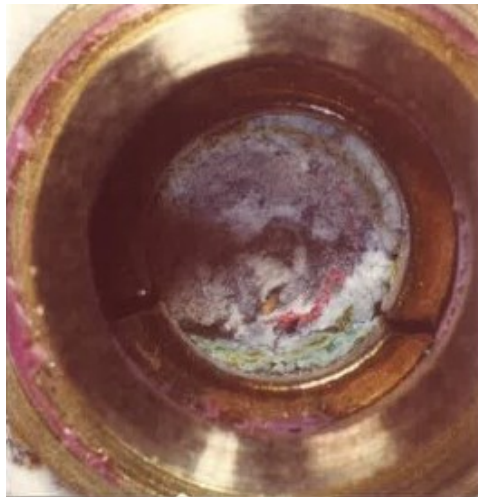
Koperazide is een uitermate gevoelige stof die bij geringe stoot of schok kan reageren. TNO heeft in 1974 onderzocht waarom accidentele reacties optraden bij de 81 mm mortier van de Koninklijke Marine (KM) [Josseling de Jong, 1976]. Tijdens onderhoud van deze munitie die terugkwam in Den Helder na een verblijf in de Antillen, bleek dat de rotor die zorgt voor het scherp stellen na verschieten (onderdeel van het safety and arming device), bij een aantal granaten door de kartonnen verpakking was geschoten, zie Figuur 14. Het onderzoek wees uit dat de slaghoedjes van de (schok)buizen gecorrodeerd waren waarbij koperazide werd gevormd. Geconcludeerd werd dat de messing onderdelen rond het slaghoedje gereageerd hadden met de loodzide in het aluminium slaghoedje²². Door inwendige wrijving, waarschijnlijk door trillingen tijdens transport, is de koperazide in werking getreden wat heeft geleid tot het activeren van de inleidingslading en de vertragingslading. De hoofdlading is niet geactiveerd omdat de mortier in de veilige stand stond (niet op scherp).



Figuur 14 Geperforeerde verpakking en verschoten rotor van de baanveiligheid van de 81 mm mortier [Josseling de Jong, 1976].

De betreffende munitie was met een schip van de KM gedurende 18 maanden in de Antillen. De daar heersende hoge temperatuur en luchtvochtigheid waren de oorzaak van de reactie van loodzide met waterdamp uit de atmosfeer. Deze is zichtbaar op het bovenaanzicht van het slaghoedje in de messing huls in Figuur 15. De resten van de sas (antimoonsulfide en kaliumchloraat) zijn zichtbaar als grijze en witte kristallen, mogelijk vermengd met aluminium verbindingen van het slaghoedje. Resten van rode (afdichtings)lak zijn zichtbaar als ook groene kristallen die duiden op koperverbindingen zoals koperazide en het niet-explosieve koperhydroxide ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) en koperoxide (CuO).

²² Gevuld met 22% antimoonsulfide en 40% kaliumchloraat (sas) en 38% loodzide.



Figuur 15 Bovenaanzicht aluminium slaghoedje in messing huls uit (schok)buis type V-19 [Josseling de Jong. T. de, 1976].

In deze staat is de munitie niet meer bruikbaar omdat betrouwbare functionering onmogelijk is geworden en er groot risico bestaat bij het manipuleren van de munitie. Dit is echter een tijdelijk effect. Bij munitie die langere tijd ondergronds heeft gelegen en waarbij water is ingedrongen, zal het koperazide doorreageren met water (damp) tot uiteindelijk koperoxides zijn gevormd waarna alle explosieve eigenschappen zijn verdwenen. Dit betekent dat indien vocht kan doordringen tot de energetische lading van de ontsteker in een blindganger dit kan leiden tot de tijdelijke vorming van koperazide, maar dat deze stof uiteindelijk wordt omgezet naar minder gevoelige verbindingen totdat explosieve reacties niet meer mogelijk zijn en de energetische lading een verminderde of geen enkele reactie meer kan vertonen ten gevolge van trillingen. Tevens geldt dat vocht de initiërende lading ongevoeliger maakt vanwege haar vlam dovende werking.

Omdat koperazide een instabiele verbinding is, is de verwachting dat dit een relatief kortstondig proces is van minder dan een jaar. Vocht kan mogelijk doordringen tot het loodazide in een ontsteker langs een verouderde of (door de inslag van de bom) beschadigde afdichting (seal of schroefdraad). Onder die voorwaarde kan het proces tot koperazide vorming zijn opgetreden in de jaren na afworp. De kans dat vocht na 70 jaar de energetische lading in de ontsteker alsnog zal bereiken is onwaarschijnlijk omdat dit wordt beschouwd als een "gepasseerd station". De eventueel in het verleden gevormde koperazide doet geen afbreuk aan de conclusie dat ontstekers door veroudering van de energetische lading ongevoeliger worden.

Een vergelijkbare conclusie wordt gemaakt met betrekking tot het in 1944 gezonken munitieschip de SS Richard Montgomery in de riviermond van de Thames. [Maritime and Coastguard Agency, 1998] stelt: "When the condition of the munitions was first assessed there was considerable concern over the possibility of the formation of very sensitive copper compounds from reaction between the lead azide in the detonators with the brass components of the fuses of the cluster bombs. This would have been a possibility whilst the fuses contained significant amounts of air but as the fuses will probably all have been flooded for many years and the sensitive compounds referred to are all soluble in water this is no longer considered to be a significant hazard".

3.2 Mechanische onderdelen

Opengewerkte exemplaren van de ontstekers die uit de inventarisatie naar voren komen (zie Tabel 9), zijn in november 2014 visueel geïnspecteerd in de studieverzameling van de EODD te Soesterberg, in samenwerking met Kapitein E.W.F. (Erwin) Monsees, Stafofficier Nationale Operaties EODD. De ontstekers bestaan voor een groot deel uit metaal. De metalen die voornamelijk gebruikt werden in ontstekers zijn [US EOD manual, datum onbekend]:

- Staal of aluminium (Amerikaans);
- Messing of aluminium (Engels);
- Aluminium (Duits).

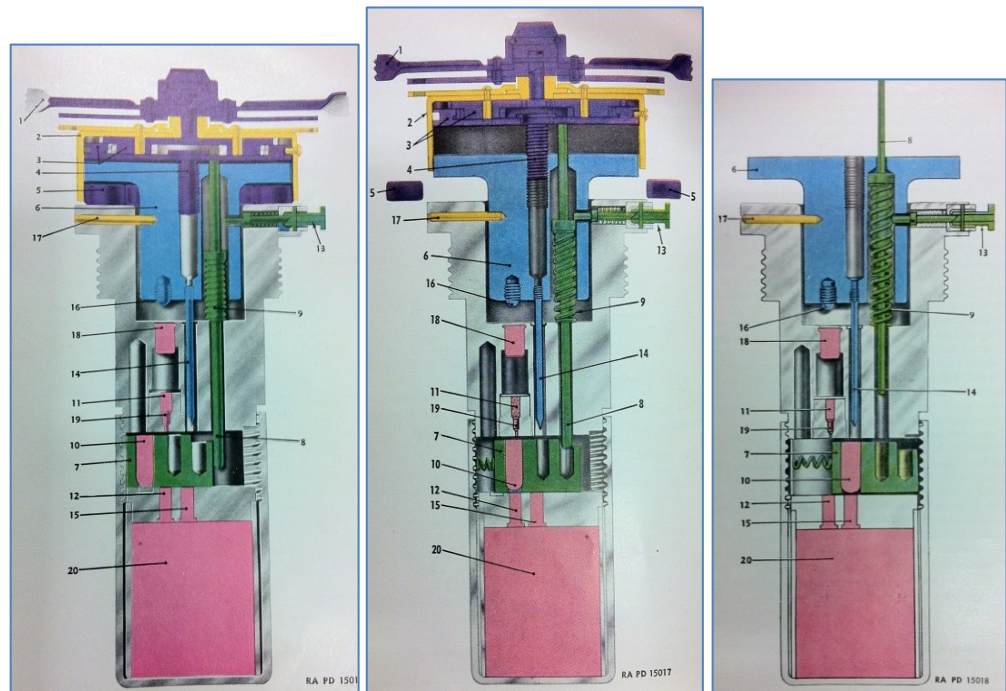
Voorbeelden van metalen onderdelen zijn de mantel, impeller, schroefdraden, slagpin, (ophoud)veren en kogellagers. Overige materialen die voorkomen zijn energetische ladingen, rubber afdichtingsringen (sealing), doek (katoen), glas met aceton (of gebroken glas zonder aceton), celluloid en batterij onderdelen (Duitse elektrische ontstekers).

Tijdens de inspectie is vastgesteld dat:

- de batterij van de Duitse elektrische ontstekers doorgaans in slechte (gecorrodeerde) staat verkeerd en niet meer functioneert (batterij is uitgeput);
- de buitenzijde van het deel van de stalen Amerikaanse ontstekers dat zich buiten het bomlichaam bevindt, doorgaans is gecorrodeerd;
- de buitenzijde van het deel van de stalen Amerikaanse ontstekers dat zich binnen het bomlichaam bevindt, in goede staat is;
- de buitenzijde van de messing Engelse ontstekers in goede staat is (binnen en buiten de bom);
- het deel van de Amerikaanse en Engelse ontstekers dat zich buiten het bomlichaam bevindt gedeformeerd kan zijn (als gevolg van de inslag);
- alle inwendige metalen onderdelen in de Engelse en Amerikaanse ontstekers in goede staat verkeren. Significante galvanische corrosie²³, bijvoorbeeld tussen de mantel, kogellagers en ophoudveer, is niet waargenomen; deze onderdelen functioneren nog steeds.

Ter illustratie toont Figuur 16 de onderdelen die aanwezig zijn in een Amerikaanse AN-M103 neus impact buis.

²³ Corrosie als gevolg van een potentiaalverschil tussen verschillende metalen in een elektrolyet.



Figuur 16 Amerikaanse AN-M103 neus impact buis; niet gewapend (links), gewapend met vertraging (midden) en gewapend voor onvertraagde (superquick) werking (rechts) [TM 9-1980, 1944].

Deze ontsteker heeft een wapeningsdeel (donker blauw), een vertraginginstelling (groen), een initiatiedeel/explosive train (licht blauw) en energetische materialen (roze), en bestaat uit de volgende onderdelen (zie Figuur 16):

1. Wapeningsvaantje (impeller);
2. Houder voor vaantje;
3. Reductietandwielen;
4. Wapeningschroef;
5. Veiligheidsblokjes (afstandhouders met inwendige veertjes voor uitstoting);
6. Flens verbonden met de slagpinnen (nr 16 en 14);
7. Geleiding (onder veerspanning) voor de detonator;
8. Veiligheidswapeningsas;
9. Veiligheidswapeningsveer;
10. Detonator;
11. Vertragingselement;
12. Initiatie lading voor de booster;
13. Vertraginginstelschroef;
14. Slagpin voor onvertraagde werking (superquick);
15. Initiatie lading voor de booster;
16. Slagpin voor vertraagde werking (0,1 s);
17. Messing borg (afscheur) pen;
18. Primer initiatielading;
19. Overdrachtslading (relay);
20. Booster.

In de vertragsstand functioneert de ontsteker via de weg: 16 - 18 - 11 - 19 - 10 - 12 - 20 (Figuur 16, middelste afbeelding). Zonder vertraging functioneert de ontsteker via de weg: 14 - 10 - 15 - 20 (Figuur 16, rechter afbeelding). Wanneer de ontsteker eenmaal gewapend is kan de geleiding van de detonator niet meer terugkeren naar de beginstand en blijft de ontsteker dus gewapend.

De veroudering van de mechanische onderdelen in deze en alternatieve ontstekers zorgt niet voor een verminderde of versterkte gevoeligheid voor trillingen. Een uitzondering is de celluloid (plastic) disk die aanwezig is in ontstekers met chemisch lange vertraging. Celluloid was de eerste commercieel verkrijgbare thermoplast en werd gemaakt van nitrocellulose en kamfer. Dit materiaal is onderhevig aan thermische, chemische, fotochemische en fysische veroudering [Reilly, 1991]:

- Thermische degradatie leidt tot het afbreken van nitraatgroepen maar is voor ontstekers een onwaarschijnlijk proces omdat dit optreedt bij temperaturen boven 100°C;
- Chemische degradatie resulteert uit zure of basische hydrolyse²⁴. Zuren en basen kunnen aanwezig zijn in het celluloid als gevolg van de synthese en productie maar ook in de omgeving²⁵. Daarnaast kunnen sommige metaaloxiden een onomkeerbare gelering van verouderd celluloid veroorzaken. Voorbeelden zijn oxiden van lood, ijzer, koper en zink (in volgorde van afnemend effect), die mogelijk afkomstig zijn uit metalen delen van de ontsteker door reactie met zuurstof. Chemische degradatie is niet uit te sluiten omdat indringing van vocht in een ontsteker langs verouderde of (door de inslag) beschadigde afdichting (seal of schroefdraad) denkbaar is;
- Fotochemische degradatie is onmogelijk omdat de celluloid disk is afgeschermd van licht;
- Fysische afbraak van celluloid kan worden veroorzaakt door (de hiervoor beschreven) chemische degradatie, door rekristallisatie van cellulose nitraat moleculen en door het sublimeren²⁶ van vluchtige bestanddelen zoals kamfer. De rekristallisatie en het "uitpersen" van kamfer moleculen ontstaan door de residuele spanningen die in het materiaal zijn achtergebleven na het productieproces (waarbij warmte en druk worden gebruikt). De externe belasting op de celluloid disk door de continue veerspanning van de voorgespannen slagpin draagt hieraan bij omdat het resulteert in (additionele) inwendige spanningen. Ook de aanwezigheid van vocht kan hier aan bijdragen doordat het spanningen veroorzaakt in het celluloid vanwege de isotrope aard²⁷ van het materiaal en haar vermogen tot wateropname.

De aanwezigheid van vocht is een voorwaarde voor chemische degradatie maar niet voor fysische afbraak. Celluloid dat is afgeschermd van vocht zal door de inwendige spanningen toch degraderen door rekristallisatie van cellulose nitraat en sublimatie van kamfer. Dit proces relateert aan het productiemethode en is inherent aan het materiaal. Het leidt tot het broser worden, scheuren, krimpen, kromtrekken, afbrokkelen en verkleuren van het materiaal. Celluloid dat is blootgesteld aan vocht verkleurd nog sterker, trekt scheef, zwelt, wordt zacht en papperig en is bekleed met druppels of een film van nitraatzouten en hun zuren [Reilly, 1991].

²⁴ Splitsing van een chemische verbinding onder opname van water.

²⁵ Degradatie door de aanwezigheid van basen is een sneller proces dan door de aanwezigheid van zuren.

²⁶ Faseovergang van een stof uit de vaste fase naar een gasvormige fase.

²⁷ Materiaaleigenschappen zijn richtingsonafhankelijk.

Beide vormen van degradatie zorgen voor een verzwakking van de celluloid disk. De ontsteker functioneert zodra de kritische grens bereikt is waarbij de disk de veerspanning van de voorgespannen slagpin niet langer kan dragen.

Figuur 17 illustreert het verschil in de degradatie tussen twee celluloid disks in Engelse pistool 37 ontstekers. De linker disk is niet of nauwelijks verkleurd, de rechter disk is sterk vergeeld. De rechter disk is dus verouderd ten opzichte van de linker disk.

De veroudering van de celluloid disks in ontstekers met chemisch lange vertraging zorgt voor een versterkte gevoeligheid voor trillingen; deze gevoeligheid zal toenemen met de tijd. Het is echter onmogelijk om te voorspellen wanneer de kritische grens van verzwakking wordt bereikt²⁸, omdat:

- de materiaal kwaliteit (per batch) kan verschillen door verschillen in de zuiverheid van de gebruikte basismaterialen en de kwaliteit van de synthese en productie [Reilly, 1991];
- de schade onbekend is die mogelijk is toegebracht door vrijgekomen aceton of acetondamp na inslag van de bom;
- de eventuele aan- en afwezigheid van vocht in de ontsteker onbekend is (mogelijk variërend in de tijd met het grondwaterpeil);
- de invloed van inwendige materiaal spanningen en de snelheid van chemische degradatie variëren met temperatuur (die verandert in de tijd en afhankelijk is van de diepteligging van de bom).



Figuur 17 Opengewerkte Engelse pistool 37 ontstekers met chemisch lange vertraging met een verschil in verkleuring van de celluloid disk (aangeduid met een zwarte pijl).

²⁸ Op de website http://de.wikipedia.org/wiki/Chemisch-mechanischer_Langzeit%C3%BCnder wordt melding gemaakt van gemiddeld één spontane detonatie in Duitsland per jaar vanaf 1999 (status website 20 november 2014). Voor de betrouwbaarheid van deze informatie kan niet worden ingestaan: van de 14 genoemde "spontane" detonaties zijn mogelijk één of meerdere detonaties veroorzaakt door beroering.

4 Inventarisatie

Een inventarisatie van WOII vliegtuigbom ontstekers door middel van archief onderzoek bij de EODD te Soesterberg bleek in juni 2014 onuitvoerbaar. Registratie van ruimingen en demontages van ontstekers sinds WOII is logischerwijs niet eenduidig uitgevoerd door een wisselende organisatie vorm en voortschrijdende technische mogelijkheden. Meldingen van blindgangers met bijbehorende ontsteker type(n) zijn uitgevoerd in eerste instantie door bomploegen en later door personeel van de Koninklijke Landmacht (KL) en Koninklijke Luchtmacht (KLu) en de EOD (nu EODD). De meldingen door militair personeel zijn bijgehouden met zogenaamde Uitvoering Opdrachten (UO) en op schrift vastgelegd tot de komst van computers. Registraties zijn centraal verzameld maar ook vaak bijgehouden in persoonlijke archieven van de ruimers zelf. Per 2008 worden meldingen direct ingevoerd in de digitale database PLANON van het Ministerie van Defensie. Hoewel UO's beschikbaar zijn vanaf de jaren '70 tot nu in de vorm van Acrobat Reader PDF format, is uit de bestandsnamen niet direct herleidbaar of het een vliegtuigbom betreft en indien dit wel het geval is, of het ontstekertype is beschreven. Een zoekactie met tekstherkenning is niet mogelijk omdat de tekst handgeschreven is. Omdat het totale archief grofweg 200.000 bestanden groot is²⁹, waarbij elk bestand uit meerdere pagina's bestaat, is het ondoenlijk om de UO's individueel door te nemen.

