

TNO-rapport

Bijlage bij brief 13EBP/424

**Beoordeling afschermingsconstructie voor MC
500 lb bom**

Technical Sciences
Lange Kleiweg 137
2288 GJ Rijswijk
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

www.tno.nl

T +31 88 866 80 00
F +31 88 866 69 49
infodesk@tno.nl

Datum	5 maart 2013
Auteur(s)	Ir. R.M.M. van Wees
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	23 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Combinatie IJsselfront
Projectnaam	Boskalis bomruiming Deventer
Projectnummer	060.01247

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2013 TNO

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding.....	4
2	Gegevens en uitgangspunten	5
2.1	Locatie	5
2.2	Bommen	5
2.3	Standaard afschermingsconstructie	6
2.4	Voorgestelde afschermingsconstructie	7
3	Beoordeling afschermingsconstructie en berekening effectafstanden	9
3.1	Fragmenten	9
3.2	Blast.....	12
3.3	Weggeworpen zand en brokstukken.....	13
3.4	Grondschok.....	14
3.5	Eindoordeel afschermingsconstructie	16
3.6	Aanbevolen effectafstanden.....	16
4	Blast bij gecontroleerde detonatie	19
4.1	Blast.....	19
4.2	Resultaten voor 500 lb bom M64A1	20
5	Conclusies	21
6	Referenties	22
7	Ondertekening	23

1 Inleiding

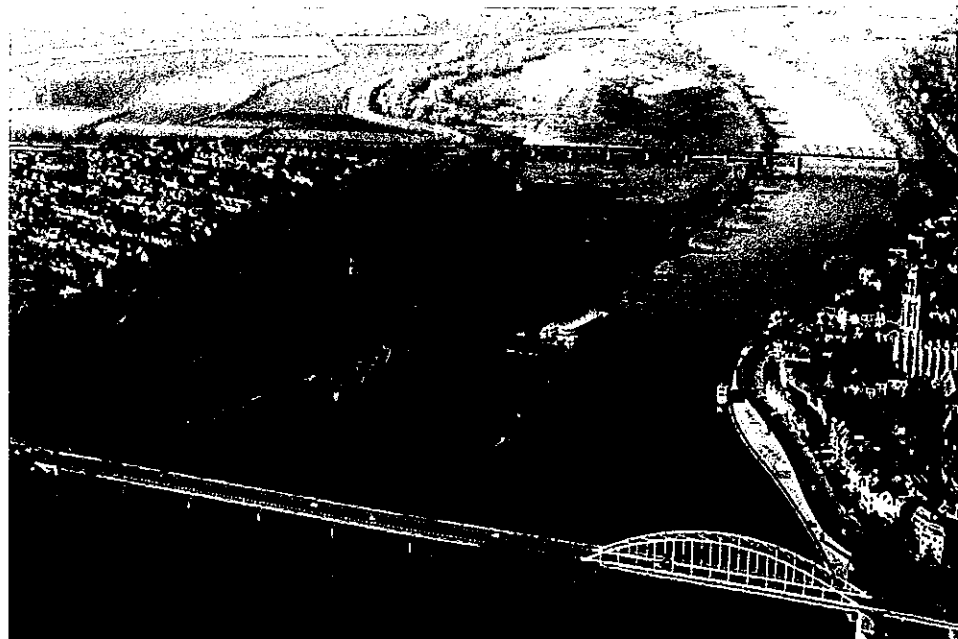
De Combinatie IJsselfront (een aannemerscombinatie bestaande uit Boskalis en Van Hattum en Blankevoort en als adviseur uitvoering Witteveen+Bos) werkt bij Deventer aan het project "Ruimte voor de rivier Deventer". Hierin worden nieuwe nevengeulen voor de IJssel gegraven. Nabij de spoorbrug zijn in het tracé van één van de nevengeulen 8 onontpofte bommen uit de Tweede Wereldoorlog aangetroffen die geruimd moeten worden. Om personen, woningen en andere objecten in de omgeving te beschermen moeten afschermingsconstructies om de bomlocaties gebouwd worden. Boskalis (die binnen de combinatie de taak heeft de bommen te laten ruimen) wil in plaats van een standaard afschermingsconstructie (uit zand-gevulde containers) een afschermingsconstructie toepassen die op deze locatie toegesneden is, en het te ontruimen gebied zo klein maakt als mogelijk is. Boskalis heeft hiervoor een ontwerp gemaakt.

De Combinatie IJsselfront heeft aan TNO advies gevraagd over de uitvoering van de beschermingsconstructie en de in acht te nemen veiligheidsafstanden.

Om de veiligheidsafstanden te reduceren moet de afschermingsconstructie de explosie-effecten bij een accidentele detonatie van de bom tijdens de ruiming verminderen of richten en zelf geen extra effecten opleveren. De beoordeling betreft deze veiligheidsaspecten.

Daarnaast zijn er praktische zaken, bijvoorbeeld dat de EODD voldoende ruimte heeft om hun werk te doen, dat de constructie stabiel is, dat de constructie gemakkelijk op te bouwen moet zijn en als de bom niet explodeert herbruikbaar moet zijn. Deze praktische aspecten zijn niet beoordeeld.

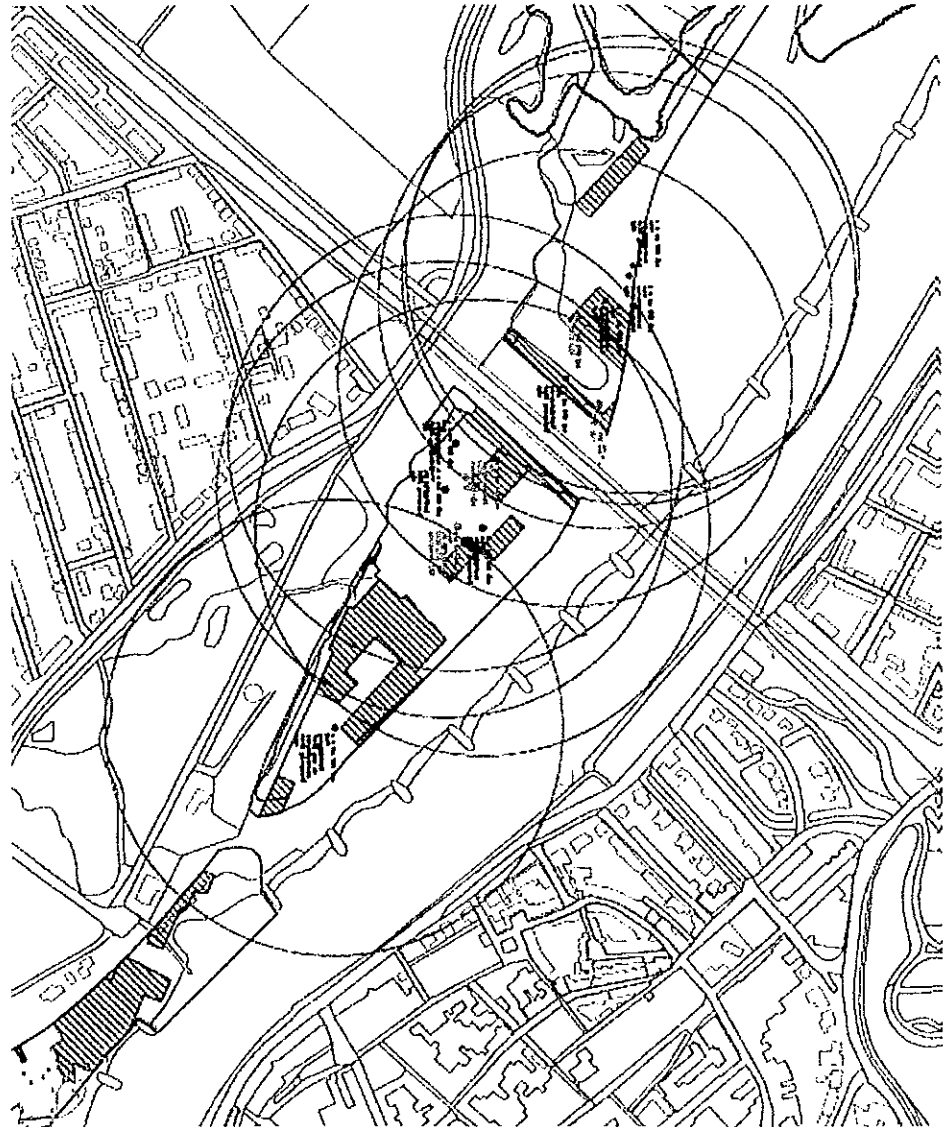
Tijdens de uitvoering van het project kwam nog een additionele vraag van Witteveen+Bos over de blast bij het gecontroleerd detoneren van de geruimde bommen onder een berg zand. Deze vraag is kort beantwoord in hoofdstuk 5.



