

Het breachen van een spouwmuur

Een onderzoek naar het breachen van een bakstenen spouwmuur met behulp van de Gate Crasher mk4.

Auteur:

Cadet-vaandrig M.J. (Mark) Mastenbroek

Het breachen van een spouwmuur

Een onderzoek naar het breachen van een bakstenen spouwmuur met behulp van de Gate Crasher mk4.

Auteur:

Cadet-vaandrig M.J. (Mark) Mastenbroek
Nederlandse Defensie Academie
Universiteit Twente

Begeleiders:

Ir. J.B.W. (Jody) Borgers
Nederlandse Defensie Academie
Universiteit Twente

Dhr. L.J.W. (Rens) Righarts
Kenniscentrum Genie Vught

Breda, 20 februari 2014

Voorwoord

Voor u ligt mijn onderzoek ter afsluiting van mijn bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente en de Nederlandse Defensie Academie. Dit onderzoek heeft plaatsgevonden van oktober 2013 tot januari 2014 voor het Kenniscentrum Genie te Vught. Voordat u verder leest wil ik eerst een aantal personen bedanken, want zonder hun hulp heb ik dit onderzoek niet kunnen uitvoeren.

Ten eerste wil ik mijn begeleiders ir. Jody Borgers en de heer Rens Righarts bedanken. Hun kennis, expertise, ervaring en vooral enthousiasme zijn een waardevolle bron van inspiratie geweest tijdens dit onderzoek.

Voor het maken van de beelden met de high-speed camera's wil ik graag Bas van Leeuwen van TNO bedanken. Daarnaast wil ik graag Sergeant-Majoor Bart Groeneveld bedanken voor het laten uitvoeren van alle testen rondom dit onderzoek. Ook de kennis en expertise van de Sergeant-Majoor zijn van grote waarde geweest voor dit onderzoek.

Ten slotte wil ik graag een tweetal personen van de vliegbasis Volkel bedanken. Adjudant Jan Meijer van de EOD heeft ons tijdens de testen zeer goed geholpen met het mogelijk maken van de proeven. Alle telefoontjes naar de 'toren' van de vliegbasis voor goedkeuring van de proeven en de hulp bij het gereed maken van de Gate Crashers hebben ervoor gezorgd dat de testen vloeiend verliepen. Als laatste wil ik graag Sergeant-1 Jan van Schijndel bedanken voor het gebruik van zijn kantoor tijdens de proeven en alle hulp die de Sergeant-1 ons geboden heeft.

Breda, januari 2014

Mark Mastenbroek

Cadet-vaandrig bestemd voor het Wapen der Genie

Samenvatting

Om criminelen en terroristen te kunnen aanhouden, kunnen gespecialiseerde eenheden gebruik maken van een methode waarmee met een hoeveelheid springstof een gat in een muur wordt gemaakt. Om de springstof effectiever te gebruiken en ervoor te zorgen dat de 'collateral damage' beperkt blijft, kunnen deze gespecialiseerde eenheden gebruik maken van een ladingdrager genaamd de Gate Crasher mk4. Dit is een plastic frame dat gevuld wordt met springstoffen en water, waarbij het water zorgt voor opsluiting, waardoor de effecten van de springstoffen beter worden benut. De fabrikant van de Gate Crasher, Alford Technologies, heeft voor verschillende muren verschillende ladingen onderkend. De hoeveelheid springstof die moet worden gebruikt is door de fabrikant niet wetenschappelijk vastgelegd en de waarden die zijn gevonden zijn enkel gebaseerd op de grootte van de man-hole. Overigens wordt er in Nederland vaak gebruik gemaakt van een spouwmuurconstructie en deze muren zijn niet door de fabrikant onderzocht.

Door onvoldoende kennis over het gebruik van de Gate Crasher worden er vaak verkeerde hoeveelheden explosieven toegepast. Het kenniscentrum Genie wilt graag in kaart brengen wat de optimale hoeveelheid springstof is in vergelijking met de fragmentatie en drukken die daarbij vrijkomen. Het doel van het onderzoek is het in kaart brengen van de hoeveelheid springstof die moet worden gebruikt om door een spouwmuur heen te komen in vergelijking met de fragmenten en piekoverdrukken die hierbij ontstaan, door proeven uit te voeren waarbij de piekoverdrukken en fragmentatie worden gemeten. Bovendien is er niets bekend over de theorie achter het explosief breachen van een spouwmuur.

Uit de literatuurstudie blijkt dat de 'MSD-tabel' wordt gebruikt om een veilige afstand te houden voor schadelijke piekoverdrukken. De MSD-tabel geeft een nauwkeurige indicatie weer vanaf waar een persoon kan staan zonder trommelvliesbreuk op te lopen, dit gebeurt namelijk bij 28 kPa. Om de kans op schade door piekoverdrukken bij mensen te bepalen kunnen met verschillende probit-functies overlijdenskansen worden bepaald. Ook de overlijdenskansen door brokstukken of fragmenten kunnen met een probit-functie worden bepaald.

Om het onderzoek te realiseren zijn er drie gebouwen op vliegbasis Volkel toegewezen waar de experimenten plaatsvinden. De gebouwen bestaan niet uit dezelfde soort baksteen of dezelfde spouwmuurconfiguratie. Een van de spouwmuuren heeft een isolatielaag wat de resultaten kan beïnvloeden. Om het aantal variabelen te beperken is er gekozen om de hoeveelheid springstof te beperken tot twee variaties, namelijk een 'kleine lading' van 200 gram en een 'grote lading' van 300 gram. Ook de plaatsing van de Gate Crasher heeft op twee manieren plaatsgevonden, namelijk midden op de muur en aan de onderkant van de muur. Om de drukken te meten zijn er druksensoren geplaatst op de afstanden die de MSD-tabel per ladinggewicht geeft. Om de snelheden van de brokstukken en fragmenten te meten zijn er high-speed camera's van TNO geplaatst.

Uit de proeven is gebleken dat het gebruik van 200 g slagsnoer niet voldoende is om een man-hole te creëren wat groot genoeg is om doorheen te gaan. Het gebruik van 200 g slagsnoer en 100 g kneedspringstof blijkt binnen dit onderzoek de ideale manier van laden te zijn. Als de Gate Crasher laag op de muur wordt geplaatst met een 'grote lading' van 300 g worden er perfecte man-holes gecreëerd. Ook kan er worden geconcludeerd dat de isolatie die aanwezig is geen of nauwelijks effect heeft op de grootte van de man-hole. Met betrekking tot de gemeten piekoverdrukken aan de buitenkant kan er worden geconcludeerd dat deze minimaal 10% onder de maximaal verwachte

drukken vallen. De verwachte drukken zijn berekend aan de hand van de Brode. De piekoverdrukken die door de man-hole naar binnen komen zijn zo laag dat deze geen schade opleveren voor de mens.

Als er wordt gekeken naar de fragmenten kan er worden geconcludeerd dat een persoon geen dodelijke verwondingen oploopt. De fragmenten die een persoon tegen het hoofd kunnen raken hebben een dusdanig lage snelheid dat de kans hierop te verwaarlozen is. Alleen als een persoon geknield of liggend aanwezig is bij de muur, is een dodelijke verwonding mogelijk doordat een groot gedeelte van de muur naar beneden komt.

Ten slotte kan de theorie achter het breachen van een spouwmuur worden verklaard. Een man-hole in een spouwmuur ontstaat, doordat de brokstukken en fragmenten van de buitenste muur een dusdanige snelheid krijgen door de explosie, dat deze genoeg kinetische energie bevatten om door de binnenmuur heen te breken en de man-hole zowel in de buitenmuur als in de binnenmuur bijna even groot maken.

Inhoud

Voorwoord	4
Samenvatting.....	6
1. Inleiding	10
1.1 Aanleiding.....	10
1.2 Projectkader	11
1.3 Probleemstelling.....	13
1.4 Doelstelling.....	13
1.5 Onderzoeksvragen.....	14
1.6 Onderzoeksstrategie	14
1.7 Leeswijzer	15
2. Theorie.....	16
2.1 Kenmerken van een explosie	16
2.2 Schokgolfparameters.....	18
2.3 Fragmentatie	19
2.4 Explosie op een bakstenen muur	20
2.5 Werking van de Gate Crasher.....	21
2.6 Letselcriteria door blast.....	22
2.7 Letsel door scherven en brokstukken	25
2.8 Afsluiting hoofdstuk 2	26
3. Opstellingen en verwachtingen.....	27
3.1 De opstellingen.....	28
3.2 Invloed van bakstenen	29
3.3 Plaatsing Gate Crasher mk4	30
3.4 Verwachte werking van de Gate Crasher	31
3.5 Afsluiting hoofdstuk 3	32
4. Resultaten.....	33
4.1 Beproeving van bakstenen	34
4.2 Man-holes.....	36
4.3 Drukmetingen buiten	40
4.4 Drukmetingen binnen.....	45
4.5 Snelheid fragmenten	46
4.6 Resterende bevindingen.....	52
4.7 Kanttekeningen	53

4.8 Afsluiting hoofdstuk 4	55
5. Conclusie	56
5.1 Deelvragen schokgolven.....	56
5.2 Deelvragen fragmentatie	56
5.3 Deelvragen Gate Crasher.....	57
6. Aanbevelingen	59
6.1 Testen van muren.....	59
6.2 Laden van Gate Crasher	59
6.3 Fragmenten opmeten.....	59
6.4 Plaatsing van de Gate Crasher.....	59
Bibliografie	61
Bijlage A: begrippenlijst.....	63
Bijlage B: MSD-tabel	64
Bijlage C: probit-functies	65
Bijlage D: uitslagen testen	66
Bijlage E: drukmetingen	95
Bijlage F: analyse fragmenten	106

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

In Nederland bevinden zich verschillende eenheden die gespecialiseerd zijn in het aanhouden van terroristen en criminelen, het bevrijden van gijzelaars en het optreden in verstedelijkt gebied (OVG). Hierbij maken zij gebruik van een methode die breachen heet. Breachen is het doorbreken van een muur, plafond, deur of raam om zo toegang te krijgen tot een andere ruimte. Bij deze methode is het de bedoeling dat er op een snelle maar veilige manier toegang kan worden verkregen naar een andere ruimte. Er zijn verschillende manieren om te breachen, namelijk: fysiek, thermisch, ballistisch, mechanisch en met behulp van een explosief. Vooral de laatste optie wordt vaak gebruikt, omdat hierbij het verrassingseffect heel groot is bij de verdachten. Bij het explosief breachen wordt er een stuk springstof tegen een muur geplaatst die vervolgens een man-hole¹ in de muur brengt. Door de man-hole kunnen de eenheden naar binnen om zo de terroristen, criminelen of gijzelaars te pakken.

Om een muur te doorbreken kan Defensie tegenwoordig onder andere gebruik maken van de Gate Crasher mk4 (zie figuur 1) [1]. Hierbij wordt, met behulp van een kunststoffen omhulsel welke gevuld wordt met water, de lading tegen de muur geplaatst waarbij de energie die vrijkomt bij de explosie meer wordt gestuurd richting de muur.



Figuur 1: Gate Crasher mk4.

Door dit systeem zou er significant minder explosieven benodigd zijn dan bij het enkel plaatsen van een stuk springstof op een muur (een kale lading). Ook de schokgolfwerking² aan de zijde van de

¹ In dit rapport wordt er vaak gesproken in jargon. In bijlage A worden de begrippen nader toegelicht.

² Wordt nader uitgelegd in hoofdstuk 2.

Gate Crasher en in de ruimte waar verdachten zich bevinden, zou significant minder moeten zijn (minder explosieven gebruiken betekent dat er een minder grote schokgolf bij vrijkomt). Verder, doordat er minder explosieven worden gebruikt zal de hoeveelheid en grootte van de brokstukken (fragmentatie³) die bij de explosie vrijkomen minder zijn.

Door onvoldoende kennis over het gebruik van de Gate Crasher worden de explosieven vaak overgedimensioneerd. Dit komt doordat het absoluut niet wenselijk is als er te weinig explosieven worden gebruikt. Er ontstaat dan een te klein (of zelfs geen) gat om doorheen te komen, waardoor de speciale eenheden niet binnen kunnen komen om de terroristen of criminelen in te rekenen. Door het gebruik van teveel explosieven kunnen de schokgolven en brokstukken die vrijkomen ongewenste schade met zich meebrengen (collateral damage). De verdachten (of gegijzelden) kunnen dan letsel oplopen, waardoor ze geen informatie meer kunnen verstrekken. Dit kan een ongewenste vertraging veroorzaken in een operatie.

Door Alford Technologies, de fabrikant van de Gate Crasher, zijn voor verschillende muren, verschillende ladingen onderkend [1]. In tabel 1 staan de ladingen die zijn onderkend door de fabrikant.

Tabel 1: ladingen die door de fabrikant zijn onderkend.

Soort muur	Hoeveelheid explosieven
Enkele bakstenen muur	8 strengen slagsnoer a 10 g/m
Dubbele bakstenen muur	8 strengen slagsnoer a 10 g/m + 6 mm sheet explosieven
Drie dubbele bakstenen muur	8 strengen slagsnoer a 10 g/m + 9 mm sheet explosieven in omtrek en 12 mm sheet explosieven in het midden
Vier dubbele bakstenen muur	8 strengen slagsnoer a 10 g/m + 12 mm sheet explosieven in de omtrek en 15 mm sheet explosieven in het midden.

De hoeveelheid springstof die moet worden gebruikt is door de fabrikant niet wetenschappelijk vastgelegd en de waarden zijn gevonden door alleen te kijken of de man-hole groot genoeg was. Een voorbeeld van deze muren zijn een enkele of een dubbele bakstenen muur. In Nederland worden gebouwen vaak gebouwd waarbij gebruik wordt gemaakt van een spouwconstructie. Deze spouwconstructie zorgt voor extra isolatie en is vaak opgebouwd uit een luchtlag. Over het gebruik van de Gate Crasher op een muur met spouw is nog niets bekend.

Het Kenniscentrum Genie wil graag in kaart brengen wat de optimale hoeveelheid springstof is in vergelijking met de fragmentatie en druk die daarbij vrijkomen, om uiteindelijk op een advies te komen voor een optimalisatie van het gebruik van de Gate Crasher per soort muur.

1.2 Projectkader

Om tot een optimalisatie van het gebruik van de Gate Crasher mk4 te komen, zouden er voor iedere soort muur veel variabelen moeten worden onderzocht. Dit kan uiteenlopen tot de verschillende steensoorten, soorten bakstenen, metselmethode, mortelsoort, type spouw, enz. Omwille van de tijd moet het project worden afgebakend, zodat er gericht kan worden gezocht naar een mogelijke optimalisatie van de Gate Crasher op een spouwmuur. Hieronder zullen verschillende afbakeningen worden beschreven waar het onderzoek mee verder zal gaan.

³ Wordt nader uitgelegd in hoofdstuk 2.

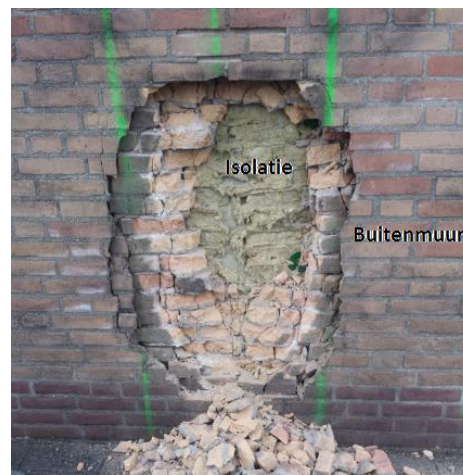
1.2.1 Afbakening muren

Er zijn in Nederland tientallen verschillende soorten muren. Van bakstenen muren tot binnenmuren van gips. Om deze muren te testen moeten zij daadwerkelijk beschikbaar zijn waarbij een proefopstelling geïnstalleerd kan worden. Verder zal de proef een aantal keer moeten worden herhaald, zodat de resultaten gevalideerd kunnen worden. Het kost zeer veel tijd en geld om alle soorten muren proefondervindelijk te testen.

Vanuit Vliegbasis Volkel zijn er drie gebouwen ter beschikking gesteld voor het onderzoek. Deze gebouwen beschikken over buitenmuren die in een spouwmuur constructie zijn gemaakt. Gebouw 206 en gebouw 392 hebben een spouwmuur waarbij geen isolatie is aangebracht. In figuur 2 is te zien hoe deze spouwmuur is opgebouwd. De binnenmuur is aan de buitenkant nog afgewerkt met een laag stucwerk.



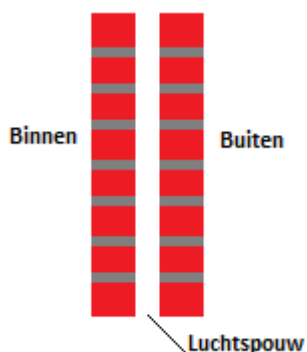
Figuur 2: opbouw spouwmuur gebouw 206 en 392.



Figuur 3: opbouw spouwmuur gebouw 483.

Gebouw 483 heeft in de spouwmuur nog een isolatielaag van glasvezel wol. In figuur 3 is hier een afbeelding van te zien.

De spouwmuur komt er in zekere zin als volgt uit te zien (zie figuur 4). Alleen bij gebouw 483 moet er tegen de binnenmuur nog een laag isolatie bij worden gerekend. De luchtspouw is ongeveer 10 centimeter breed.



Figuur 4: geschematiseerde opbouw van spouwmuur.

De binnenkant van de muur is de kant waar de specialisten moeten zijn en de buitenkant is de zijde waar het explosief is geplaatst.

Bij de verkenning is er geconstateerd dat de gebouwen zijn gemaakt van verschillende soorten baksteen. Deze bakstenen kunnen verschillen in sterkte wat invloed heeft op de mate van destructiviteit van de ontploffing op de baksteen. Om de sterkte van de bakstenen te bepalen zijn er een aantal bakstenen beproefd. In hoofdstuk 3 wordt hier verder op ingegaan en in hoofdstuk 4 staan de resultaten van de proeven.

1.2.2 Afbakening plaatsing Gate Crasher

De Gate Crasher kan op verschillende plaatsen op de muur worden gezet. Iedere plaats heeft een ander effect op de grootte van het gat, fragmentatie en de druk. Wanneer voor iedere soort muur verschillende plaatsen op de muur worden aangehouden, dan zullen er wederom veel proeven moeten worden uitgevoerd om de resultaten te valideren. Door de geringe beschikbaarheid van de gebouwen is er vanuit praktisch oogpunt gekozen om de Gate Crasher op twee hoogtes aan te brengen, namelijk laag op de muur en in het midden van de muur.

1.2.3 Afbakening schade

In dit onderzoek zal er specifiek gekeken worden naar de schokgolfwerking aan de binnenkant en buitenkant van de muur. Er wordt vanuit gegaan dat aan de schokgolf aan de buitenkant voor een groot deel wordt opgevangen door de Gate Crasher en het water dat hierin zit. De metingen aan de buitenkant worden getoetst aan de 'minimum staking distance (MSD)' (de minimale afstand waar een persoon moet staan om geen letsel te ondervinden van de drukgolf) [17]. De tabel voor de MSD is te vinden in bijlage B. Dit wordt gedaan omdat aan deze zijde de breachers zelf staan én de fabrikant beweert dat door de opsluiting van de explosieven door het water de drukgolven minder zullen zijn.

Net als de druk, wordt er vooral gekeken naar de fragmentatie aan de binnenkant. Hierbij wordt er gekeken of er tussen de fragmentatie zich een mogelijk dodelijk projectiel bevindt. Door een fragmentje kan een gijzelaar of gegijzelde dodelijk gewond raken en hierdoor kan een missie mislukken. Wanneer het bekend is dat de kans op een dodelijk fragment binnen de zone valt waarin een gijzelaar of gijzelnemer staat, kan ervoor worden gekozen om de Gate Crasher niet in te zetten.

Er wordt verwacht dat de fragmentatie aan de buitenkant niets tot nihil zal zijn, omdat deze worden opgevangen door de Gate Crasher. Het is wel mogelijk dat de Gate Crasher zelf fragmenten geeft. Dit zal niet worden onderzocht. Schade die door andere oorzaken wordt veroorzaakt (hitte en toxische gassen) wordt niet meegenomen in het onderzoek.

1.3 Probleemstelling

Momenteel is er weinig tot niets bekend over de hoeveelheid springstof die moet worden gebruikt om door een bakstenen spouwmuur te komen. Bovendien is bij het gebruik van de Gate Crasher weinig tot niets bekend over de schokgolven en fragmentatie die hierbij ontstaan.

1.4 Doelstelling

Het in kaart brengen van de hoeveelheid springstof die moet worden gebruikt om door de spouwmuur heen te komen in vergelijking met de fragmenten en piekoverdrukken die hierbij ontstaan, door proeven uit te voeren waarbij de piekoverdrukken en fragmentatie worden gemeten.

1.5 Onderzoeksvragen

De vereiste theoretische achtergrond is op te splitsen in drie deelgebieden. Deze delen zijn de piekoverdruk, fragmentatie en de Gate Crasher mk4. Hieronder staan de deelvragen opgedeeld in drie subonderdelen.

1.5.1 Deelvragen piekoverdruk

1. Wat is de theorie achter een schokgolf die door een enkele bakstenen muur gaat?
2. Wat is de piekoverdruk die ontstaat bij het breachen van een muur?
 - 2.1 Wat is de piekoverdruk aan de binnenkant bij een spouwmuur bij het gebruik van de Gate Crasher?
 - 2.2 Wat is de piekoverdruk aan de buitenkant bij een spouwmuur bij het gebruik van de Gate Crasher?
3. Wat is een veilige afstand bij het gebruik van de Gate Crasher om door een bakstenen muur te komen met spouw constructie.