Archief onderzoek aan de "brengende kant", bijvoorbeeld bij het Imperial War Museums in London, is weinig zinvol omdat de afgeworpen aantallen ontstekers per type niet noodzakelijkerwijs overeen hoeft te komen met het aantal blindgangers in de Nederlands bodem; grote afgeworpen aantallen van een type dat (vrijwel) altijd functioneerde komen mogelijk minder voor dan kleinere aantallen van een type dat minder goed functioneerde.

De gekozen alternatieve oplossing om inzicht te krijgen in de aantallen en typen ontstekers in Nederlandse bodem is onderzoek aan de "ontvangende kant" door middel van³⁰:

1. Een zoekopdracht in de PLANON digitale database;
2. Een enquête onder (voormalig) EOD'ers;
3. Een zoekopdracht door middel van een gerichte lichting UO's op basis van bombardementen op steden en vliegvelden.

4.1 PLANON database

In samenwerking met Kapitein E.W.F. (Erwin) Monsees, Stafofficier Nationale Operaties EODD, en met ondersteuning van de EODD ICT afdeling, is begin juni 2014 een zoekopdracht uitgevoerd in de PLANON digitale database op basis van Uitvoerings Opdrachten gefilterd op "Afwerpmunitie" en "Aangetroffen op locatie". Het resultaat is weergegeven in Appendix A. Dit resultaat beslaat de periode 2008 – 2014 en is verkregen na filtering op mogelijke doublures en niet-eenduidige meldingen.

²⁹ Grofweg gemiddeld 3000 meldingen per jaar in de eerste 60 jaar na WOII [Van Woensel, 2004].

³⁰ De resultaten kunnen per methode (deels) variëren als gevolg van verschillen in periode van melding/ruiming, persoonlijke ervaring en aanpak van de bombardementen door de geallieerden. De resultaten moeten daarom beschouwd worden als complementair.

Tabel 6 geeft de ontsteker typen die meer dan eens zijn aangetroffen in de periode van 2008 – 2014.

Tabel 6 Ontstekers die meer dan eens zijn aangetroffen in NL bodem in 2008 - 2014.

Type ontsteker	Aantal aangetroffen
Engels no 30 staart pistool impact	35
Engels no 846 neus buis impact	14
Engels no 873 neus buis impact diafragma	12
Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	9
Amerikaans AN-M103 neus buis impact	9
Duits ELAZ C50, 25, 28, 55, 56, 66	6
Engels no 27/42 neus pistool impact	4
Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	3
Engels no 848 neus buis pyrotechnisch airburst met vertraging	3
Engels no 28 staart pistool impact	2
Engels no 36 neus pistool impact	2
Engels no 42 neus pistool impact	2
Engels no 44 neus pistool impact diafragma	2

Met name de Engelse impact ontstekers staart pistool no 30 en no 846 en 873 neus buis impact ontstekers zijn relatief vaak aangetroffen tussen 2008 - 2014. Daarna volgen de Amerikaanse (AN-) M100/101/102 series staart buis impact ontstekers en de AN-M103 neus buis impact ontsteker. De Duitse elektrische ontstekers vormen een verzameling die de C50, 25, 28, 55, 56 en 66 typen omvat.

4.2 Enquête

In juni 2014 is een enquête rondgestuurd naar een aantal (voormalig) EOD'ers. De enquête vraagt per type ontsteker om een inschatting van het aantal dat door de deelnemer is geruimd of gedemonteerd en om een inschatting van de trillingsgevoeligheid. Daarnaast wordt gevraagd naar de aanwezigheid van anti-demonteer of anti-storing (anti-handling) mechanismen, algemene conditie van de ontsteker, aangetroffen wapening, bom type/oriëntatie/dieptelgging. Een verdere onderverdeling wordt gevraagd per demontage/ruimingsmethode en per ontstekingsmechanisme.

De invulling van de vragenlijst is subjectief en overlap tussen deelnemers is onvermijdelijk waardoor ontstekers niet simpelweg bij elkaar opgeteld kunnen worden. Tevens bestaat de mogelijkheid dat zeldzame/speciale of "moeilijke" gevallen beter herinnerd worden dan de veel voorkomende "simpele" gevallen, waardoor het aantal "moeilijke" overschat wordt en het aantal "simpele" gevallen onderschat. Om een zo betrouwbaar mogelijk beeld te krijgen op basis van individuele ervaringen is de lijst aan zoveel mogelijk personen met ruimingservaring gestuurd met het verzoek de lijst onafhankelijk van elkaar in te vullen.

De respons op de enquête is geanonimiseerd weergegeven per respondent en in een totaaloverzicht in Appendix B. Tabel 7 geeft een samenvatting van de respons en is gerangschikt op een totaal aantal ontstekers per type zoals genoemd door zestien respondenten³¹ met een aantal jaren ruimerservaring variërend tussen 5 en 31 jaar. Deze tabel, met in totaal 628 ontstekers, maakt grofweg onderscheid mogelijk naar vijf categorieën ontstekers:

³¹ Het totaaloverzicht in Appendix B is gerangschikt naar gevoeligheid en dan naar aantal; de naar inschatting gevoeligste ontsteker die het meeste voorkomt staat hiermee uiterst rechts.

- Zeer veel geruimd/gedemonteerd (> 100) en als niet/mogelijk trillingsgevoelig ingeschat:
 - Engels no 30 impact pistool en de Amerikaanse impact buis 100 serie;
- Veel geruimd/gedemonteerd (tientallen) en als niet/mogelijk trillingsgevoelig ingeschat:
 - Amerikaanse impact buizen 110 en 163 serie en de Amerikaanse AN-M103 impact buis;
- Veel geruimd/gedemonteerd (tientallen) en als zeer trillingsgevoelig ingeschat:
 - Engels no 37 pistool met chemisch lange vertraging & anti-demonteerinrichting;
- Gemiddeld geruimd/gedemonteerd (~ 20) en als niet/mogelijk trillingsgevoelig ingeschat:
 - Engels no 873 impact diafragma buis, de Amerikaanse 139 serie impact buis, Duitse elektrische impact buizen en het Engelse no 28 impact pistool;
- Weinig geruimd/gedemonteerd (~10) en als mogelijk trillingsgevoelig ingeschat:
 - Amerikaanse M106 staart impact buis;
- Weinig/zeer weinig geruimd/gedemonteerd (< 5) en niet/zeer trillingsgevoelig:
 - Alle overige.

Tabel 7 Samenvatting respons op enquête.

Respons op enquête	Aantal geruimd/gedemonteerd														Som	Inschatting trillingsgevoeligheid		
	Rang	Kap	AOO	Adj	Kap	AOOI	AOO	EL	LK	AOO	SM	SM	Sgt	SM			SM	SM
Engels no 30 staart pistool impact	50	30	9	20	14	8	15	9	3	10	2	4	3	2	5	1	185	niet - mogelijk
Amerikaans 100 serie staart buis impact	50	15	14	5		5		3	3		2	1	2				102	niet - mogelijk
Amerikaans 110 serie neus buis impact	70																70	mogelijk
Amerikaans 163 serie neus buis impact	50	10					1										61	niet - mogelijk
Engels no 37 staart pistool chem. lange vertraging & anti-demonteer	13	20	2	3	3	1	1	1	2			2	1	1		1	51	zeer gevoelig
Amerikaans AN-M103 neus buis impact			16	10				5	1	5			2	2			41	niet - mogelijk
Engels no 873 neus buis impact diafragma			20														20	mogelijk
Amerikaans 139 serie neus buis impact	20																20	mogelijk
Duits EIAZ elektrische buis impact (25, 66 of type onbekend)		4	5		5						5			1			20	niet - mogelijk
Engels no 28 staart pistool impact		5	1	10		1							1				18	niet - mogelijk
Amerikaans M106 staart buis impact		9															9	mogelijk
Engels no 53 staart pistool chem. lange vertraging & anti-demonteer		1			3												4	zeer gevoelig
Amerikaans 157 serie anemometer buis	4																4	zeer gevoelig
Amerikaans M112 staart buis impact		3															3	mogelijk
Engels no 42 neus pistool impact		2															2	niet
Engels no 44 neus pistool impact diafragma			1					1									2	mogelijk - gevoelig
Amerikaans 124 serie staart buis chem. lange vertraging & anti-demonteer	2																2	zeer gevoelig
Amerikaans M131 butterfly midscheeps buis impact of bovengronds	2																2	zeer gevoelig
Duits nr 17BM transversaal mechanisch uurwerk				2													2	zeer gevoelig
Duits nr 80 transversaal impact all ways acting				2													2	zeer gevoelig
Engels no 846 neus buis impact		2															2	mogelijk
Engels no 17 staart pistool chem. lange vertraging & anti-demonteer	1					1											2	zeer gevoelig
Amerikaans 123 serie staart buis chem. lange vertraging & anti-demonteer								1									1	gevoelig
Engels no 52 neus pistool impact diafragma		1															1	gevoelig
Engels no 848 neus buis pyrotechnisch airburst met vertraging		1															1	mogelijk
Amerikaans 132 serie staart buis chem. lange vertraging & anti-demonteer	1	1															1	zeer gevoelig

4.3 Gerichte lichteing UO's

Sergeant 1^o klas D. Meisner, Onderofficier Meldingsbureau EODD, heeft in de maanden juli, augustus en september 2014 in de archieven van de KL en KLu gezocht naar meldingen van vliegtuigbommen. Deze zoekopdracht is uitgevoerd op basis van een lichteing UO's gericht op relatief grote bombardementen op Nederlandse steden en vliegvelden in WOII, bijvoorbeeld Breskens, Eindhoven (Meerhoven) en vliegbases Gilze Rijen en Twenthe (zie [NIOD, 2014] voor een uitgebreide lijst van Duitse en geallieerde bombardementen).

Tijdens dit onderzoek bleek het KL archief lastig toegankelijk, onvolledig gedocumenteerd en daarom onbruikbaar. Het KLu archief echter bood een significante hoeveelheid informatie; na filtering van onduidelijke of niet eenduidige data konden 375 ontstekers worden geïdentificeerd uit meldingen uit de periode 1957 - 2008³².

³² Per 2008 worden meldingen ingevoerd in de digitale database PLANON van het Ministerie van Defensie.

In Appendix C worden ter illustratie twee figuren getoond met het resultaat van de stad Eindhoven (algemeen en de wijk Meerhoven) en de vliegbasis Gilze Rijen. Tevens wordt het totaal overzicht getoond en het resultaat per locatie.

Tabel 8 geeft het samengevatte resultaat van de gerichte lichteing UO's, gerangschikt naar totale aantallen per ontsteker type. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het resultaat uit deze gerichte lichteing UO's een beeld oplevert dat niet noodzakelijkerwijs representatief is voor heel Nederland; voor tactische doelen zoals vliegvelden werden relatief meer chemisch lange vertraging ontstekers gebruikt, hoewel deze ook zijn afgeworpen boven stedelijk gebied (bijvoorbeeld bij een gelegenheidsbombardement).

Tabel 8 Resultaat gerichte lichteing UO's.

Ontsteker type	Aantal aangetroffen
Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	124
Engels no 30 staart pistool impact	60
Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	59
Amerikaans AN-M103 neus buis impact	54
Duits ELAZ 25, 55, C50 (15), C50 (28) elektrische buis impact	17
Engels no 28 staart pistool impact	12
Amerikaans M106 staart buis impact	10
Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	9
Amerikaans M123 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	8
Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	8
Amerikaans M112 staart buis impact	7
Amerikaans 110 serie neus buis impact	2
Engels no 873 neus buis impact diafragma	2
Amerikaans 163 serie neus buis impact	1
Amerikaans M124 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	1
Engels no 29 neus pistool impact	1

Tabel 8 laat het volgende onderscheid zien voor de periode 1957 - 2008:

- Zeer vaak aangetroffen (124 keer):
 - de Amerikaanse serie (AN-) M100/101/102 staart buis impact ontsteker;
- Vaak aangetroffen (~ 55 keer):
 - het Engelse no 30 staart pistool impact ontsteker;
 - het Engelse no 37 staart pistool met chemisch lange vertraging en anti-demonteer inrichting;
 - de Amerikaanse AN-M103 neus buis impact ontsteker;
- Minder vaak aangetroffen (ordegrootte 10 tot 20 keer):
 - de verzameling van Duitse elektrische buis ontstekers;
 - het Engelse staart pistool no 28;
 - de Amerikaanse M106 staart impact buis
 - het Engelse staart pistool no 17, de Amerikaans M123 staart buis en het Engelse staart pistool no 53 met chemisch lange vertraging en anti-demonteer inrichting;
 - de Amerikaanse staart impact buis M112.
- Weinig aangetroffen (1 a 2 keer):
 - Alle overige.

4.4 Samenvatting aantallen en trillingsgevoeligheid

De resultaten uit de enquête (Tabel 7) en de gerichte lichting UO's (Tabel 8) geven de meest waardevolle informatie; de enquête is een afspiegeling van de ervaring van (voormalig) EOD'ers en de gerichte lichting UO's beslaat een lange tijdsperiode. De informatie uit PLANON (Tabel 6) wordt beschouwd als een aanvulling, want de resultaten zijn afkomstig uit een korte periode en daarom relatief beperkt.

Uit de enquête en gerichte lichting UO's komen vier ontstekers duidelijk naar voren:

- Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart impact buis;
- Engels no 30 staart impact pistool;
- Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer;
- Amerikaans AN-M103 neus impact buis.

Deze ontstekers komen ook duidelijk naar voren in de PLANON database, met uitzondering van het Engelse no 37 staart pistool (die maar één keer voorkomt).

In minder grote aantallen komen de volgende drie ontstekers naar voren uit de enquête en de lichting UO's:

- Duits EIAZ elektrische impact buis (verzameling);
- Engels no 28 staart impact pistool;
- Amerikaans M106 staart impact buis.

De Engelse no 873 neus buis impact diafragma ontsteker valt voor wat betreft het aantal in de voorgaande categorie; deze komt naar voren uit de enquête en de PLANON database, maar niet uit de lichting UO's (slechts twee keer).

De Amerikaanse 110 en 163 serie neus impact buizen worden ook veel genoemd in de enquête. Deze zijn echter met name afkomstig van één respondent en komen slechts enkele malen voor in de lichting UO's en PLANON database³³.

Het totale aantal ontstekers per type verkregen uit de PLANON database, enquête en gerichte lichting UO's, geeft de samenvatting van de inventarisatie zoals weergegeven in Tabel 9. De resultaten zijn gerangschikt op aantal met daarnaast de inschatting van de trillingsgevoeligheid uit Tabel 7 waarvoor een kleurcodering is gebruikt ter bevordering van het onderscheid.

³³ De M163 serie (incl. de M164 en M165) is vergelijkbaar met de AN-M103A1. De AN-M103A1 verschilt van de AN-M103 omdat de veiligheidsvoorzieningen van laatstgenoemde onvoldoende waren [OP 1548, 1945].

Tabel 9 Samenvatting van de inventarisatie van het aantal aangetroffen ontstekers in de NL bodem en de ingeschatte trillingsgevoeligheid.

Type ontsteker	Aantal aangetroffen	Inschatting trillingsgevoeligheid
Engels no 30 staart pistool impact	280	niet - mogelijk
Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	235	niet - mogelijk
Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	111	zeer gevoelig
Amerikaans AN-M103 neus buis impact	104	niet - mogelijk
Amerikaans 110 serie neus buis impact	73	mogelijk
Amerikaans 163 serie neus buis impact	62	niet - mogelijk
Duits ELAZ 25, 55, C50 (15), C50 (28) elektrische buis impact	43	niet - mogelijk
Engels no 873 neus buis impact diafragma	34	mogelijk
Engels no 28 staart pistool impact	33	niet - mogelijk
Amerikaans 139 serie neus buis impact	20	mogelijk
Amerikaans M106 staart buis impact	19	mogelijk
Engels no 846 neus buis impact	16	mogelijk
Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	15	zeer gevoelig
Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	12	zeer gevoelig
Amerikaans M112 staart buis impact	11	mogelijk
Amerikaans M123 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	10	gevoelig
Engels no 42 neus pistool impact	9	niet
Amerikaans 157 serie anemometer buis	4	zeer gevoelig
Engels no 44 neus pistool impact diafragma	4	mogelijk - gevoelig
Engels no 848 neus buis pyrotechnisch airburst met vertraging	4	mogelijk
Amerikaans M124 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	3	zeer gevoelig
Amerikaans M131 butterfly midscheeps buis impact of bovengronds	2	zeer gevoelig
Engels no 36 neus pistool impact	2	niet beoordeeld
Duits nr 17BM transversaal mechanisch uurwerk	2	zeer gevoelig
Duits nr 80 transversaal impact all ways acting	2	zeer gevoelig
Amerikaans 132 serie staart buis chem. lange vertraging & anti-demonteer	1	zeer gevoelig
Engels no 29 neus pistool impact	1	niet beoordeeld
Engels no 38 MKII neus buis impact	1	niet beoordeeld
Engels no 45 neus pistool impact diafragma	1	niet beoordeeld
Engels no 52 neus pistool impact diafragma	1	gevoelig
Engels no 860 neus buis barometrisch	1	niet beoordeeld

De door ervaringsdeskundigen van de EODD ingeschatte trillingsgevoeligheid komt overeen met de inschatting van TNO op basis van het werkingsmechanisme van mechanische impact ontstekers (voor zover beschouwd, zie Tabel 3 in paragraaf 2.3), Duitse elektrische buizen en chemisch lange vertraging ontstekers.