Figuur 1 IJssel bij Deventer (foto Combinatie IJsselfront).

2 Gegevens en uitgangspunten

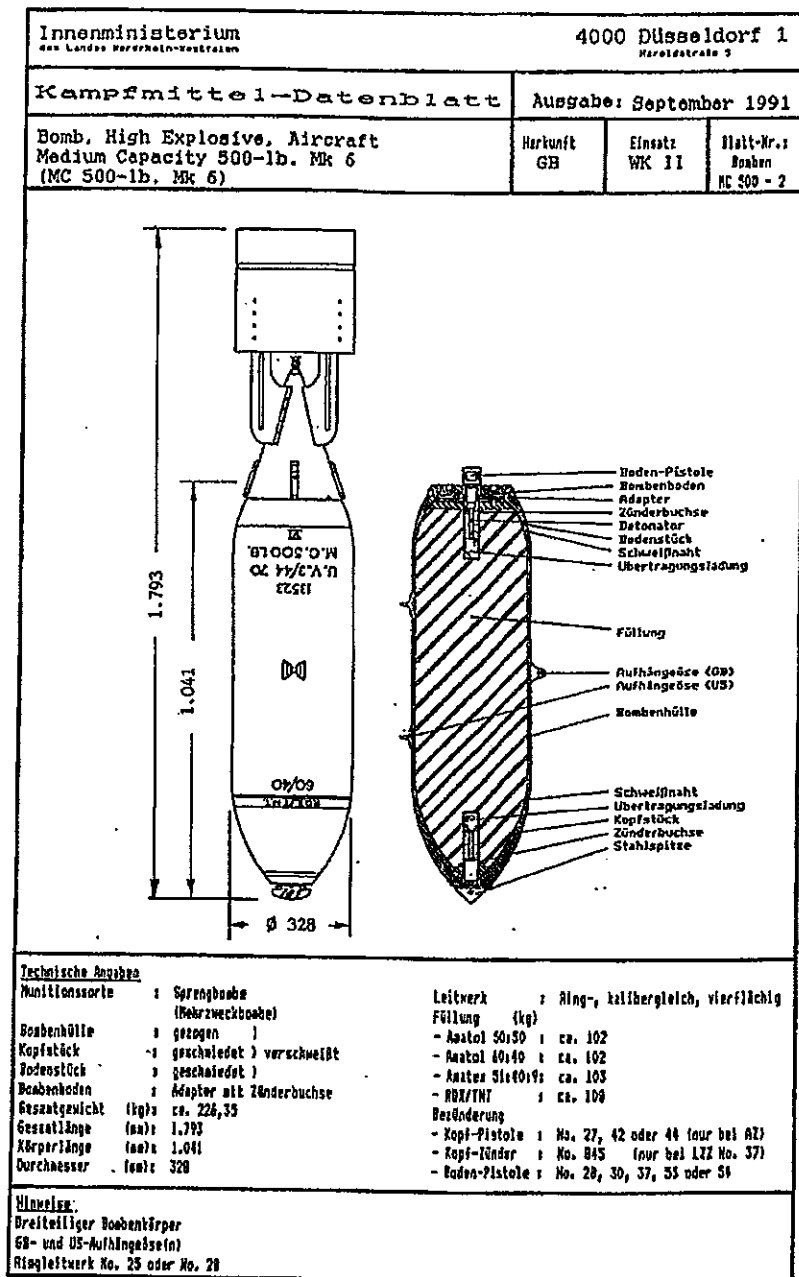
2.1 Locatie



Figuur 2 Locatie van de bommen in de uiterwaard van de IJssel bij Deventer. De bommen zijn aangeduid met de rode stip in het midden van de rode cirkels. De rode cirkels hebben een straal van 225 m. (Tekening Combinatie IJselfront).

2.2 Bommen

Op de locatie zijn aangetroffen: 13 stuks Britse MC 500 lbs, waarvan 5 ongewapend (zonder ontsteker) en 8 gewapend. Voor de analyse worden de gegevens uit Figuur 3 gebruikt, en wel van de variant met 108 kg RDX/TNT.

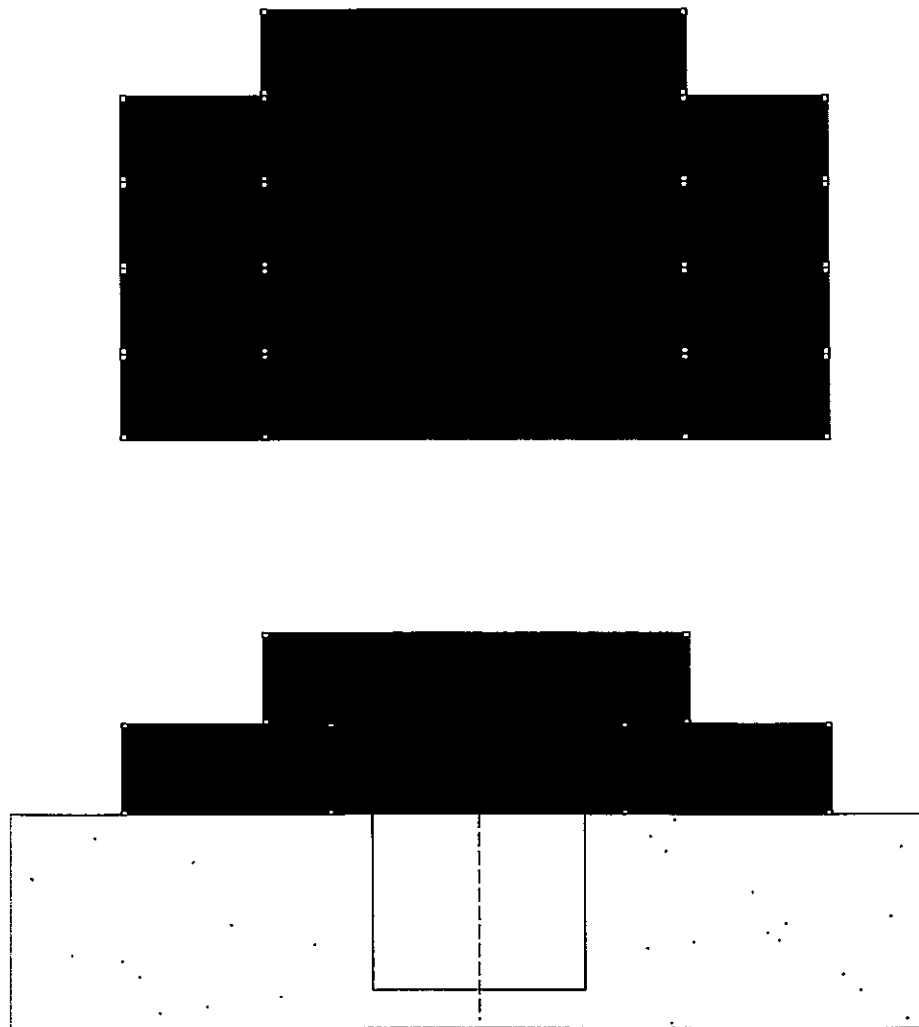


Figuur 3 Gegevens Britse MC 500 lb bom.