1.5.2 Deelvragen fragmentatie

4. Wat is fragmentatie? Welke soorten fragmentatie zijn er?
5. Hoe groot zijn en hoe snel gaan de fragmenten die vrijkomen bij het gebruik van de Gate Crasher op een spouwmuur?

1.5.3 Deelvragen Gate Crasher

6. Hoe wordt de Gate Crasher gebruikt?
7. Hoe werkt de brisante werking in combinatie met de gasdrukwerking op een spouwmuur?
8. Waar wordt de Gate Crasher op de muur geplaatst?
9. Hoeveel springstof moet er worden gebruikt om door een spouwmuur te komen?
10. Wat is de theorie achter het creëren van een man-hole door een spouwmuur met behulp van de Gate Crasher?

1.6 Onderzoeksstrategie

Om de theorie te ontwikkelen voor het breachen van een bakstenen spouwmuur moet er eerst een referentiekader worden gemaakt. Dit kader wordt gemaakt door een vergelijking te maken met de theorie van een explosie op een enkele bakstenen muur en het testen van de Gate Crasher op een enkele bakstenen muur. Met deze vergelijking wordt de beschreven theorie over het doorbreken van een bakstenen muur gevalideerd en kan het worden gebruikt als referentiekader voor het gebruik van de Gate Crasher op een spouwmuur. Met de referentie kan er sneller een optimalisatie worden gevonden voor het gebruik van de Gate Crasher.

Wanneer de referentie bekend is kan er worden gezocht naar een optimalisatie van de Gate Crasher. Hiervoor moeten een aantal gegevens worden verzameld. Als eerste, de Gate Crasher kan pas worden geoptimaliseerd wanneer de man-hole groot genoeg blijkt te zijn. Wanneer deze groot genoeg is, kan er worden gekeken naar de druk die hierbij is vrijgekomen en de fragmentatie. De

druk wordt gemeten aan de binnenkant en aan de buitenkant. Bij de fragmentatie zal er alleen worden gekeken naar de brokstukken die aan de binnenkant zijn vrijgekomen. Er worden dus de volgende gegevens verzameld:

- Grootte man-hole;
- Druk:
 - Binnenkant;
 - Buitenkant;
- Fragmentatie:
 - Binnenkant.

Ter referentie zal de snelheid van de brokstukken op een enkele bakstenen muur worden vergeleken met de snelheid van de brokstukken van een spouwmuur.

Om de Gate Crasher te gebruiken, kan deze op drie verschillende manieren worden gevuld met explosieven, namelijk; doormiddel van slagsnoer, plastic explosieven (PE) en sheet explosieven (SE) [2]. Hierbij heeft de fabrikant aangegeven dat er 8 rondes (ongeveer 1 meter per ronde) slagsnoer kunnen worden aangebracht waarbij het slagsnoer 10 g/m is⁴. In totaal kan er 3 kg springstoffen worden aangebracht op de Gate Crasher.

1.7 Leeswijzer

Dit rapport is opgedeeld in zes hoofdstukken. In het eerste hoofdstuk wordt de inleiding weergegeven en in hoofdstuk 2 wordt de theorie met betrekking tot dit onderzoek beschreven. In hoofdstuk 3 wordt de opstelling en verwachtingen omschreven, waarna in hoofdstuk 4 de resultaten van de opstelling worden weergegeven. In het vijfde hoofdstuk wordt er antwoord gegeven op de deelvragen en in het laatste hoofdstuk worden er aanbevelingen gegeven voor een vervolgstudie.

⁴ 10 g/m: 10 gram explosieven per meter. Hiermee kan het type slagsnoer worden aangeduid. De Nederlandse Defensie maakt gebruik van 11 g/m slagsnoer.

2. Theorie

In dit hoofdstuk zal de theorie van de druk en fragmentatie achter het explosief breachen worden behandeld. Het hoofdstuk begint met een beschrijving van de kenmerken van een explosie. Daarna worden de schokgolfparameters behandeld die ontstaan bij een explosie. Vervolgens wordt beschreven wat fragmentatie is. Hierna worden de effecten van een explosie op een bakstenen muur behandeld en daarna wordt de werking van de Gate Crasher beschreven. Ten slotte worden de letselcriteria van de druk en fragmentatie beschreven.

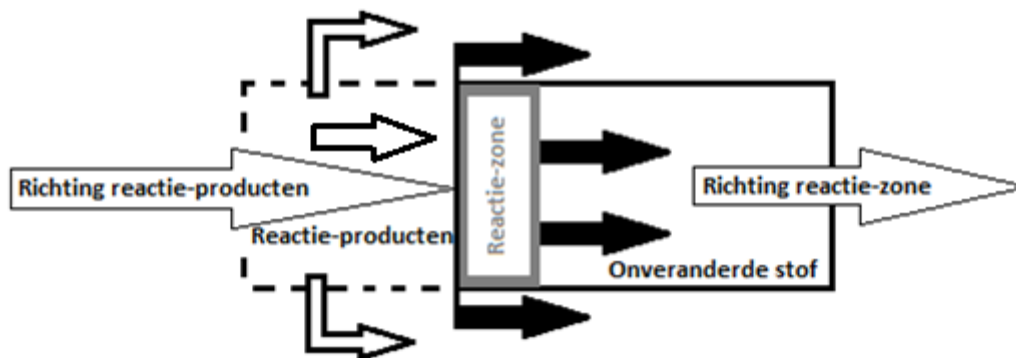
2.1 Kenmerken van een explosie

Een explosie moet aan een aantal kenmerken voldoen. De algemene definitie van een explosie is, dat in een zeer korte tijd en in een beperkt volume energie moet vrijkomen, zodat zich een drukgolf vormt met een eindige amplitude die zich van het explosiepunt af beweegt. Een eis aan de explosie is dat deze krachtig genoeg is om hoorbaar te zijn.

De vrijgekomen energie kan in het systeem opgeslagen hebben gezeten als fysische, nucleaire, elektrische en chemische energie. Binnen dit onderzoek zal alleen de laatste van toepassing zijn [6].

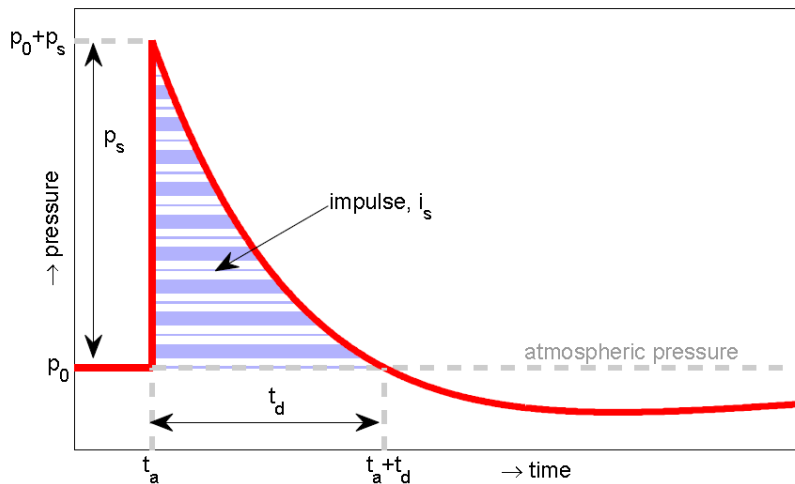
2.1.1 Detonatie- en schokgolf

Een explosief kan pas exploderen als er een drempelwaarde wordt overschreden die een chemische reactie opzet. Dit wordt binnen dit onderzoek meestal gedaan door middel van een elektrisch slagpijpje. Door deze reactie ontstaat een detonatiegolf. Een detonatiegolf is een schokgolf die zich door een explosief voortplant en waarin zich in een schokfront een chemische reactie afspeelt. Deze chemische reactie voegt voortdurend energie toe aan de schok waardoor deze ervoor zorgt dat de golf zich voort kan planten zonder uit dempen. In figuur 5 is een detonatie van een explosieve stof afgebeeld [9].



Figuur 5: detonatiegolf door een explosief.

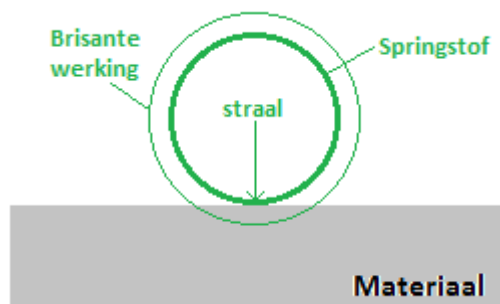
De detonatiegolf geeft in het omringende medium een druk door wat de schokgolf wordt genoemd. Er wordt eenvoudig een druk doorgegeven. Een schokgolf is een drukgolf met een grote amplitude en een steil front dat zich door een materiaal voortplant. In figuur 6 is de vorm van een schokgolf te zien [6].



Figuur 6: vorm van een schokgolf.

2.1.2 Brisante werking

Het bezwijken van materiaal op zeer korte afstand van het explosief noemt men de brisante werking. Wanneer er binnen deze afstand een vast materiaal bevindt (bijvoorbeeld een bakstenen muur) dan kan het bezwijken onder deze belasting. Een fysisch effect is dat ieder materiaal zal bezwijken onder hoge druk. Het ene materiaal zal smelten, bijvoorbeeld staal, een ander materiaal zal verbrijzelen zoals baksteen. De brisante werking heeft invloed tot ongeveer 1/3 van de straal van de gebruikte springstof en is afhankelijk van de detonatiesnelheid, contact van de lading op het materiaal en de hardheid van het materiaal [19]. In figuur 7 is de brisante werking afgebeeld.



Figuur 7: brisante werking.

2.1.3 Gasdrukwerking

Naast de brisante werking oefenen de snel uitzettende gasvormige reactieproducten tot op een vrij grote afstand van de springstof een gasdruk uit. De gasdrukwerking is aanwezig tot enkele tientallen maal de straal van de springstof. Deze kan worden verhoogd door de lading op te sluiten met behulp van bijvoorbeeld water (principe van de Gate Crasher). Om de gasdrukwerking optimaal te benutten dient men de brisante werking zoveel mogelijk te vermijden, zodat de vrijgekomen energie gebruikt wordt voor de gasdrukwerking. Dit kan worden gerealiseerd door een open ruimte te laten tussen het explosief en het materiaal. Echter, de schokgolf, brisante werking en gasdrukwerking zullen altijd gepaard gaan met elkaar.

Een voorbeeld van deze begrippen: een lading wordt geplaatst tegen een bakstenen muur. Door de druk (brisante werking) worden er scheuren in de muur gebracht waarna de gasdrukwerking de brokstukken wegslingert.

2.2 Schokgolparameters

In 1955 heeft Brode simulaties uitgevoerd waarbij het verloop van de statische overdruk als functie van de afstand kan worden benaderd [6]. Hierbij wordt onderscheidt gemaakt tussen het nabije veld ($p_s > 10$ bar) en het verre veld ($0,1 < p_s < 10$ bar). Dit resulteerde in de volgende formules:

$$p_s = \frac{6,7}{Z^3} + 1 \quad \text{als } p_s > 10 \text{ bar}$$

$$p_s = \frac{0,975}{Z} + \frac{1,455}{Z^2} + \frac{5,85}{Z^3} - 0,019 \quad \text{als } 0,1 < p_s < 10 \text{ bar}$$

Waarin Z de geschaalde afstand is en als volgt wordt gedefinieerd:

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} = \frac{R}{W^{1/3}}$$

Hierin is R de afstand tot het explosiecentrum in meters en W de ladingmassa in kilogram TNT. Hierbij wordt TNT dus als referentie gebruikt.

Bij het breachen wordt er gebruik gemaakt van een ander soort springstof dan TNT. De Nederlandse Defensie maakt gebruik van kneedspringstof en slagsnoer waarbij de springstof pentriet (PETN) is. Om een schatting te maken van de blastgolf van pentriet moet de explosieve massa eerst worden omgerekend naar een equivalente hoeveelheid TNT. De meest eenvoudige manier om dit te doen is door de massa van het explosief te vermenigvuldigen met een conversiefactor. Deze conversiefactor is gebaseerd op de massa specifieke energie. Voor een aantal typen explosieven is deze conversiefactor vastgelegd [13]. Voor pentriet geldt een TNT equivalentie van 1,282 op basis van massa specifieke energie.

Het gebruik van één conversiefactor voor TNT-equivalentie is onnauwkeurig. Iedere springstof reageert anders over verschillende parameters. Daarom wordt er voor de piekoverdruk en de impuls gebruik gemaakt van twee conversiefactoren, omdat dit de twee meest gebruikte parameters zijn. Voor pentriet geldt een TNT equivalentie voor de piekoverdruk van 1,27 [12]. Voor de impuls is er geen data beschikbaar.

De bovenstaande informatie geldt wanneer een explosie zich voordoet in de lucht. Hierbij zal het dus gaan om een sferische explosie. Echter, bij het breachen van een muur zal de explosie niet sferisch zijn, en ook niet hemisferisch. Het volume waarover de schokgolf zich verspreid is dubbel hemisferisch, namelijk doordat de muur en de vloer de ruimte verkleinen. Het volume waarover de explosie zal verspreiden zal hierdoor kleiner worden. Voor een bol is het volume $\frac{4}{3}\pi r^3$ en voor een halve bol is het volume dus $\frac{2}{3}\pi r^3$. Voor het geval waarbij de muur en de vloer de ruimte verkleinen zal het volume het volgende zijn: $\frac{1}{3}\pi r^3$. De blastgolf van een dubbele hemisferische explosie zal in verhouding met een sferische explosie, vier keer zo groot zijn met een gelijk blijvend ladinggewicht. De geschaalde afstand wordt dan als volgt:

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{4W}} = \frac{R}{(4W)^{1/3}}$$

Door deze verandering in de geschaalde afstand zal ook de piekoverdruk veranderen. Het gaat hierbij om de piekoverdruk die zich aan de buitenkant van de muur bevindt en niet de druk die zich in het gebouw bevindt.

Er zijn meerdere methodes om de piekoverdruk te berekenen. Een aantal van deze berekeningen, naast de berekening van Brode, zijn opgesteld door Baker en Kingery en Bulmash. De berekeningen die zijn gedaan door Brode, Baker en Kingery en Bulmash komen bij een geschaalde afstand van meer dan 1 zeer dicht bij elkaar in de buurt. De kleinste geschaalde afstand waarmee gewerkt gaat worden is als volgt: met een lading gewicht van $200\text{g} = 0,2\text{ kg}$ en een bijbehorende MSD van $6,67\text{m}$ geeft een geschaalde afstand van: $Z = \frac{6,67\text{ m}}{(4 \times 0,2)^{1/3}} = 7,19 \frac{\text{m}}{\text{kg}^{1/3}}$. Hieruit blijkt dat de kleinste geschaalde afstand groter dan 1 is. Vanwege het feit dat de uitkomsten van de methodes zeer veel overeenkomen en om het overzicht te behouden in dit onderzoek, wordt ervoor gekozen om alleen de methode van Brode aan te houden voor de voorspelling van de piekoverdrukken.

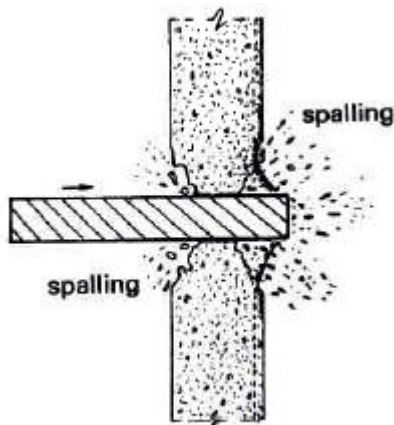
2.3 Fragmentatie

Wanneer een omhulde explosieve lading detoneert, zal de omhulling in fragmenten afbreken van verschillende grootte. Deze fragmenten heten de primaire fragmenten (fragmenten van de Gate Crasher zelf) en zullen met hoge snelheid gelanceerd worden. Deze bezitten een hoge kinetische energie waardoor ze een bedreiging vormen voor mensen en constructies. De schokgolf van het explosief kan brokstukken wegslingeren (de fragmenten van de muur) welke secundaire fragmenten worden genoemd. Secundaire fragmenten zijn normaalgesproken groter en zwaarder en zullen een lagere snelheid hebben. Toch kunnen deze fragmenten genoeg kinetische energie bevatten om schade of letsel toe te brengen. De brokstukken en fragmenten vormen een grotere bedreiging voor schade of letsel dan de schokgolf [6].

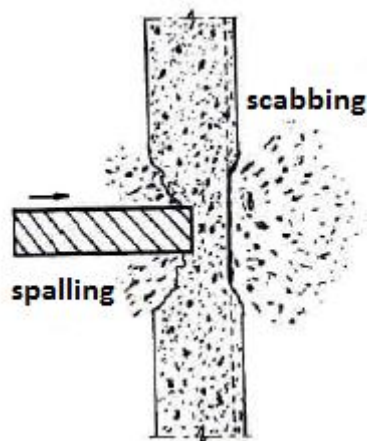
Twee belangrijke begrippen die bij fragmentatie horen zijn spalling en scabbing. Er zijn verschillende definities van deze twee begrippen. Om misverstanden te voorkomen en doordat deze twee fenomenen voor zullen komen bij het onderzoek, worden de volgende definities gehanteerd. Spalling is het veroorzaken van fragmenten door een directe breuk aan het materiaal toe te brengen. Hierbij kan het gaan om het treffen van een projectiel op een muur, zonder dat deze perforeert, maar dat er wel aan de trefzijde fragmenten wegspringen. Ook wanneer een projectiel een muur perforeert en door de perforatie worden er fragmenten weggeslingerd wordt spalling genoemd. Het bezwijkmechanisme is dus een gevolg van een directe inslag of door het toedoen van een schokgolf.

Scabbing is het ontstaan van fragmenten door het bezwijken van het materiaal zelf. Door een inslag van een projectiel aan de ene kant kan het materiaal dusdanig doorbuigen dat deze bezwijkt, waardoor aan de andere kant fragmenten afspringen [18]. Het bezwijkmechanisme is dus de reactie (het doorbuigen) van de constructie op een inslag van een projectiel of door een schokgolf.

In de figuren 8 en 9 is een visuele weergave te zien van de twee begrippen [6].



Figuur 8: spalling bij inslag van een projectiel.



Figuur 9: spalling en scabbing van een projectiel.

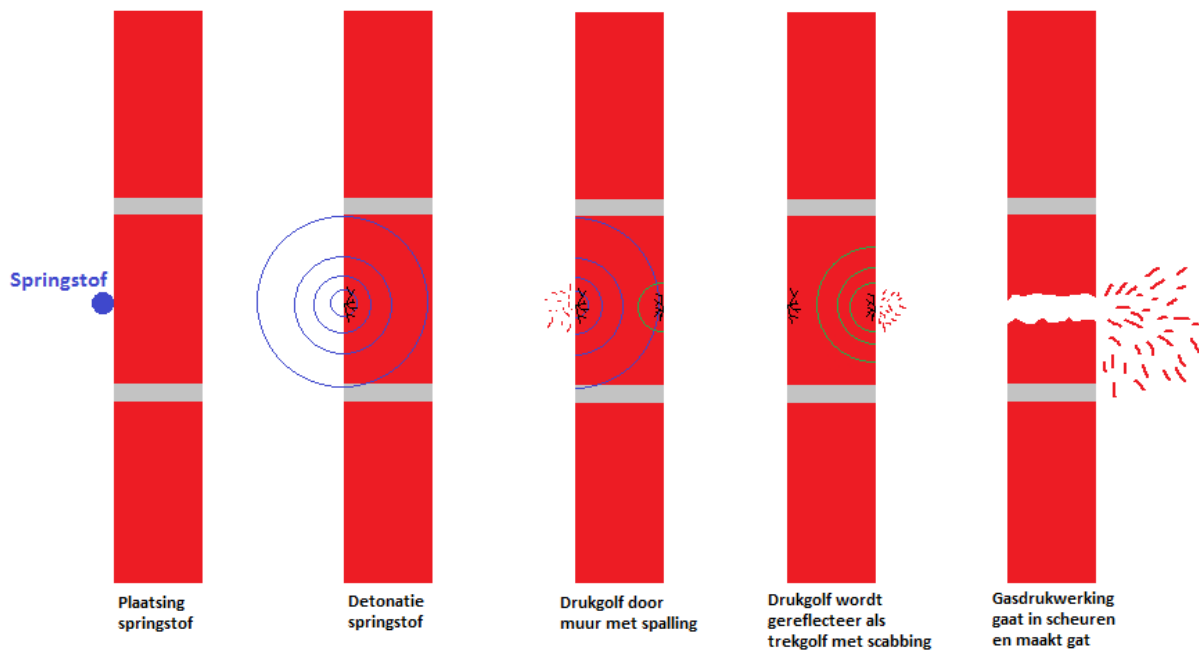
2.4 Explosie op een bakstenen muur

Als een explosieve lading nabij een bakstenen muur ontploft, komt er in een zeer korte tijd veel energie vrij. Een deel van deze energie plant zich in de constructie voort als een drukgolf en een deel zal zich in de lucht verspreiden. Nadat het explosief is gedetoneerd zijn er twee bezwijkmechanismes bekend bij een explosie op een enkele bakstenen muur:

Ten eerste zal de brisante werking het falen van de bakstenen veroorzaken. De bakstenen worden door de schokgolf verbrijzeld en kunnen daarna door de gasdrukwerking worden weggeslingerd.