5 Externe expertise

Voorgaande analyse van de trillingsgevoeligheid van WOII vliegtuigbom ontstekers en het effect van veroudering is voorgelegd aan het Munition Safety Information Analysis Center (MSIAC) van de North Atlantic Treaty Organisation (NATO) en de Duitse EOD. De response van beide partijen wordt beschreven in paragraaf 5.1 en 5.2.

5.1 NATO MSIAC

De vraag aan MSIAC is als volgt geformuleerd:

We are interested in articles and reports related to WW2 aerial bombs that have been dropped, have not functioned and remain in the soil (above or below the water table). Aspects related to this topic are ageing of primary explosives and effect on sensitivity, ageing of fuzing mechanisms, vibration sensitivity of fuzes (preferably of armed fuzes), safety distances related to vibrations of soil covered bombs, etc.

De uitgebreide beantwoording is gegeven in een rapport van 136 pagina's [MSIAC, 2014]; 15 pagina's uitleg en discussie en 121 pagina's in appendices met een beschrijving van de werking en de energetische lading van verschillende ontsteker typen. Uit het antwoord blijkt dat MSIAC geen informatie heeft over veiligheidsafstanden of trillingscriteria voor vliegtuigbommen. Zij onderschrijven de volgende bevindingen in het onderhavige rapport:

- de werking van het ontstekingsmechanisme van ontstekers en de aanwezige energetische lading;
- dat Duitse elektrische ontstekers niet gevoelig zijn voor trillingen;
- de trillingsgevoeligheid van de celluloid disk in UK en US chemisch lang vertraagde ontstekers, en dat deze disks onderhevig zijn aan veroudering en dus gevoeliger worden met de tijd;
- dat de onderdelen van een ontsteker nog steeds in uitstekende conditie kunnen verkeren maar dat vocht mogelijk door de afdichtingsseal kan dringen³⁴.

In tegenstelling tot het onderhavige rapport beschouwt MSIAC ontstekers met een blijvend in de percussie cap/primer ingedrongen slagpin als het meest risicovol:

- Stuck fast striker with a compressed spring (M112, M123, No 17, No 37, No 53);
- Stab sensitive primer which may have a striker still embedded (M103, M106, M110, M163, No 17, No 37, No 53, No 873).

Deze beschouwing is geverifieerd bij de NL EODD. Theoretisch wordt een ingedrongen slagpin mogelijk geacht en is ook de reden waarom ontstekers en detonatoren op afstand worden gedemonteerd om initiatie door wrijving bij het uitdraaien te voorkomen. Voor zover bekend is het niet voorgekomen dat het slaghoedje (duplex plaatje) bij demontage wordt losgetrokken en met de slagpin als één geheel wordt aangetroffen. Wel is er soms een deukje zichtbaar in de percussie cap van de detonator welke duidt op een "poor strike" van de slagpin (zie ook voetnoot 10) [Bergman, 2015].

³⁴ Volgens MSIAC bestaat de mogelijkheid dat corrosie aan het oppervlak van het bomlichaam en detonator kan leiden tot een barrière tegen vochten en interne corrosie.

De trillingsgevoeligheid bij een ingedrongen slagpin neemt niet toe bij een vastzittende slagpin die als één geheel meebeweegt met het slaghoedje. Indien door trilling de slagpin loskomt van het slaghoedje waarna de slagpin onder veerspanning dieper doordringt in het slaghoedje, kan dit mogelijk tot initiatie leiden voor chemisch lange vertragingsonstekers. Voor mechanische ontstekers met een ophoudveer betekent dat wanneer een ingedrongen slagpin (visueel) wordt waargenomen, de ontlasting van de ophoudveer wordt tegengewerkt. Deze tegenwerking kan bijvoorbeeld een mechanische vervorming van de massa-veer combinatie in het pistool zijn, hetgeen een zekere maar onkwantificeerbare veiligheid is tegen verdere verplaatsing. Voor het pistool no30 is geconstateerd dat de slagpin vast kan zitten in de behuizing bij maximale uitwijking, zie Figuur 18.



Figuur 18 Pistool 30 met vastzittende slagpin.

De kans wordt klein geschat dat de slagpin van pistool no30 door de initiatielading (sas) zelf wordt vastgehouden (door dwarskracht) en er wrijving en dus initiatie optreedt bij het loskomen van de slagpin door trillingen (waarna deze zich naar de stand begeeft zoals beschreven in paragrafen 2.3 en 2.4 door de tegendruk van de ophoudveer). Maar omdat de slagpin bij het loskomen wel in aanraking is met het sas, kan initiatie niet volledig worden uitgesloten. De verandering in trillingsgevoeligheid voor mechanische ontstekers met een ophoudveer en ingedrongen slagpin kan daardoor niet worden beoordeeld relatief ten opzichte van een niet ingedrongen slagpin.

De volgende ontstekertypen zijn door MSIAC opgemerkt als relevant met betrekking tot trillingsgevoeligheid of die trillingsgevoeligheid suggereren:

- US M106 Tail Fuze: The fuze is considered dangerous to handle if the Arming Pin is removed due to the heavy Striker and weak Creep Spring;
- US M110 Nose Fuze: Advice in [OP 1664, 1947] was that an unfunctioned bomb and fuze, with the Striker flush with the body, should not have the striker removed due to friction with the sensitive primer composition.

Deze ontstekertypen komen reeds naar voren uit de inventarisatie. Overige relevante informatie uit de reactie van MSIAC is gereproduceerd in Appendix D.

5.2 EOD Duitsland

De vraag is als volgt geformuleerd:

I am seeking your expert opinion (and/or that of your colleagues) on the following results we recently obtained by interviewing NL EOD personnel and by archive search (see table below). I have 4 questions:

1. The numbers (frequency) of fuze systems found may be typical for the Netherlands, but I would like to know if you recognize the relative frequency of systems with the UK no 30, US 100 series, UK 37 chemical delay, US AN-M103 and US 110 series at the top of the list (met referentie naar Tabel 9).
2. Do you agree on the estimated vibration sensitivity with the general distinction between impact fuzes (not/possibly sensitive) and chemical delay pistols/fuzes (very sensitive)
3. Do you agree with the assertion that:
 - a. The mechanical parts and energetic materials inside the fuze systems may still be in excellent condition
 - b. The celluloid disc in chemical delay fuzes may weaken over time which makes these fuzes more sensitive
 - c. The energetic materials (like lead azide, mercury fulminate) may degrade over time which makes the fuze less (instead of more) sensitive
4. Do you encounter fuzes and pistols with the striker still embedded in the percussion cap / primer.

I would very much appreciate your opinion on the above matters.

De beantwoording is als volgt [Lausch, 2015]:

1 & 2.

Tabel 10 geeft de ingeschatte trillingsgevoeligheid van ontstekers; NL EODD versus [Lausch, 2015].

Tabel 10 Inschatting trillingsgevoeligheid van ontstekers; NL EODD versus [Lausch, 2015].

Fuze type	Number encountered in NL	Estimated vibration sensitivity	
		NL EODD	Bernd Lausch Sprengschule Dresden Germany
Engels no 30 staart pistool impact	280	not - possible	not - possible
Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	235	not - possible	not - possible
Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	111	very sensitive	very sensitive
Amerikaans AN-M103 neus buis impact	104	not - possible	not - possible
Amerikaans 110 serie neus buis impact	73	possible	possible
Amerikaans 163 serie neus buis impact	62	not - possible	not - possible
Duits ELAZ 25, 55, C50 (15), C50 (28) elektrische buis impact	43	not - possible	not - possible
Engels no 873 neus buis impact diafragma	34	possible	very sensitive
Engels no 28 staart pistool impact	33	not - possible	not - possible
Amerikaans 139 serie neus buis impact	20	possible	possible
Amerikaans M106 staart buis impact	19	possible	possible
Engels no 846 neus buis impact	16	possible	possible
Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	15	very sensitive	very sensitive
Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	12	very sensitive	very sensitive
Amerikaans M112 staart buis impact	11	possible	very sensitive
Amerikaans M123 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	10	sensitive	very sensitive
Engels no 42 neus pistool impact	9	not sensitive	not sensitive
Amerikaans 157 serie anemometer buis	4	very sensitive	very sensitive
Engels no 44 neus pistool impact diafragma	4	possible - sensitive	very sensitive
Engels no 848 neus buis pyrotechnisch airburst met vertraging	4	possible	possible
Amerikaans M124 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	3	very sensitive	very sensitive
Amerikaans M131 butterfly midscheeps buis impact of bovengronds	2	very sensitive	very sensitive
Engels no 36 neus pistool prestressed spring	2	---	sensitive
Duits nr 178M transversaal mechanisch uurwerk	2	very sensitive	very sensitive
Duits nr 80 transversaal impact all ways acting	2	very sensitive	very sensitive
Amerikaans 132 serie staart buis chem. lange vertraging & anti-demonteer	1	very sensitive	very sensitive
Engels no 29 neus pistool impact	1	---	not - possible
Engels no 38 MKII neus buis impact	1	---	not - possible
Engels no 45 neus pistool impact diafragma	1	---	very sensitive
Engels no 52 neus pistool impact diafragma	1	sensitive	very sensitive
Engels no 860 neus buis barometrisch	1	---	very sensitive
Engels no 54 staart pistool all-side acting			sensitive
Duits mechanical impact and break-up fuze (24) all-side acting			sensitive
Duits nose percussion fuze AZC (10) h.u.t.			sensitive
Amerikaans M115 staart buis impact			very sensitive
Engels no 22 neus pistool impact			not sensitive
Engels no 30, 37 neus pistool impact for AP and SAP-bombs			not sensitive
Engels no 32 neus pistool impact			not sensitive
Duits sensitive point detonating fuze (66)			very sensitive
Duits long-delay fuze (57)			very sensitive
Amerikaans M132 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer			very sensitive
Amerikaans 111 mechanical time fuze			possible
Duits fuze (70) anti-disturbance fuze			very sensitive

3.

- a. Ich bin komplett deiner Meinung, daß die mechanischen Bauteile in den Zundern noch nach all den Jahren Liegezeit hervorragend in Funktion sind. Wir finden sehr selten Munition, bei der die Zünder nicht mehr funktionieren.
 - b. Alle bei uns aufgefundenen Bomben mit dem amerikanischen Langzeitzündern wurden speziell untersucht. Bei dieser Untersuchung wurde klar festgestellt, das alle Zünder noch funktionsfähig waren. Die Problematik bei diesen Zündern liegt zweifellos in dem Zustand der Zelluloidelemente. Diese altern sehr stark. Dabei werden sie brüchig und porös. Dieser Zustand dauert dann solange an, bis die Haltekraft der Zelluloidelemente gegenüber der Schlagbolzenfeder nicht mehr ausreichend ist. Dieser Moment ist allerdings nicht vorher zu bestimmen und kann dadurch jederzeit eintreten.
 - c. Auch bei den Detonatoren in englischen Fliegerbomben decken sich meine Erfahrungen mit Euren. Hier besteht das Problem darin, daß die Kupferhülsen mit Bleiazid gefüllt sind. Auf Grund chemischer Reaktionen besteht hier die Möglichkeit der Kupferazidbildung. Kupferazid verhält sich genauso wie die Pikrate der Pikrinsäure. Also sehr reibungs-, stoß-, und erschütterungsempfindlich.
4. Bei allen Zündern mit spitzem Schlagbolzen (N°30) sehen wir genau nach, ob der Schlagbolzen im Zündhütchen des Detonators steckt, oder nicht. Steckt er drin, besteht die Möglichkeit, das er im Zündhütchen Reibung (Wärme) erzeugt bei der Drehung. In diesen Fällen entscheiden wir uns für den Einsatz eines Fern Entschärfungsgerätes.

[Lausch, 2015] bevestigt de trillingsgevoeligheid van de ontstekers die naar voren komen uit de inventarisatie, met uitzondering van:

- Engels no 873 neus buis impact diafragma;
- Amerikaans M112 staart buis impact;
- Amerikaans M123 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer;
- Engels no 44 neus pistool impact diafragma;
- Engels no 52 neus pistool impact diafragma.

Deze worden door [Lausch, 2015] trillingsgevoeliger ingeschat dan door de EODD.

[Lausch, 2015] bevestigt de meest voorkomende ontsteker typen uit de inventarisatie en dat mechanische ophoudveer ontstekers minder trillingsgevoelig zijn dan chemisch lange vertragingsonstekers. Verder wordt geconcludeerd dat:

- de mechanische onderdelen zich doorgaans nog in uitstekende staat bevinden ;
- de celluloid disc in chemische lange vertragingsonstekers kritiek is en aan veroudering onderhevig;
- dat energetische ladingen minder gevoelig worden met de tijd, maar dat het ontstaan van koperazide niet kan worden uitgesloten³⁵;
- de slagpin van het no30 pistool zich in het slaghoedje kan bevinden³⁶.

5.3 Degradatie van celluloid disk in chemische lange vertraging ontstekers

De vraag aan Julie A. Reilly, auteur van [Reilly, 1991] is als volgt geformuleerd: As celluloid disks seem to degrade over time, they pose an increasing risk for EOD personnel when they try to render safe bombs holding chemical delay detonators with detonator pins on springs which are held back by a celluloid disc. As I understand it from your work, thermal degradation and photochemical deterioration are not an issue as soil temperature is low and the celluloid is shielded from light, but physical degradation and chemical degradation (under moisture) may weaken the celluloid disk over time.

I have two questions. is the above assessment correct and if so, is physical deterioration inherent to the celluloid product (i.e. regardless of the manufacturing company)?

Het antwoord luidt [Reilly, 2015]:

It has been a long time since I completed the work to write the article.

That said, I have seen many deteriorating celluloid objects from many contexts in the intervening years. The deterioration of celluloid is inherent in the material and certain factors can slow this deterioration but others can make it deteriorate faster.

Cooler temperatures and the absence of light exposure are conditions that would slow the deterioration. As would the use of the calcium-based fillers in manufacture, to buffer pH changes associated with the deterioration process.

However, higher relative humidity that may be found in the burial environment would increase deterioration. Ongoing and intermittent temperature fluctuations in the soil, which would only occur nearer the surface above the frost line, could also radically hasten deterioration of the discs.

³⁵ Na een ongeval in Duitsland in 2014, is de procedure aangepast waarmee het duplex slagpijpje wordt verwijderd; dit gebeurde in NL eerst met de hand, nu op afstand.

³⁶ Indien de detonator in gewapende stand wordt aangetroffen met een (extern op de kopse kant waarneembare) doorgedrongen wapeningsas (zie ter voorbeeld Figuur 9), wordt aangenomen dat de slagpin mogelijk is ingedrongen in het slaghoedje.

The worst and most rapid deterioration of otherwise “healthy” celluloid that I have ever seen was a collection that I had myself stored for future research in a freezer at a major museum in the US. When I went to check the objects after just a few months, they were in terrible shape. One piece I remember very clearly was about $\frac{3}{4}$ of a mm in thickness, yet I could push a pin through it easily and could bend it like rubber. It was actually the consistency of tofu. It was a hair comb that had been rigid and hard just months before. After checking to find out what happened, I realized that the freezer was a “frost free” freezer and had cycled through regular cycles of defrosting and refreezing to control frost build up. A long story, but illustrative of the effects of cycling temperature, above and below the freezing point, and fluctuating RH on the physical and chemical state of celluloid.

There is also some evidence that the presence of copper salts, from corrosion of the copper alloys like the detonator casing for example, causes cellulose nitrate solids to irreversibly gel.

So, high RH, temperature fluctuation, potential freezing and thawing cycles, the presence of copper corrosion products like salts, and the absence of any buffering fillers in the original celluloid recipe would all point to accelerated deterioration.

6 Conclusies

Onderzoek is wenselijk naar de trillingsgevoeligheid van de ontstekers die in WOII vliegtuigbommen zijn toegepast om een veilige werk- en gebruiksomgeving in en nabij CE verdacht gebied te borgen en een bijdrage te leveren aan de doelmatigheid van opsporing en ruiming. Met de resultaten uit dit onderzoek kan mogelijk, afhankelijk van het type ontsteker, de trillingsnorm worden verhoogd of verlaagd, respectievelijk leidend tot een grotere en kleinere veiligheidsafstand tussen bom en constructiewerkzaamheden (zoals bijvoorbeeld heien).

Blindgangers worden in de Nederlandse bodem aangetroffen omdat het ontstekingsmechanisme niet heeft gefunctioneerd. Dit is veroorzaakt door:

- productie- of ontwerpfouten, menselijk falen, afworp in ongewapende stand;
- onvolledige wapening door verkeerde afworp (te laag, te stijl, tuimelend, verkeerde inslaghoek) ;
- onvoldoende traagheidskrachten op de slagpin door de slappe ondergrond;
- het niet functioneren van het chemisch lange vertragingmechanisme (waarbij de aceton de celluloid disk, die de voorgespannen slagpin weerhoudt in te slaan op de detonator, niet (voldoende) heeft opgelost).

Het ontstekingsmechanisme is geanalyseerd van (luchtdruk) diafragma impact ontstekers en van ontstekers met een slagpin-ophoudveer combinatie.

Trillingsgevoeligheid is ingeschat op basis van:

- activeringskracht van de slagpin op de energetische initiatielading;
- de activeringsweg die de slagpin aflegt om de initiatielading te bereiken;
- de eigenfrequentie van de slagpin-ophoudveer combinatie in relatie tot de frequentie van de grondtrilling ten gevolge van heien, het slaan van damwanden en verkeer.