2.3 Standaard afschermingsconstructie

Ter referentie wordt in deze paragraaf de standaard afschermingsconstructie beschreven.

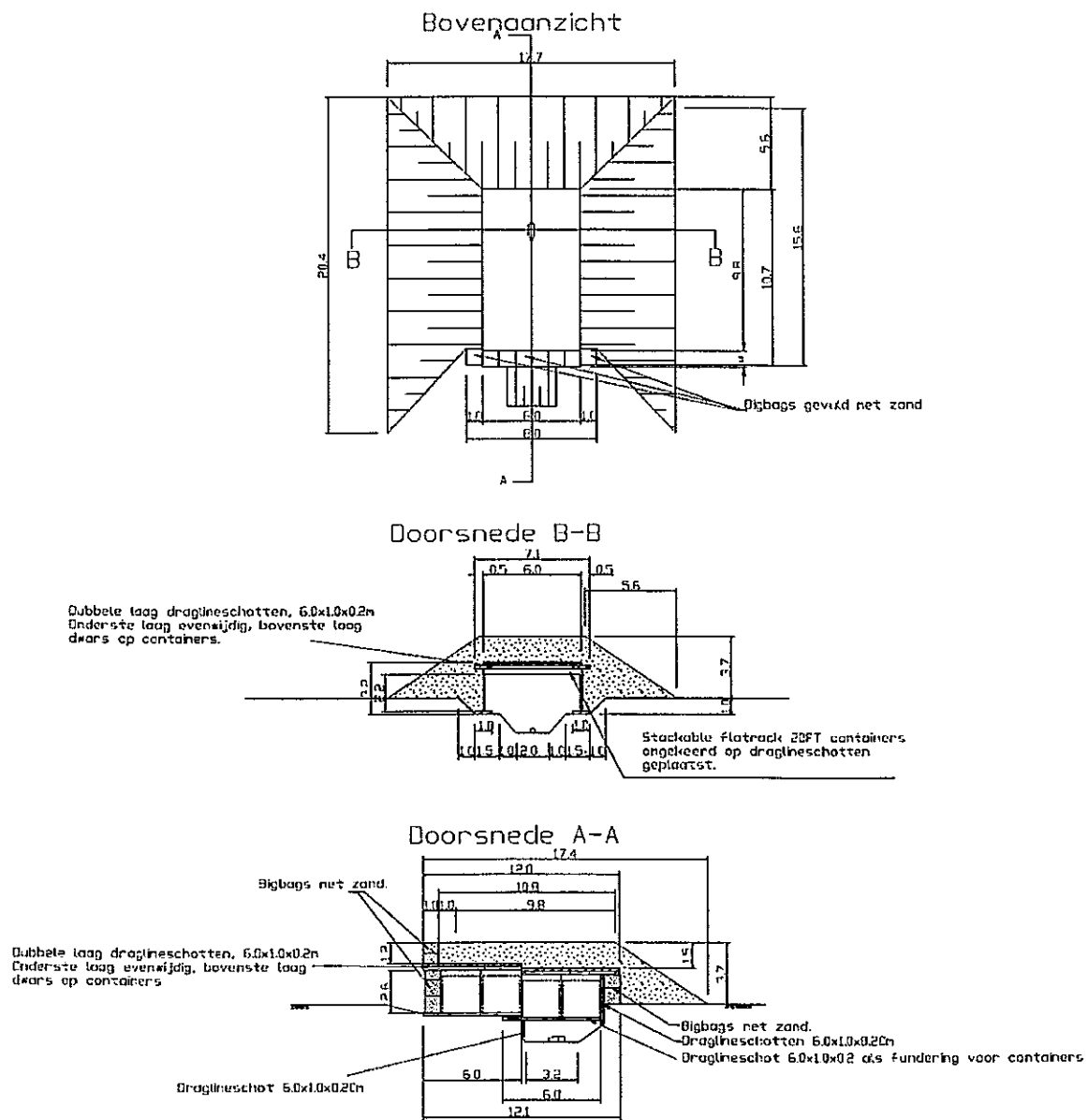
De standaard afschermingsconstructie, geschetst in figuur 4, is ontworpen om rond een grote diepe bomput van 6 m diameter te passen. Ze bestaat uit 40 ft containers die op een rij 20 ft containers zijn geplaatst. De containers hebben een zandvulling die afgestemd is op de fragmentdreiging.



Figuur 4 Bovenaanzicht en doorsnede van een standaard afschermingsconstructie uit 20 ft containers (groen) en 40 ft containers (blauw en bruin).

2.4 Voorgestelde afschermingsconstructie

Ten opzichte van de standaard afschermingsconstructie is de voor Deventer voorgestelde afschermingsconstructie aanzienlijk kleiner. De bommen in de uiterwaard van de IJssel liggen ondiep, zodat de put geen damwanden nodig heeft. De voorgestelde afschermingsconstructie bestaat uit 20 ft containers die op hun kop over de put gezet worden en afgedekt worden met houten draglineschotten en zand. Figuur 5 toont de details en afmetingen.



Figuur 5 Schetsontwerp afschermingsconstructie, revisie C, 12 februari 2013 (Combinatie IJsselfront).

3 Beoordeling afschermingsconstructie en berekening effectafstanden

Om de veiligheidsafstanden te reduceren moet de afschermingsconstructie de explosie-effecten bij een accidentele detonatie van de bom tijdens de ruiming verminderen of richten en zelf geen extra effecten opleveren.

De te reduceren explosie-effecten zijn:

- fragmenten van de bom;
- blast (luchtschok).

De vuurbal en grondschock hoeven niet gereduceerd te worden aangezien deze effecten niet tot grote afstand schade kunnen aanrichten.

De afschermingsconstructie mag, na opbreken in delen, niet te ver weggegooid worden.

De beoordeling betreft deze veiligheidsaspecten.

Een accidentele explosie kan plaatsvinden op enig moment tijdens de ruiming. De explosie produceert fragmenten, blast en grondschock en werpt delen van de afschermingsconstructie en zandoverdekking weg. Veiligheidsafstanden zijn afstanden waarop deze effecten een bepaald geaccepteerd laag niveau hebben. Voor bomruiming is het acceptatieniveau echter niet formeel vastgesteld. Dit is de reden dat de in dit hoofdstuk voorgestelde afstanden geen veiligheidsafstanden genoemd worden, maar effectafstanden. In dit hoofdstuk worden effectafstanden bepaald waarop letsel voor personen (behalve gehoorschade) niet verwacht wordt.

3.1 Fragmenten

Bij een detonatie van de bom breekt de mantel van de bom op in duizenden fragmenten. Als een bom detoneert als hij helemaal begraven is zal hij verscherven in een kleiner aantal grote fragmenten. Door de bovenliggende aarde worden deze meestal gestopt of in ieder geval sterk geremd. Als een bom detoneert tijdens de demontage zal hij normaal verscherven. De grootte en snelheid van de scherven hangt af van de dikte van de mantel in verhouding tot de diameter van het projectiel en het type explosief.