Ten tweede, als de drukgolf in de muur de achterzijde bereikt, wordt deze gereflecteerd als een trek golf. De golf wordt gereflecteerd, omdat er sprake is van een grensvlak [19]. Een grensvlak is een overgang tussen twee materialen met een verschillende materiaaleigenschap. Deze overgang kan van een licht materiaal naar een zwaar materiaal gaan en andersom. Bij de overgang van een licht naar zwaar materiaal zal de drukgolf worden gereflecteerd als een drukgolf. Bij een grensvlak van zwaar naar licht zal de drukgolf worden gereflecteerd als een trek golf. Bij het breachen van een bakstenen muur is er sprake van twee overgangen, namelijk van licht (lucht) naar een zwaar medium (de muur). Slechts een klein deel van de initiële drukgolf zal het materiaal ingaan en zich voortplanten als een drukgolf. Het deel van de drukgolf dat het materiaal binnendringt, zal radiale scheuren tot gevolg hebben. Wanneer de drukgolf de achterzijde van de muur bereikt komt het tweede grensvlak aan bod. De gereflecteerde drukgolven aan de achterzijde zullen als trek golf tangentele scheuren (scheuren die ontstaan in de raaklijn van de drukgolf) tot gevolg hebben die aan de achterzijde van de constructie zorgen voor het afschilferen van het materiaal. Dit is eerder uitgelegd als scabbing. In figuur 10 is weergegeven hoe de drukgolf zich door het materiaal beweegt (blauwe golven) en wordt gereflecteerd als het de achterkant bereikt (groene golven).

Het bezwijken van een bakstenen muur zal bijna altijd een gevolg zijn van een combinatie van de twee hierboven genoemde bezwijkmechanismen [8].

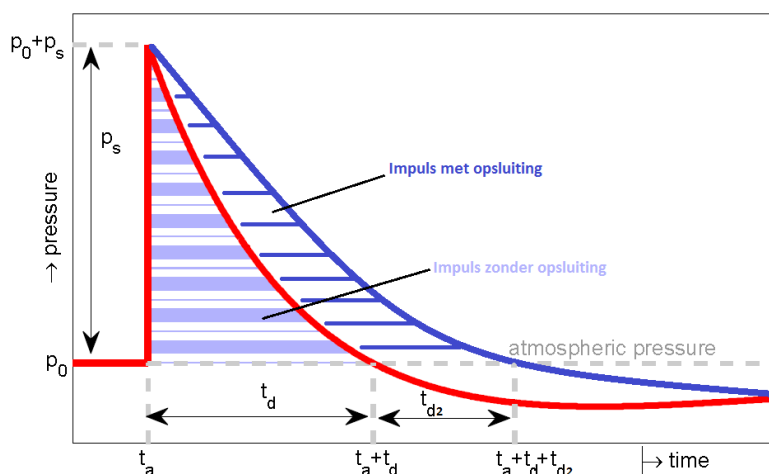


Figuur 10: schematisatie van druk- en trekgolven door een bakstenen muur.

Wanneer een bakstenen spouwmuur wordt gebreached, wordt er door Alford Technologies een ander bezwijkingsmechanisme beschreven. Volgens Alford Technologies [2] zal de buitenmuur bezwijken op de hierboven beschreven manier, maar de binnenmuur zal niet bezwijken door de drukgolven. Er wordt verwacht dat de brokstukken en fragmenten van de buitenmuur een dusdanige kinetische energie hebben dat zij door de binnenmuur worden gedrukt waardoor er een man-hole ontstaat in beiden muren.

2.5 Werking van de Gate Crasher

De Gate Crasher mk4 is een middel om door muren te kunnen breachen. Doordat het gevuld is met water, beweert de fabrikant dat er significant minder hoeveelheden springstof hoeft te worden gebruikt. Vanwege de opsluiting van de explosieven door het water wat in de Gate Crasher zit duurt de schokgolf als het ware 'langer'. De piekoverdruk zal niet worden vergroot, maar door de langere duur van de schokgolf wordt de impuls van de explosie vergroot. In figuur 11 is dit verschil weergegeven.



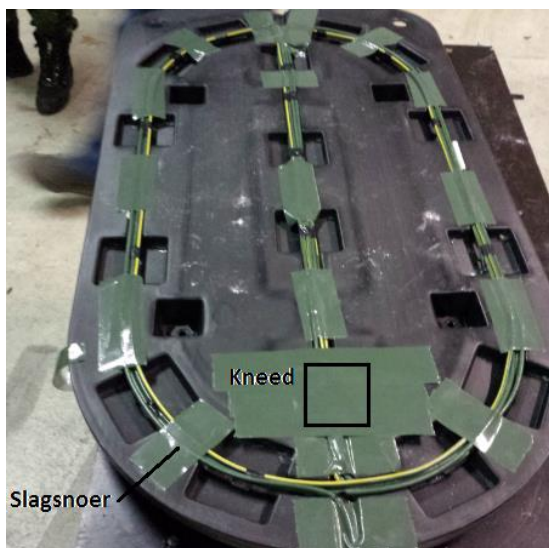
Figuur 11: verschil impuls met en zonder opsluiting.

Door het ontwerp van de Gate Crasher kan er met de explosieve lading worden gevarieerd. Hierdoor kan er worden aangepast op de verschillende soorten muren die moeten worden gebreached. In tabel 2 staan de specificaties van de Gate Crasher mk 4 opgesomd [3].

Tabel 2: specificaties Gate Crasher mk4.

Parameter	Dimensie
Afmeting (l×b)	0,58 × 1,09 m
Gewicht leeg	4 kg
Gewicht vol	21 kg
Maximale hoeveelheid slagsnoer	8 strengen van 10 g/m PETN
Maximale hoeveelheid PE/SE	3 kg

In figuur 12 is te zien hoe de springstoffen worden geplaatst.



Figuur 12: laden van de Gate Crasher voor de testen.

2.6 Letselcriteria door blast

Bij het explosief breachen van een muur komen er schokgolven en fragmentatie vrij. De breachers staan zo dicht mogelijk op de locatie waar zij gaan breachen, waardoor zij een verhoogd risico lopen om letsel te krijgen aan de hand van de schokgolven en fragmenten. Ook de gijzelaar en gijzelnemers lopen een risico op letsel door toedoen van het breachen. In deze paragraaf worden de letselcriteria besproken die gepaard gaan met het breachen van een bakstenen spouwmuur.

Het letsel door schokgolven kan in drie categorieën worden verdeeld. Ten eerste kan er letsel ontstaan door directe of primaire blast effecten als gevolg van de druksprong van de schokgolf. De menselijke organen zoals de oren en de longen bevatten lucht en zijn het meest gevoelig voor deze effecten. Het letsel aan deze organen wordt bepaald door verschillende eigenschappen van de schokgolf.

Naast de directe schokgolf kunnen ook scherven of fragmenten letsel veroorzaken. Onder dit letsel worden indirecte of secundaire blast effecten verstaan. Wanneer een explosief een omhulsel heeft, in de vorm van bijvoorbeeld een munitie opslag of door een object in de buurt, kan dit letsel

veroorzaken. De mate van letsel door fragmentatie en brokstukken wordt door vele parameters bepaald, zoals de massa, snelheid, vorm, dichtheid, afmeting en hoek van inslag. Binnen dit onderzoek zal alleen worden gekeken naar de letselcriteria die ontstaan aan de binnenkant van de muur, dus de ruimte waar de gijzelnemer of gijzelaars zich bevinden.

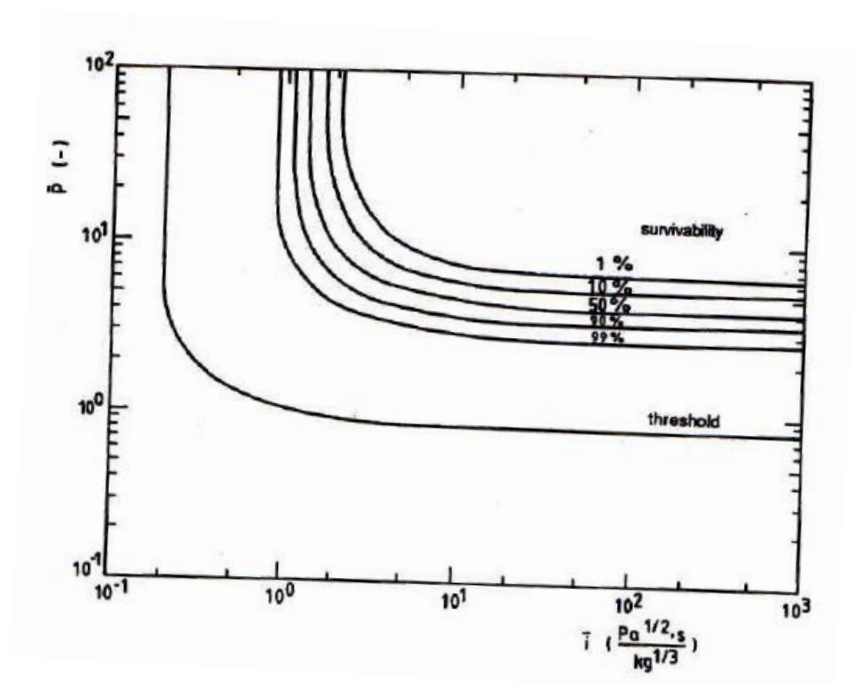
Ten derde kan er letsel ontstaan door de verplaatsing van het hele lichaam en de mogelijk volgende impact. Dit wordt gezien als tertiaire blast effecten. Hierbij wordt het hele lichaam omver geworpen door de overdruk en de schokgolf. Het letsel treedt op bij een botsing met een hard object en wordt vooral bepaald door de plotselinge snelheidsverandering bij de impact, de tijd en afstand waarover het afremmen gebeurt, het materiaal en de vorm van het object en het deel van het lichaam wat erbij betrokken raakt [6].

Naast deze drie oorzaken is er ook nog een risico op het oplopen van brandwonden en toxiciteit van de vrijgekomen gassen. Deze oorzaken worden niet meegenomen in dit onderzoek.

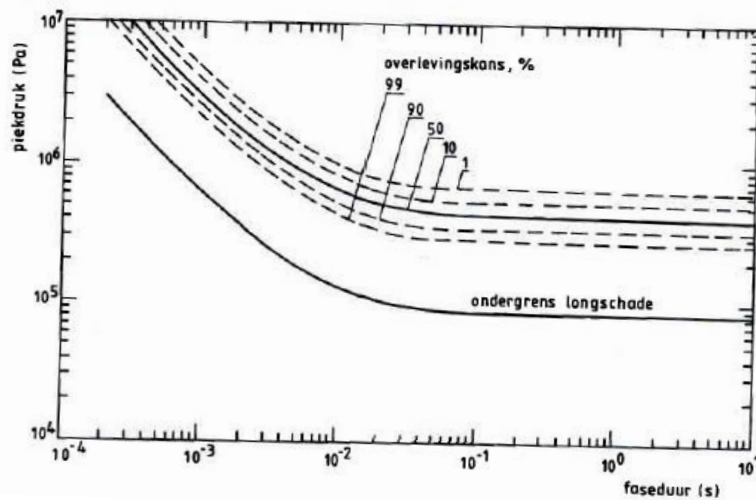
2.6.1 Longschade

Als gevolg van de drukgolf ontstaat er een drukverschil tussen de binnen- en buitenwand van de borstkas en longen. Hierdoor zal de borstkas naar binnen worden gedrukt waardoor de longen worden ingedrukt en deze kunnen dan beschadigd raken. De amplitude en duur van de drukgolf, de omgevingsdruk, de massa van de persoon en de oriëntatie van de persoon zijn factoren die invloed hebben op de mate van longschade.

Onderzoekers van het Amerikaanse Lovelace instituut [7] hebben letaliteitscurves opgesteld als functie van de invallende overdruk en positieve faseduur. In figuren 13 en 14 zijn deze twee curves afgebeeld.



Figuur 13: Letaliteitscurve als functie van de dimensieloze overdruk en geschaalde specifieke impuls.



Figuur 14: Letaliteitscurve als functie van de piekoverdruk en de faseduur.

In figuur 13 kan de overlevingskans worden berekend van een persoon van 70 kg en een atmosferische druk van 100 kPa. In figuur 14 is de overlevingskans te zien van een persoon waarbij de piekoverdruk als functie van de duur van de invallende drukgolf staat afgebeeld.

De letaliteitscurve die in figuur 13 staat beschreven kan met een probit-functie worden benaderd, zodat die analytisch kan worden berekend [6]. Met de probit-functie kan de kans op overlijden worden bepaald. In bijlage C is de tabel voor probit-functies weergegeven. De berekening voor de kans op longschade gaat als volgt:

$$Pr = 5,0 - 5,74 \ln(S)$$

Waarin:

$$S = \frac{4,2}{\bar{p}_s} + \frac{1,3}{\bar{t}_s}$$

$$\bar{p}_s = \frac{p_s}{p_0}$$

$$\bar{t}_s = \frac{p_s T}{p_0^{1/2} m^{1/3}}$$

- Pr = probit-functie;
- p_s = de invallende overdruk;
- p_0 = atmosferische druk;
- $\bar{p}_s$ = dimensielose overdruk;
- $\bar{t}_s$ = specifiek geschaalde impuls;
- M = massa van de persoon;
- T = duur van de blast.

Met de probit kan een percentage worden bepaald dat de kans op een bepaalde gebeurtenis aangeeft. Het percentage dat bij een bepaalde waarde van de probit hoort kan worden bepaald aan de hand van bijlage C.

2.6.2 Oorletsel

Naast longschade is het menselijk lichaam ook kwetsbaar voor oorletsel. Het trommelvlies is gelegen aan het einde van de gehoorgang en vormt de overgang tussen het uitwendige oor en het middenoor. Het membraan vangt trillingen op en geeft deze door aan de gehoorbeentjes waardoor men geluid kan waarnemen. Het trommelvlies kan bij hoge drukken scheuren en, hoewel dit letsel niet ernstig hoeft te zijn, kan het een goede drempelwaarde zijn voor letselschades.

Voor trommelvliesbreuk is een drempelwaarde afgeleid van 35 kPa. Deze waarde is afgeleid uit een aantal onderzoeken die zijn uitgevoerd door Valada (1930), Henry (1945) en Hirsh (1968) [4]. Net als bij longschade is voor oorletsel een probit-functie afgeleid. Deze is als volgt:

$$Pr = -12,6 + 1,524 \ln(p_s)$$

Het letsel criterium dat voor de MSD-tabel wordt aangehouden is 28 kPa [10]. Hierbij wordt geen rekening gehouden met gehoorbescherming. In dit onderzoek zal er ook een vergelijking worden gemaakt met de MSD en de daadwerkelijk gemeten piekoverdruk.

Naast trommelvliesbreuk kan er ook schade ontstaan aan het slakkenhuis. In het slakkenhuis bevinden zich haarcellen die nodig zijn om geluid door te geven. Deze cellen worden bij beschadiging niet vervangen, dus deze gehoorschade is meestal blijvend. Om deze schade te karakteriseren heeft de US Army Research Laboratory [16] een model ontwikkeld waarmee dit kan worden gemeten. Dit model heet: Auditory Hazard Assessment Algorithm for the Human ear (AHAH). Met dit software programma kan de feitelijke fysieke belasting op de haarcellen worden berekend.

2.7 Letsel door scherven en brokstukken

Wanneer een Gate Crasher op een muur wordt geplaatst, kunnen er scherven en brokstukken worden weggeslingerd in de kamer waar de gijzelaars zich kunnen bevinden. Binnen dit onderzoek zal alleen naar de snelheid van de brokstukken worden gekeken. Om toch een idee te geven van de letaliteit van brokstukken, worden in deze paragraaf de letselcriteria hiervan omschreven.

Het is vrijwel onmogelijk om theoretisch te voorspellen wat voor verwondingen het menselijk lichaam zal oplopen na een treffer van een brokstuk. Dit komt doordat het menselijk lichaam zeer gecompliceerd is en het letsel hangt sterk af van de plaats van treffen. Om toch een letaliteitsschaal toe te wijzen aan brokstukken wordt, in de Verenigde Staten net als in de NATO werkgroep AC 258, een brokstuk letaal beschouwd wanneer deze een kinetische energie bevat van 79 Joule of groter. De kinetische energie kan worden bepaald aan de hand van de volgende formule: $E_k = \frac{1}{2} \times m \times v^2$.

Baker [4] heeft met betrekking tot schedelbasisfractuur de volgende snelheidslimieten gegeven voor een brokstuk van 4,5 kg (zie tabel 3).

Tabel 3: limietsnelheden voor schedelbasisfractuur voor een brokstuk van 4,5 kg.

Criterium	Impact snelheid [m/s]
Veilig	3,0
Ondergrens	4,5
Bijna 100%	7,0

De massa's van de fragmenten kan verder worden verdeeld in drie klassen:

- $m < 0,1$ kg;
- $0,1 \text{ kg} < m < 4,5$ kg;
- $m > 4,5$ kg.

Voor fragmenten en brokstukken lichter dan 0,1 kg is het huid-perforatiecriterium maatgevend, wat in de Publicatie Gevaarlijke Stoffen (PGS) [15] is herschreven tot de volgende probit-functie:

$$Pr = 38,38 - 2,08 \ln(S)$$

Waarin:

$$S = mv_0^{5,115}$$

v_0 = impactsnelheid in m/s.

Voor de fragmenten en brokstukken met massa's tussen de 0,1 kg en 4,5 kg is het criterium 79 Joule letaal. Dit leidt tot de volgende probit-functie:

$$Pr = -17,56 + 5,3 \ln(S)$$

Waarin:

$$S = \frac{1}{2}mv_0^2$$

Voor fragmenten en brokstukken met massa's boven de 4,5 kg is de volgende probit-functie afgeleid:

$$Pr = -13,19 + 10,54 \ln(v_0)$$

Voor brokstukken met een massa groter dan 4,5 kg is het criterium gebaseerd op schedelbasisfractuur.

2.8 Afsluiting hoofdstuk 2

In dit hoofdstuk zijn de algemene kenmerken van een explosie behandeld. Met deze algemene kennis zijn de schokgolfparameters bepaald die het mogelijk maken om de piekoverdruk te bepalen van een explosie. Daarna is het begrip fragmentatie behandeld en is beschreven wat het effect is van een explosie op een bakstenen muur. Hierna is de werking van de Gate Crasher behandeld en ten slotte zijn de letselcriteria door blast en fragmenten behandeld.

In het volgende hoofdstuk wordt de opstelling en de verwachtingen van de proeven behandeld.

3. Opstellingen en verwachtingen

In dit hoofdstuk worden de opstellingen besproken. Ook worden de bij deze opstellingen horende verwachtingen besproken. De opstellingen zullen per gebouw verschillend zijn en de plaatsing van de Gate Crasher kan per locatie verschillen. Om de Gate Crasher te gebruiken op een spouwmuur heeft de fabrikant het volgende geadviseerd:

- Gebruik in eerste instantie alleen het ovale gedeelte en vul het met 650 g PE;
- Probeer daarna met acht rondes slagsnoer te plaatsen en ook acht strengen in het midden. Hierdoor komt het totale gewicht op 300 g explosieven.
- Hierna zullen er combinaties worden geprobeerd tussen PE en slagsnoer.

Om tot een optimalisatie te komen moet er stapsgewijs tussen de 600 g PE en 300 g slagsnoer worden gekozen. In tabel 4 wordt er per experiment aangegeven hoeveel explosieven er worden gebruikt. Er wordt gekozen om de explosieven op te delen in stappen van honderd (100g, 200g, 300g enz.). Hierdoor is het in de praktijk ook beter en sneller na te bootsen, dan wanneer er op de gram na iets moet worden nagemeten.

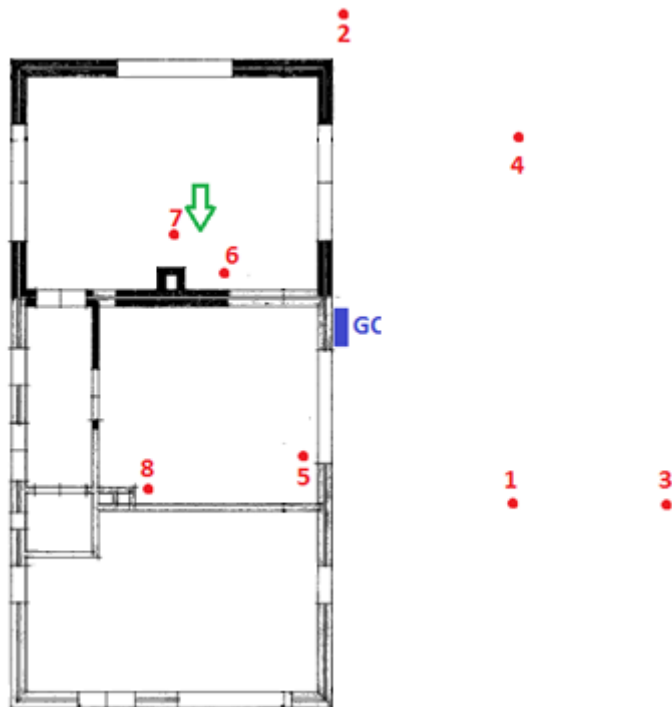
Tabel 4: experimenten voor de spouwmuur.