De benodigde gegevens voor deze analyse zijn afgeschat op basis van technische tekeningen; veerdraad diameter, veer diameter, aantal windingen, activeringsweglengte en slagpin massa. De activeringskracht van de diafragma ontstekers is groot (~ 5 kgf) maar de activeringsafstand is klein (~ 1 mm) ten opzichte van de impact-ophoudveer ontstekers, waardoor de activeringsenergie voor beide van de zelfde orde zijn. De activeringskracht van de veer gebaseerde pistolen en buizen is laag (~ 0.3 kgf) en de eigenfrequentie ligt binnen het overkoepelende frequentiebereik van grondtrilling ten gevolge heien, trillen van damwanden en verkeer, waardoor resonantie en opslinging in amplitude mogelijk zijn.

Een verticale oriëntatie van het bomlichaam met de neus naar beneden vormt het meest kritische scenario omdat onder invloed van de zwaartekracht de activeringskracht en de activeringsweglengte van mechanische impact ontsteker met ophoudveer significant worden verkleind.

De volgende mechanische impact ophoudveer ontstekers worden door TNO ingeschat als mogelijk trillingsgevoelig:

- M103/M163/M139 in delay stand en in super quick stand;
- no28/no30;
- no846;
- M100/M101/M102.

De volgende diafragma ontstekers worden door TNO ingeschat als mogelijk trillingsgevoelig:

- no 45, no873 en no44.

Om inzicht te krijgen in de aantallen en typen ontstekers in Nederlandse bodem is in samenwerking met de EODD een inventarisatie uitgevoerd door middel van een zoekopdracht in de MinDef PLANON digitale database, een enquête onder (voormalig) EOD'ers en een gerichte lichting UO's op basis van bombardementen op steden en vliegvelden. Tevens is de (voormalig) EOD'ers gevraagd naar hun inschatting van de trillingsgevoeligheid van de ontstekers.

De meest voorkomende ontstekertypen uit deze inventarisatie zijn:

- het Engelse no 30 staart impact pistool;
- de Amerikaanse (AN-) M100, 101, 102 serie staart impact buis;
- het Engelse no 37 staart pistool met chemisch lange vertraging & anti-demonteer inrichting;
- de Amerikaanse AN-M103 neus impact buis.

Waarbij de trillingsgevoeligheid van de impact ontstekers wordt ingeschat als *niet tot mogelijk* en van de ontsteker met chemisch lange vertraging als *zeer gevoelig*³⁷.

De trillingsgevoeligheid van het ontstekingsmechanisme wordt bepaald door de gevoeligheid van de energetische materialen en de mechanische onderdelen. Beide zijn onderhevig aan veroudering. De gebruikte energetische materialen in Duitse elektrische ontstekers en Engelse en Amerikaanse buizen zijn pyrotechnische mengsels, Tetryl en zwart kruit. In de detonatoren, toegepast in combinatie met Engelse pistool impact ontstekers, werd kwikfulminaat, loodazide en loodstyfnaat gebruikt. Veroudering van deze energetische materialen maakt ze ongevoeliger en de kans op correct functioneren van de ontsteker wordt kleiner, zeker na indringing van vocht. De ervaring leert echter dat correct functioneren van de ontsteker echter niet kan worden uitgesloten, ook niet na veroudering.

Indien vocht kan doordringen tot de energetische lading van de ontsteker kan dit leiden tot de tijdelijke vorming van het zeer gevoelige koperazide. Deze instabiele verbinding wordt naar verwachting binnen een jaar omgezet naar minder gevoelige verbindingen. Tevens geldt dat vocht de energetische lading ongevoeliger maakt vanwege haar vlam dovende werking. Dus ook wanneer koperazide wordt gevormd zal uiteindelijk de ontsteker ongevoeliger worden door veroudering van de energetische lading.

Op basis van een visuele inspectie van opengewerkte exemplaren van de ontstekers die uit de inventarisatie naar voren komen, wordt geconcludeerd dat de mechanische onderdelen van ontstekers niet gevoeliger worden door veroudering. Een uitzondering is de celluloid disk in ontstekers met een chemisch lange vertraging. Deze disk wordt zacht door chemische degradatie onder invloed van vocht of is onderhevig aan degradatie en verbrossing in droge condities als gevolg van inwendige materiaal spanningen. Omdat beide vormen van degradatie de disk verzwakken wordt deze disk en daarmee de ontsteker door veroudering gevoeliger voor trillingen.

NATO MSIAC onderschrijft de beschouwingen in dit rapport met betrekking tot:

- de werking van het ontstekingsmechanisme van ontstekers en de aanwezige energetische lading;
- de trilling ongevoeligheid van Duitse elektrische ontstekers;

³⁷ Zie Tabel 9 voor de minder vaak voorkomende ontstekertypen en hun ingeschatte trillingsgevoeligheid.

- de trillingsgevoeligheid van de aan veroudering onderhevige celluloid disk in chemisch lang vertraagde ontstekers, die trillingsgevoeliger wordt met de tijd;
- de mogelijkheid dat ontstekeronderdelen nog in uitstekende conditie kunnen verkeren maar dat vocht mogelijk door de afdichtingsseal kan dringen.

De toevoeging van MSIAC dat een ingedrongen slagpin als meest risicovol wordt beschouwd wordt door TNO bevestigd voor ontstekers met een chemisch lange vertraging en een slagpin onder veerspanning. Voor mechanische ontstekers met een ophoudveer wordt de kans op initiatie bij het loskomen door trilling van een ingedrongen slagpin klein geschat. Maar omdat de slagpin in contact is met de initiatie lading kan de verandering in trillingsgevoeligheid voor mechanische ontstekers met een ophoudveer en ingedrongen slagpin niet worden beoordeeld relatief ten opzichte van een niet ingedrongen slagpin.

[Lausch, 2015] onderschrijft de conclusies in dit rapport met betrekking tot:

- de trillingsgevoeligheid van de ontstekers die naar voren zijn gekomen uit de inventarisatie, met enkele uitzonderingen (zie paragraaf 5.2);
- het niet verouderen van de mechanische onderdelen;
- het minder gevoelig worden van energetische ladingen door degradatie;
- het gevoeliger worden van de celluloid disk in chemisch lange vertragingsonstekers.

[Lausch, 2015] stelt dat de slagpin van de Engelse pistool no30 kan zijn ingedrongen in het slaghoedje en dat de vorming van koperazide niet kan worden uitgesloten.

[Reilly, 2015] onderschrijft de conclusies in dit rapport met betrekking tot degradatie van de celluloid disk die inherent is aan het materiaal en die kan versnellen onder invloed van vocht. [Reilly, 2015] voegt toe dat degradatie kan worden versneld door temperatuur fluctuaties (met bevroering en ontdooiing) en de aanwezigheid van koper corrosie producten en de potentiële afwezigheid van additieven in het celluloid die degradatie tegengaan.

7 Advies

Op basis van de TNO inschatting van de trillingsgevoeligheid en de frequentie van aantreffen en de ingeschatte trillingsgevoeligheid volgend uit de inventarisatie en de externe expertise door [Lausch, 2015], wordt geadviseerd de volgende mechanische impact ontstekers te onderzoeken naar trillingsgevoeligheid in het frequentiebereik van grondtrillingen als gevolg van constructiewerkzaamheden (5 – 40 Hz):

- Engels no30 impact staartpistool (representatief voor de no28);
- Amerikaans M100 staart impact buis (representatief voor de M101 en M102);
- Amerikaans AN-M103 in superquick stand (representatief voor de M139 en M163 en conservatief voor de delay stand van deze ontstekers);
- Engels no873 neus impact diafragma buis;
- Engels no846 neus impact buis;
- Amerikaans M106 staart impact buis;
- Amerikaans M112 staart buis impact.

Een studie wordt afgeraden naar de veroudering van de celluloid disks onder veerspanning in ontstekers met chemisch lange vertraging. De complexiteit van een onderzoek met versnelde veroudering zorgt op voorhand voor een onzekere uitkomst omdat het onderzoek wordt bemoeilijkt door de vele parameters (materiaalspanning door veerspanning, vochtgehalte, temperatuurswisselingen, de potentiële aanwezigheid van koper corrosie producten en materiaal additieven tegen veroudering).

Er wordt geadviseerd om voor testen in het veld, waarbij trillingen op de ontsteker worden gemeten als gevolg van trillingen door constructiewerkzaamheden, uit te gaan van het meest kritische scenario; dit is een verticale positie van het bomlichaam met de neus naar beneden waarbij de zwaartekracht in lijn is met de beweging van de slagpin. Dit levert conservatieve trillingswaarden ten opzicht van niet verticaal georiënteerde bommen. Om te voorkomen dat te conservatieve waarden worden gegenereerd voor niet verticaal georiënteerde bomlichamen, wordt geadviseerd om ook een horizontale oriëntatie van het bomlichaam te testen.

8 Referenties

- Andrews & Swan, 2011
British bomb and rocket pistols and fuzes 1914- 2007, second edition, November 2011
- AN-M100, 1944
Fuze, bomb, tail, AN-M100A1-limited standard, Fuzes, bomb, tail, AN-M100A2, AN-M101A2, AN-M102A2-standard, sheet from office chief of ordnance report, 1 March 1944
- AN-M103, 1944
Fuze, bomb, nose, AN-M103-standard, sheet from office chief of ordnance report, 1 March 1944
- Bergman, 2015
Telefoongesprek tussen LK C. (Kees) Bergman, 13-5-2015
- Bouma, 2012
Gevoeligheid van UneXploded Ordnance voor grondtrillingen, TNO memorandum 12EM/712, 5 juli 2012
- Daily Mail, 2013
<http://www.dailymail.co.uk/home/moslive/article-2300139/World-War-II-How-RAF-helping-destroy-unexploded-wartime-bombs--Germany.html>, 30 March 2013
- Duvalois & van Ham & Kroon, 2011
Risk Assessment of Old German Detonators, TNO-rapport TNO-DV 2011 C233, September 2011
- Elert, 2007
Elert, G., The Chaos Hypertextbook, Harmonic Oscillator, <http://hypertextbook.com/chaos/41.shtml>, 2007
- Ellern, 1968
Military and Civilian Pyrotechnics, Chemical Publishing Company, Inc, USA, 1968
- Josseling de Jong, 1976
Onderzoek schokbuizen type V-9 en type V-19, fabricaat Hotchkiss-Brandt, TNO rapport TL 1976-15, 18 November 1976 [*Confidentieel*]
- Kroon & van Ham, 2012
Analyse en advies met betrekking tot potentiële WOII blindgangers in de Zwolse wijk Holtenbroek, TNO 2012 R10104 | 2, 25 juni 2012.
- Van Ham & Duvalois, 2003
Ham, N.H.A., Duvalois, W., Onderzoek AT26 ontstekers, TNO rapport PML 2003-A60, juli 2003

- Higgins, 1961
Airmunitions Test Report, Serviceability and function test of Primer Detonator M14, Armed Services Technical Information Agency, November 1961
- Huibers, 1990
Risico van een ondergrondse bomexplosie als gevolg van trillingen veroorzaakt door heien, Majoor M.J. Huijbers, Commandant van de Explosieven Opruimings Dienst (EOD Richtlijn), 1990
- Lamnevik, 1966
Mechanism for the breakdown of Lead Azide, Proceedings of the Symposium on Lead and Copper Azides, Waltham Abbey UK, 25-26 October 1966
- Lamnevik, 1975
Lead Azide The Ideal Detonant?, Proceedings of the International Conference on Research in Primary Explosives, Waltham Abbey, 17-19 March 1975
- Lausch, 2015
E-mail communicatie tussen Erik Kroon en Bernd Lausch van de Sprengschule Dresden, Mei 2015
- Monsees, 2014
Interview met Kapt. E.W.F. Monsees, 19 augustus 2014
- Monsees, 2015
E-mail communicatie tussen Erik Kroon en Erwin Monsees, Maart 2015
- Maritime and Coastguard Agency, 1998
A survey of the wreck of the SS Richard Montgomery, A summary report, The Maritime and Coastguard Agency an Executive Agency of the Department of Environment, Transport and the Regions, June 1998
- Muller, 1990
Muller, T.K., Mogelijke ondergrondse bomexplosies als gevolg van trillingen veroorzaakt door heien, IFCO, opdracht nummer 89080-2, 4 juli 1990
- Muller, 2007
T.K. Muller, Meten, beoordelen en voorspellen van trillingen in de bouw, Geotechniek, pg 40-46, oktober 2007
- MSIAC, 2014
MSIAC response to Question No. 2013-NLD-2456, December 2014

- NIOD, 2014
<http://www.niod.nl/nl/vraag-en-antwoord/duitse-en-geallieerde-bombardementen-op-nederland> (1-10-2014)
- Ordnance Pamphlet 1548, 1945
OP1548, Bomb fuze data, Part 1 Navy Bomb Fuzes, Part 2 Army Bomb Fuzes, Navy Department, Bureau of Ordnance, Washington D.C. USA, 5 October 1945
- Ordnance Pamphlet 1664, 1947
U.S. Explosive Ordnance, Bureau of Ordnance Publication, 28 May 1947
- Ordnance Pamphlet 1665, 1945
US Navy Bureau of Ordnance Publication 1665 – British Explosive Ordnance dated 10 Jun 1946
- Reilly, 1991
Celluloid objects: their chemistry and preservation, American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, USA, 1991
- [Reilly, 2015]
E-mail communication between Erik Kroon and Julie Reilly, March 2015
- TM 9-1980, 1944
TM 9-1980 Bombs for aircraft, War Department, November 1944
- TM 9-1325-200
TM 9-1325-200, TO 11-1-28, Bombs and bomb components, Department of the army, the navy and the air force, April 1966
- VEO Position paper, 2013
Position Paper Trillingen in Conventionele Explosieven (CE) verdacht gebied, 3VEO-VOO.05999.R, 25 april 2013
- VS-9-861, 2010
VS-9-861, Voorschrift opsporen en ruimen van explosieven, Vastgesteld door C-OTCO d.d. 29 september 2010
- Van Woensel, 2004
Vrij van explosieven, De geschiedenis van het EOCKL en zijn voorgangers, 1944 – 2004, Institute of Military History of the Royal Netherlands Army, The Netherlands, 2004.
- US EOD Manual, datum onbekend
Explosive ordnance disposal manual, section 2 bombs and bomb fuzes, datum onbekend

Duits EOD Handboek, datum onbekend
Munitionsmerkblatt, Amerikanischer Bombenzünder und
Detonatoren, Englische Brand-, Leucht-, Blitzlichtbomben, datum
onbekend

9 Ondertekening

Rijswijk, Oktober 2015

TNO Technical Sciences

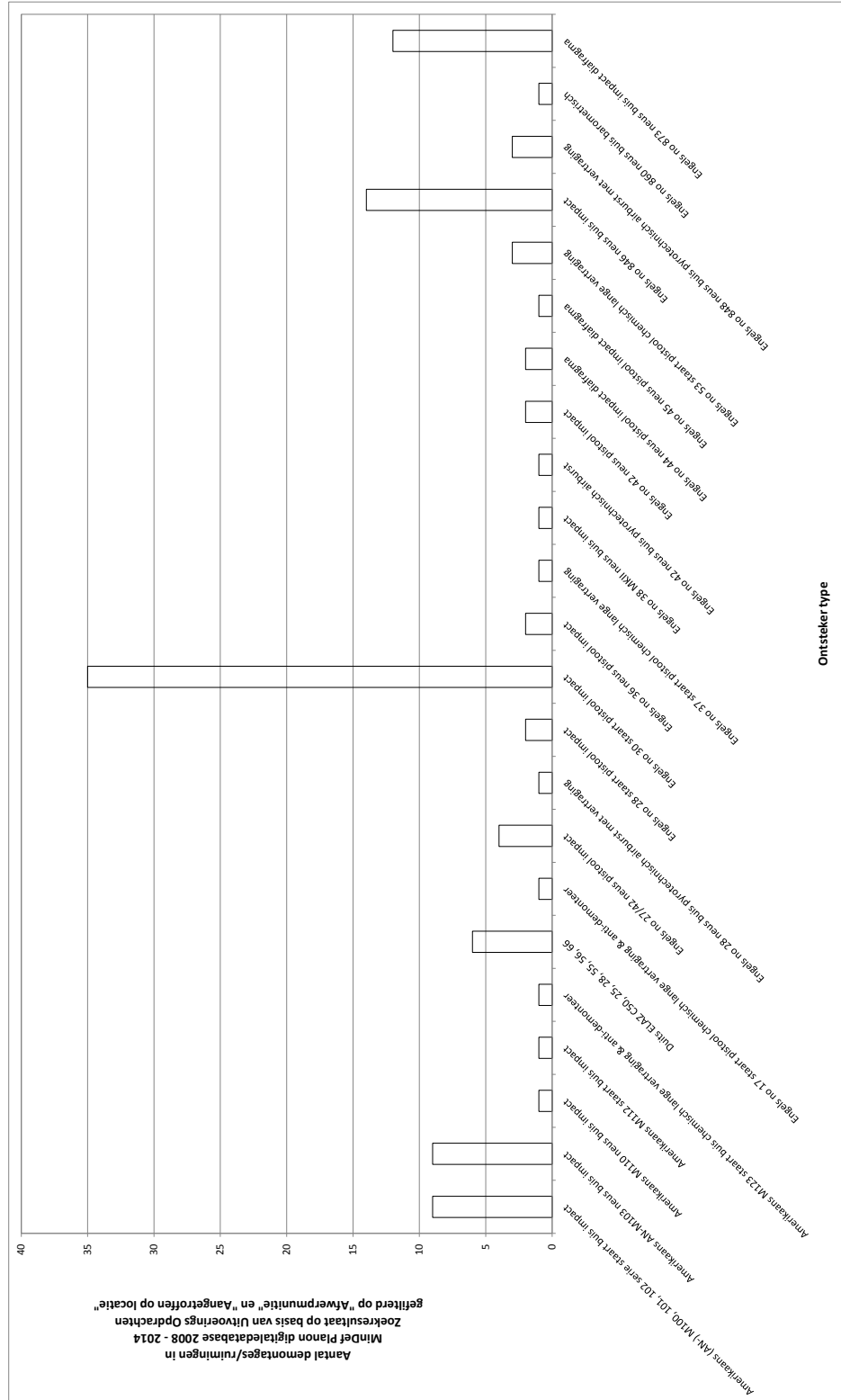
A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to be 'P. Hendriksen'.