Er bestaan methoden waarmee de fragmentatie van een bom voorspeld kan worden. Met handmethoden zoals beschreven in bijvoorbeeld DDESB TP 16 [2009] kan een redelijke schatting van de verscherving van een (min-of-meer) cilindrisch munitieartikel gekregen worden. Met computercodes zoals SplitX kunnen nauwkeurigere voorspellingen gedaan worden, ook voor munitieartikelen met complexe geometrie.

Met deze methoden kan de massa en snelheid van de bulk van de scherven goed voorspeld worden. Voorspellen welke afmeting de grootste fragmenten hebben is echter niet goed mogelijk. De dikste delen van de bom, dat wil zeggen de neus en eventueel de bodem en de ophangogen, zullen de grootste fragmenten produceren. Het is echter aannemelijk dat deze fragmenten een aanzienlijk lagere snelheid krijgen, zodat hun penetratiecapaciteit lager is dan fragmenten uit het cilindrische gedeelte van de mantel.

Voor dit project is met methoden uit DDESB TP 16 [2009] voor het cilindrische gedeelte van de bom de zogenaamde 95% scherp berekend, dat wil zeggen dat de

kans dat er een grotere scherf geproduceerd wordt niet meer dan 5% is. De berekening is uitgevoerd voor drie bommen, zie tabel 1.

Voor de Britse MC 500 lb bom is een iets andere aanpak gevolgd omdat deze een dunne getrokken mantel met daar aan gelast een gegoten neus en gegoten bodem heeft. De meeste bommen uit die periode waren in één deel gegoten, met een aanzienlijk dikkere mantel. Het gevolg is dat de mantel mogelijk niet de maatgevende fragmenten produceert. Voor deze bom is voor een aantal secties van de neus en voor de mantel de fragmentatie berekend.

Tabel 1 Berekende scherfmassa en beginsnelheid van diverse vliegtuigbommen.

bom	massa 95% fragment / kg	snelheid fragment / m/s
Britse GP 250 lb Mk 5	0,057	1748
Britse GP 500 lb	0,139	1581
Amerikaanse GP 500 lb	0,043	2217
Britse MC 500 lb Mk 6		
mantel	0,0086	2882
neus (y = 250 mm)	0,019	2509
neus (y = 200 mm)	0,039	2047
neus (y = 150 mm)	0,062	1638
Britse MC 1000 lb	0,061	2201

Om de benodigde dikte van de zandlaag te bepalen zijn penetratieberekeningen gedaan met de fragmenten die voor de bommen berekend zijn. Het zwaarste fragment van de neus blijkt het diepst penetrerende fragment te zijn en is dus het fragment waarop de afschermingsconstructie voor de MC 500 lb bom ontworpen moet worden.

Het gebruikte penetratiemodel is een model uit TM 5-855. Dit geeft de penetratiediepte (de afstand die het fragment in oneindig dik zand penetreert), terwijl de perforatiedikte (de dikte die nodig is om het fragment te stoppen) gewenst is. De penetratiediepte is daarom vermenigvuldigd met een factor 1,5.

In werkelijkheid zal een fragment een reeks materialen tegenkomen, bijvoorbeeld eerst een draglineschot, daarna het zand. In de berekening is de snelheidsreductie van de fragmenten door de andere materialen verwaarloosd, behalve die van de draglineschotten. De restsnelheid van het fragment is berekend na 3 m lucht en 200 mm hardhout. De berekening van de restsnelheid is uitgevoerd met behulp van de Thor formules voor hardhout [Haverdings en Van Meerten, 1998]. Een fragment die op de zijwand van de beschermingsconstructie inslaat komt mogelijk geen draglineschot tegen (afhankelijk van de opbouw van de afschermingsconstructie). Daarom geven de tabellen hieronder de benodigde dikte zand zonder draglineschotten en met draglineschotten.

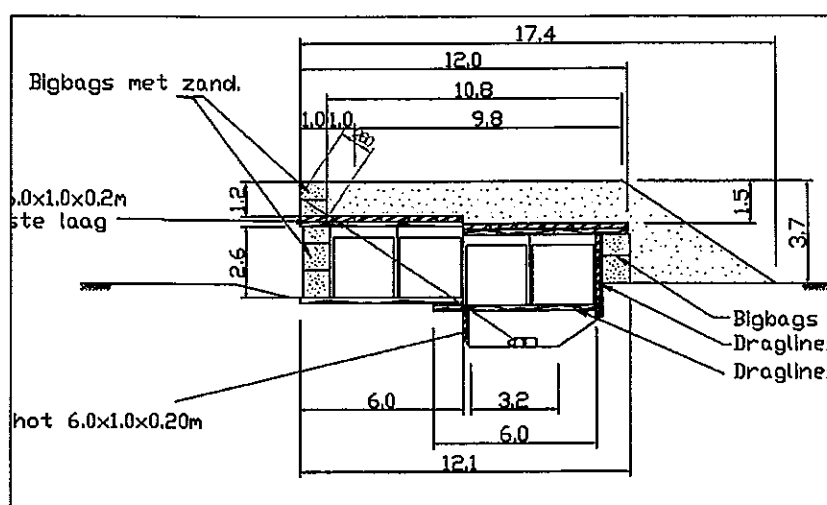
Tabel 2 Benodigde dikte zand om perforatie van fragmenten van diverse vliegtuigbommen te voorkomen, zonder snelheidsreductie door draglineschotten.

bom	massa fragment / kg	beginsnelheid fragment / m/s	zand / m
Britse GP 250 lb	0,057	1748	1,32
Britse GP 500 lb	0,139	1581	1,74
US GP 500 lb	0,043	2217	1,25
Britse MC 500 lb Mk 6 (neus)	0,062	1638	1,34
Britse MC 1000 lb	0,061	2201	1,41

Tabel 3 Benodigde dikte zand om perforatie van fragmenten van diverse vliegtuigbommen te voorkomen, met snelheidsreductie door draglineschotten.

bom	massa fragment / kg	beginsnelheid fragment / m/s	restsnelheid / m/s	zand / m
Britse GP 250 lb	0,057	1748	869	1,16
Britse GP 500 lb	0,139	1581	975	1,60
US GP 500 lb	0,043	2217	1057	1,10
Britse MC 500 lb Mk 6 (neus)	0,062	1638	825	1,17
Britse MC 1000 lb	0,061	2201	1173	1,26

De door de Combinatie IJsselfront voorgestelde afschermingsconstructie is zo ontworpen dat een fragment altijd tenminste de in tabel 2 en 3 genoemde laagdikten zand tegenkomt. Ook zijn de gebruikte materialen te dun of te zacht om ricochets op te leveren. Dit betekent dat alle fragmenten van de bom gestopt worden door de afschermingsconstructie. Er is wel een mogelijk probleem met de dieptelgging van de bom. In Deventer liggen de bommen tamelijk ondiep, in de schets is uitgegaan van een ondiepe bom. De constructie schernt precies alle fragmentbanen af. Als de bom iets verder naar achteren ligt of als de put iets ondieper is, is denkbaar dat niet alle fragmentbanen afgeschermd worden (naar de voorzijde). Hierop dient bij de uitvoering gelet worden, door de constructie goed te positioneren ten opzichte van de bom.