Gebouw 1	Slagsnoer [g]	Kneed [g]	Totaal [g]
Proeftest 1	160	0	160
Test 1	200	0	200
Test 2	200	0	200
Test 3	200	100	300
Test 4	200	100	300
Test 5	200	0	200
Test 6	200	100	300
Gebouw 2			
Test 7	200	200	400
Test 8	200	100	300
Test 9	200	0	200
Gebouw 3			
Test 10	200	0	200
Test 11	300	0	300
Test 12	200	100	300
Test 13	200	0	200
Test 14	200	0	200
Test 15	100	200	300

3.1 De opstellingen

Per proef zal een schematisatie worden gemaakt van de locatie. Hierin zal de plaatsing van de Gate Crasher worden aangegeven, de plaatsing van de sensoren en de plaatsing van de high-speed camera('s) zullen aan bod komen. Voor de leesbaarheid van het rapport wordt er één opstelling helemaal weergegeven, de overige opstellingen zullen op een soortgelijke manier worden benaderd en zijn te vinden in bijlage D.

Voor de opstellingen worden er druksensoren en high-speed camera('s) geplaatst. In figuur 15 is de opstelling van proef 1 weergegeven. De blauwe balk is de locatie van de Gate Crasher (GC), de rode bolletjes zijn de locaties van de druksensoren en de groene pijl is de locatie van de high-speed camera. In tabel 5 staan de afstanden waarop de sensoren staan en de verwachte drukken. De sensoren 1, 2, en 4 staan op de MSD, afstand waarbij wordt geacht dat op deze afstand, qua druk, het veilig moet zijn. De verwachte drukken zijn gebaseerd op een kale lading van het zelfde ladinggewicht op een muur (dus 'dubbel' hemisferisch). Door het gebruik van het opsluitmechanisme van de Gate Crasher gevuld met water moeten deze drukken lager uitvallen wanneer ze worden gemeten.



Figuur 15: opstelling proef 1.

Bij proef 1 wordt er gebruik gemaakt van 200 g slagsnoer. In tabel 5 zijn de bijbehorende verwachte drukken weergegeven aan de hand van de berekening van Brode [6]. Bij de berekeningen wordt een TNT equivalentie van 1,27 aangehouden. Hierbij komt het TNT equivalente gewicht uit op 254 g.

Tabel 5: gegevens van sensoren.

Sensor	Afstand	Maximaal verwachte druk Brode [kPa]
1 (buiten)	6,67	18,10
2 (buiten)	6,67	18,10
3 (buiten)	15,60	5,14
4 (buiten)	6,67	18,10
5 (binnen)	2,50	-
6 (binnen)	2,90	-
7 (binnen)	3,60	-
8 (binnen)	4,40	-

Als de verwachte drukken van Brode worden vergeleken met de druk waar de MSD op is gebaseerd, is er een significant verschil in op te merken. De MSD-tabel is gebaseerd op een piekoverdruk van 28 kPa en bij de berekening van Brode in de bovenstaande tabel is gerekend met meer grammen TNT dan in de MSD-tabel wordt afgelezen. In bijlage B kan namelijk worden afgelezen dat met een gewicht van 254 g een afstand van meer dan 7,2 m moet worden aangehouden. Vanwege het feit dat bij het uitzetten van de sensoren tijdens de proeven er geen rekening is gehouden met een TNT equivalentie, wordt ervoor gekozen om de vergelijking te trekken met de waarden die in tabel 5 staan.

Er kan geen schatting worden gemaakt van de piekoverdruk aan de binnenkant van het gebouw. Het is niet bekend wat de schokgolf doet wanneer hij voorbij de luchtsponw gaat en in de binnenruimte komt.

3.2 Invloed van bakstenen

Een belangrijke factor wat de sterkte van de muur bepaald is de sterkte van de bakstenen. In de inleiding is aangegeven dat voor de gebouwen verschillende soorten stenen zijn gebruikt. Als deze bakstenen een verschillende maximale druksterkte hebben, dan heeft dat effect op de uitwerking van de Gate Crasher. Als er mechanisch naar de bezwijking wordt gekeken, dan zullen de bakstenen niet alleen op druk bezwijken. Een gedeelte zal ook op afschuiving bezwijken, voornamelijk aan de buitenzijde van de Gate Crasher. Dit kan goed worden gezien in figuur 16. In de zwarte cirkels zijn meerdere bakstenen bezweken op afschuiving. Door dit feit zouden de bakstenen ook moeten worden beproefd op afschuiving. Door een gebrek aan apparatuur om dit uit te voeren, een gebrek aan bruikbare bakstenen en een gebrek aan financiën kan dit niet worden gedaan.

Uit de verkenning is verder gebleken dat bij gebouw 483 en gebouw 392 de binnen- en buitenmuren uit dezelfde baksteen bestaat. Bij gebouw 206 bestaat de hele binnenmuur uit straatklinkers. Deze bakstenen zijn veel harder en zwaarder dan de bakstenen van de buitenmuur. De verwachting is dan ook dat bij een vergelijkbare lading, de man-hole in gebouw 206 kleiner is dan bij de andere gebouwen. Bij de overige gebouwen wordt er verwacht dat het gebouw met de bakstenen die de grootste druksterkte hebben de meeste weerstand geven tegen de explosie.



Figuur 16: bakstenen bezwaken op afschuiving.

3.3 Plaatsing Gate Crasher mk4

Voor de plaatsing van de Gate Crasher zijn er twee variabelen aangehouden. De eerste is om de Gate Crasher in het midden van de muur te plaatsen en de tweede is om het frame aan de onderkant van de muur te plaatsen. Er wordt hiervoor gekozen om het aantal variabelen beperkt te houden, maar toch het verschil te kunnen zien van een significante verplaatsing van de Gate Crasher op een muur. In figuur 17 en 18 zijn de twee posities afgebeeld.

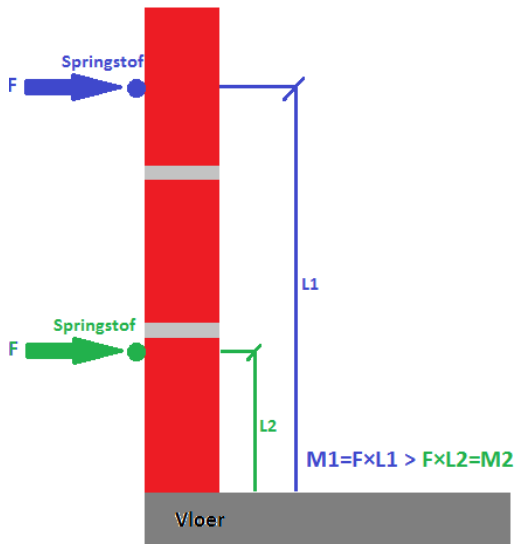


Figuur 18: plaatsing Gate Crasher op het midden van de muur.



Figuur 17: plaatsing Gate Crasher aan de onderkant van de muur.

Er wordt verwacht dat de plaatsing van de Gate Crasher op het midden van de muur een grotere uitwerking zal hebben dan een vergelijkbare lading aan de onderkant van de muur. Mechanisch gezien zal het plaatsen van de Gate Crasher in het midden van de muur een groter moment uitoefenen op de muur dan bij een vergelijkbare muur aan de onderkant. In figuur 19 is dit schematisch uitgelegd.

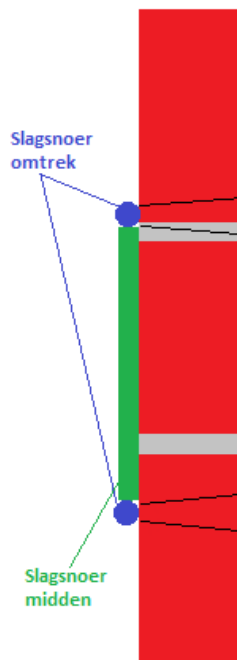


Figuur 19: uitleg plaatsing van de Gate Crasher.

Vanwege een groter moment dat ontstaat op de muur ontstaat er een grotere doorbuiging in de muur. Door de grotere doorbuiging zal de muur eerder bezwijken en zal er, bij een gelijke hoeveelheid springstoffen, een grotere man-hole ontstaan.

3.4 Verwachte werking van de Gate Crasher

Voor de testen wordt de Gate Crasher geladen met slagsnoer en kneedspringstof. Er wordt aangenomen dat het slagsnoer, wat in de omtrek van de Gate Crasher wordt geplaatst, voor een soort snede zorgt door de brisante werking. Het slagsnoer wat in het midden van het frame is geplaatst zorgt voor de zogenaamde 'kicker'. De kicker heeft als functie dat de snede in de muur, die door het slagsnoer in de omtrek is gevormd, een bepaalde hoeveelheid energie krijgt waardoor de brokstukken door het gat worden geduwd. Hierdoor ontstaat een man-hole waar de speciale eenheden doorheen kunnen. In figuur 20 is de ligging van het slagsnoer in de omtrek en het midden afgebeeld. Ook zijn de snijvlakken van het slagsnoer in de omtrek afgebeeld. Het kan worden beschouwd als een doorsnede van de Gate Crasher, zonder dat het frame is afgebeeld.



Figuur 20: doorsnede Gate Crasher met ligging van slagsnoer.

Naast het slagsnoer kan er ook kneedspringstof in de Gate Crasher worden geplaatst. Er wordt voor gekozen om de kneedspringstof altijd in dezelfde ruimte te plaatsen om zo de testen te kunnen verifiëren. Ook wordt ervoor gekozen om de kneedspringstof in het midden aan de onderkant te plaatsen, omdat de muur aan de onderkant wordt ingeklemd door de fundering en hierdoor zal er dus een extra 'belasting' nodig zijn om deze inklemming te overbruggen. Ook zal het extra stuk kneedspringstof als een extra 'kicker' fungeren om de brokstukken genoeg snelheid te geven om ook door de tweede muur te komen.

3.5 Afsluiting hoofdstuk 3

In dit hoofdstuk is de opstelling besproken van de proeven en de verwachte piekoverdrukken bij deze afstanden aan de hand van de berekening van Brode. Ook is de verwachting van de invloed van de sterkte van de bakstenen meegenomen. Daarna is de verwachting besproken over de variatie van de plaatsing van de Gate Crasher op de muur. Ten slotte is de verwachting van de werking van de Gate Crasher besproken.

In het volgende hoofdstuk worden de resultaten van de testen besproken. Hierbij wordt de vergelijking getrokken tussen de verwachtingen en de daadwerkelijke resultaten van de proeven.

4. Resultaten

Op dinsdag 3 december, woensdag 4 december en donderdag 5 december 2013 zijn er vijftien proeven uitgevoerd op vliegbasis Volkel. In dit hoofdstuk zullen de resultaten en metingen worden besproken. Als eerst zullen de resultaten van het beproeven van de bakstenen aan bod komen. Ten tweede zullen de man-holes worden besproken en daarna zullen de drukmetingen worden besproken. Ten vierde worden de fragmentatiebeelden geanalyseerd en als laatste zullen er een aantal kanttekeningen worden geplaatst die bij dit onderzoek van toepassing zijn. Bij ieder deelresultaat zal een korte conclusie volgen. De volledige resultaten met foto's zijn te vinden in bijlage D. In bijlage E zijn alle drukmetingen te vinden.

In tabel 6 zijn de vijftien proeven beschreven. De kolommen zijn als volgt opgedeeld:

- Proef: geeft weer om welke proef het gaat;
- Drager: geeft weer of de explosieven in de Gate Crasher zijn geplaatst of op een stuk karton (kale lading);
- Slagsnoer en kneed: geven weer hoeveel slagsnoer en kneedspringstoffen zijn gebruikt;
- Plaatsing op de muur: geeft weer of de drager aan de onderkant of in het midden is geplaatst.

Tabel 6: proeven die zijn uitgevoerd.

Proef	Drager	Slagsnoer	Kneed	Plaatsing op muur	Bijzonderheid
Proefschot	Gate Crasher	160	0	Midden	Naast een hoek
1	Gate Crasher	200	0	Midden	Naast een raam
2	Gate Crasher	200	100	Midden	
3	Gate Crasher	200	100	Onderkant	
4	Gate Crasher	200	100	Onderkant	
5	Gate Crasher	200	0	Onderkant	
6	Gate Crasher	200	100	Midden	Naast een hoek
7	Gate Crasher	200	200	Onderkant	
8	Gate Crasher	200	100	Onderkant	
9	Gate Crasher	200	0	Onderkant	Onder twee raampjes
10	Kale lading	200	0	Midden	
11	Kale lading	300	0	Midden	
12	Gate Crasher	200	100	Midden	Naast een hoek
13	Kale lading	200	0	Onderkant	Strengen zijn naast elkaar gelegd.
14	Gate Crasher	200	0	Midden	Op een enkelsteens binnenmuur
15	Gate Crasher	100	200	Onderkant	Onder twee raampjes. GC is anders beladen.

4.1 Beproeving van bakstenen

Om bakstenen goed te kunnen beproeven, moet het beproeven aan een aantal eisen voldoen [13]. Een aantal van deze eisen zijn: van de onder- en bovenkant moet er minstens 2 mm worden gehaald om een perfect glad oppervlak te creëren, de druk moet met een gelijke druk moet worden opgevoerd, er moet een relatief grote populatie (meer dan 10 per baksteensoort) zijn waaruit een conclusie kan worden getrokken, er mag geen variatie tussen de druksterktes van de bakstenen groter zijn van 25% en de bakstenen moeten vier rechte randen hebben. Het was bij het beproeven niet mogelijk om 2 mm aan de onder- en bovenkant af te halen en het was niet mogelijk om een grote populatie te beproeven. Daarom kunnen de gevonden druksterktes niet met 100% worden gevalideerd. De beschikbare apparatuur, de financiën en de beperkte populatie zijn de oorzaak van het niet kunnen voldoen aan de eisen. Om toch zo veel mogelijk de eisen te benaderen zijn er een aantal maatregelen genomen. Om een vlakke onder- en bovenkant te simuleren is er een rubberen plaatje tussen de drukbank en het monster gelegd. Hierdoor is getracht om de druk gelijkmatig te verspreiden over het monster.

In figuur 21 is een foto afgebeeld van een soortgelijke drukproef. De plaatjes tussen de drukbank en de baksteen zijn van rubber. De foto in figuur 21 is niet in dit onderzoek gemaakt.



Figuur 21: proefopstelling drukmeting baksteen.

In tabel 7 zijn de testen die zijn uitgevoerd, samen met de resultaten, weergegeven. Er is aangegeven van welk gebouw de baksteen is, of het om de binnen- of buitenmuur gaat, wat de afmetingen zijn, de bezwijklast is weergegeven, er moet een vormfactor worden toegepast bij bepaalde afmetingen conform NBN EN 772-1 [14] en de uiteindelijke druksterkte is in de laatste kolom weergegeven. De vormfactor is een correctie die moet worden toegepast over een bepaalde afmeting van een baksteen.

Tabel 7: uitslagen testen op bakstenen.

Test	Gebouw, binnen- of buitenmuur	Afmeting monster [$l \times b \times h$] in mm	Bezwijklast [kN]	Vormfactor [-]	Druksterkte [N/mm^2]
1	483, beiden	10,8×10,8×5,3	108,5	0,75	7,0
2	483, beiden	12,6×10,7×5,3	109,4	0,75	6,1
3	483, beiden	9,7×6,3×4,8	49,7	0,75	6,1
4	206, binnen	12,0×9,8×4,2	110	0,70	6,5
5	206, buiten	16,9×9,6×7,1	562	0,80	27,7
6	392, beiden	21,2×10,4×5,2	350	1,00	15,2
7	392, beiden	21,1×10,5×5,2	250	1,00	11,3

Met de gegevens uit tabel 7 zijn in tabel 8 de gemiddeldes weergegeven.

Tabel 8: druksterkte van de bakstenen per gebouw en per muur.

Gebouw	Binnenmuur	Buitenmuur
483	6,4 N/mm^2	6,4 N/mm^2
206	34,6 N/mm^2	6,5 N/mm^2
392	13,3 N/mm^2	13,3 N/mm^2

Uit tabel 8 kan worden opgemaakt dat er relatief veel verschil is tussen de bakstenen in de binnen- en buitenmuur. De reden waarom de druksterkte van de binnenmuur van gebouw 206 veel groter is dan de andere is omdat hier gebruik is gemaakt van straatklinkers als binnenmuur. Deze stenen zijn veel harder dan normale bakstenen. Verder is op te merken dat de bakstenen van gebouw 483 en 206 meer dan 50% minder sterk zijn dan van gebouw 392. Een oorzaak hiervoor kan zijn dat tijdens het beproeven van de bakstenen in test 6 te lang is doorgedrukt met de drukbank. Hierdoor kan er een grotere bezwijklast zijn afgelezen dan het daadwerkelijke bezwijkpunt. Een andere oorzaak kan zijn dat de bakstenen onder een andere gebruiksklasse vallen en daardoor een andere druksterkte hebben. Volgens het *Bouwkunde Tabellenboek* [5] zijn er voor buitenmuren verschillende klassen. Het is mogelijk dat de bakstenen van gebouw 483 en gebouw 206 onder de gebruiksklasse B1 vallen en dat de bakstenen van gebouw 392 onder de klassen B2 vallen. De klasse B1 heeft een ondergrens van $7,5 N/mm^2$ en de klasse B2 heeft een ondergrens van $10 N/mm^2$. Dit kan een oorzaak zijn voor het verschil tussen de bakstenen. Welke invloed de sterkte van de stenen heeft op het breachen wordt later in dit rapport duidelijk.

4.2 Man-holes

Een van de eisen van de Gate Crasher (GC) is dat hij daadwerkelijk een gat in de muur maakt waar speciale eenheden door kunnen om hun taak uit te voeren. Er is geen eis gesteld naar hoe groot het gat moet zijn, maar er is fysiek gekeken en getest of er door het gat heen kan worden gegaan. In tabel 9 zijn de resultaten met betrekking tot de man-holes uiteengezet. De tabel is als volgt opgezet:

- Proef: geeft weer om welke proef het gaat (zie ook tabel 6);
- Gebouw: geeft weer op welk gebouw de proef heeft plaatst gevonden;
- Plaats GC: geeft weer waar de Gate Crasher is geplaatst, aan de onderkant of in het midden;
- Slagsnoer (omtrek): geeft weer hoeveel strengen, dus hoeveel rondes het slagsnoer is geplaatst in de omtrek van de Gate Crasher (zie figuur 12);
- Slagsnoer (midden): geeft weer hoeveel strengen slagsnoer zijn geplaatst in de inkeping in het midden (zie figuur 12);
- Kneed: geeft weer hoeveel kneedspringstoffen er zijn gebruikt;
- NEW, Net Explosive Weight: geeft weer wat de totale hoeveelheid springstoffen is geweest in grammen TNT omgerekend, dus met correctiefactor van 1,27;
- Man-hole: geeft weer hoe groot de man-hole is en eventuele bijzonderheden.

Tabel 9: resultaten met betrekking tot de man-holes.

Proef	Gebouw	Plaats GC	Slagsnoer		Kneed	NEW	Man-hole (l×b)
			Omtrek	Centrum			
0	206	Midden van muur, links is een hoek, rechts een raam	6 strengen	4 strengen	0	203g	een klein gat in het midden, te klein om doorheen te gaan
1	206	Midden van de muur, rechts naast een raam.	5 strengen	8 strengen	0	254g	0,75m×0,50m, te klein om doorheen te gaan
2	483	Midden van de muur.	5 strengen	8 strengen	0	254g	0,95m×0,80m, groot genoeg om doorheen te gaan, echter GC is te hoog geplaatst.
3	483	Vijf bakstenen vanaf de onderkant.	5 strengen	8 strengen	100 g	381g	1,1m×0,9m, man-hole heeft de juiste grootte.
4	483	Vijf bakstenen vanaf de onderkant van het gebouw.	5 strengen	8 strengen	100 g	381g	1,00m×0,75m, zeer net gat. Man-hole groot genoeg.
5	483	Vijf bakstenen vanaf de onderkant.	5 strengen	8 strengen	0	254g	Geen man-hole. Alleen buitenste muur is kapot.
6	483	Midden op de muur, links is een hoek	5 strengen	8 strengen	100 g	381g	1,2m×0,9m, erg groot gat, muur is ontzet.
7	483	vijf bakstenen van de onderkant.	5 strengen	8 strengen	200 g	508g	1,15m×0,80m, precies groot genoeg
8	483	vijf bakstenen van de onderkant.	5 strengen	8 strengen	100 g	381g	1,05m×0,80m, precies groot genoeg
9	483	Vijf bakstenen van de onderkant, onder raampjes.	5 strengen	8 strengen	0	254g	0,90m×0,75m, groot genoeg
10	483	Vijf bakstenen van de onderkant.	200		0	254g	Geen breach. Muur is licht beschadigd.
11	206		300		0	381g	Alleen breach door eerste muur.
12	206	Midden van de muur, rechts van GC is een hoek	5 strengen	8 strengen	100 g	381g	1,3m×1,1m, gat is veel te groot. Muur is volledig ontzet en de hoek is weggeslagen. Scheuren lopen lang de hoek om en maken gebouw instabiel.
13	483	Onderkant van de muur.	200		0	254g	Alleen buitenste muur is bezwaken. Isolatie houdt waarschijnlijk de schokgolf tegen.
14	483 (binnen muur)	Muur is enkelsteens en is betegeld. GC midden van muur.	5 strengen	8 strengen	0	254g	Geen breach. Tegels en mortel zijn van de muur geslagen.
15	392	Aan de onderkant van de muur, onder kleine raampjes.	4 strengen		200 g	381g	Geen breach. Buitenste muur is deels kapot.