Ing. P. Hendriksen
Research Manager
Energetische Materialen

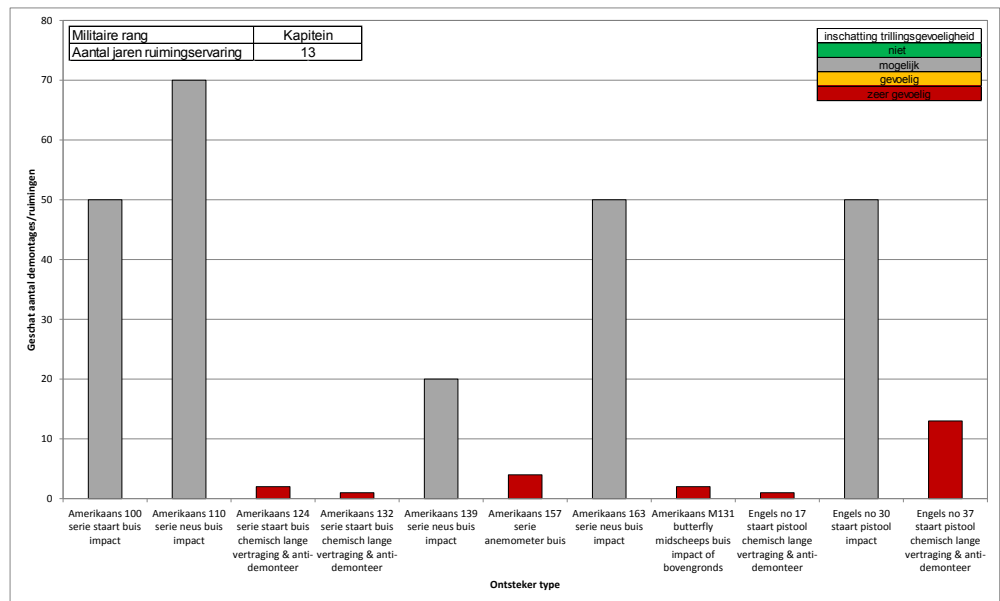
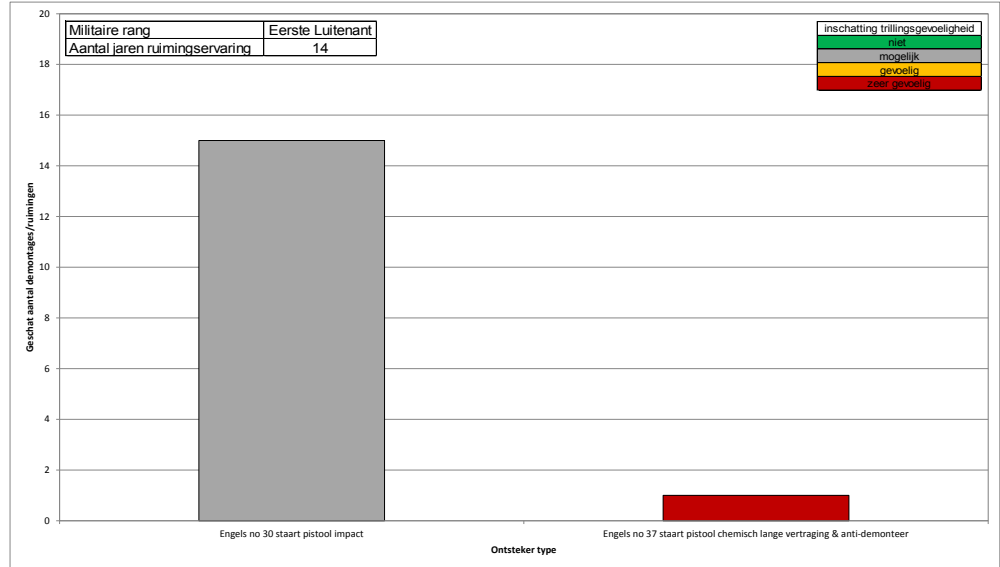
A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to be 'E.J. Kroon'.

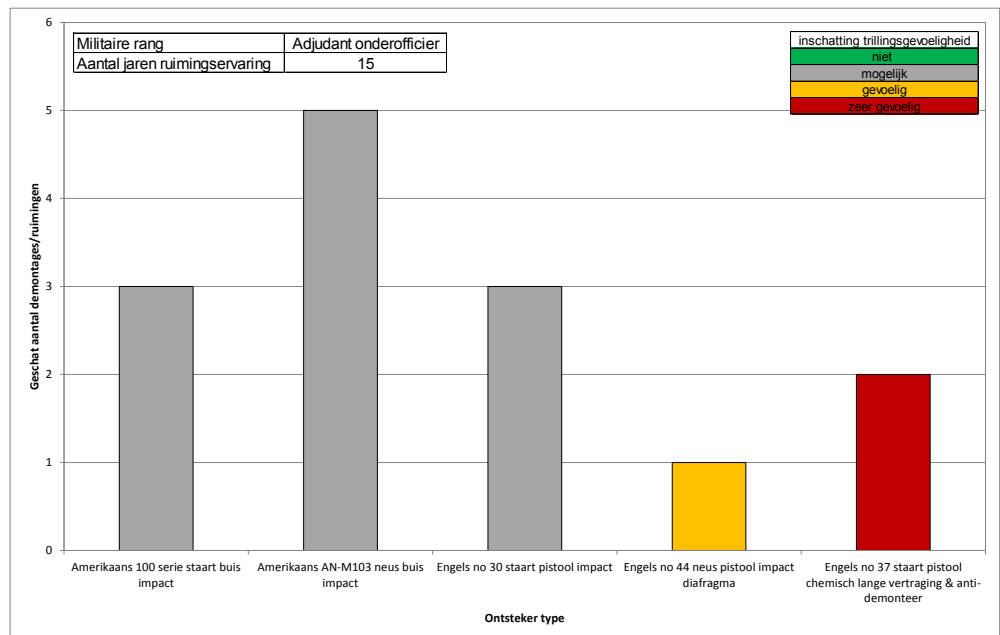
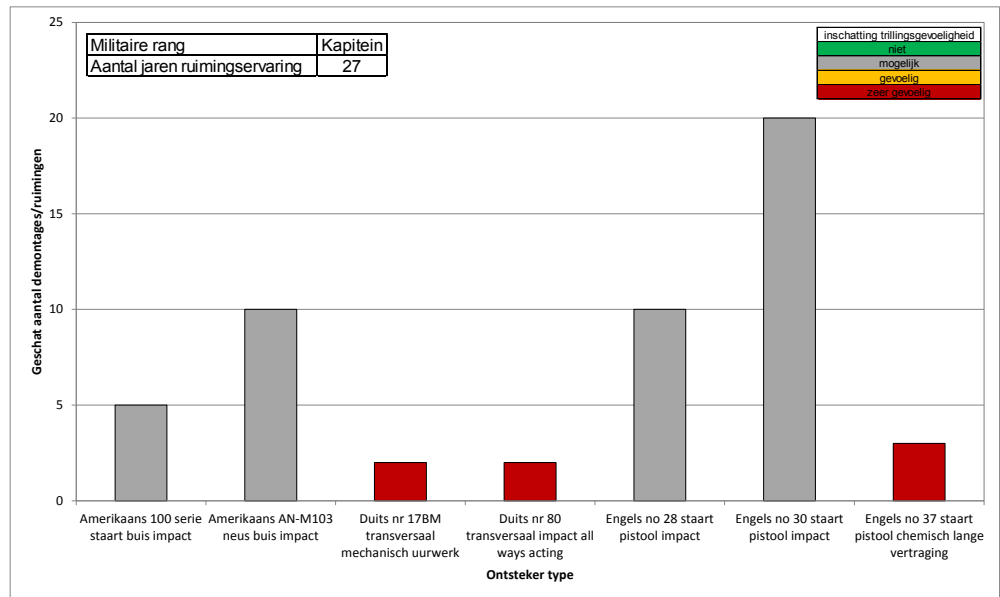
E.J. Kroon
Auteur

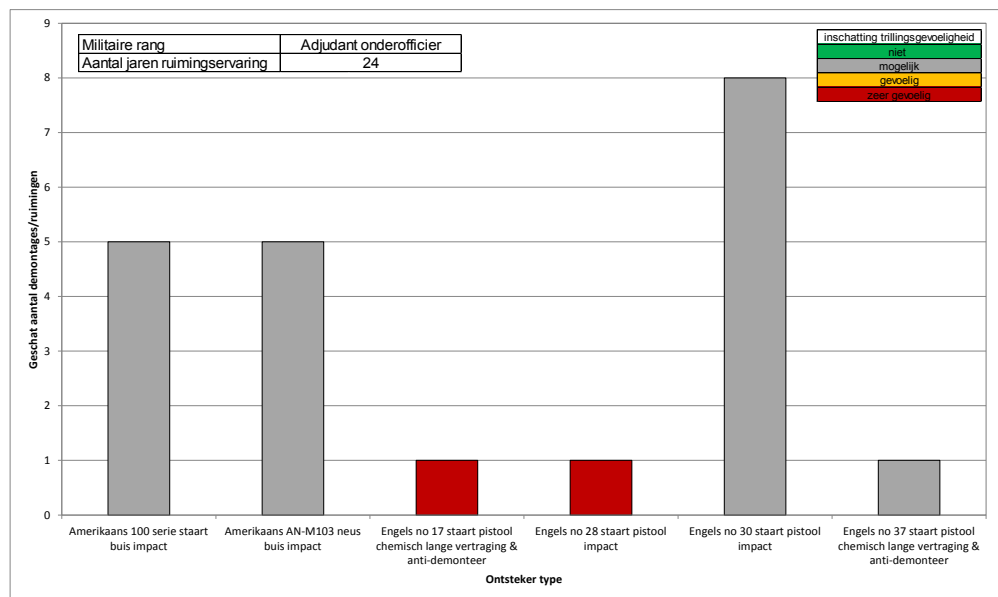
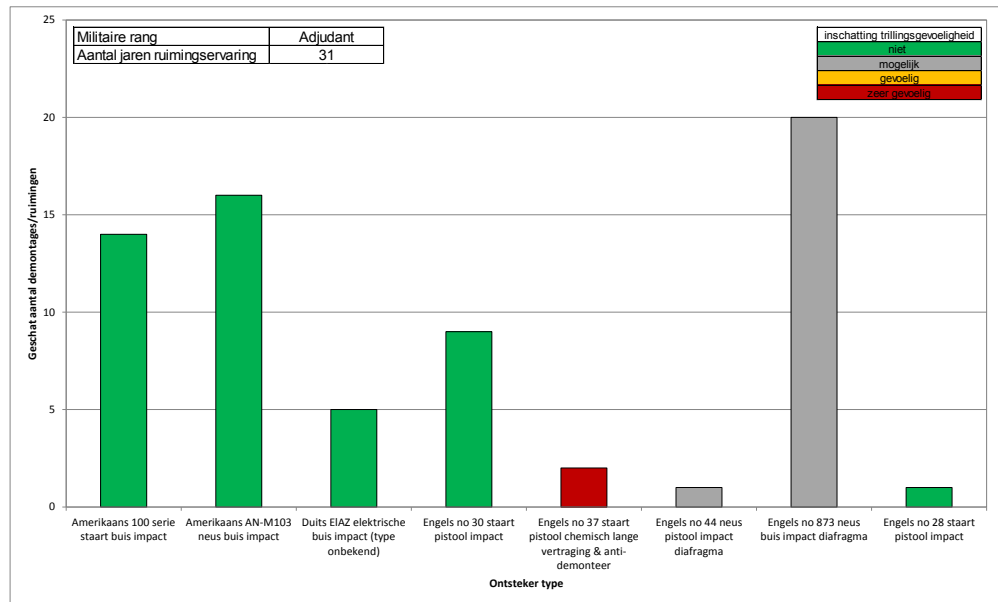
A Resultaat zoekopdracht in PLANON database

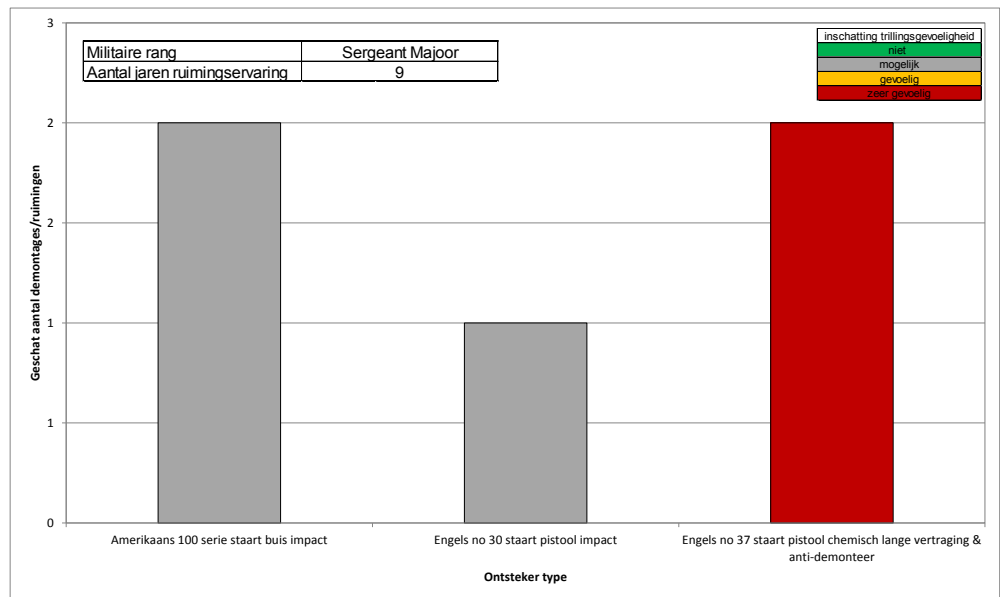
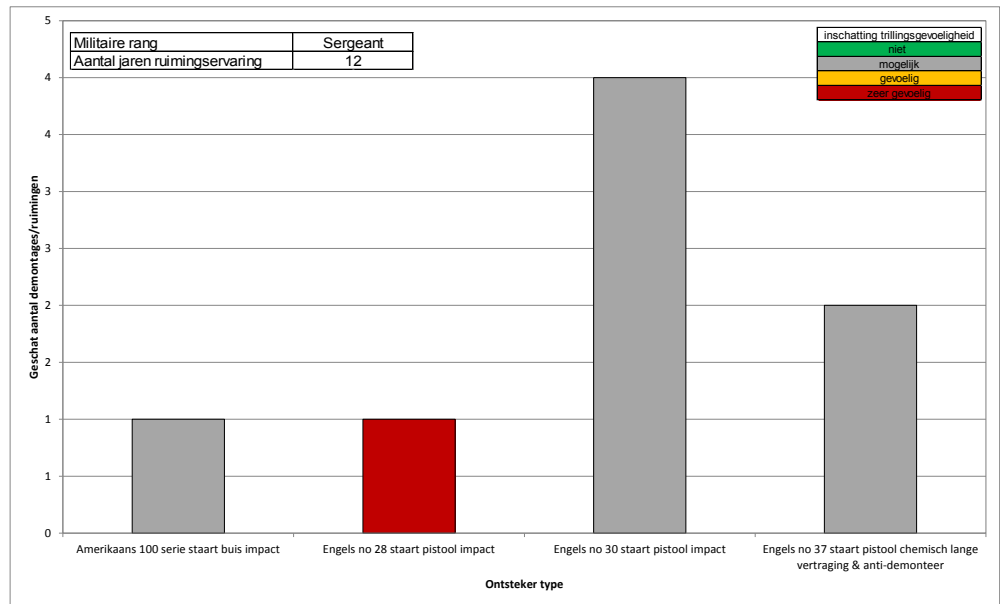


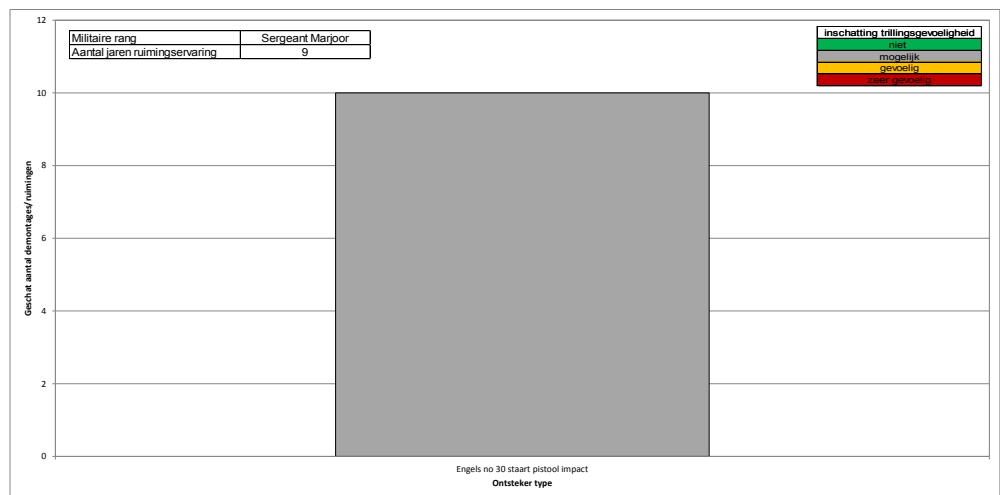
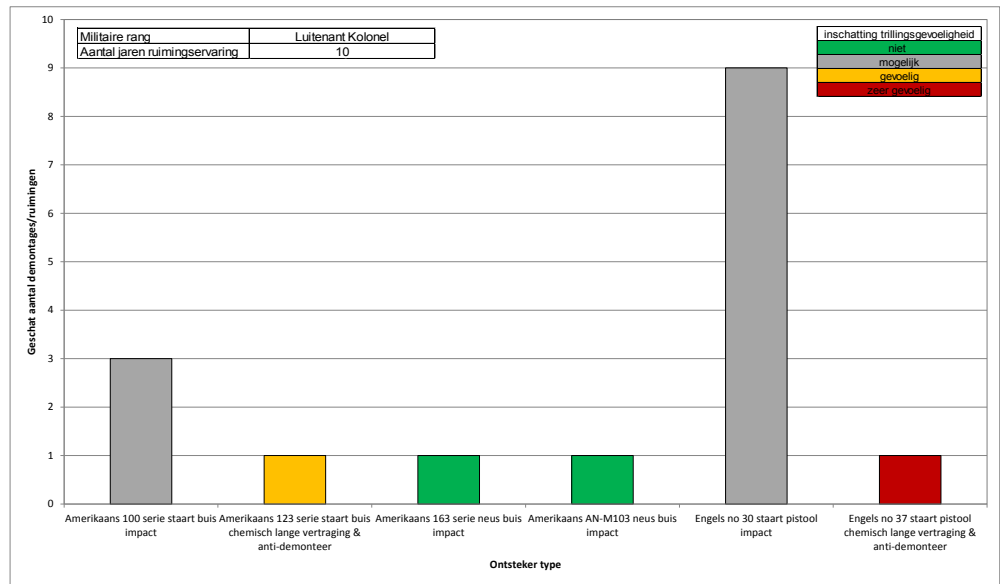
B Respons op enquête