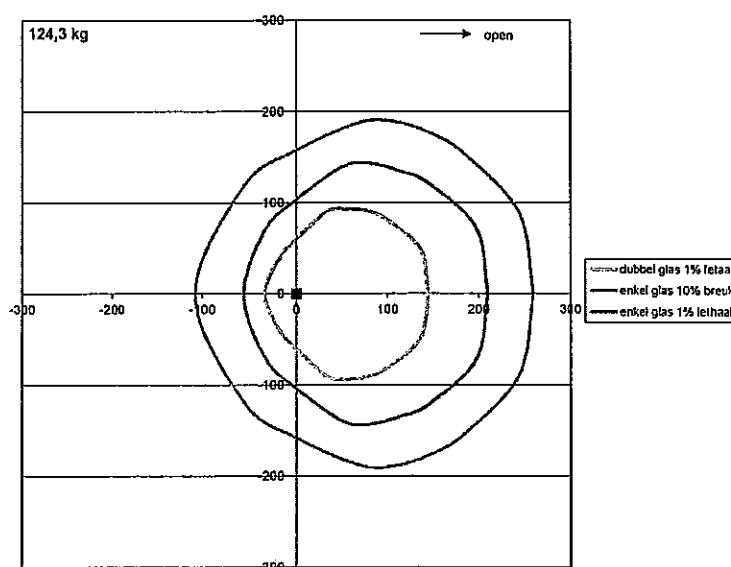


Figuur 6 Afscherming van fragmentbanen.
De rode lijn is de uiterste positie van de bom en fragmentbaan die afgeschermd wordt met 1,26 m zand.

Aangezien alle fragmenten gestopt worden is er geen effectafstand voor fragmenten.

3.2 Blast

De blast (luchtschok) van de explosie wordt beïnvloed door de afschermingsconstructie. In 2003 is dit door TNO gemeten voor een 500 lb Mk82 GP bom in een standaard afschermingsconstructie in een test in Noorwegen [Lodder e.a., 2005]. Op basis van de meetresultaten zijn in 2009 [Doormaal en Wees, 2009] de effectafstanden met betrekking tot blast berekend voor een Amerikaanse GP 500 lb bom met een inhoud van 124,3 kg springstof in een standaard afschermingsconstructie. Deze afstanden zijn ook redelijk voor de Britse MC 500 lb bom met 108 kg springstof in de standaard afschermingsconstructie, aangezien de massa springstof weinig verschilt. Ter vergelijking: in [Lodder e.a., 2004] wordt voor een bom met een massa springstof tussen 75 en 125 kg in een standaard afschermingsconstructie een veiligheidsafstand van 250 m aanbevolen.



Figuur 7 Effectafstanden voor een Amerikaanse GP 500 lb bom met een inhoud van 124,3 kg springstof in een standaard afschermingsconstructie [Doormaal en Wees, 2009].

Er wordt echter niet een standaard afschermingsconstructie gebruikt, maar een alternatieve met kleinere afmetingen. Deze geometrie zal de blast sterker naar voren richten, maar hiervoor is geen data beschikbaar. Een schatting kan wel gemaakt worden, er zijn namelijk formules voor de blast uit de tunnel van ondergrondse munitiemagazijnen [AASTP-1, 2010]. Volgens AASTP-1 Part III is de IBD afstand (een veiligheidsafstand voor munitieopslag, niet voor ruiming) gecorreleerd aan de QSP druk $p_e(Q)$ in de afschermingsconstructie, volgens:

$$IBD_{aditblast}(Q) := 1.64 d_{te} \left(\frac{p_e(Q)}{5.0 \text{ kPa}} \right)^{0.74}$$

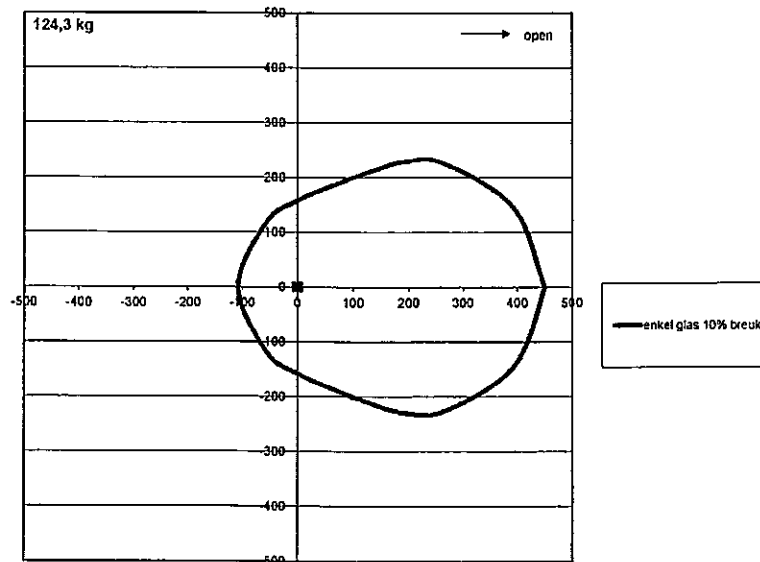
Bij de alternatieve afschermingsconstructie wordt de QSP druk ongeveer 2.1 maal zo hoog als bij de test met de standaard afschermingsconstructie in Noorwegen. Met de correlatie uit AASTP-1 zou dat betekenen dat de effectafstand aan de voorzijde $2.1^{0.74} = 1.73$ maal zo ver ligt als in Noorwegen. Voor de andere zijden geeft AASTP-1 ook een relatie, maar die blijkt niet te extrapoleren te zijn naar de

situatie voor de afschermingsconstructie. Wel mag verwacht worden dat de blast sterker gericht wordt, zodat de effectafstand afneemt ten opzichte van de standaard afschermingsconstructie. Gebruik van de effectafstanden van de standaard afschermingsconstructie zal dus voor de zij- en achterkant van de alternatieve afschermingsconstructie conservatief zijn.

Met behulp van een schaalproef zou de effectafstand nauwkeuriger bepaald kunnen worden.

Tabel 4 Effectafstanden voor Amerikaanse GP 500 lb bom met een inhoud van 124,3 kg springstof in een alternatieve afschermingsconstructie. Deze zijn conservatief voor de Britse MC 500 lb bom met 108 kg springstof.

effect	zijde	afstand
10% kans op breken enkel glas	voorzijde	450 m (1.73 x 260 m)
	zijkant	158 m
	achterzijde	108 m
5 kPa invallende druk	voorzijde	190 m
	zijkant	85 m
	achterzijde	65 m



Figuur 8 Effectafstanden voor Amerikaanse GP 500 lb bom met een inhoud van 124,3 kg springstof in een alternatieve afschermingsconstructie. Deze zijn conservatief voor de Britse MC 500 lb bom met 108 kg springstof.

3.3 Weggeworpen zand en brokstukken

De inwendige druk die in de afschermingsconstructie heerst na een explosie zal de containers, draglineschotten en het zand lanceren. Lancering van brokstukken gaat via drie processen:

- schokgolven op de inwendige oppervlakken;
- QSP druk op de inwendige oppervlakken;
- luchtstroming door kieren en spleten (bestaande en breuken) die losse delen versnellen.