4.2.1 Analyse resultaten man-holes

Voor het onderzoek zijn, met betrekking tot de man-hole, drie variabelen aangehouden waarmee is gevarieerd, namelijk de hoeveelheid springstof, het verschil in de gebouwen en de plaatsing van de Gate Crasher. Er is geen definitie, oppervlak of grootte bekend dat weergeeft of een man-hole groot genoeg is. Er is binnen dit onderzoek gekeken of er op een relatief eenvoudige manier door het gat kon worden gegaan en als dat kon werd de man-hole als groot genoeg beschouwd.

Het verschil in de hoeveelheid springstof

Als eerste wordt het verschil van de hoeveelheid springstof besproken. Voor het laden van de Gate Crasher is er voor gekozen om deze met de maximale hoeveelheid slagsnoer te laden, wat in dit geval 5 strengen in de uitholling van de omtrek en 8 strengen in de uitholling in het centrum is. De Nederlandse defensie maakt gebruik van 11 g/m slagsnoer en er kon niet meer dan de bovengenoemde hoeveelheden in de Gate Crasher zonder dat deze boven het frame zouden uitsteken. Om meer explosieven in de Gate Crasher te stoppen is er voor gekozen om 100 g kneedspringstof in één van de vierkante uithollingen te stoppen. In figuur 12 is dit reeds afgebeeld. Als er naar tabel 9 wordt gekeken, kan er met betrekking tot de lading van de Gate Crasher twee verschillende hoeveelheden worden onderkend. De eerste is alleen slagsnoer met 200 g pentriet en de andere is slagsnoer en kneedspringstof met in totaal 300 g pentriet. In tabel 9 is te zien dat de 'kleinere lading' (200 g) voor de proeven 1, 2, 5 en 9 is gebruikt. Bij deze proeven is alleen bij proef 2 een gat ontstaan wat groot genoeg is geweest om doorheen te gaan. Bij proef 9 was de muur al voor een groot deel gescheurd door de uitwerking van proef 8, dus bij de man-hole van proef 9 moeten vraagtekens worden gezet. Voor de 'grotere lading' is in tabel 9 te zien dat de proeven 3, 4, 5, 8 en 12 hiermee zijn uitgevoerd (de nóg grotere lading van proef 7 wordt bij deze vergelijking buiten beschouwing gelaten). Bij al deze proeven is een man-hole ontstaan die wel bruikbaar is. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het gebruik van 200 g slagsnoer niet voldoende is om een man-hole te creëren wat groot genoeg is.

Het verschil in de plaatsing van de Gate Crasher

Ten tweede is de plaatsing van de Gate Crasher gevarieerd. Door deze variabele kan de sterkte en stijfheid van de muur worden benut om een man-hole te creëren.

Om de plaatsing van de Gate Crasher te vergelijken kunnen de proeven 1 en 2, en 5 en 9 (allen 'kleine ladingen') worden vergeleken. Ook kunnen de proeven 6 en 12, en 3, 4, 7 en 8 (allen 'grote lading') worden vergeleken. Bij de 'kleine lading' zijn de frames van de proeven 1 en 2 in het midden geplaatst en van de proeven 5 en 9 aan de onderkant. Hierbij kan uit tabel 9 worden afgelezen dat de ladingen die in het midden zijn geplaatst wel een man-hole hebben gecreëerd. Bij de proeven 1 en 2 moet ook worden meegenomen dat zij naast een raam zijn geplaatst waardoor de muur minder weerstand kan geven en dat deze sneller zal doorbreken. In vergelijking met proef 5 is dit goed te zien, deze 'kleine lading' is laag geplaatst op een muur zonder ramen. Hier is alleen de buitenmuur kapot en de binnenmuur is alleen licht doorgebogen waardoor het pleisterwerk is gescheurd (zie bijlage D).

Bij de proeven waar de Gate Crasher in het midden van de muur is geplaatst met de 'grote lading' kan ook worden onderkend dat de muur in het midden meer zal doorbuigen dan aan de onderkant. Bij de proeven 6 en 12 is bij verschillende gebouwen een soortgelijke eindsituatie ontstaan. De muur

is ontzet en de man-hole is veel te groot. Wederom is te zien dat wanneer zich een raam naast de plaatsing van de Gate Crasher bevindt (proef 12), dat de uitwerking in de lengte en in de breedte een tiental centimeters groter is, dan wanneer dit niet zo is (proef 6). Wanneer het frame aan de onderkant wordt geplaatst ontstaat er een kleinere en nettere man-hole. Ook de muur om het gat heen is minder beschadigd, waardoor het dus veiliger is om erdoorheen te gaan. Dit komt doordat de Gate Crasher is geplaatst in het midden van de muur waar deze het zwakste is. Als er in de buurt van de Gate Crasher een raam is zal de schokgolf reflecteren tegen het kozijn waardoor de man-hole groter wordt.

Naast de plaatsing aan de onderkant of in het midden van de muur, heeft de plaatsing van de Gate Crasher naast een hoek ook veel gevolgen voor de grootte van het gat en de stabiliteit van de muur en het gebouw. Bij de proeven 0, 12 en 15 (en deels ook proef 6) is te zien dat de hoeken van het gebouw zijn weggeslagen. Dit komt mogelijk doordat de schokgolf in de luchtpouw verder gaat en tussen de luchtpouw reflecteert tegen de binnen- en buitenmuur. Wanneer de schokgolf uiteindelijk het 'einde' van de luchtpouw bereikt, in de hoek van de muur, zal de schokgolf zich ophopen waardoor druk te groot wordt in de hoek waardoor de hoek van de muur eruit wordt gedrukt. Het reflecteren van de drukgolf tussen de binnenmuur en buitenmuur kan worden verklaard, doordat bij alle testen is gebleken dat de buitenmuur naast de man-hole opbult en naar buiten steekt. Er is geen andere verklaring gevonden voor dit fenomeen.

Het verschil in de gebouwen

Ten derde zijn de gebouwen een variabele in het onderzoek. Zoals eerder aangegeven beschikken de spouwmuren van de gebouwen 206 en 392 niet over isolatie en gebouw 483 wel. Ook is reeds bekend dat de bakstenen in de muren verschillende druksterktes hebben (zie tabel 8). Om de variabelen tussen de gebouwen te vergelijken kunnen de proeven 1 en 2 worden vergeleken, en de proeven 6 en 12. Bij de proeven 1 en 2 wordt een Gate Crasher gebruikt die met de kleine lading op het midden van de muur naast een raam wordt geplaatst. Bij beiden proeven ontstaat er een man-hole alleen bij proef 1 is deze net te klein. Dit komt waarschijnlijk doordat de buitenmuur van gebouw 206 iets sterker is dan de muur bij proef 2 (gebouw 483). Ook de binnenmuur van gebouw 206 is sterker dan de binnenmuur van gebouw 483, wat ervoor gezorgd kan hebben dat de binnenmuur de buitenmuur meer tegenhield. Wat hier wel geconcludeerd kan worden, is dat de isolatie geen of nauwelijks invloed heeft op de grootte van de man-hole. De isolatie is bij proef 2 helemaal weggeslagen, doordat de buitenmuur naar binnen kwam.

Bij de proeven 6 en 12 is de Gate Crasher met de 'grotere lading' op het midden van de muur geplaatst. Bij beiden proeven is de man-hole te groot waardoor de muur is ontzet. De man-hole bij proef 12 is groter dan bij proef 6, dit komt waarschijnlijk doordat er bij proef 12 een raam naast de Gate Crasher zat waardoor de muur als geheel minder sterk was. Er kan door het beperkte aantal aan proeven niet worden geconcludeerd dat de sterkte van de (binnen)muur veel of weinig effect heeft op de grootte van de man-hole.

4.2.2 Subconclusie resultaten man-holes

Ten aanzien van de resultaten van de man-holes kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het gebruik van 200 g slagsnoer in de Gate Crasher mk4 is niet voldoende om een man-hole te creëren in een spouwmuur die groot genoeg is om doorheen te gaan;
- De isolatie die mogelijk aanwezig is in een spouwmuur heeft geen of nauwelijks effect op de grootte van de man-hole;
- Het plaatsen van de Gate Crasher naast een raam geeft een grotere uitwerking op de man-hole;
- Wanneer de Gate Crasher in de buurt van een hoek wordt geplaatst is er de mogelijkheid dat de druk dusdanig groot wordt binnen de luchtsouw dat een deel van de hoek van het gebouw ernstig wordt beschadigd.
- Wanneer de Gate Crasher aan de onderkant van de muur wordt geplaatst zorgt dit voor een nettere en stabielere man-hole, mits de juiste hoeveelheid springstof wordt gebruikt. In het geval van gebouw 483 is dat 200 g slagsnoer en 100 g kneedspringstof.

Naast de bovenstaande conclusies kan ook de theorie van het doorbreken van een spouwmuur worden bevestigd. Als er wordt gekeken naar de resultaten van de proeven 10, 11 en 13 is er op te merken dat het slagsnoer een soort snede creëert wat als effect heeft dat het gat in de buitenste muur bijna los in de muur hangt. Dit is zeker het geval bij proef 13, waar het gat in de muur nog net in bleef zitten en na een kleine schop deze eruit viel. De binnenmuur was bij alle drie de proeven geheel onbeschadigd, waaruit geconcludeerd kan worden dat de brokstukken niet genoeg snelheid bevatten om de binnenmuur te beschadigen. Er is geen referentie uitgevoerd met de Gate Crasher waarbij alleen in de omtrek slagsnoer is geplaatst. Dit wordt als aanbevolen in hoofdstuk 6.

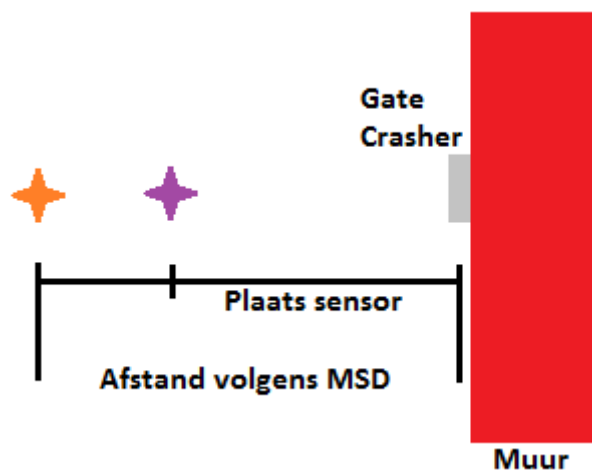
Ook kan het snijvlak wat veroorzaakt wordt door het slagsnoer wederom verklaard worden als er naar proef 15 wordt gekeken. In deze proef is ervoor gekozen om 100 g slagsnoer te gebruiken in de omtrek en 4 keer 50 g kneedspringstof in de hoeken van de inkepingen van de Gate Crasher. In deze proef is duidelijk te zien dat de buitenste muur niet rondom is 'doorgesneden' maar dat slechts de boven en onderkant van de muur (waar de kneedspringstof zat) beschadigd is. Ook de binnenmuur is zeer licht beschadigd, wat weergeeft dat de brokstukken niet genoeg snelheid bevatten om door de binnenmuur te gaan. Er zat dus te weinig 'kick' in het doorbreken van deze muur, waardoor het nut van de eerder genoemde 'kicker' wordt benadrukt.

4.3 Drukmetingen buiten

Tijdens dit onderzoek worden de drukken gemeten die ontstaan na het afzetten van de Gate Crashers. Er zijn twee druksensoren uitgevallen tijdens de proeven, dit is gebeurd met sensor 1 na proef 1 en met sensor 2 na proef 3. Het apparaat wat de sensoren uit leest ontvangt de gegevens via kanalen. Het apparaat nummert de kanalen automatisch door, waardoor na proef 1: sensor 2 via kanaal 1 gaat lopen. Dit is ook zo gebeurd na proef 3: sensor 3 gaat via kanaal 1. Om verwarring te voorkomen wordt er voor gekozen om de kanalen 7 en 8 weg te halen in plaats van de kanalen (sensoren) 1 en 2. In bijlage D zijn alle drukmetingen per proef terug te vinden met de locaties van de sensoren. In bijlage E zijn alle uitslagen van de drukmetingen te vinden. Bij de proeven 2 en 9 zijn geen metingen verricht vanwege technische storingen. Na proef 12 zijn er geen druksensoren meer geplaatst.

4.3.1 Analyse drukmetingen

Binnen dit onderzoek kan de hoeveelheid springstof in relatie met de afstand van de sensoren in drie verschillende categorieën worden ingedeeld. De eerste categorie is het plaatsen van 200 g springstof in de Gate Crasher waarbij de druksensoren op een afstand van 6,67 meter staan ten opzichte van de Gate Crasher. Deze afstand is afgeleid uit de MSD-tabel. Echter, bij de MSD-tabel wordt er gebruik gemaakt van een ladinggewicht in grammen TNT en de springstof die is gebruikt bij de experimenten is pentriet. Om de juiste MSD aan te kunnen houden, zou er een conversiefactor overheen moeten van 1,27 (zie paragraaf 2.2). Wanneer een conversiefactor van 1,27 over de 200 g pentriet zou moeten gaan, dan zou de TNT equivalentie ook meer worden, namelijk: $200 \times 1,27 = 254 \text{ g}$. Doordat de lading groter wordt, wordt de afstand in de MSD-tabel ook groter. Deze constructie zal voor veel onoverzichtelijkheid zorgen (in figuur 22 wordt deze situatie geschematiseerd).



Figuur 22: verschil tussen de plaats van de sensor en de afstand volgens de MSD-tabel.

Daarom wordt er gekozen om de afstanden die zijn aangehouden met de testen ook daadwerkelijk te vergelijken met de berekening aan de hand van Brode over dezelfde afstand. Als voorbeeld: 200 g pentriet heeft een verwachte piekoverdruk op 6,67 meter van 18,1 kPa [6]. In tabel 10 zijn alle metingen weergegeven die zijn gedaan aan de hand van 200 g pentriet. Een korte verklaring van de tabel:

- P1S1: geeft weer om welke proef (P) en welke sensor (S) de meting gaat;
- P10S1R: geeft weer dat proef 10 een referentie proef was. Hierbij is dus geen Gate Crasher gebruikt;
- Afstand: geeft weer op welke afstand de sensor stond ten opzichte van de ontploffing;
- Verwachte druk: geeft weer wat de berekende druk is op de betreffende afstand;
- Gemeten hoek 45°: als dit vak is ingevuld geeft het weer wat de sensor heeft gemeten op de betreffende afstand onder een hoek van 45° ten opzichte van de explosie.
- Gemeten evenwijdig: als dit vak is ingevuld geeft het weer wat de sensor heeft gemeten wanneer deze evenwijdig aan de muur is geplaatst op de betreffende afstand (zie ook bijlage D, de schematisatie van proef 1).
- Verschil: geeft in percentages het verschil tussen de gemeten druk en de berekende druk.

Tabel 10: metingen en verwachtingen aan de hand van 200 g pentriet.

200 g	Afstand [m]	Verwachte druk [kPa]	Meting hoek 45° [kPa]	Meting evenwijdig [kPa]	Vershil
P1S1	6,67	18,1	11,90	-	34,3%
P1S2	6,67	18,1	-	5,50	69,6%
P1S4	6,67	18,1	11,20	-	38,1%
P5S2	6,67	18,1	9,50	-	47,5%
P5S3	6,67	18,1	-	8,00	55,8%
P5S4	6,67	18,1	8,90	-	50,8%
P10S1R	6,67	18,1	24,10	-	-33,1%
P10S2R	6,67	18,1	24,60	-	-35,9%
P10S4R	6,67	18,1	-	16,60	8,3%

Uit deze tabel kan worden opgemerkt dat de druk die evenwijdig aan de muur wordt gemeten, significant minder is dan de druk die op dezelfde afstand onder een hoek van 45° is gemeten. Dit is ook te zien bij proef 10 dat als referentie is gebruikt. Dit komt doordat als uitgangspunt ¼ van een bol (zie paragraaf 2.2) is genomen om de geschaalde afstand te bepalen. Dit klopt voor de sensoren die onder een hoek van 45° staan en zouden ook moeten kloppen voor de sensoren die evenwijdig aan de muur staan als de muur doorloopt tot voorbij de sensor. Dit is niet het geval en daardoor kan een gedeelte van de schokgolf om de hoek gaan en afzwakken.

Verder is op te merken dat de druk bij de proeven van 200 g minimaal 34% (met een gemiddelde van 49,4%) minder is dan de verwachte druk. Dit komt door de dempende werking van de Gate Crasher en het water wat hierin zit. Bovendien is op te merken dat de metingen van de referentieproeven hoger uitvallen dan de verwachte metingen. Dit kan komen doordat als uitgangspunt ¼ van een bol is genomen bij het berekenen van de geschaalde afstand. Het is mogelijk dat dit uitgangspunt een benadering van de werkelijkheid en dat de schokgolf gereflecteerd kan zijn van de grond, waardoor deze groter uitvalt.

In tabel 11 zijn de metingen van de tweede categorie te zien, namelijk met het gebruik van 300 g pentriet. Hierbij hoort een MSD van 7,61 meter en een verwachte druk op deze afstand van 18,2 kPa.

Tabel 11: metingen en verwachtingen aan de hand van 300 g pentriet.

300 g	Afstand [m]	Verwachte druk [kPa]	Meting hoek 45° [kPa]	Meting evenwijdig [kPa]	Vershil
P3S1	7,61	18,2	10,3	-	43,4%
P3S2	7,61	18,2	17,70	-	2,7%
P3S3	7,61	18,2	-	5,60	69,2%
P4S2	7,61	18,2	9,10	-	50,0%
P4S3	7,61	18,2	8,40	-	53,8%
P4S4	7,61	18,2	-	11,70	35,7%
P6S2	7,61	18,2	13,90	-	23,6%
P6S3	7,61	18,2	-	7,40	59,3%
P6S4	7,61	18,2	9,60	-	47,3%
P8S1	7,61	18,2	16,10	-	11,5%
P8S2	7,61	18,2	14,60	-	19,8%
P8S4	7,61	18,2	-	7,60	58,2%
P11S1R	7,61	18,2	18,00	-	1,1%
P11S2R	7,61	18,2	-	21,30	-17,2%
P11S4R	7,61	18,2	17,20	-	5,5%
P12S1	7,61	18,2	11,40	-	37,4%
P12S2	7,61	18,2	-	9,20	49,5%
P12S4	7,61	18,2	14,70	-	19,2%

Uit deze tabel kan worden opgemerkt dat de druk die evenwijdig aan de muur wordt gemeten, significant minder is dan de druk die op dezelfde afstand onder een hoek van 45° is gemeten. Dit is niet te zien bij proef 11, de referentieproef zonder Gate Crasher. De oorzaak hiervan is vanwege bosjes die voor de druksensoren op 45° stonden. Een deel van de schokgolf is waarschijnlijk door de bosjes opgevangen, waardoor de druk lager uitvalt.

Ook is uit tabel 11 op te merken dat de Gate Crasher ervoor zorgt dat de drukken minstens 10% (met een gemiddelde van 38,7%) worden verminderd (op proef 3 sensor 2 na). Dit komt door de opsluitende werking van de Gate Crasher en het water wat hierin zit. Naast dit is op te merken dat referentieproef 11, sensor 2 een grotere uitslag geeft dan de verwachte druk. Een oorzaak hiervoor is dat de schokgolf tegen de muur van het gebouw is gereflecteerd wat een hogere piekoverdruk tot gevolg heeft. De sensor staat namelijk nog voor de hoek van het gebouw.

In de derde categorie zijn alle overige situaties beschreven die zich tijdens de proeven hebben plaatsgevonden. Hierbij verschilt het van een grotere afstand dan de MSD en een groter ladinggewicht dan de twee die hierboven zijn beschreven. In tabel 12 zijn de gegevens uiteengezet. Hierin zijn alle metingen verricht onder een hoek van 45° ten opzichte van de plaatsing van de Gate Crasher, met uitzondering van sensor 2 bij proef 7. Deze sensor is evenwijdig aan de muur geplaatst.

Tabel 12: metingen en verwachtingen bij de overige proeven.

Overig	Afstand [m]	Ladinggewicht [g]	Verwacht [kPa]	Gemeten [kPa]	Vershil
P1S3	15,60	200	5,2	4,30	17,3%
P3S5	13,00	300	8,2	5,80	29,3%
P4S1	13,00	300	8,2	7,40	9,8%
P5S1	13,00	200	6,8	4,40	35,3%
P6S1	13,00	300	8,2	6,00	26,8%
P8S3	13,00	300	8,2	6,40	22,0%
P10S3R	13,00	200	6,8	8,20	-20,6%
P11S3R	13,00	300	8,2	11,10	-35,4%
P12S3	13,00	300	8,2	4,80	41,5%
P7S1	13,00	400	7,3	7,40	-1,4%
P7S2	8,36	400	18,2	8,20	54,9%
P7S3	8,36	400	18,2	13,80	24,2%
P7S4	8,36	400	18,2	13,40	26,4%

Uit tabel 12 is af te lezen dat de Gate Crasher ook bij deze afstanden en verschillend ladinggewicht de maximale piekoverdruk verminderd met minstens 10% (met een gemiddelde van 26%) ten opzichte van de verwachte en berekende druk. Dit komt wederom door het dempend effect van de Gate Crasher en het water wat hierin zit. Ook is er te zien dat de gemeten druk evenwijdig aan de muur (P7S2) significant minder is dan de druk die onder een hoek van 45° is gemeten. Deze staat voorbij de hoek van de muur, waardoor de schokgolf wordt verzwakt.