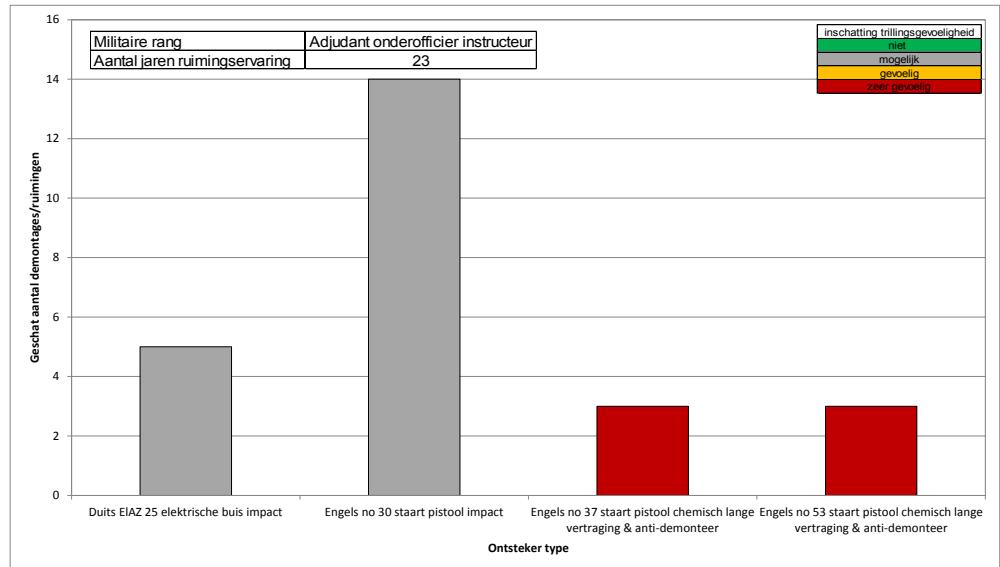
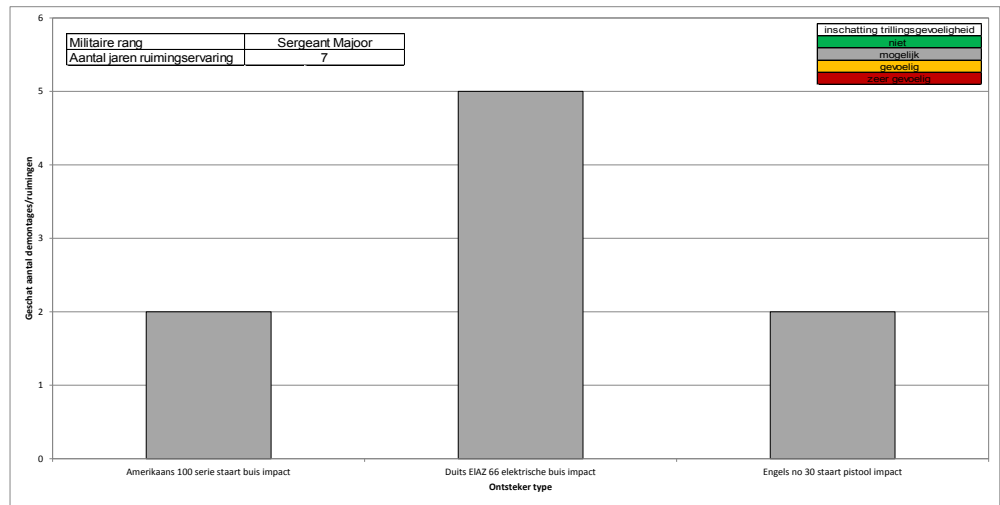


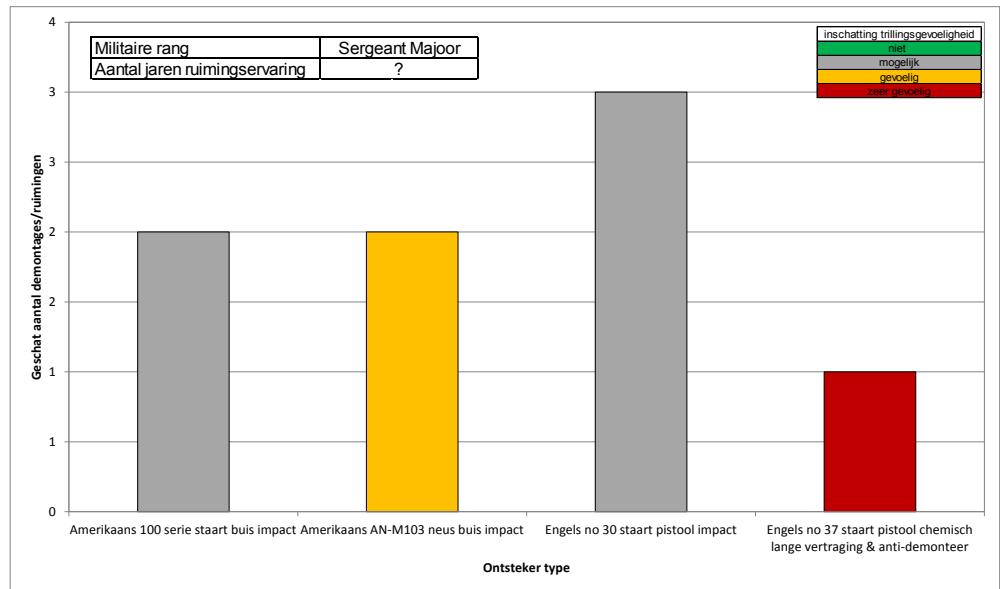
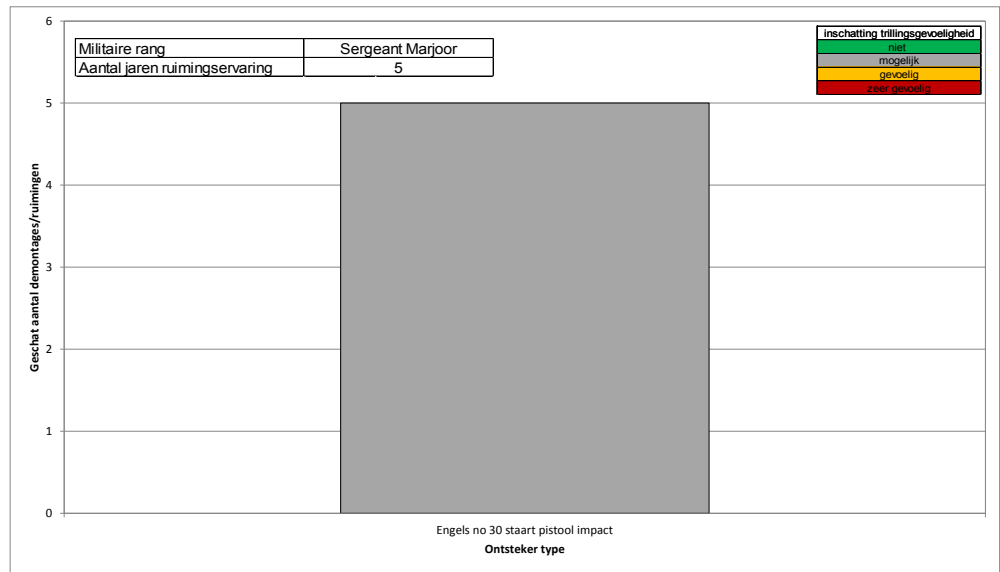


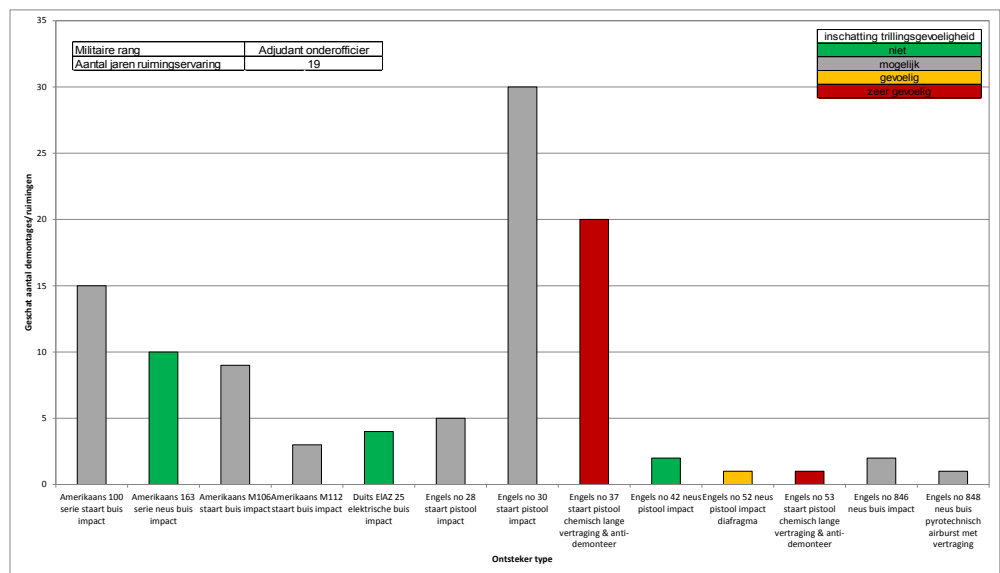
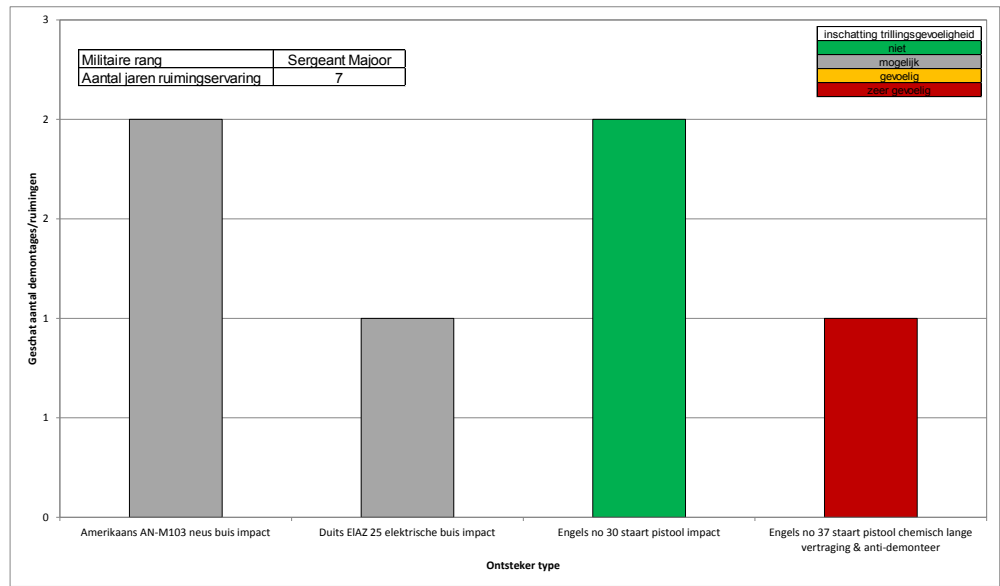


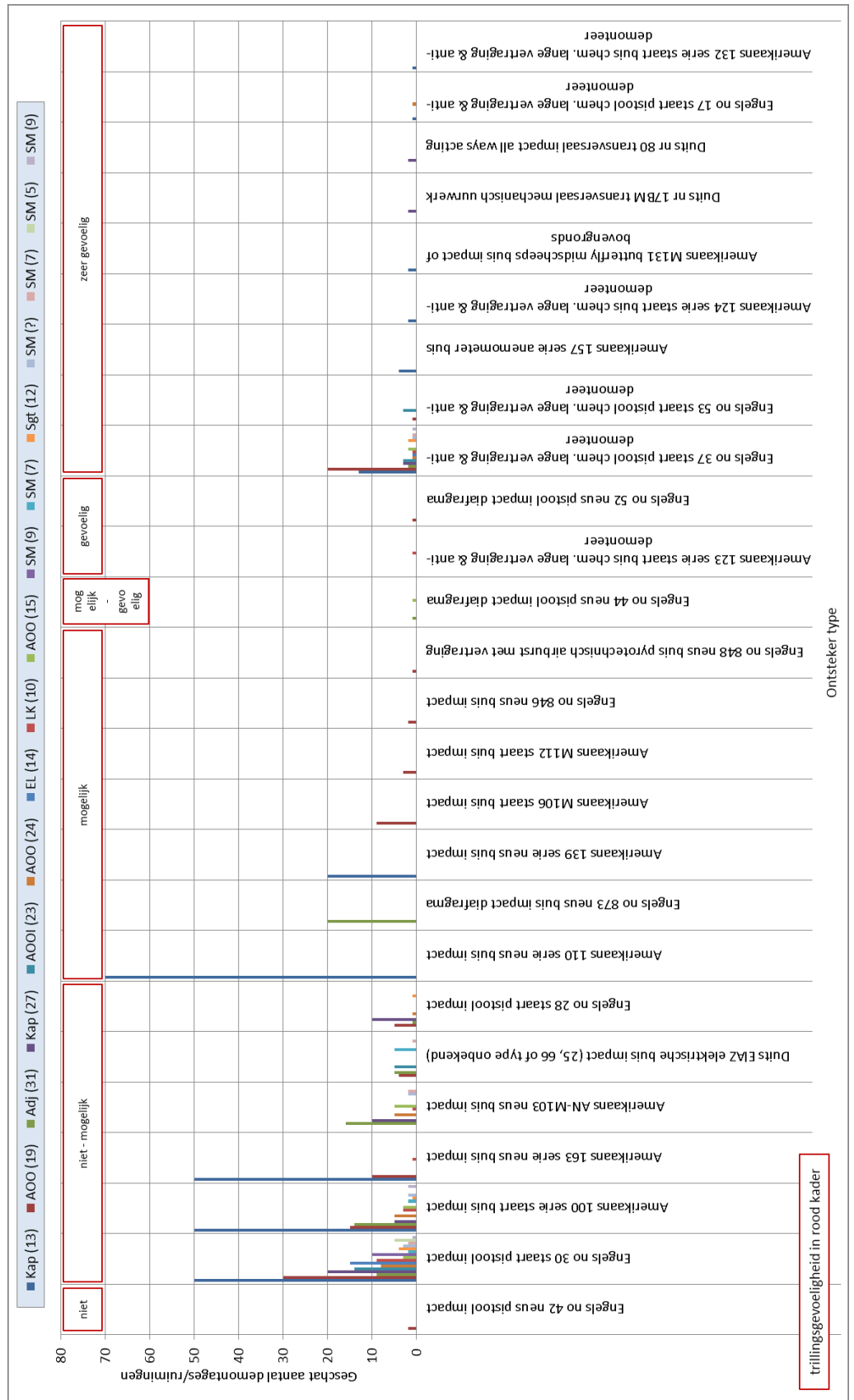




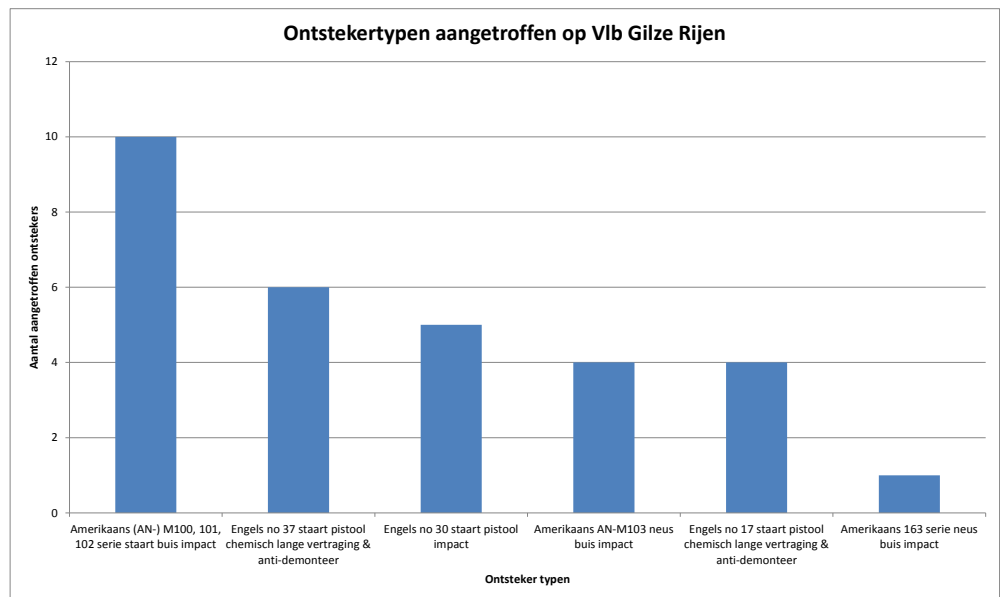
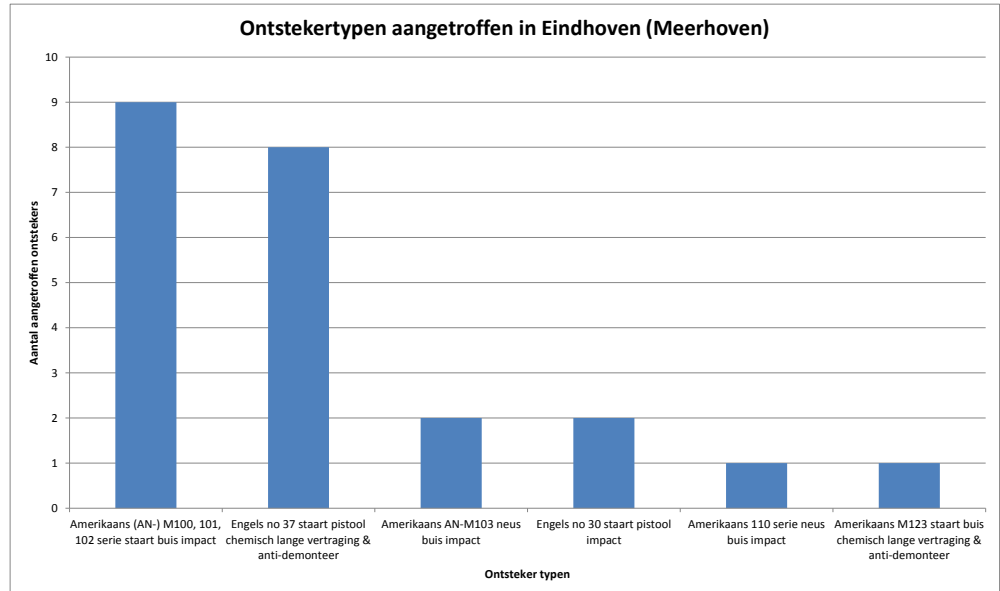