De standaard afschermingsconstructie heeft veel lichte delen die blootgesteld kunnen worden aan schokgolven, QSP en luchtstroming door spleten en daardoor ver weggegooid worden. Voor de standaard afschermingsconstructie worden aan de zijkant en achterkant in verband met de uitworp van brokstukken veiligheidsafstanden aanbevolen van 250 m [Lodder e.a., 2005]. Deze afstand wordt ook aan de voorzijde aanbevolen, maar wordt daar bepaald door de blast. De alternatieve afschermingsconstructie zal veel minder brokstukken wegwerpen, omdat alle delen bedekt zijn door tenminste 1,20 m zand. De massa daarvan is zo groot dat de schokgolven en QSP de delen met een beperkte snelheid lanceren. Tegen de tijd dat er scheuren ontstaan waar gas met hoge snelheid doorheen zou kunnen stromen en daardoor brokstukken zou kunnen versnellen is de druk in het inwendige van de afschermingsconstructie al weer afgenomen, zodat het laatste proces nauwelijks zal optreden bij de alternatieve afschermingsconstructie. Doordat het volume van de voorgestelde alternatieve afschermingsconstructie kleiner is dan het volume van de standaard afschermingsconstructie zal de inwendige druk (schokgolven en QSP) wel hoger zijn dan in de standaard afschermingsconstructie. De lanceersnelheid is geschat met methoden die voor munitiemagazijnen zijn ontwikkeld [Voort et al., 2009]. Dit levert een snelheid op van 20 m/s, en daarmee maximale uitworpafstanden van circa 45 m. In deze berekening zitten aanzienlijke onzekerheden, maar een afstand van 100 m zal vrijwel zeker niet gehaald worden.

3.4 Grondschok

In [Doormaal en Wees, 2009] wordt de effectafstand voor grondschok gegeven voor bommen van diverse afmetingen:

Voor de diverse bommen is berekend op welke afstand de grondschok de grenswaarde bereikt. Dit is gedaan voor vier bommen, die ofwel ingegraven zijn, ofwel op de bodem van de bouwput liggen, en voor acht grenswaarden:

<i>deeltjessnelheid / mm/s</i>	<i>grenswaarde criterium</i>
0,2	SBR, geen storing elektronische apparatuur
5,0	SBR, geen schade cat. 2 gebouwdelen
20,0	SBR, geen schade cat. 1 gebouwdelen
50,0	SBR, geen schade kunststof buisleiding / AASTP-1 geen schade aan gebouwen
80,0	SBR, geen schade betonnen buisleiding
100,0	SBR, geen schade gelast stalen buisleiding
137,0	AASTP-1, lichte schade aan gebouwen
193,0	AASTP-1, zware schade aan gebouwen

Voor de voorspelling van schade aan gebouwen, bijvoorbeeld ten behoeve van het bepalen van de verzekering, worden de AASTP-1 criteria aanbevolen. Voor de bepaling van de te ontruimen gebouwen wordt het criterium 5,0 mm/s aanbevolen. Dit garandeert dat er geen onderdelen van verlaagde plafonds of lichtarmaturen en dergelijke naar beneden vallen.

Tabel 5 Afstand waarop diverse grenswaarden voor grondschok bereikt worden voor diverse ladinggrootten.

massa lading / kg	grenswaarde deeltjessnelheid / mm/s	afstand ingegraven bom / m	afstand bodem put / m	
31	0,2	197	114	SBR, geen storing elektronica
	5	52	30	SBR, geen schade gebouw cat. 2
	20	29	17	SBR, geen schade gebouw cat. 1
	50	20	11	SBR, kunststof buisleidingen / AASTP1 - geen schade gebouwen
	80	16	9	SBR, betonnen buisleidingen
	100	15	9	SBR, stalen buisleidingen
	137	13	8	AASTP1 – lichte schade gebouwen
	193	11	7	AASTP1 – zware schade gebouwen
65,6	0,2	253	146	SBR, geen storing elektronica
	5	66	38	SBR, geen schade gebouw cat. 2
	20	37	21	SBR, geen schade gebouw cat. 1
	50	25	15	SBR, kunststof buisleidingen / AASTP1 - geen schade gebouwen
	80	21	12	SBR, betonnen buisleidingen
	100	19	11	SBR, stalen buisleidingen
	137	17	10	AASTP1 – lichte schade gebouwen
	193	14	8	AASTP1 – zware schade gebouwen
124,3	0,2	313	181	SBR, geen storing elektronica
	5	82	47	SBR, geen schade gebouw cat. 2
	20	46	27	SBR, geen schade gebouw cat. 1
	50	31	18	SBR, kunststof buisleidingen / AASTP1 - geen schade gebouwen
	80	26	15	SBR, betonnen buisleidingen
	100	24	14	SBR, stalen buisleidingen
	137	21	12	AASTP1 – lichte schade gebouwen
	193	18	10	AASTP1 – zware schade gebouwen
270	0,2	405	235	SBR, geen storing elektronica
	5	106	61	SBR, geen schade gebouw cat. 2
	20	60	34	SBR, geen schade gebouw cat. 1
	50	41	24	SBR, kunststof buisleidingen / AASTP1 - geen schade gebouwen
	80	33	19	SBR, betonnen buisleidingen
	100	30	18	SBR, stalen buisleidingen
	137	27	15	AASTP1 – lichte schade gebouwen
	193	23	13	AASTP1 – zware schade gebouwen

Deze afstanden zijn altijd ruimschoots buiten de kraterstraal.

Voor de Britse MC 500 lb met 108 kg springstof kunnen de waarden voor de bom met 124,1 kg springstof gebruikt worden.

3.5 Eindoordeel afschermingsconstructie

Van de voor Deventer voorgestelde afschermingsconstructie mag verwacht worden dat deze de benodigde veiligheidsafstanden effectief vermindert ten opzichte van een niet-afgeschermd bom.

- De voorgestelde afschermingsconstructie zal alle fragmenten stoppen, mits bij de uitvoering opgelet wordt dat de positie zodanig is dat alle fragmentbanen afgeschermd worden.
- De blast zal naar verwachting sterker beïnvloed worden dan bij de standaard afschermingsconstructie, zodat aan de voorzijde een grotere afstand aanbevolen wordt (zie hieronder).
- De uitworp van brokstukken van de afschermingsconstructie zelf zal veel minder zijn dan bij de standaard afschermingsconstructie, zodat aan de zij- en achterkant kleinere afstanden mogelijk zijn.

3.6 Aanbevolen effectafstanden

De onderstaande effectafstanden gelden voor de Britse MC 500 lb bom.

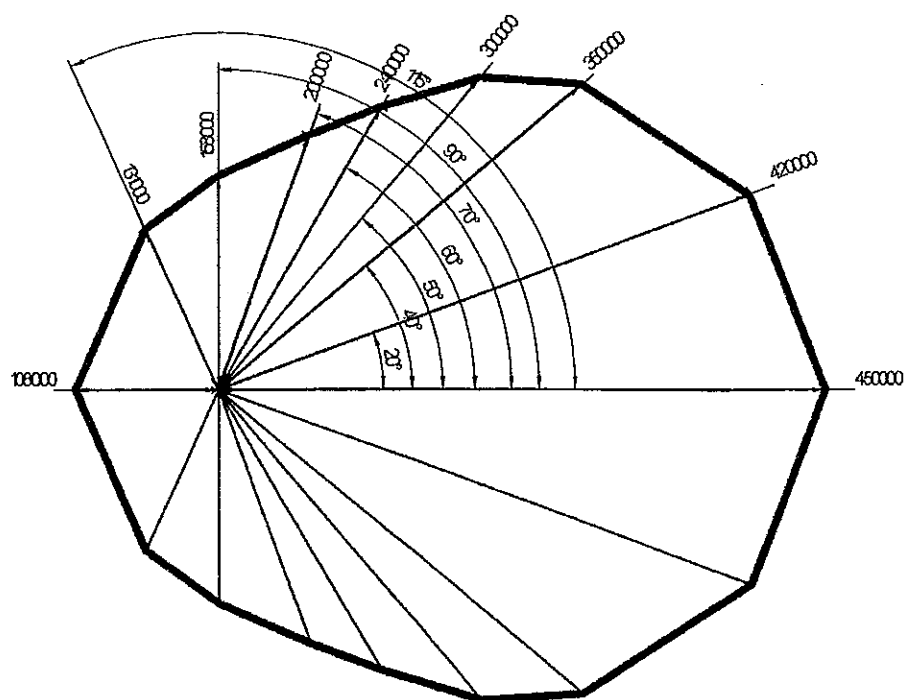
3.6.1 *Woningen en gebouwen*

Wij bevelen aan om woningen en andere gebouwen van normale constructie binnen de onderstaande afstanden te ontruimen tijdens de bomruiming:

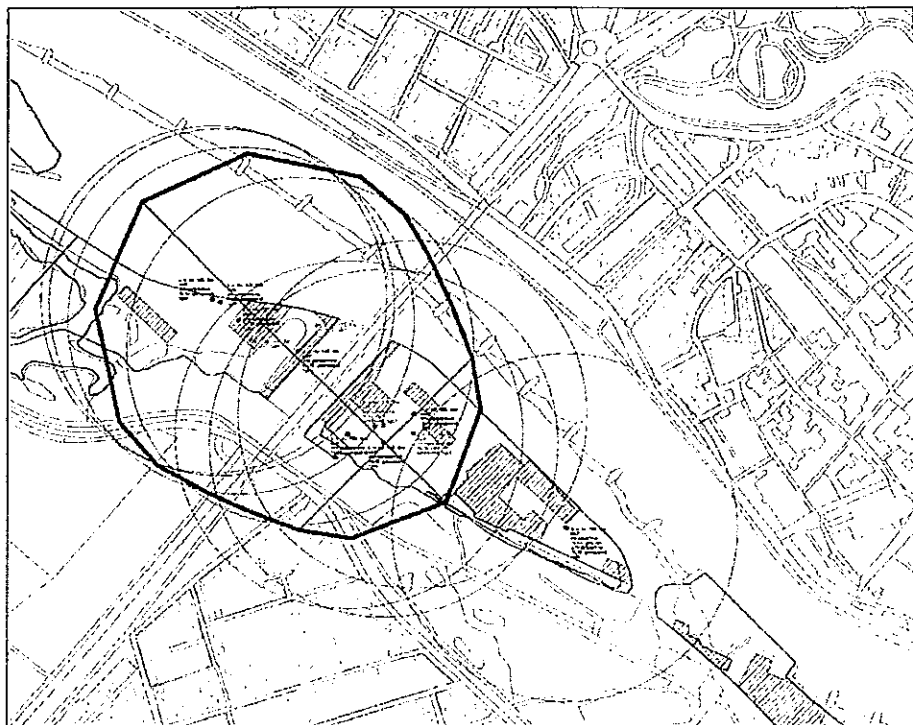
- aan de voorzijde van de afschermingsconstructie: 450 m;
- zijkant: 158 m;
- achterzijde: 108 m.

Voor tussenliggende hoeken zijn schattingen gemaakt van de afstand, zie figuur 9.

Dit is gebaseerd op de effectafstand "10% kans op breuk van enkel glas". De andere explosie-effecten blijven binnen deze effectafstanden.



Figuur 9 Aanbevolen ontruimingsafstanden (in mm).



Figuur 10 Voorbeeld van de aanbevolen ontruimingsafstanden voor één van de bommen.

3.6.2 *Personen*

Voor onbeschermde personen en personen in voertuigen (exclusief treinen) wordt aanbevolen:

- voorzijde: 190 m;
- zijkant: 100 m;
- achterzijde: 100 m.

Dit is gebaseerd op de effectafstand voor "5 kPa invallende druk" aan de voorzijde en "uitworp van zand" aan de zij- en achterkant. De kans op letsel is niet nul; de knal is zo luid dat (tijdelijke) gehoorschade kan optreden.

3.6.3 *Ondergrondse leidingen*

Voor leidingen wordt geen schade verwacht als de kleinste afstand van de bom tot de leiding groter is dan:

- kunststof buisleidingen: 18 m;
- betonnen buisleidingen: 15 m;
- stalen buisleidingen: 14 m.

Dit is gebaseerd op de effectafstand voor grondschok, voor een bom die vrij op de grond ligt of op de bodem van een put ligt. De afstanden gelden niet voor een bom die afgedekt is met een berg zand.

Als de werkelijke afstand kleiner is bevelen wij aan om na te gaan of schade aan de leiding tot gevaar kan leiden (zoals bij een gasleiding). Als dat het geval is bevelen wij aan om te overwegen de leiding af te sluiten tijdens de ruiming.

4 Blast bij gecontroleerde detonatie

Op verzoek van dhr. Roosen van Witteveen+Bos wordt in dit hoofdstuk de blast die vrijkomt bij gecontroleerde detonatie beschreven. Het hoofdstuk bevat enkele citaten uit een TNO rapport voor Gemeentewerken Rotterdam [Wees, 2011]. Bij een gecontroleerde detonatie wordt de bom na verwijdering van de ontstekers naar een locatie vervoerd die ver genoeg van bebouwing ligt. Daar wordt de bom begraven in een kuil of overdekt met een berg zand, en tot ontploffing gebracht. De afdekking is bedoeld om de scherven af te remmen/te stoppen en de blast te reduceren.

Dhr. Roosen wil het effect van de blast op fauna in een nabijgelegen Natura 2000 gebied beoordelen.

In dit hoofdstuk worden de effecten beschreven van een gecontroleerde detonatie van een munitieartikel die ingegraven is of onder een zandafdekking begraven is. Een ongeval bij het voorbereiden van de vernietiging of tijdens transport wordt niet beschouwd. De beschouwde effecten zijn: blast. Milieuvervuiling in de vorm van rook en bodemvervuiling wordt niet beschouwd.

De EODD heeft meerdere opties om het munitieartikel af te schermen. Bij zandoverdekking zijn drie uitvoeringsvormen gespecificeerd in VS 9-861: 15 kalibers ingegraven (hiermee wordt bedoeld dat een kuil met een diepte van 15 maal de diameter van bom wordt gegraven, de bom hier in gelegd en de kuil weer dichtgegooid wordt), 5 kalibers ingegraven en 10 kalibers zandoverdekking op het maaiveld; en op maaiveld met 15 kalibers zandoverdekking. Bij andere ingraafdieptes kan geïnterpoleerd worden.

4.1 Blast

4.1.1 *Methode om blast te voorspellen*

Om de blast van een begraven munitieartikel te voorspellen bestaat in de literatuur een methode: [DDESB TP 16, 2003], Chapter 6, section Airblast - burial in soil, geïmplementeerd in spreadsheet BEM v6.xls. De methode gaat uit van een artikel onder het maaiveld, niet van een artikel op het maaiveld onder een berg zand. TNO heeft ook experimentele data ter beschikking: een serie testen met 500 lb vliegtuigbommen met verschillende typen afscherming, uitgevoerd voor de EODD in Hjerkin (Noorwegen) in 2003 [Lodder e.a., 2005].

Omdat de methode uit DDESB TP 16 bedoeld is voor ingegraven bommen moet voor bommen met zandafdekking een omrekeningsfactor gebruikt worden. Het blijkt dat als de kleinste afstand van de bom tot het oppervlak van de zandberg ingevuld wordt in de formules, de gemeten blast goed overeen komt met de voorspelde blast.