4.3.2 Letselschades door druk

Om het letsel te bepalen aan de hand van de gemeten druk wordt er gebruik gemaakt van probit-functies (zie paragraaf 2.6). Voor letsel worden twee letselcriteria behandeld, namelijk longschade en oorletsel. In tabel 13 is conform de probit-functie voor longschade een overzicht gemaakt van een aantal metingen met hun bijbehorende probit. Er is voor gekozen om niet voor alle metingen de probit te laten uitrekenen om zo het overzicht te bewaren. Ook blijkt er na een aantal berekeningen dat de probit dusdanig laag uitvalt dat deze geen kans op longschade acht. Om het 'worst case scenario' te hanteren worden de metingen met de hoogste piekoverdrukken weergegeven.

Tabel 13: probit-waarden voor longschade.

Proef/sensor	P _s [kPa]	P ₀ [kPa]	T [s]	M [kg ^{1/3}]	$\overline{ps}$ [-]	$\overline{is}$ [-]	S	P _r
P3S2	17,7	101	0,0023	4,217163	0,175	0,00096	1377,4	-36,49
P6S2	13,9	101	0,0041	4,217163	0,138	0,00134	997,3	-34,63
P8S1	16,1	101	0,0032	4,217163	0,159	0,00122	1095,8	-35,18
P8S2	14,6	101	0,003	4,217163	0,145	0,00103	1287,0	-36,10

Uit tabel 13 is op te merken dat de kans op longschade te verwaarlozen zijn. De probit die wordt gegeven is een negatief getal wat ervoor zorgt dat deze niet kan worden afgelezen uit de tabel voor de probit-functies (zie bijlage C).

Naast de longschade wordt ook oorletsel meegenomen. Net als bij de longschade wordt er voor de probit-functies voor oorletsel ook alleen de vier hoogste piekoverdrukken weergegeven. In tabel 14 zijn deze weergegeven.

Tabel 14: probit-waarden voor oorletsel.

Proef/sensor	P _s [Pa]	P _r
P3S2	17700	2,31
P6S2	1	1,94
P8S1	16,1	2,16
P8S2	14,6	201

De probit-functie voor oorschade ligt net onder het bereik van de tabel in bijlage C. Er is dus geen schade te verwachten aan het menselijk lichaam.

4.3.3 Subconclusie drukmetingen buiten

Ten aanzien van de drukmetingen aan de buitenkant kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De druk die zich evenwijdig aan de muur verplaatst is significant kleiner dan de druk die gemeten is onder een hoek 45° ten opzichte van de plaatsing van de Gate Crasher.
- Bijna alle drukken die zijn gemeten onder een hoek van 45° ten opzichte van de plaatsing van de Gate Crasher op de muur, zijn 10% kleiner dan de verwachte en berekende druk.
- De kans op longschade is nihil en de kans op oorschade is net niet aanwezig.

4.4 Drukmetingen binnen

Naast de drukmetingen aan de buitenkant van de spouwmuur, zijn ook de drukken gemeten die de gebouwen zijn binnengekomen. De drukken zijn aan de binnenkant van het gebouw op twee plaatsen gemeten. De eerste is onder een hoek van 45° ten opzichte van de man-hole die is ontstaan. De tweede is de plaatsing van de sensor evenwijdig aan de muur waar de man-hole ontstaat na de explosie. In tabel 15 en tabel 16 zijn voor respectievelijk de ladinggewichten 200 g en 300 g de afstanden en de gemeten drukken weergegeven. Dit is op een vergelijkbare manier gedaan als bij de vorige tabellen, waarbij P1S5 weergeeft dat het om proef 1 en sensor 5 gaat.

Tabel 15: drukmetingen aan binnenkant van de muur, met 200g ladinggewicht.

200 g	Afstand t.o.v. man-hole [m]	45° t.o.v. man-hole [kPa]	Evenwijdig aan muur, naast man-hole [kPa]
P1S5	2,5	-	3,30
P1S6	2,9	-	0,8
P1S7	3,6	1,2	-
P1S8	4,4	2,4	-
P5S5	3,8	0,7	-
P5S6	4,4	-	0,8

Tabel 16: drukmetingen aan binnenkant van de muur, met 300g ladinggewicht.

300 g	Afstand t.o.v. man-hole [m]	45° t.o.v. man-hole [kPa]	Evenwijdig aan muur, naast man-hole [kPa]
P3S4	4,4	-	1,1
P3S6	4,4	-0,7	-
P3S7	4,4	1	-
P4S5	3,1	-	1,4
P4S6	4,4	1,2	-
P5S5	3,8	-	0,6
P5S6	4,4	0,8	-
P6S5	4,4	0,5	-
P6S6	3,8	-	0,5
P7S5 (400g)	4,4	0,8	-
P7S6 (400g)	3,8	-	0,8
P8S5	4,4	0,8	-
P8S6	1,5	-	1,1

Uit de tabellen 15 en 16 valt op dat de gemeten drukken niet boven de 3 kPa uitkomen. Bij proef 1 sensor 5 en is dit wel het geval, maar de oorzaak hiervoor is dat de sensor bij een raam stond wat door de schokgolf kapot is gegaan. Hierdoor is de gemeten druk iets hoger dan bij de andere sensoren. Dit is ook het geval bij proef 1 sensor 8, alleen is deze sensor verder van het raam verwijderd waardoor de druk lager uitvalt. Uit de metingen uit deze tabellen kan worden geconcludeerd dat de inkomende druk in het gebouw niet tot gehoorschade zal lijden. Er kan wel schade ontstaan doordat de ramen kapot zijn gegaan, maar dat wordt binnen dit onderzoek niet meegenomen.

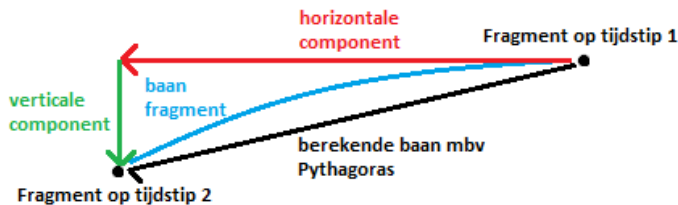
De piekoverdruk aan de binnenkant van de muur is zo laag door meerdere factoren. In eerste instantie zal de schokgolf, ondanks het opsluitend effect van het water, het grootste gedeelte van de van de muur af gaan. Slechts een klein gedeelte van de schokgolf zal zich in de muur voortzetten. Daarna zal de schokgolf meerdere malen reflecteren tegen de buiten- en binnenmuur wat hem verder verzwakt. Ook zal de schokgolf zich verder verspreiden door de luchtsouw, waardoor hij nog meer verzwakt. Ook zal een deel van de schokgolf in de brokstukken en fragmenten zitten als kinetische energie, waardoor de overgebleven schokgolf aan de binnenkant van de spouwmuur erg laag uitvalt.

4.5 Snelheid fragmenten

Tijdens de testen is er gebruik gemaakt van een high-speed camera's van TNO. De high-speed camera's zijn bij de proeven 1 tot en met 8 binnen in de gebouwen neergezet om de fragmentatie te filmen. De beelden zijn met het programma MiDAS-player onderzocht. De proeven zijn allemaal op hetzelfde gebouw uitgevoerd, namelijk 483. Bij proef 1 en proef 5 is het beeldmateriaal helaas niet te gebruiken, omdat het beeldmateriaal van te slechte kwaliteit is.

In deze paragraaf worden de snelheden van een aantal fragmenten per proef bepaald. Er is geprobeerd om de snelheid te bepalen van het fragment dat het verst komt en deze tussen de proeven te vergelijken. Er is gebleken dat de fragmenten die het verst komen, dus de fragmenten die

voor de andere vliegen, ongeveer even groot zijn en relatief makkelijk te volgen zijn. De snelheid van de fragmenten is bepaald op drie plaatsen en daarna is de gemiddelde snelheid over het hele traject bepaald. De snelheid van ieder fragment is bepaald door het coördinatensysteem van het programma MiDAS. Op iedere locatie heeft een punt van een fragment een coördinaat in het programma MiDAS. Dit coördinaat heeft een horizontale en verticale component. Door de verandering te meten van het punt van het fragment in de tijd kan met behulp van Pythagoras de snelheid van het fragment bepaald worden (zie figuur 23).

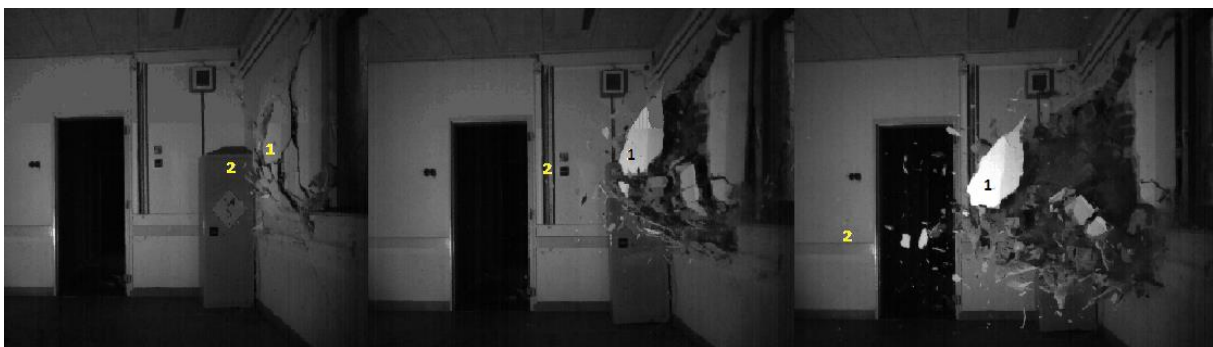


Figuur 23: berekening van baan van fragment met behulp van Pythagoras.

Om de afstand van één pixel in de beelden te weten, is er een kalibratiestok gebruikt die een lengte heeft van 1 meter. Met deze gegevens kan met behulp van de bekende afstand en de tijd die een fragment over een bepaalde afstand doet, de snelheid worden bepaald. De fragmenten zijn naderhand niet gewogen, zodat er geen kinetische energie kan worden toegekend aan de fragmenten. Om toch een beeld te krijgen van de kans op letsel, wordt er bij de geanalyseerde fragmenten een gewicht berekend wanneer dit fragment een letaal letsel veroorzaakt (het fragment moet dus een kinetische energie hebben van 79 Joule). In bijlage F zijn alle gegevens van de fragmenten terug te zien.

4.5.1 Proef 2

In proef 2 is een Gate Crasher gebruikt met 200 g slagsnoer. De Gate Crasher is op het midden van de muur geplaatst naast een raam. De binnenkant van de binnenmuur is bekleed met een dunne pleisterlaag. In figuur 24 zijn de screenshots van de meetpunten weergegeven. In tabel 17 staan de snelheden van de fragmenten 1 en 2.



Figuur 24: beelden van meetmomenten proef 2.

Uit de beelden is op te merken dat fragment 2 een deel van de pleisterlaag is. Dit is een licht fragment en daardoor heeft het een veel hogere snelheid dan fragment 1, wat terug te zien is in tabel 17.

Tabel 17: snelheden van fragmenten proef 2.

Fragment	Snelheid 1 [m/s]	Snelheid 2 [m/s]	Snelheid 3 [m/s]	Gemiddeld [m/s]	Letale massa [kg]
1	4,69	5,04	5,57	4,83	6,77
2	8,45	8,08	8,26	8,21	2,34

4.5.2 Proef 3

In proef 2 is een Gate Crasher gebruikt met 200 g slagsnoer en 100 g kneedspringstof. De Gate Crasher is aan de onderkant van de muur geplaatst. De binnenmuur is niet bekleed met een pleisterlaag of iets dergelijks. In figuur 25 zijn de screenshots van de meetpunten weergegeven. In tabel 18 staan de snelheden van de fragmenten 1, 2 en 3.



Figuur 25: beelden van meetmomenten proef 3.

In figuur 25 is te zien dat fragment 1 zo snel gaat dat deze in het laatste screenshot niet eens meer te zien is. Dit meetpunt is toch aangehouden om zo de snelheid van de andere fragmenten te kunnen meten.

Tabel 18: snelheden van fragmenten proef 3.

Fragment	Snelheid 1 [m/s]	Snelheid 2 [m/s]	Snelheid 3 [m/s]	Gemiddeld [m/s]	Letale massa [kg]
1	10,01	9,19	-	9,74	1,67
2	5,59	5,96	6,06	7,94	2,51
3	5,53	5,63	5,85	5,62	5,00

4.5.3 Proef 4

In proef 4 is er gebruik gemaakt van een Gate Crasher met 200 g slagsnoer en 100 g kneedspringstof. De Gate Crasher is aan de onderkant van de muur geplaatst. De binnenmuur was betegeld, maar deze zijn voor de proef verwijderd. Het bindmiddel wat de tegels op hun plaats houdt zat nog op de muur.



Figuur 26: beelden van meetmomenten proef 4.

Uit de beelden van figuur 26 is op te merken dat bij deze proef bijna alle fragmenten tijdens de vlucht in twee of meerdere fragmenten zijn gebroken. Fragment 1 is een klein fragment van het

bindmiddel wat de tegels op hun plaats hield. Fragment 2 is een groter stuk van het bindmiddel, maar van een andere plaats dan fragment 1. In tabel 19 staan de snelheden van de twee fragmenten.

Tabel 19: snelheden van fragmenten proef 4.

Fragment	Snelheid 1 [m/s]	Snelheid 2 [m/s]	Snelheid 3 [m/s]	Gemiddeld [m/s]	Letale massa [kg]
1	10,36	10,52	10,27	10,38	1,47
2	8,25	7,52	7,62	7,72	2,65

4.5.4 Proef 6

In proef 6 is er gebruik gemaakt van een Gate Crasher die gevuld is met 200 g slagsnoer en 100 g kneedspringstof waarbij de Gate Crasher op het midden van de muur naast een hoek is geplaatst. De binnenkant van de muur is bekleed met een dunne pleisterlaag. In figuur 27 zijn de beelden van de meetmomenten te zien. Er moet één hele grote kanttekening worden gemaakt bij het analyseren van de beelden van proef 6. Doordat de kalibratiestok niet in het programma kon worden geladen, is de kalibratiestok van proef 5 gebruikt. Deze was op ongeveer dezelfde afstand, onder dezelfde hoek en in dezelfde ruimte vastgelegd als in proef 6, waardoor de waarden van proef 6 toch gevalideerd kunnen worden.



Figuur 27: beelden van meetmoment proef 6.

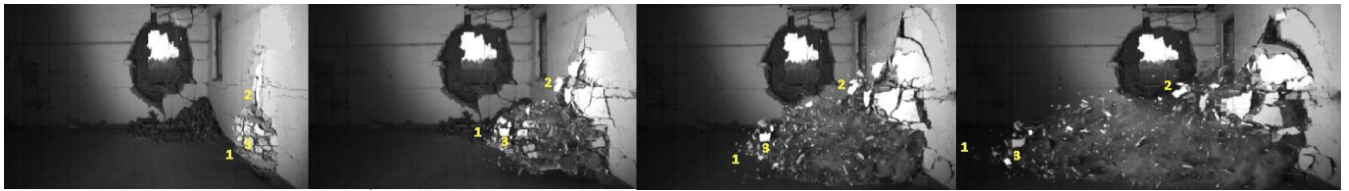
Fragment 1 van proef 6 is een fragment van een baksteen. Het fragment is in eerste instantie niet het verste fragment, maar later blijkt uit de beelden dat fragment 1 meerdere andere fragmenten 'inhaalt'. Fragment 2 is een fragment wat ongeveer dezelfde grootte heeft als een hele baksteen. Fragment 3 is een fragment van ongeveer de grootte van een halve baksteen. In tabel 20 staan de snelheden van de fragmenten weergegeven.

Tabel 20: snelheden van fragmenten van proef 6.

Fragment	Snelheid 1 [m/s]	Snelheid 2 [m/s]	Snelheid 3 [m/s]	Gemiddeld [m/s]	Letale massa [kg]
1	8,72	9,57	10,15	9,44	1,77
2	5,64	5,30	6,03	5,64	4,96
3	6,75	7,44	7,83	7,31	2,96

4.5.5 Proef 7

In proef 7 is er gebruik gemaakt van een Gate Crasher gevuld met 200 g slagsnoer en 200 g kneedspringstof. De Gate Crasher is aan de onderkant van de muur geplaatst. De binnenkant van de muur was met een dunne laag pleister bedekt. In figuur 28 zijn de beelden van de meetmomenten te zien.



Figuur 28: beelden van meetmomenten proef 7.

Uit de beelden is op te merken dat de fragmenten een veel grotere snelheid hebben dan bij het gebruik van 200 g en 300 g explosieven. Een deel van de fragmenten kaatsten zelfs op de overstaande muur terug, waarbij zij zelfs afdrukken op die muur achterlieten. Wederom is er gekozen om het fragment te nemen dat het verst reikte. Dit is fragment 1. Fragment 2 is een wat groter fragment wat hoger op de muur zat voor de explosie. Deze heeft waarschijnlijk alleen de energie meegekregen die door de ontploffing van het slagsnoer is ontstaan. Fragment 3 heeft een grootte tussen fragment 1 en 2 in en zat ook lager op de muur voor de explosie. In tabel 21 zijn de snelheden van de drie fragmenten te vinden.

Tabel 21: snelheden van fragmenten proef 7.

Fragment	Snelheid 1 [m/s]	Snelheid 2 [m/s]	Snelheid 3 [m/s]	Gemiddeld [m/s]	Letale massa [kg]
1	17,19	17,41	16,87	17,12	0,54
2	6,35	6,29	6,26	6,29	3,99
3	14,84	15,07	15,08	15,00	0,70

4.5.6 Proef 8

In proef 8 is er gebruik gemaakt van een Gate Crasher gevuld met 200 g slagsnoer en 100 g kneedspringstof. De Gate Crasher is aan de onderkant van de muur geplaatst. De binnenkant van de muur was met een dunne laag pleister bedekt. In figuur 29 zijn de beelden van de meetmomenten te zien.



Figuur 29: beelden van meetmomenten proef 8.

Net als bij de vorige proeven is voor fragment 1 het fragment gekozen dat het verst komt. Dit is een deel van het pleisterwerk en fragment 3 is dat ook. Fragment 2 is een brok baksteen met het pleisterwerk er nog aan vast. Dit fragment heeft dus een veel grotere kinetische energie dan de fragmenten 1 en 3. Ook blijkt uit de beelden dat de fragmenten veel minder ver komen dan bij de overige proeven. Dit blijkt ook uit de significant lagere snelheden van de fragmenten van proef 8 ten opzichte van alle andere proeven. De oorzaak is dat de pleisterlaag de muur dusdanig verstevigt dat er net aan een man-hole ontstaat van de perfecte grootte. In tabel 22 staan de snelheden van de drie fragmenten.

Tabel 22: snelheden van fragmenten proef 8.

Fragment	Snelheid 1 [m/s]	Snelheid 2 [m/s]	Snelheid 3 [m/s]	Gemiddeld [m/s]	Letale massa [kg]
1	5,92	6,00	6,12	5,94	4,48
2	4,90	4,79	4,78	4,79	6,89
3	3,54	3,22	3,77	3,43	13,43

4.5.7 Subconclusie snelheden van fragmenten

Na het bepalen van de snelheden van de fragmenten kunnen er een aantal conclusies worden getrokken. In tabel 23 worden van de proeven de snelste fragmenten opgesomd, omdat deze nagenoeg dezelfde grootte hebben.

Tabel 23: vergelijking snelste fragmenten.

Proef	NEQ [g]	Snelheid [m/s]	Letale massa [kg]	Plaatsing GC	Opbouw binnenmuur
2	200	8,21	2,34	Midden naast raam	Pleisterlaag
3	300	9,74	1,67	Laag	Kaal
4	300	10,38	1,47	Laag	Bindmiddel tegelwerk
6	300	9,44	1,77	Midden naast hoek	Pleisterlaag
7	400	17,22	0,54	Laag	Pleisterlaag
8	300	5,94	4,48	Laag	Pleisterlaag

Er zijn twee mogelijke variabelen onderkend die de snelheid van de fragmenten beïnvloeden. Ten eerste de hoeveelheid springstof die is gebruikt kan worden vergeleken. Tussen proef 2 (200 g) en de proeven 3, 4, en 6 (300 g) kan er worden opgemerkt dat de hoeveelheid springstof effect heeft op de snelheid van de fragmenten. Er kan niet worden geconcludeerd dat een verhoging van het gewicht van de springstoffen met 33% (200 g naar 300 g) resulteert in een verhoging van de snelheid van de fragmenten met 33%. Dit is wel het geval als proef 2 en proef 7 met elkaar worden vergeleken. Een verdubbeling van de hoeveelheid springstof geeft een verdubbeling van de snelheid van de fragmenten. Dit is een aanname op basis van één vergelijking, dus zal dit in een ander onderzoek moeten worden gevalideerd.

Ten tweede kan het wel of niet aanwezig zijn van een pleisterlaag effect hebben op de snelheid van de fragmenten. De doorbuiging van de muur wordt door de pleisterlaag geremd, waardoor de fragmenten minder snel gaan. Dit kan goed worden gezien als de proeven 3 en 4 en proef 8 met elkaar worden vergeleken. Bij proef 8 is wel een pleisterlaag aanwezig en het snelste fragment gaat tot wel 42% minder snel dan bij de proeven 3 en 4.