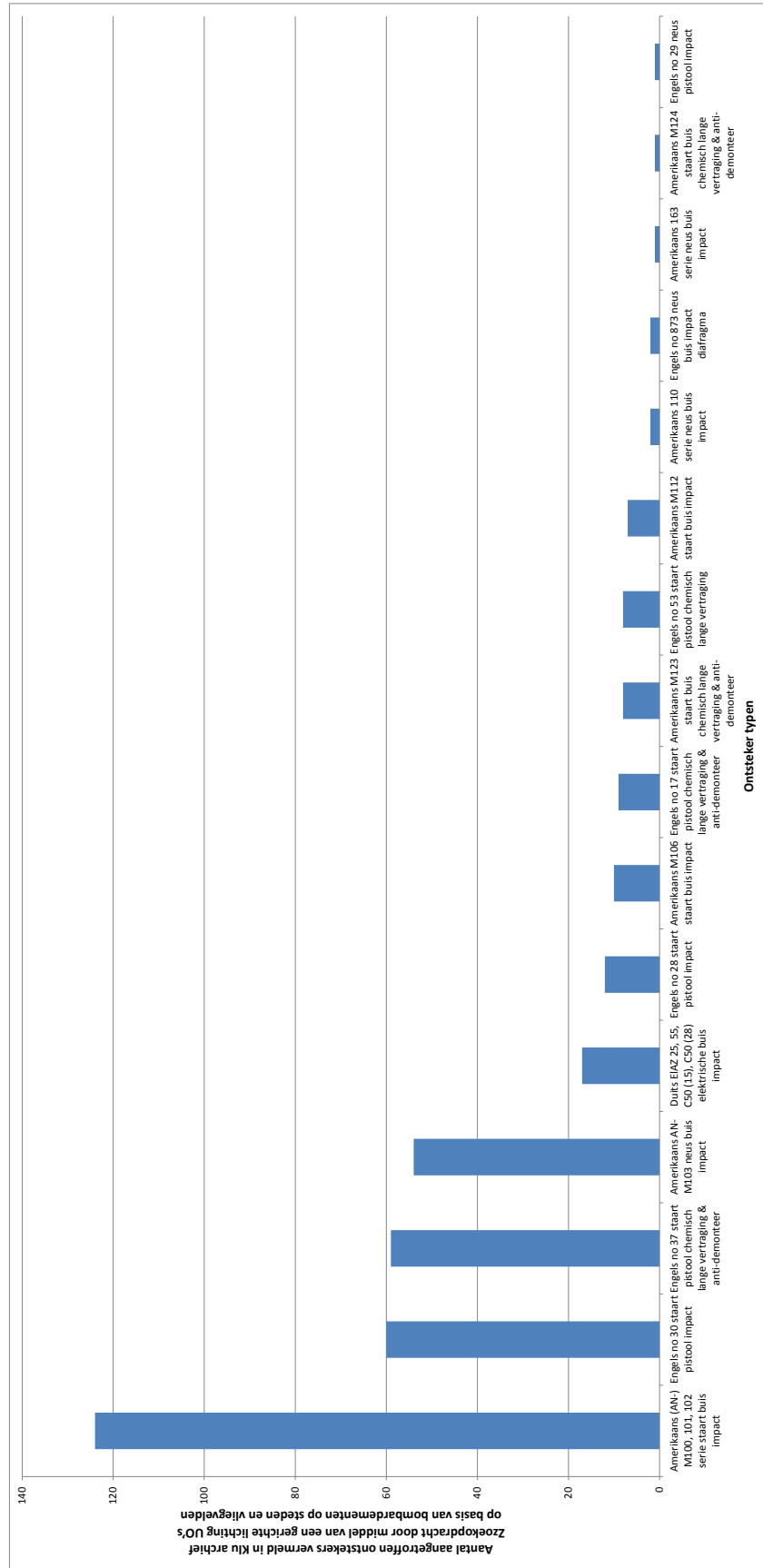






C Resultaat gerichte lichting UO's





Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
9-9-2005	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	's heer arendskerke	1
6-5-2005	1900 lbs GP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Bentelo	1
6-5-2005	1900 lbs GP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Bentelo	1
14-10-1989	500 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Bergeijk	1
14-10-1989	500 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Bergeijk	1
14-10-1989	500 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Bergeijk	1
14-10-1989	500 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Bergeijk	1
1-7-1999	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Bergsche Maasdijk	1
23-4-2004	250 lbs GP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Biervliet	1
25-2-2003	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Biggekerke	1
1-3-2007	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Borsele Sloedam	1
10-10-1996	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
19-6-1997	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
28-10-1997	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
19-2-1998	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
19-2-1998	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
30-9-1998	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
19-2-1998	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
11-10-1996	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
25-4-1997	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
25-4-1997	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
28-10-1997	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
3-11-1978	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
19-6-1997	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Breskens	1
25-4-1997	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Breskens	1
28-10-1997	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Breskens	1
30-9-1998	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Breskens	1
24-10-1995	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Breskens	1
24-10-1995	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Breskens	1
24-10-1995	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Breskens	1
24-10-1995	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Breskens	1
24-10-1995	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Breskens	1
25-4-1997	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Breskens	1
28-10-1997	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Breskens	1
24-2-2000	250 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Burgh-Haamstede	1
9-4-2001	500 lbs GP USA	Amerikaans M112 staart buis impact	Convenant	1
16-10-2001	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Convenant	1
16-10-2001	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Convenant	1
9-4-2001	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Convenant	1
14-10-1957	500 lbs MC UK	Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	Deelen	1
20-3-1958	500 lbs MC UK	Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	Deelen	1
1-4-1959	500 lbs MC UK	Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	Deelen	1
16-4-1963	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Deelen	1
10-10-1975	500 lbs MC UK	Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	Deelen	1
12-12-1977	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Deelen	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
4-10-1957	500 lbs GP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Deelen	1
15-10-1957	500 lbs GP UK	Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Deelen	1
7-10-1968	50 kg brandbom Duits	Duits EIAZ 55 elektrische buis impact	Deelen	1
29-10-1968	50 kg brandbom Duits	Duits EIAZ 55 elektrische buis impact	Deelen	1
18-3-1958	1000 lbs MC UK	Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	Deelen	1
19-3-1958	1000 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Deelen	1
3-12-1963	1000 lbs MC UK	Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	Deelen	1
2-10-1957	1000 lbs GP UK	Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	Deelen	1
13-11-1969	500 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Eindhoven	1
3-12-1970	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Eindhoven	1
9-4-2001	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Eindhoven	1
16-10-2001	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Eindhoven	2
18-10-2002	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Eindhoven	1
5-6-2003	260 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Eindhoven	1
3-10-1991	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Eindhoven	1
2-12-1965	20 lbs USA	Amerikaans 110 serie neus buis impact	Eindhoven	1
7-7-1998	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Eindhoven	1
29-4-1993	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Eindhoven	1
21-8-1995	100 lbs GP USA	Amerikaans M123 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Eindhoven	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
9-4-2001	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Eindhoven	1
14-2-1990	50 kg SC Duits	Duits EIAZ 25 elektrische buis impact	Enschede	1
23-10-2001	50 kg SC Duits	Duits EIAZ C50 (28) elektrische buis impact	Etten Leur	1
17-11-2006	250 kg SC Duits	Duits EIAZ C50 (15) elektrische buis impact	Etten Leur	1
15-4-1969	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Gilze Rijen	1
15-4-1969	500 lbs MC UK	Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Gilze Rijen	1
21-4-1969	500 lbs GP US	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Gilze Rijen	1
21-4-1969	500 lbs GP US	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Gilze Rijen	1
5-5-1969	500 lbs GP US	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Gilze Rijen	1
7-10-1970	500 lbs GP UK	Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Gilze Rijen	1
15-3-1973	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Gilze Rijen	1
18-9-1975	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Gilze Rijen	1
19-4-2002	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Gilze Rijen	1
22-2-1973	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Gilze Rijen	1
2-3-1972	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Gilze Rijen	1
25-2-1971	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Gilze Rijen	1
30-5-1988	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Gilze Rijen	1
19-8-1969	250 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Gilze Rijen	1
19-8-1969	250 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Gilze Rijen	1
7-12-1990	250 lbs GP UK	Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Gilze Rijen	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
21-4-1969	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Gilze Rijen	1
16-1-1969	1000 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Gilze Rijen	1
26-3-1973	1000 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Gilze Rijen	1
7-3-1973	1000 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Gilze Rijen	1
11-11-1975	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Gilze Rijen	1
19-9-1972	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Gilze Rijen	1
31-8-1972	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Gilze Rijen	1
7-10-1970	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Gilze Rijen	1
9-2-1971	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Gilze Rijen	1
9-2-1971	1000 lbs GP USA	Amerikaans 163 serie neus buis impact	Gilze Rijen	1
19-10-1970	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Gilze Rijen	1
24-2-1970	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Gilze Rijen	1
9-2-1971	1000 lbs GP UK	Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Gilze Rijen	1
12-5-1969	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Gilze Rijen	1
23-12-1989	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Hoogerheide	1
27-7-1988	250 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Hoogerheide	1
26-6-2002	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	HSL A-16	1
12-3-2001	260 lbs Frag USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	HSL A-16	1
26-1-2001	250 kg SC Duits	Duits EIAZ C50 (15) elektrische buis impact	HSL A-16	1
17-4-2004	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Hulten	1
19-12-1991	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Hulten	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
19-12-1991	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Hulten	1
14-4-2007	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Hulten	1
17-4-2004	1000 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Hulten	1
17-6-1998	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Hulten	1
17-6-1998	100 lbs GP USA	Amerikaans M106 staart buis impact	Hulten	1
17-10-1997	1000 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Jisp	1
8-7-1958	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Leeuwarden	1
22-6-1973	40 lbs Frag UK	Engels no 29 neus pistool impact	Leeuwarden	1
30-7-2003	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Leeuwarden	1
9-4-2001	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Meerhoven	1
29-5-2002	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Meerhoven	1
18-10-2002	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Meerhoven	1
2-12-2003	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Meerhoven	1
18-2-2001	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Meerhoven	1
18-2-2001	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Meerhoven	1
14-3-2003	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Meerhoven	1
2-12-2003	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Meerhoven	1
18-4-2000	1000 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Meerhoven	1
5-10-1999	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Meerhoven	1
16-11-1990	500 lbs GP UK	Engels no 53 staart pistool chemisch lange vertraging	Nieuw- Ginneken	1
18-9-1990	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Noord Welle	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
28-6-2007	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Oostburg	1
3-5-1995	1000 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Oostburg	1
24-9-2003	500 lbs GP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Opmeer	1
24-9-2003	500 lbs GP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Opmeer	1
24-9-2003	500 lbs GP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Opmeer	1
16-9-1998	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Rijen	1
10-6-1999	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Rijen	1
16-9-1998	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Rijen	1
20-11-2000	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Rijen	1
13-9-1994	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Roosendaal	1
3-4-2003	500 lbs SAP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Rotterdam	1
11-12-1989	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Rucphen	1
5-10-2000	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Schoondijke	1
22-9-1987	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Soesterberg	1
5-12-2000	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Sprang-Capelle	1
23-8-1990	250 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Sprang-Capelle	1
12-4-2008	500 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Tilburg	1
12-4-2008	500 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Tilburg	1
12-4-2008	500 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Tilburg	1
12-4-2008	500 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Tilburg	1
17-5-2008	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Tilburg	1
17-5-2008	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Tilburg	1
17-5-2008	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Tilburg	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
7-12-2000	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Tilburg	9
7-12-2000	100 lbs GP USA	Amerikaans M106 staart buis impact	Tilburg	9
6-8-1990	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Tonnekreek	1
11-3-1968	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Twente	1
9-5-1959	50 kg SC Duits	Duits EIAZ 55 elektrische buis impact	Twente	1
8-5-2001	50 kg SC Duits	Duits EIAZ 55 elektrische buis impact	Twente	3
28-8-1969	20lbs USA	Amerikaans 110 serie neus buis impact	Twente	1
4-11-1975	20 lbs frag UK	Engels no 873 neus buis impact diafragma	Twente	1
20-11-1958	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Twente	1
11-3-1968	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Twente	1
8-5-2001	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Twente	1
8-5-2001	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Twente	1
8-5-2001	100 lbs GP USA	Amerikaans M123 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Twente	5
9-10-2001	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Twente	1
5-4-1990	500 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven	1
21-3-1992	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven	1
30-11-1992	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Veldhoven	1
16-11-1991	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven	1
27-6-1991	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven	1
27-8-1991	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven	1
13-9-1991	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven	1
20-9-1991	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
3-6-2003	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Veldhoven (Piroc)	1
3-6-2003	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
19-1-2004	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
19-1-2004	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
12-5-2004	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
12-5-2004	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
14-12-2004	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
18-5-2005	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Veldhoven (Piroc)	1
16-9-2005	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
14-12-2004	500 lbs GP USA	Amerikaans M112 staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
14-12-2004	500 lbs GP USA	Amerikaans M112 staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
23-4-2007	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	2
14-3-2003	500 lbs GP UK	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
14-3-2003	500 lbs GP UK	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
14-4-2006	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
23-4-2007	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
14-3-2003	500 lbs GP UK	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
14-3-2003	500 lbs GP UK	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
3-6-2003	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
3-6-2003	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Veldhoven (Piroc)	1
3-12-2003	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Veldhoven (Piroc)	1
23-3-2005	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
18-5-2005	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
18-5-2005	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
14-6-2006	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
9-7-2007	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Veldhoven (Piroc)	1
19-10-2004	250 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
19-10-2004	250 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
18-5-2005	250 lbs GP USA	Amerikaans M112 staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
14-4-2006	250 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
24-11-2005	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
3-6-2003	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
3-6-2003	220 lbs frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
11-6-2004	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
20-10-2004	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
14-3-2003	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
3-12-2003	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
11-6-2004	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
20-10-2004	1000 lbs SAP USA	Amerikaans M112 staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
23-3-2005	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
23-3-2005	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
14-6-2006	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
14-6-2006	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
2-11-2006	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
14-4-2006	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
7-11-2006	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
7-11-2006	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
24-4-2007	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
11-6-2004	100 lbs GP USA	Amerikaans M112 staart buis impact	Veldhoven (Piroc)	1
6-6-1994	1000 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlakerbrug	1
6-6-1994	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlakerbrug	1
1-5-1997	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Vlb Eindhoven	1
25-6-1997	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
13-8-1997	500 lbs MC UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
15-11-1997	500 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Eindhoven	1
15-11-1997	500 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
15-11-1997	500 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Eindhoven	1
15-11-1997	500 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
20-4-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
20-4-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
20-4-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
20-4-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
1-5-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
1-5-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
2-5-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
2-5-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
2-5-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
25-6-1997	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Vlb Eindhoven	1
4-12-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
18-12-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
18-12-1997	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
27-4-2000	500 lbs GP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Vlb Eindhoven	1
10-9-1997	500 lbs GP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Vlb Eindhoven	1
12-5-2005	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
15-11-1997	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Eindhoven	1
25-6-1998	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Eindhoven	1
25-6-1998	220 lbs Frag USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
25-6-1998	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Eindhoven	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
25-6-1998	220 lbs Frag USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
25-6-1998	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Eindhoven	1
25-6-1998	220 lbs Frag USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
7-6-1991	220 lbs Frag USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
1-10-1996	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
19-4-1997	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
27-8-1997	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
15-11-1997	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
25-6-1998	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
30-7-1998	1000 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Vlb Eindhoven	1
8-6-1994	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
19-4-1997	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
19-4-1997	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
19-4-1997	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
1-5-1997	1000 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Eindhoven	1
1-5-1997	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
25-6-1997	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
27-8-1997	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
15-11-1997	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
12-2-1998	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
12-2-1998	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
18-3-1998	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
18-3-1998	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
17-9-1992	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
17-9-1992	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
28-4-1993	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
21-8-1995	100 lbs GP USA	Amerikaans M123 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Eindhoven	1
23-9-1997	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Eindhoven	1
13-2-2006	500 lbs restant USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
3-5-1991	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Vlb Gilze Rijen	1
3-10-1996	500 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
3-10-1996	500 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
11-3-1991	500 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
19-4-2002	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Vlb Gilze Rijen	1
26-10-1987	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Gilze Rijen	1
9-11-1987	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Gilze Rijen	1
30-5-1988	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Gilze Rijen	1
15-11-1989	500 lbs GP UK	Engels no 37 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Gilze Rijen	1
6-12-1990	250 lbs GP UK	Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Gilze Rijen	1
27-8-1990	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
27-8-1990	1000 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Vlb Gilze Rijen	1
13-4-1994	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
4-7-1990	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Gilze Rijen	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
4-7-1990	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
4-4-1991	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
31-8-2006	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
21-8-2006	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
13-9-1987	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
9-11-1987	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
24-3-2006	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Gilze Rijen	1
20-7-2006	500 lbs UK	Engels no 30 staart pistool impact	Vlb Leeuwarden	1
19-7-2006	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Vlb Leeuwarden	1
26-9-1991	500 lbs GP UK	Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Twenthe	1
3-4-2001	50 kg SC Duits	Duits EIAZ 55 elektrische buis impact	Vlb Twenthe	2
29-3-2001	50 kg SC Duits	Duits EIAZ 55 elektrische buis impact	Vlb Twenthe	1
9-11-1987	250 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Twenthe	1
23-3-2001	100 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Twenthe	1
23-3-2001	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Twenthe	1
26-3-2001	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Twenthe	1
29-3-2001	100 lbs GP USA	Amerikaans M112 staart buis impact	Vlb Twenthe	1
4-4-2001	100 lbs GP USA	Amerikaans M123 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Twenthe	1
13-9-1987	100 lbs GP USA	Amerikaans M124 staart buis chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Twenthe	1
9-11-1987	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Twenthe	1
9-11-1987	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Twenthe	1
9-11-1987	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Twenthe	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
9-11-1987	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Twenthe	1
9-11-1987	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Twenthe	1
9-11-1987	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Twenthe	1
13-9-1991	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Twenthe	1
3-10-1988	500 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Volkel	1
8-2-1993	500 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Volkel	1
25-4-1988	500 lbs GP UK	Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Vlb Volkel	1
3-10-1988	220 lbs Frag USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Volkel	1
3-10-1988	220 lbs Frag USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Volkel	1
3-10-1988	220 lbs Frag USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Volkel	1
3-10-1988	220 lbs Frag USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Volkel	1
3-10-1988	220 lbs Frag USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Volkel	1
12-10-2000	1000 lbs MC UK	Engels no 28 staart pistool impact	Vlb Volkel	1
19-4-1988	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Volkel	1
3-10-1988	1000 lbs GP USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Vlb Volkel	1
8-2-1993	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Volkel	1
27-5-1993	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Volkel	1
11-3-1993	100 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlb Volkel	1
24-6-1997	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Vlb Woensdrecht	1
10-1-2003	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Vlissingen	1
22-4-1988	500 lbs GP UK	Engels no 17 staart pistool chemisch lange vertraging & anti-demonteer	Volkel	1
9-10-1969	220 lbs Frag USA	Amerikaans AN-M103 neus buis impact	Volkel	1