4.1.2 *Veilige afstand*

De veiligheidsafstand bij activiteiten die potentieel gevaar opleveren volgt meestal uit een afweging tussen de kans op letsel van de burger en schade en het commerciële belang van de ondernemer die het gevaar veroorzaakt. Voor de meeste industriële activiteiten wordt de veiligheidsafstand zo gekozen dat de kans op overlijden van een onbeschermd persoon lager is dan $1 \cdot 10^{-6}$ doden-persoon/jaar.

Voor munitieopslag worden historisch afstanden gebruikt die afhankelijk zijn van het effect: voor bewoonde gebouwen en personen in het vrije veld en ook ter

voorkoming van schrikreacties van automobilisten op drukke wegen wordt een piekoverdruk van 5 kPa genomen. De kans op letsel of zelfs overlijden is bij deze druk niet nul: ruitbreuk is nog potentieel dodelijk en de knal is zo luid dat (tijdelijke) gehoorschade kan optreden. Echter samen met de geringe kans op explosie van een munitiemagazijn geeft het een risico dat geaccepteerd wordt.

Voor intentionele detonaties wordt daarom geen veiligheidsafstand gehanteerd, maar een afstand waarop de effecten geen letsel of schade meer veroorzaken.

Voor blast bestaat hiervoor echter geen algemeen geaccepteerde norm.

- Ruitbreuk treedt praktisch niet meer op bij een invallende piekoverdruk van 2,4 kPa [Lodder e.a., 2005].
- Gehoorschade treedt, bij een enkele knal, op vanaf 1,5 kPa [Wees, 1999], [Baker *et al.*, 1983].
- Voor consumentenvuurwerk wordt een limiet van 153 dB (0,893 kPa) gehanteerd.
(VROM, 2002. Regeling nadere eisen aan vuurwerk. Artikel 10 lid 1. Consumentenvuurwerk levert bij het ontbranden een zodanige geluidsdruk dat het geluidsniveau (L Piek) op 2 meter afstand niet meer bedraagt dan 153 dB (lin).)
- In DoD 6055.9-STD wordt in paragraaf C9.8.4, Areas Used for Intentional Detonations, de afstand $130.1 \cdot NEQ^{1/3}$ gehanteerd (afstand in m, NEQ in kg TNT). In BEM v6 wordt dit de "Blast withdrawal distance" genoemd en vertaald in een piekoverdruk van 0.066 psi (0,455 kPa). Merk op dat dit een zeer luide knal is, die vrijwel zeker overlast veroorzaakt.

4.2 Resultaten voor 500 lb bom M64A1

Voor Deventer zijn berekeningen van de blast van een afgedekte bom uitgevoerd met BEM v6. BEM v6 heeft geen Britse MC 500 lb bom als invoer, daarom is een 500 lb M64A1 bom gebruikt. Deze heeft een grotere ladingmassa (124.28 kg) dan de MC 500 lb bom (108 kg), zodat verwacht mag worden dat de resultaten conservatief zijn. Aangenomen is dat de bom afgedekt wordt met 15 kalibers zand ($15 \times 0.361 \text{ m} = 5.42 \text{ m}$ voor de 500 lb M64A1 bom).

De voorspelde blast is zeer laag, zodat de nauwkeurigheid van de voorspelling laag zal zijn. Vanaf 100 m afstand zal de nauwkeurigheid snel teruglopen, deze waarden zijn daarom oranje gekleurd.

Tabel 6 Blast voor 500 lb bom M64A1, afgedekt met 5.42 m zand, volgens DDESB Buried Explosion Module (BEM) v 6.0.

afstand / m	piekoverdruk / kPa	piekoverdruk / dB
10	0.61	150
20	0.28	143
30	0.18	139
40	0.13	136
50	0.10	134
80	0.058	129
100	0.045	127
150	0.028	123
200	0.020	120
300	0.013	116
400	0.009	113

5 Conclusies

De Combinatie IJsselfront wil bij een bomruiming bij Deventer in plaats van een standaard afschermingsconstructie een alternatieve afschermingsconstructie toepassen. TNO heeft deze afschermingsconstructie beoordeeld en bijbehorende effectafstanden berekend.

Van de voorgestelde afschermingsconstructie mag verwacht worden dat deze de benodigde veiligheidsafstanden effectief vermindert ten opzichte van een niet-afgeschermd MC 500 lb bom.

- De voorgestelde afschermingsconstructie zal alle fragmenten stoppen, mits bij de uitvoering opgelet wordt dat de ligging van de bom inderdaad zo is dat alle fragmentbanen afgeschermd worden.
- De blast zal naar verwachting sterker beïnvloed worden dan bij de standaard afschermingsconstructie, zodat aan de voorzijde een grotere afstand aanbevolen wordt.
- De uitworp van brokstukken van de afschermingsconstructie zelf zal veel minder zijn dan bij de standaard afschermingsconstructie, zodat aan de zij- en achterkant kleinere afstanden mogelijk zijn.

Wij bevelen aan om woningen en andere gebouwen van normale constructie binnen de onderstaande afstanden te ontruimen tijdens de bomruiming:

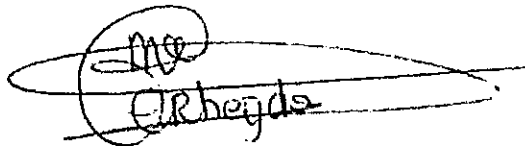
- aan de voorzijde van de afschermingsconstructie: 450 m;
- zijkant: 158 m;
- achterzijde: 108 m.

6 Referenties

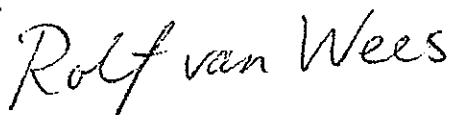
- [AASTP-1, 2010] Manual of NATO safety principles for the storage of military ammunition and explosives, NATO International staff - Defence investment division, AASTP-1, Edition 1, Change 3, Brussel, May 2010.
- [DDESB TP 16, 2009] Crull, M.M. et al., Methodologies for calculating primary fragment characteristics, DDESB, TP 16 revision 3, Alexandria, VA, 1 April 2009.
- [Doormaal en Wees, 2009] Doormaal, J.C.A.M. van, Wees, R.M.M. van, Gevolgen accidentele detonatie bomruiming N201+, TNO Defensie en Veiligheid, TNO-DV 2009 C462, Rijswijk, december 2009.
- [Lodder e.a., 2005] Lodder, G.H., Deursen, J.R., Absil, L.H.J., Herziening veiligheidsafstanden voor ruimingsoperaties in VGVK 19. Fase 3: Eindrapport, TNO Defensie en Veiligheid, DV2 2005 A32, Rijswijk, 2005.
- [Voort et al., 2009] Voort, M.M. van der, et al., A description of Risk-NL v5.0, TNO Defence, Security and Safety, TNO-DV 2009 A315, Rijswijk, December 2009.
- [VS 9-861, 2010] Voorschrift Opsporen en ruimen van explosieven, Koninklijke Landmacht, VS 9-861, druk 2, 29 september 2010.
- [Wees, 2011] Wees, R.M.M. van, Bepaling maximale hoeveelheden explosieve stof voor springlocaties te Rotterdam, TNO, Bijlage bij brief EBP11/240, Rijswijk, 5 oktober 2011.

7 Ondertekening

Rijswijk, 15 februari 2013

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M.W. Verheijden', enclosed within a large, loopy circular flourish.

Dr.ir. M.W. Verheijden
Manager Expertise Group
Explosions, Ballistics and Protection

A handwritten signature in black ink, reading 'Rolf van Wees' in a cursive script.

Ir. R.M.M. van Wees
Auteur