Ten derde kan er worden geconcludeerd dat het gebruik van 200 g slagsnoer en 100 g kneedspringstof de ideale hoeveelheid springstof is in vergelijking tot de snelheid van de fragmenten. Als er minder dan deze configuratie wordt gebruikt, dan is er de mogelijkheid dat er geen man-hole ontstaat. Als er meer dan 300 g explosieven worden gebruikt is het mogelijk dat de fragmenten te snel gaan en (dodelijke) verwondingen kunnen toebrengen.

Ten slotte is er bij ieder fragment de letale massa bepaald over de gemiddelde snelheid. Dat wil zeggen bij welke massa het fragment met die bijbehorende snelheid een energetische waarde heeft

van 79 Joule. In tabel 23 zijn deze massa's van de snelste fragmenten weergegeven. Uit de tabel blijkt dat bij proef 7 het fragment slechts een gewicht van 540 g moet hebben. Gezien de beelden van proef 7 zal het fragment niet deze massa hebben, maar aangezien meerdere fragmenten ook een dergelijke snelheid hebben is het voor proef 7 aannemelijk om vast te stellen dat er een dodelijk fragment tussen zat. Hieruit kan ook worden geconcludeerd dat 400 g springstoffen te veel is en dat hierdoor de fragmenten onnodig snel gaan.

4.6 Resterende bevindingen

Binnen dit onderzoek zijn een aantal bevindingen gedaan die de moeite waard zijn om te vermelden. Als eerste is in proef 14 geprobeerd om een enkele bakstenen binnenmuur te breachen met 200 g slagsnoer in een Gate Crasher. De binnenmuur was aan de kant van de Gate Crasher betegeld en aan de andere kant was een pleisterlaag aanwezig. In deze proef is het niet gelukt om een man-hole te creëren en zelfs niet om een gat te maken in de muur. Een oorzaak hiervoor is dat het tegelwerk dusdanig sterk is dat het de werking van de Gate Crasher teniet doet. Een andere oorzaak kan zijn dat de binnenmuur een dragende muur is en dat de druk op de bakstenen veel groter was dan op de spouwmuuren. Want bij een gelijke belasting op een enkele muur en een spouwmuur is de druk op de enkele muur twee keer zo groot als op de spouwmuur, omdat het oppervlak waarover de belasting wordt verspreid twee keer zo klein is. Door de grotere druk op de bakstenen in de enkele muur, kan de muur beter bestand zijn tegen belastingen zoals een explosie. Om het effect hiervan beter te begrijpen wordt er aanbevolen om nader onderzoek te doen naar het breachen van binnenmuren.

Ten tweede is in de referentie proeven 10 en 11 iets op te merken. In proef 10, waar 200 g slagsnoer is gebruikt, is de muur intact en zijn de gemeten piekoverdrukken hoger dan bij proef 11. Hoewel in proef 11, 300 g slagsnoer is gebruikt en de buitenmuur is een volmaakt gat ontstaan. Dit komt waarschijnlijk doordat de energie van de schokgolf verbruikt is in het verbrijzelen van de muur, terwijl in proef 10 de schokgolf voor een groter deel wordt gereflecteerd.

Tot slot is er in dit onderzoek alleen gekeken naar de fragmenten van de muur en niet naar de fragmenten die van de Gate Crasher afkomen. Dit is niet behandeld maar moet zeker worden vermeld, want er zijn fragmenten van de Gate Crasher teruggevonden op meer dan 40 m van de explosie. Ook zijn er fragmenten van de Gate Crasher in hekken gevonden wat weergeeft dat deze fragmenten een gigantische snelheid bezitten. In figuur 30 is een foto afgebeeld van een fragment dat in een hek is teruggevonden op 6 á 7 meter afstand.



Figuur 30: fragment van de Gate Crasher in een hek.

Ook al blijkt uit de drukmetingen dat mensen qua druk geen letsel ondervinden op de afstanden van de MSD-tabel, betekent dit niet dat er ook op deze afstand kan worden gestaan. Er wordt aanbevolen om een fragmentatiescherm te gebruiken bij het gebruik van de Gate Crasher of om niet in één lijn met de Gate Crasher te staan, bijvoorbeeld om de hoek van het gebouw.

4.7 Kanttekeningen

Binnen dit onderzoek zijn er een aantal kanttekeningen te plaatsen. De werkelijkheid kon namelijk niet altijd nauwkeurig worden benaderd.

4.7.1 Plaatsing van de Gate Crasher

Om de Gate Crasher tegen de muur te houden is er gebruik gemaakt van een bout en schiethamer van het merk Hilti. Dit gereedschap zorgt ervoor dat er bouten in een bakstenen muur kunnen worden geschoten waaraan de Gate Crasher wordt opgehangen. Normaal gesproken wordt de Gate Crasher met een houten stok tegen de muur aan gehouden. Dit kan effect hebben gehad op de uiteindelijke werking van de Gate Crasher, maar er wordt geschat dat het verschil niet groot zal zijn.

4.7.2 Lading

Binnen dit onderzoek is er gebruik gemaakt van slagsnoer en kneedspringstof. Het slagsnoer zit bij de levering opgerold op een spoel waardoor het erg stug wordt om het te plaatsen. Het is daarom onmogelijk om tot op de centimeter nauwkeurig te bepalen hoeveel slagsnoer er is gebruikt in de Gate Crasher. Er is altijd getracht om bij iedere Gate Crasher de hoeveelheid slagsnoer op dezelfde manier te plaatsen, maar door de stugheid van het materiaal is het onmogelijk om het exact op dezelfde manier te bevestigen.

Ook de hoeveelheid kneedspringstof is niet op de gram nauwkeurig nagemeten. De kneedspringstof wordt geleverd in pakketten van 500 gram en hieruit zijn per pakket 5 even grote delen gesneden. Bovendien wordt de kneedspringstof op de desbetreffende plek 'gekneed'. Het gevolg hiervan is dat de vorm van de kneedspringstof die per Gate Crasher is gebruikt varieert, waardoor de brisante werking mogelijk (deels) niet heeft gewerkt.

4.7.3 Drukmetingen binnen

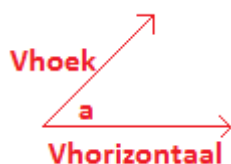
Tijdens het onderzoek zijn ook de inkomende drukken binnen in de gebouwen gemeten. De druksensoren zijn op afstanden geplaatst vanaf het midden van de man-hole; nog voordat de lading was afgezet. De voorspellingen van de locaties van de man-holes en het midden van de man-holes zijn dus niet 100% nauwkeurig.

4.7.4 Drukmetingen buiten

De druksensoren die buiten zijn geplaatst, zijn op een afstand vanaf het midden van de Gate Crasher geplaatst. Hierbij is de rolmaat die is gebruikt tegen de muur gehouden waarna de sensoren op de gewenste afstand zijn gezet. Doordat de rolmaat geen millimeter aanduiding had, is het mogelijk dat de sensoren niet precies op de gewenste afstand stonden waardoor er dus een meetfout is ontstaan. Dit heeft invloed op de uiteindelijk gemeten resultaten, want als een sensor dichterbij staat dan dat hij moest staan registreert deze een grotere piekoverdruk. Als voorbeeld: stel dat de kans op oorschade wordt gezocht op 1% (uit de berekening van paragraaf 4.3.1 lag de probit-functie net onder het bereik van de probit-tabel in bijlage C). Hierbij hoort een probit-waarde van 2,67 wat resulteert in een piekoverdruk van 22,5 kPa (de berekening van de probit-functie omgekeerd uitvoeren). Als vervolgens de berekening van Brode ook omgekeerd wordt uitgevoerd, dus met de bekende 22,5 kPa terugrekenen naar afstand die daarbij hoort, komt hier een afstand uit van 5,78 m. Het verschil ten opzichte van de afstand waarop de sensor stond (6,67 m) is 0,89 m. Dit houdt in dat bij een 'fout' van bijna 1 meter de kans op oorschade 1% wordt, als de sensor door deze 'fout' dichterbij de Gate Crasher wordt geplaatst. Tijdens de proeven is zo nauwkeurig mogelijk gewerkt en de kans dat een dergelijke fout is gemaakt wordt uitgesloten.

4.7.5 Meten van snelheid van fragmenten

De snelheden van de fragmenten zijn gemeten aan de hand van een high-speed camera. De fragmenten zijn alleen gemeten in het horizontale vlak, waardoor de exacte snelheid van de fragmenten niet nauwkeurig te bepalen is. Naarmate de hoek (α) tussen het horizontale vlak en verticale vlak groter wordt (zie figuur 31), wordt het verschil tussen de gemeten snelheid ($V_{\text{horizontaal}}$) en de werkelijke snelheid (V_{hoek}) groter. Het is niet exact te bepalen hoeveel de afwijking is, doordat de opstellingen van de high-speed camera steeds verschillen per proef.



Figuur 31: horizontale snelheid ten opzichte van werkelijke snelheid.

Ook is tijdens het analyseren gebleken dat de fragmenten draaien, waardoor er geen vast punt kan worden aangewezen om de snelheid te bepalen. Hierdoor is het zeer lastig om een snelheid toe te kennen aan een fragment.

Bovendien is voor het analyseren van de beelden de pixeldichtheid een beperkende factor gebleken. Hoe minder pixels er op het scherm passen, des te onnauwkeuriger de resultaten worden. Als gemiddelde wordt nu aangenomen dat één pixel ongeveer 0,004 m is (zie bijlage F). Eén frame duurt 0,0005 s (zie bijlage F). Als bij het kalibreren van de beelden er één pixel naast de werkelijkheid is

gemeten dan heeft dat een significant effect op de resultaten. In tabel 24 wordt het verschil weergegeven als er één pixel verkeerd wordt afgelezen.

Tabel 24: verschil in het meten van één pixel.

Parameters	Gemeten pixels in beelden	Werkelijke pixels
Aantal pixels op kalibratiestok	737	738
Lengte waarover pixels zijn gemeten [m]	0,5	0,5
Tijd van één frame (2000 fps) [s]	0,0005	0,0005
Snelheidsverandering [m/s]	12,20	12,05

Uit de tabel blijkt dat bij het verkeerd aflezen van één pixel een snelheidsverandering van 0,15 m/s geeft. Als er bij het meten van de kalibratiestok, het meten van een fragment op punt 1 en het meten van een fragment op punt 2 er bij alle drie de situaties één pixel verkeerd wordt gemeten, dan is de snelheidsverandering al 0,45 m/s. Het meten van de fragmenten van de proeven is met alle mogelijke nauwkeurigheid uitgevoerd, maar gezien de berekening in tabel 24 kunnen de fragmenten een andere snelheid hebben gehad dan nu is berekend.

4.8 Afsluiting hoofdstuk 4

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de proeven weergegeven. Als eerste zijn de resultaten van de testen op de bakstenen beschreven. Uit deze resultaten kan een indicatie worden gegeven aan de sterkte van de muren van de gebouwen. Met deze indicatie zijn vervolgens de grootte van de man-holes geanalyseerd. Hierna zijn de drukmetingen geanalyseerd en zijn de bijbehorende probit-functies voor longschade en oorletsel berekend. Vervolgens zijn voor een aantal fragmenten de snelheden bepaald en is er beschreven met welke massa deze fragmenten voor hersenletsel kunnen zorgen. Ten slotte zijn er een aantal kanttekeningen vermeld met betrekking tot dit onderzoek.

In het volgende hoofdstuk worden de antwoorden gegeven op de deelvragen wat als geheel de conclusie is.

5. Conclusie

Dit hoofdstuk dient ter afsluiting van het onderzoek. In dit hoofdstuk zullen de eerder gestelde deelvragen worden beantwoord.

5.1 Deelvragen schokgolven

1. Wat is de theorie achter een schokgolf die door een enkele bakstenen muur gaat?

Als een explosief tegen een muur wordt geplaatst en wordt afgezet zal een groot deel van de energie 'verloren' gaan in de lucht. Een deel van de schokgolf zal in het materiaal gaan en de brisante werking kan het eerste gedeelte van de muur verbrijzelen. Als de schokgolf zich door de bakstenen muur beweegt en deze bereikt de achterzijde, dan wordt de drukgolf gereflecteerd als een trek golf. Dit gebeurt doordat er een overgang is tussen twee materialen met een verschillende dichtheid (grensvlak). De trek golf die hierbij ontstaat, kan tangentiële scheuren tot gevolg hebben die aan de achterzijde van de muur voor afschilfering zorgen (scabbing). De gasdrukwerking zal in de scheuren kruipen, die door de brisante werking zijn ontstaan, en de muur verder doen bezwijken. Tevens geeft de gasdrukwerking snelheid aan de brokstukken en fragmenten.

2. Wat is de piekoverdruk die ontstaat bij het breachen van een muur?

2.1 Wat is de piekoverdruk aan de binnenkant bij een spouwmuur bij het gebruik van de Gate Crasher?

De druk die aan de binnenkant van de spouwmuur is gemeten zal bij een doorlopende muur (dus geen ramen in de muur) niet hoger komen dan 3 kPa. In eerste instantie zal, ondanks het opsluitende effect van de Gate Crasher, een groot gedeelte van de schokgolf van de muur afgaan. Slechts een beperkt gedeelte van de schokgolf zal in de muur gaan. Verder geeft de schokgolf een groot gedeelte van zijn energie over aan de brokstukken in de vorm van kinetische energie en een groot gedeelte zal in de luchtspouw verder gaan. Hierdoor blijft er maar een klein gedeelte van de oorspronkelijke schokgolf over die de ruimte in zal gaan.

2.2 Wat is de piekoverdruk aan de buitenkant bij een spouwmuur bij het gebruik van de Gate Crasher?

De piekoverdruk die aan de buitenkant van de spouwmuur is gemeten met het gebruik van de Gate Crasher zal minstens 10% minder zijn (met een gemiddelde vermindering van 38,0% over alle metingen met de Gate Crasher) dan de berekende piekoverdruk met behulp van de formules van Brode bij het gebruik van een 'kale' lading op eenzelfde stuk muur. Het dempend effect van het water in het frame zorgt voor dit effect.

3. Wat is een veilige afstand bij het gebruik van de Gate Crasher om door een bakstenen muur te komen met spouw constructie.

Om veilig te staan, met betrekking tot de piekoverdrukken, kan er gebruik worden gemaakt van de MSD-tabel. Echter, doordat de fragmenten die van de Gate Crasher komen een gigantische snelheid hebben, wordt er afgeraden om überhaupt in het verlengde van de Gate Crasher te gaan staan. Ook niet als er evenwijdig aan de muur wordt gestaan, want fragmenten van de Gate Crasher zijn tot meer dan 40 meter over het terrein terug gevonden.

5.2 Deelvragen fragmentatie

4. Wat is fragmentatie? Welke soorten fragmentatie zijn er?

Fragmentatie is het loskomen van brokstukken of scherven van een constructie door een explosie.

Hierin wordt een verschil gemaakt van primaire fragmenten en secundaire fragmenten.

Respectievelijk zijn dit de fragmenten die vrijkomen van een omhulling en fragmenten die loskomen doordat de schokgolf brokstukken wegslingert van bijvoorbeeld een muur. Twee belangrijke begrippen bij fragmentatie zijn spalling en scabbing.

5. Hoe groot zijn en hoe snel gaan de fragmenten die vrijkomen bij het gebruik van de Gate Crasher op een spouwmuur?

De grootte van de fragmenten is bijna niet te bepalen. Uit de beelden blijkt dat de fragmenten die verder dan 3 m komen, bijna niet groter zijn dan de grootte van een baksteen. Ook schoven veel fragmenten door nadat zij de grond al hadden geraakt. De kleinste fragmenten kunnen een snelheid bereiken van 10 m/s, maar doordat hun massa beperkt is, is de kans op een (dodelijke) verwonding nihil. Ook bij het treffen van het hoofd is de kans op ernstig letsel beperkt. Bij een snelheid van 10 m/s zou het brokstuk een massa moeten hebben van meer dan 1,6 kg. Dat is bijna het formaat van een hele baksteen. Uit de analyses van de beelden van proef 6 blijkt dat een fragment ter grootte van een baksteen niet de snelheid haalt van 10 m/s, maar slechts 5,5 m/s. Binnen een straal van 50 cm vallen grote stukken van de muur naar beneden. Deze worden door de Gate Crasher alleen door de muur gedrukt en hebben door hun enorme massa (ter plaatse geschat op 30 kg of meer) geen snelheid anders dan die door de zwaartekracht wordt gegenereerd.

Verder blijkt uit de beelden dat door het plaatsen van de 100 g kneedspringstof aan de onderkant van de Gate Crasher, ook de snelste fragmenten aan de onderkant zijn. Hierdoor wordt de kans op een dodelijk letsel wederom kleiner, omdat de afstand tot het hoofd van een gemiddeld persoon (ongeveer 1,75 m) hierdoor nog groter wordt. Alleen als een persoon geknield of liggend bij de muur is kan hij of zij een dodelijke verwonding oplopen.

5.3 Deelvragen Gate Crasher

6. Hoe wordt de Gate Crasher gebruikt?

De Gate Crasher wordt gevuld met water en geladen met de juiste hoeveelheden springstoffen, waarna hij door middel van een stok tegen de muur wordt gedrukt. Het water wat in de Gate Crasher zit zorgt ervoor dat de explosie zal worden geconcentreerd richting de muur. Hierdoor zal er een groter gedeelte van de explosie worden gebruikt om de muur te doorbreken dan bij enkel het plaatsen van een lading tegen een muur.

7. Hoe werkt de brisante werking in combinatie met de gasdrukwerking op een spouwmuur?

Door de brisante werking worden de bakstenen in de buitenste muur verbrijzeld en de gasdrukwerking zorgt ervoor dat de scheuren in de bakstenen groter worden en uiteindelijk brokstukken worden. De gasdrukwerking geeft ook snelheid aan de brokstukken van de buitenste muur.

8. Waar wordt de Gate Crasher geplaatst op de muur?

Als voorkeur wordt de Gate Crasher op doorstaphoogte op de muur geplaatst. Dat wil zeggen dat de speciale eenheden die door de man-hole moeten gaan er op een soepele manier doorheen kunnen gaan, waarbij ze niet te veel hoeven te bukken en ook niet door het gat moeten klimmen. Als dit niet kan worden gerealiseerd, door bijvoorbeeld een radiator die voor de muur staat of een raam, dan kan er worden gekozen om de Gate Crasher hoger of lager te hangen. Wanneer de Gate Crasher hoger wordt geplaatst dan is er in de regel minder springstof nodig. Wanneer de Gate Crasher lager wordt geplaatst is er meer springstof nodig door de inklemming van de muur in de vloer. Er wordt aangeraden om de extra springstof aan de onderkant van de Gate Crasher te plaatsen om zo het inklemmend moment te overbruggen.

9. Hoeveel springstof moet er worden gebruikt om door een spouwmuur te komen?

Voor de muren die zijn getest is het gebruik van 200 g slagsnoer en 100 g kneedspringstof voldoende om door de spouwmuren heen te komen. De kneedspringstof dient dan wel in het onderste vakje geplaatst te worden.

10. Wat is de theorie achter het creëren van een man-hole door een spouwmuur met behulp van de Gate Crasher?

In de Gate Crasher zorgt het slagsnoer in de omtrek voor een snijvlak in de buitenmuur. Dit snijvlak karakteriseert het gat wat de grootte van de man-hole weergeeft. Om vervolgens de brokstukken in dit snijvlak snelheid te geven heeft het gat een zogenaamde 'kicker' nodig. De kicker geeft de brokstukken snelheid waardoor de man-hole wordt gecreëerd. De kicker in de Gate Crasher is het slagsnoer wat in het midden van de Gate Crasher is geplaatst en het extra blokje kneedspringstof wat aan de onderkant is geplaatst. Door deze kicker krijgen de brokstukken van de buitenmuur een dusdanige snelheid dat zij door de tweede binnenmuur kunnen breken. De isolatie die eventueel aanwezig is heeft geen of nauwelijks effect op de grootte van de man-hole. De schokgolf zal na de buitenste muur ook in de luchtspouw verder gaan en reflecteren tussen de binnen- en buitenmuur.

Als de Gate Crasher nabij een hoek is geplaatst is het mogelijk dat de hoek van het gebouw ernstig wordt beschadigd, doordat de schokgolf dusdanig veel reflecteert en in de hoek wordt opgesloten.

Als de Gate Crasher naast een raam wordt geplaatst zal de man-hole groter zijn in vergelijking met de plaatsing van de Gate Crasher op een muur zonder raam. De muur is met een raam constructief minder sterk waardoor de man-hole groter kan worden.

6. Aanbevelingen

Gezien het feit dat niet alle soorten muren zijn getest, niet alle manieren van het laden van de Gate Crasher zijn geprobeerd en niet alle mogelijke plaatsingen van het frame zijn getest, worden er een aantal aanbevelingen gegeven. Dit hoofdstuk zal aanbevelingen geven naar vervolgstudies om zo genoeg gegevens over de Gate Crasher te verzamelen, zodat de inzet van het frame kan worden geperfectioneerd.