Datum	Bom	Ontsteker	Locatie	Aantal
1-7-2003	1000 lbs SAP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Volkel	1
14-8-1986	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Volkel	1
14-5-2007	1000 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Volkel	1
12-10-2000	1000 lbs GP UK	Engels no 28 staart pistool impact	Volkel	1
20-2-1988	250 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Wagenberg	1
27-7-1988	250 lbs GP USA	Amerikaans (AN-) M100, 101, 102 serie staart buis impact	Weerseloo	1
24-6-1966	50 kg SD Duits	Duits EIAZ C50 (15) elektrische buis impact	Woensdrecht	4
3-4-2003	20 lbs frag UK	Engels no 873 neus buis impact diafragma	Woensdrecht	1
12-10-2008	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Woubrugge	1
12-10-2008	500 lbs GP UK	Engels no 30 staart pistool impact	Woubrugge	1
24-10-2001	500 lbs MC UK	Engels no 30 staart pistool impact	Zevenbergen	1

D MSIAC rapport

Relevante informatie uit de reactie van MSIAC is hieronder gereproduceerd:

- *MSIAC Document Review*

There is no information or documentation available in the MSIAC archive directly relevant to WW2 aerial bombs or associated fuzes and pistols. Neither MSIAC or NATO hold any detailed EOD reports from incidents that would support the specific topics of interest to NLD. It was not possible to identify a single repository for such information although there are individual nations and organizations that hold all or some of the information that may be helpful;
- *Fuze and Pistol Information*

It would be a reasonable assumption that once an energetic material or composition had been found to successfully and reliably interface between an input stimuli and a receptor composition, then that would be used as widely practicable and appropriate. The demands of wartime production would unlikely have led to radical change or development of munitions and compositions once an acceptably reliable system had been developed and in production. There is some record of changes to compositions, however it is considered a reasonable assumption that the fuzes and pistols conformed to the appropriate build standard. However the possibility that energetic materials may have been changed cannot be ignored;
- *Belgian EOD experience*
 - Ground conditions in Belgium vary considerably between the low lying area of Flanders with high ground water levels and the higher ground of the Ardennes. Recovered UXO from both World Wars is generally found to be in good condition with little sign of degradation of the bomb and fuze material. Experience is that tail fuzes remain relatively intact as would be expected, nose fuzes suffer some damage but still remain in good condition. A comment was that ammunition found in area of high ground water level can be in better condition than other areas;
 - To the best of recollection there has never been a recorded incident involving self-detonation of aerial bombs in Belgium unlike incidents elsewhere in Europe. In discussion this was not a serious concern from a Belgian perspective unlike Netherlands and Germany and as a result they had no program of work to address this hazard;
 - There was no known Belgian policy on safe working distances from suspected UXO, their expectation was that UXO identified from a survey would be rendered safe and not left so this was not a situation they experienced or were aware of;
 - Belgian experience is that the majority of fuzes they find are nose impact fuzes, in particular the M103. They have no recent record of incidents with aerial bombs fitted with British or American long delay chemical fuzes. It is not clear if this was the result of a deliberate Allied policy or represents the target types attacked however Belgium experience of recovered fuze types and frequency did not reflect those in the list supplied by the Netherlands;

- Belgium has a reporting policy for EOD incidents. The detail of the reports is classified so was not releasable or reportable in this document. Belgian personnel confirmed the lack of a centralized reporting system or open exchange of information;
- Belgium were able to give information on a French briefing³⁸ regarding self-detonation of bombs and technical information on chemical long delay fuzes. This reported some 83 instances of self-detonation as examples so cannot be considered to be complete. There is no discernible trend from the incidents listed;
- *Fuze Specific Considerations*
 - US Fuzes
 - Percussion Initiation Systems. In both Army and Navy bomb fuzes there were 2 types of percussion primers, instantaneous or delay:
 - Instantaneous: a percussion primer mix of Lead Styphnate and Lead Azide in the percussion cap with a Lead Azide upper detonator and Tetryl lower detonator to complete the explosive train;
 - Delay: a percussion primer of Mercury Fulminate which initiates the black powder delay. This initiates a relay composition of Lead Styphnate and Lead Azide which initiates the Tetryl lower detonator;
 - In all US Navy fuzes and Army Nose fuzes the booster is part of the fuze, in Army Tail fuzes the booster is separate and supplied with the bomb;
 - Details:
 - US M106 Tail Fuze: The fuze is considered dangerous to handle if the Arming Pin is removed due to the heavy Striker and weak Creep Spring;
 - US M110 Nose Fuze: Advice in [OP 1664, 1947] was that an unfunctioned bomb and fuze, with the Striker flush with the body, should not have the Striker removed due to friction with the sensitive primer composition;
 - British Fuzes and Pistols
 - Details:
 - British No 28 and No 30 Tail Pistol: 28 Pistol is reported to have a blunt striker so it is assumed it is intended for use with Percussion Cap anvil type UK bomb detonators. The No 30 Tail Pistol uses a sharp Striker that is reportedly [OP 1665, 1946] for use with stab sensitive British bomb detonators. Where the markings are obscured the external appearance would make it difficult to distinguish between either Pistol in an unexploded bomb;
 - German Fuzes
 - The different fuze types appear to use the same energetic materials for similar functions whatever the delay required consisting of gunpowder delays, a Lead Azide/Lead Styphnate mixture to initiate detonation and CE stemming and booster.

³⁸ Met referentie : Les Explosions Spontanees – Extrait du Deminest No73, du 01.04.2014, ISSN 1270-007X

- *Holtenbroek Report [Kroon & van Ham, 2012]*
 - It was British practice to use a detonator separate from the pistol. The efficacy of the sealing on the detonator is not known but it offers a degree of environmental protection separate from the damage sustained by the pistol on impact unless the detonator uses a stab sensitive primer in which case the detonator is more vulnerable to water ingress;
 - A bomb that is jettisoned (i.e. unarmed) should present no risk from the fuze functioning from vibration or direct impact;
 - A bomb with an armed impact, short delay fuze, that is a dud may have failed in one of 2 ways, failure to initiate or failure to support detonation:
 1. If the fuze failed to initiate the worst case scenario is that the striker is in contact with the percussion cap or in direct contact with the stab sensitive primer composition:
 - For a percussion primer to be a risk, the striker would have to remain functional and there would remain the potential for initiation from a direct, longitudinal impact on the bomb;
 - For a stab sensitive primer the worst case scenario would be for the striker to still be in contact with the primer composition. There would be an increased potential for initiation from vibration or any direct impact on the bomb;
 2. If the explosive train failed to support detonation then the primary composition at least would have been consumed and the fuze would consequently be in a more benign condition with the risk limited to that from the remaining energetic materials;
 - Whatever the condition of the fuzing arrangement there remains the risk posed by the condition of the energetic materials and the primary and booster compositions in particular.
A buried bomb will experience a more stable thermal environment. Lead Azide is very thermally stable except in the presence of water and with no knowledge or experience of the condition of British bomb detonators, the cautious approach would be to assume that the detonator remains intact and viable. The fact that the bomb may be submerged is a consideration but would again be dependent upon the sealing and condition of the detonator;
- *Discussion*
 - There is no single organisation that acts as a focal point for reporting incidents of unexploded ordnance (UXO) and in particular issues related to clearance of WW2 aircraft bombs and associated fuzes and pistols. In discussion with NATO EOD Technical Information Centre (EODTIC) there is an informal network based on personal contacts which supports some passage of information but this is not comprehensive. Without a single pan-European incident reporting point, there is no authoritative record of aerial bomb finds, incidents of self-detonation and their associated fuze/pistol condition or other incidents on which to base any assessment of risks, changes to the risk, risk based activities, precautionary measures and the resultant hazards. Reports of the more significant newsworthy incidents (casualties or mass evacuation) are available on the internet and usually associated with aircraft bombs but details of all incidents, including the more routine incidents, including those involving aircraft bombs, are not.

Of the more significant incidents, most tend to be associated with construction activities and most of the casualties tend to be workers operating earth moving equipment. Available evidence is that construction activities result in the majority of incidents. In some countries there is a requirement for a UXO assessment as part of the construction planning process where use is made of British wartime records and aerial photographs to support a risk assessment. This may include a ground survey to determine the presence of a bomb. As discussed above, there is insufficient information about incidents and the circumstances to support any assessment and conclusions. Most of the reported concerns tend to focus on the hazard from British and American bombs with fuzes and pistols involving chemical (acetone and cellulose) long delay timers. There is some open source reporting from EOD personnel that they are increasingly concerned about age related degradation of chemical delay fuze and pistol types related to the cellulose. There is also some reporting that changing the orientation of the bomb and bringing the acetone into contact with the celluloid has the potential to activate the fuzes. These concerns are reasonable although there is no supporting evidence available. There is no reporting on the condition of fuzes and pistols in incidents that would give some indication of their condition or frequency of occurrence, it would be normal EOD practice to dispose of these as the bomb component that presents the greatest risk. Also some of the fuzes included an anti-tamper feature so it is understandable if no attempt is made to recover these for assessment. This means there is no evidence available to support an assessment of the risk and in the absence of any other information any assessment of fuze or pistol condition would therefore be judgement based. NATO EODTIC were not able to provide reports on assessments of the condition of fuzes and pistols or a compendium of related information. Neither do they act as a reporting point or central repository of incident reports that would support analysis or advice on the risks over time associated with this particular UXO hazard. This lack of available reporting is a handicap in undertaking any assessment of fuze or pistol failure/recovery rates and their condition in varying soil types.

- *Bomb condition*

Degradation of UXO and aircraft bombs is more dependent upon the ground conditions as well as the materials used and quality of manufacture. Water ingress is very dependent upon the efficacy of sealing arrangements for which fuzes and pistols may not have been designed to withstand. The only exception are chemical delay fuzes using acetone which were designed to seal during arming to retain the volatile acetone which is also miscible with water;

- *German bombs and fuzes*

Of those found, most are associated with mechanical diggers during construction or earth moving activities and there have been no bombs functioned despite being roughly handled. There have also been no recent incidents of self-detonation (spontaneous functioning) of buried bombs. They retain the electrical charge on a condenser (capacitor) using a paper dielectric. This charge is not retained on the condenser plates indefinitely and there is little reason to believe that there will be sufficient charge on the condensers today. Therefore these fuzes should not present a risk as they are only electrically initiated.

- *Fuze and pistol considerations*

The worst case is that the fuze or pistol has armed correctly but may not have functioned for the following reasons:

- Percussion primer received a poor strike (M100, M112, No 28, No 30, No 29);
- Stab sensitive primer received a poor strike (M103, M106, M110, M163, No 873);
- Acetone not in contact with the celluloid (M123, No 17, No 37, No 53);

Of these it is assessed the most risk is from:

- Stuck fast striker with a compressed spring (M112, M123, No 17, No 37, No 53);
- Stab sensitive primer which may have a striker still embedded (M103, M106, M110, M163, No 17, No 37, No 53, No 873);
- Condition of the celluloid material retaining strikers in the chemical delay fuzes or pistols (M123, No 17, No 37, No 53);

- *Risk based activities*

There is no available information or reporting where activities in proximity to bombs has led to their initiation. The risk of initiation would depend upon a wide range of factors, the state of the fuze, the condition of the energetic materials and their susceptibility to initiation by shock/friction, ability to support detonation, the nature of the activity, ground conditions, separation distance. There is no research that we could find into any of these factors and again any opinion is a judgement that, without supporting evidence, will err on the side of caution.

- *Summary*

- The potential for self-detonation of a buried bomb cannot be discounted. Infrequent incidents of self-detonation of bombs occur but attributing this to a specific fuze type, without investigation, is a judgement rather than based on evidence. What these incidents demonstrate is that the bomb fuzes remain functional despite the period of time in the ground and confirm that fuzes and detonators can remain sealed against degradation.
- Whilst the possibility of degradation of the fuze/pistol or more reactive energetic materials cannot be discounted there is enough evidence to confirm that bomb fuzes can remain in very good condition. External corrosion can result in effective sealing of a fuze or pistol. Mechanical components can also remain functional (e.g. springs) if not subject to corrosion. Breakdown of the celluloid used in long delay chemical fuzes can occur and is an autocatalytic reaction; it is considered a reasonable assumption that this is the most probable cause of incidents of self-detonation.
- MSIAC has no information relevant to the effect of vibrations through soil and this is not an area of expertise normally associated with munitions safety. The susceptibility of any degraded fuze or pistol to accidental initiation is unpredictable due to the wide range of factors that could result in its initiation, be it direct or indirect shock

In assessing safe working distances there is insufficient evidence to support acceleration or shock levels that should not be exceeded. In practice application of these levels is also affected by ground conditions. Precedence would suggest current safety distances are appropriate although there is no evidence to suggest safety distances should be increased. The proposed programme of work at [VEO Position paper, 2013] is supported as providing evidence to address assumptions.

ONGERUBRICEERD
REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) ---	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO ---	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO TNO 2015 R10074
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 053.03023	5. CONTRACT NO 97830422001	6. REPORT DATE October 2015
7. NUMBER OF PAGES 93 (incl. 4 appendices, excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 36	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Inventarisatie van WOII vliegtuigbom ontstekers in NL bodem		
11. AUTHOR(S) Ir. E.J. Kroon Drs. N.H.A. van Ham Dr. R.H.B. Bouma		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands, Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Ministerie van Defensie, Financieel Administratie en Beheer Kantoor (FABK), Financieel Service Centrum Postbus 7500, 6460 NE Kerkrade, Nederland		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) This report provides an inventory of the pistols and fuzes found in Dutch soil. The numbers are based on a PLANON digital database query, a questionnaire to (former) EOD personnel and a database search for bombardments on cities and airfields. The anticipated sensitivity to vibrations is given. Ageing of the energetic materials and mechanical parts does not increase this sensitivity. An exception is the celluloid disc in the chemical long delay pistol; ageing of this disc increases sensitivity.		
16. DESCRIPTORS Pistols, fuzes, energetic materials, ageing, sensitivity to vibration	IDENTIFIERS ---	
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution/Subject to approval MOD-NL	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd	

ONGERUBRICEERD

Distributielijst

Ontvangende partijen zijn zelf verantwoordelijk voor de juiste verspreiding van dit rapport binnen de eigen organisatie