6.1 Testen van muren

Ten eerste zijn niet alle soorten muren getest waarop de Gate Crasher kan worden gebruikt. Binnen dit onderzoek zijn spouwmuren getest waarbij de binnen- en buitenmuur uit dezelfde soort steen bestonden (ook een gebouw met een sterkere binnenmuur). Tegenwoordig worden spouwmuren opgebouwd uit binnen- en buitenmuur van een verschillende steensoort. Wat tegenwoordig steeds vaker wordt toegepast is het gebruik van een bakstenen buitenmuur en een binnenmuur van gipsblokken. De buitenmuur zal dan als dragende muur fungeren en de binnenmuur zal alleen voor de isolatie worden geplaatst. De gipsblokken zijn veel minder sterk dan de bakstenen buitenmuur. Hierdoor is het mogelijk om te breachen door minder explosieven in de Gate Crasher te stoppen, maar met een gelijkblijvend resultaat. Er wordt aanbevolen om de Gate Crasher op meerdere spouwmuren te testen, waarbij de binnenmuur minder sterk is dan de buitenmuur.

6.2 Laden van Gate Crasher

Ten tweede is de Gate Crasher binnen dit onderzoek alleen geladen met slagsnoer en 100 g kneedspringstof. De kneedspringstof is in het onderste vierkantje geplaatst. Er is niet gekeken naar het effect van de kneedspringstof in het bovenste vierkantje, of twee keer 50 g in het midden om twee voorbeelden te geven. Ook het alleen plaatsen van slagsnoer in de omtrek van de Gate Crasher moet worden onderzocht. Er wordt aanbevolen om de Gate Crasher op verschillende manieren te laden en te kijken naar de uitwerking.

6.3 Fragmenten opmeten

Binnen dit onderzoek zijn de brokstukken en fragmenten niet gewogen, waardoor er geen energetische waarde aan de brokstukken en fragmenten kon worden toegewezen. Er wordt aanbevolen om in een vervolgstudie de massa van de fragmenten en brokstukken te bepalen, zodat de letaliteit van de delen kan worden bepaald. Hierdoor kan er een soort 'veiligheidszone' worden bepaald vanaf waar er geen letale delen meer de ruimte in komen.

De fragmenten en brokstukken verbrokkelden bijna allemaal in de lucht en daarna op de grond. Er wordt aanbevolen om een getuigenscherm of ander opvang mechanisme te verzinnen wat de fragmenten en brokstukken zo intact als mogelijk kan opvangen.

6.4 Plaatsing van de Gate Crasher

Als laatste wordt er voor de Gate Crasher aanbevolen om het frame op meerdere hoogtes te plaatsen op de muur. Binnen dit onderzoek is alleen gekeken naar het midden van de muur en aan de onderkant, terwijl de optimale verhouding waarschijnlijk ergens tussen deze twee zit. Ook kan er worden gekeken naar het effect van een radiator op de grootte van de man-hole. Bij dit onderzoek waren alle radiatoren verwijderd om zo de snelheid van de fragmenten optimaal te kunnen onderzoeken.

Verder moet er meer onderzoek worden gedaan naar de plaatsing van de Gate Crasher naast een raam of een hoek. Hoewel uit dit onderzoek blijkt dat de uitwerking nabij een hoek of raam het effect vergroot moet hier meer onderzoek naar worden gedaan.

Bibliografie

- [1] Alford. (2013). *Info over Gate Crasher mk4*. Opgeroepen op juli 11, 2013, van Website van Alford: www.explosives.net
- [2] Alford. (2013, Augustus 28). Interview naar aanleiding van het gebruik van de Gate Crasher mk4. (M. Mastenbroek, Interviewer)
- [3] Alford Technologies. (2013). *Gate Crasher User Instructions V1.01*. Chippenham: Alford Technologies.
- [4] Baker, W., Cox, P., Kulesz, J., Strehlow, R., & Westine, P. (1983). *Explosion hazards and evaluations*. Amsterdam: Elsevier.
- [5] Bone, A.H.L.G. et al. (2009). *Bouwkunde Tabellenboek*. Houten: Wolters Noordhoff.
- [6] Borgers, J. (2012). *Dictaat Pyrotechniek en Beschermingsconstructies*. Breda: Nederlandse Defensie Academie.
- [7] Bowen, I., Fletcher, E., & Richmond, D. (1968). *Estimate of man's tolerance to the direct effect of air blast*. . Albuquerque: Lovelace Foundation For Medical Education and Research.
- [8] Doer, A., Gebekken, N., Larcher, M., Steyerer, M., Haberacker, C., & Akers, S. (2013). *The effect of near, contact and embedded detonations on masonry structures*. University of the Bundeswehr Munich.
- [9] HB 5-77. (2011). *Vernielingen met springstof*. Koninklijke Landmacht.
- [10] Hoef, P. v. (2013). *De veiligheid van intern breachen*. Breda: NLDA.
- [11] Kingery, C., & Bulmash, G. (1984). *Airblast parameters from tnt spherical air burst and hemispherical surface burst*. Aberdeen: US Army Armament Research and Development Center.
- [12] NATO. (2008). *Allied Ammunition Storage and Transport Publication 3; Manual of NATO Safety Principles for the Hazard Classification of Military Ammunition*. Group of Experts.
- [13] NATO. (2008). *Allied Ammunition Storage and Transport Publication 4; Manual on Explosives Safety Risk Analysis*. Group of Experts.
- [14] NBN EN 772-1. (2011). *Metselsteenproeven Deel 1: bepalen van druksteensterkte*.
- [15] PGS 1; Deel 2. (2003). *Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1. Methoden voor het bepalen van mogelijke schade; effecten van explosie op personen*. VROM.
- [16] Richard Price, G. (2013). *Weapon Noise Exposure of the Human Ear Analyzed with the AHAH Model*. Opgeroepen op november 21, 2013, van U.S. Army Research Laboratory; Human Research and Engineering Directorate: <http://www.arl.army.mil/www/default.cfm?page=351>

- [17] Swisdak, M. (1994). *Simplified Kingery Airblast Calculations*. Indian Head Division/Naval Surface Warfare Center.
- [18] TM 5-1300. (1990). *Structures to Resist the Effect of Accidental Explosions*. US Department of the Army.
- [19] Vercouteren van den Berge, B. (2010). *Basiscursus Veilig Werken met Springstof*. Utrecht: Hogeschool Utrecht.

Bijlage A: begrippenlijst

Breachen:

Het creëren van toegang tot een andere ruimte. Dit kan in de vormen fysiek, thermisch, ballistisch, mechanisch en explosief. Bij explosief breachen wordt een springstof op een muur geplaatst waardoor er een gat in de muur ontstaat.

Fragmentatie:

Het vrijkomen van brokstukken bij een explosie. Primair is van het omhulsel zelf en secundair is ten gevolge van de schokgolf of ten gevolge van de inslag van een primair fragment wat door inslag weer fragmenten geeft.

Gate Crasher mk4:

Is een door water gestuurd breaching hulpmiddel. Door het opsluiten van de explosie met water wordt de energie in de gewenste richting gestuurd.

Man-hole:

Een gat in de muur waar een persoon doorheen kan.

NEQ/NEW

'Net explosive quantity', geeft weer hoeveel grammen explosieven er wordt gebruikt ten opzichte van de kracht die door TNT zou worden veroorzaakt.

Piekoverdruk:

Het front van een blastgolf wordt gevormd door een schokgolf waarin de druk instantaan toeneemt van atmosferische druk tot de statische overdruk. De druktoename hiertussen wordt de piekoverdruk genoemd.

Scabbing:

Het ontstaan van fragmenten doordat de constructie zelf bezwijkt.

Schokgolven:

Een drukgolf met een grote amplitude en een steil front dat zich door materiaal voortplant. Deze wordt daarna doorgegeven aan de omringende lucht.

Spalling:

Het ontstaan van fragmenten door directe inslag van een projectiel.

Spouwmuur:

Muurconstructie waarbij er tussen de gevel en binnenmuur een gedeelte lucht aanwezig is.

Bijlage B: MSD-tabel

<u>Breachers Quick Reference Guide - Minimum Stacking Distance</u>			
	NEW	MSD Extern	MSD Intern
	5	1,5	1,7
	10	1,8	2,1
	15	2,1	2,4
	20	2,3	2,6
	25	2,5	2,8
	30	2,6	3,0
	35	2,8	3,2
	40	2,9	3,3
	45	3,0	3,4
	50	3,1	3,6
	55	3,2	3,7
	60	4,5	Stack in andere ruimte!!
	65	4,7	
	70	4,8	
	75	4,9	
	80	5,0	
	85	5,1	
	90	5,2	
	95	5,3	
	100	5,4	
	105	5,4	
	110	5,5	
	115	5,6	
	120	5,7	
	125	5,8	
	150	6,1	
	175	6,4	
	200	6,7	
	250	7,2	
	300	7,7	
	350	8,0	
	400	8,4	
	450	8,7	
	500	9,0	
	600	9,6	
	700	10,1	
	800	10,5	
	900	10,9	
	1000	11,3	
	1500	12,9	
	2000	14,2	
	2500	15,2	
	3000	16,2	
NEW in gram / MSD in meters			
Waarden zijn berekend met een RE-factor van 1,66 en naar boven afgerond			
Gaat er van uit dat de lading is aangebracht op een reflecterend oppervlak, op ongeveer 1 meter boven het vloeroppervlak			
Houdt geen rekening met geometrische effecten			
Let op: Kanalisatie en reflectie leiden tot hogere waarden!			

Bijlage C: probit-functies

Probit-formule:

$$Pr = a + b \ln(V)$$

Waarin:

- Pr= de probit [-];
- a en b= constanten;
- V= variabele.

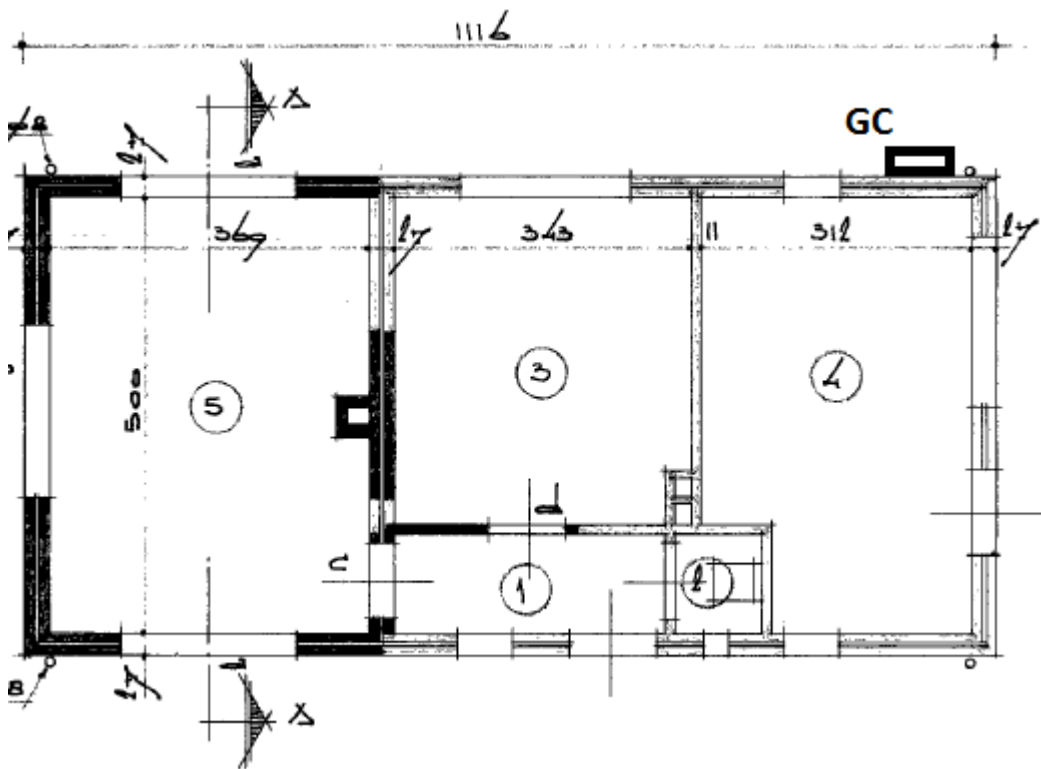
%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,90	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	4,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
-	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
99	7,34	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Een probit van 6,64 geeft een overlijdenskans van 95%, dus een overlevingskans van 5%.

Bijlage D: uitslagen testen

Proefschot

Het proefschot is bedoeld om te kijken wat er überhaupt gebeurt wanneer een Gate Crasher mk4 op een spouwmuur wordt geplaatst. De hierop volgende proeven worden aangepast op de uitwerking van het proefschot. De Gate Crasher wordt in het midden van de muur geplaatst, op de hoek van het gebouw. Hiervoor wordt gekozen vanwege veiligheidsvoorzieningen ter plaatse. De springmeester, Sergeant-Majoor Groeneveld, wilde voor het proefschot extra zekerheid creëren door goed zicht te hebben op het proefschot en de omgeving. Dit kon het beste worden gerealiseerd wanneer de Gate Crasher op de hoek van gebouw 206 wordt geplaatst. In figuur 29 is een schematisatie gemaakt.



Figuur 32: Proefschot: locatie Gate Crasher (GC) op gebouw 206.

Bij deze proef is er een schatting gemaakt naar hoeveel springstof er moet worden gebruikt om door een spouwmuur te komen. Er zijn bij deze proef geen druksensoren of high-speed camera's gebruikt.

Proefschot	Parameters
Datum	2-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	160
Omtrek (rondes slagsnoer)	4×
Midden (strengen slagsnoer)	6×
Kneedspringstof [g]	0
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	203,2
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	een klein gat in het midden, te klein om doorheen te gaan
Locatie Gate Crasher	Op de hoek van gebouw 206. Links van de Gate Crasher is de hoek van de muur en rechts is een raam.
Bijzonderheden	De hoek van het gebouw is door de druk weggeslagen.

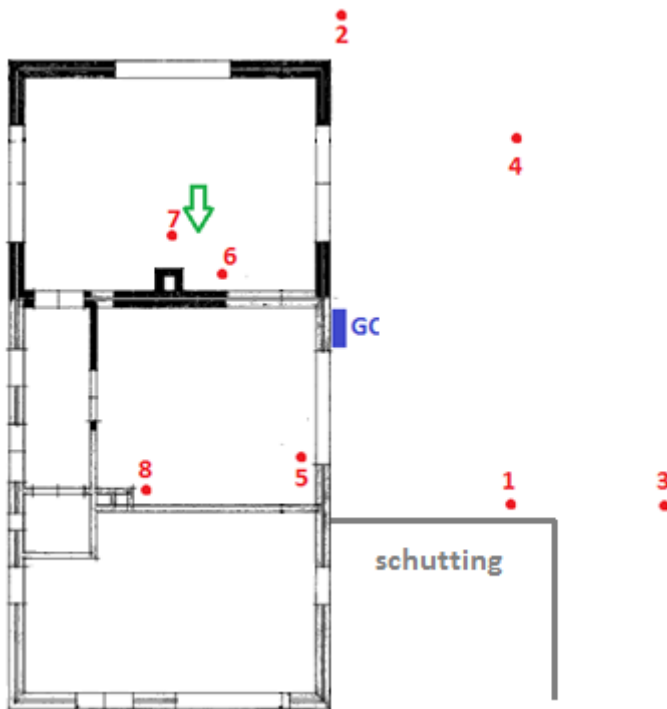


Figuur 33: resultaat proefschot.

Proef 1

Proef 1	
Datum	3-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	0
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	254
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	0,75m×0,50m (l×b), te klein om doorheen te gaan
Locatie Gate Crasher	Aan de oostelijke zijde van gebouw 206. Gate Crasher is in het midden van de muur geplaatst, naast een raam.
Bijzonderheden	Aanliggende ramen stuk, glas ligt zowel binnen als buiten

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	6,67	45° t.o.v. GC	18,1	11,9
2	6,67	evenwijdig aan de muur	18,1	5,5
3	15,6	45 grd t.o.v. GC	5,1	4,3
4	6,67	45 grd t.o.v. GC	18,1	11,2
5	2,5	links om de hoek	-	3,3
6	2,9	rechts van de man-hole	-	0,8
7	3,6	in het verlengde van 6	-	1,2
8	4,4	in het verlengde van 5	-	2,4



figuur 34: proefopstelling proef 1.

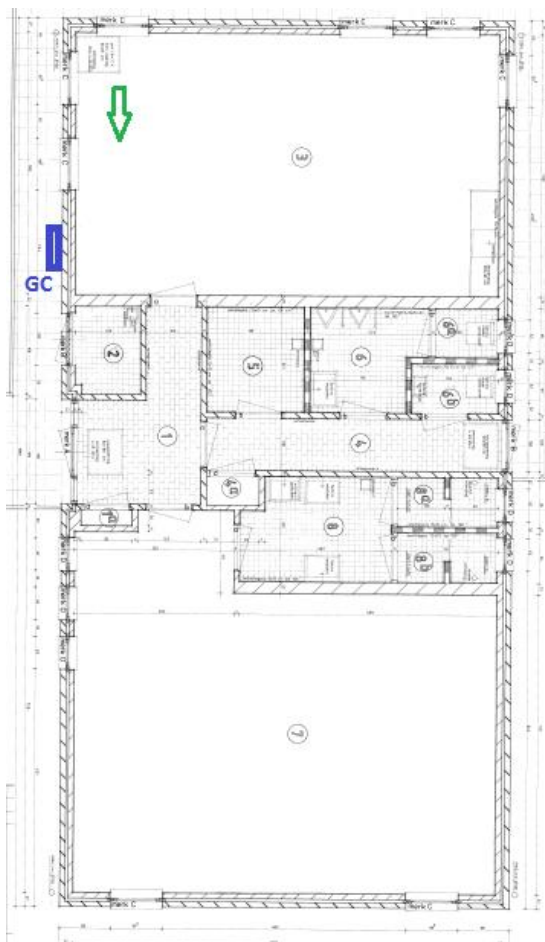


Figuur 35: resultaat proef 1; links buiten, rechts binnen.

Proef 2

Proef 2	
Datum	3-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	0
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	254
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	0,95m×0,80m (l×b), groot genoeg om doorheen te gaan, echter GC is te hoog geplaatst.
Locatie Gate Crasher	Op de noordelijke kant van gebouw 483. GC is in het midden van de muur geplaatst.
Bijzonderheden	Alleen het aanliggende raam is van het dubbelglas de buitenkant gesprongen.
Sensoren	Geen metingen verricht vanwege een technische storing.

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	13,9	Buiten, 45° t.o.v. GC	6,1	-
2	6,67	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,1	-
3	6,67	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,1	-
4	8	Binnen, in hoek van de kamer	-	-
5	6,67	Buiten, evenwijdig aan muur	18,1	-
6	4,4	Binnen, in het verlengde van 5		-
7	2,5	Binnen, links van man-hole	-	-
8	0		-	-



Figuur 36: proefopstelling proef 2.

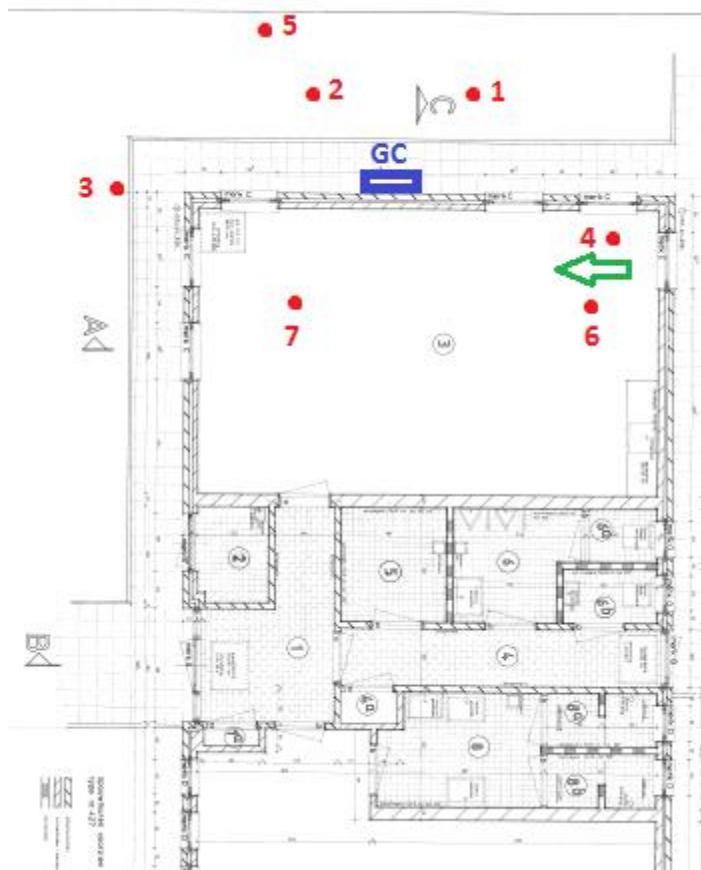


Figuur 37: resultaat proef 2; links buiten, rechts binnen.

Proef 3

Proef 3	
Datum	3-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	100
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	381
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	1,1m×0,9m (l×b), man-hole heeft precies de juiste grootte.
Locatie Gate Crasher	Op de oostelijke zijde van gebouw 483, vijf bakstenen vanaf de onderkant van het gebouw.
Bijzonderheden	de kneedspringstof is in het onderste vakje geplaatst

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	10,3
2	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	17,7
3	7,61	Buiten, evenwijdig aan muur	18,2	5,6
4	4,4	Binnen, in hoek van de kamer	-	1,1
5	13	Buiten, 45° t.o.v. GC	8,3	5,8
6	4,4	Binnen, 45 t.o.v. man-hole	-	-0,7
7	4,4	Binnen, 45 t.o.v. man-hole	-	1,0



Figuur 38: proefopstelling proef 3.

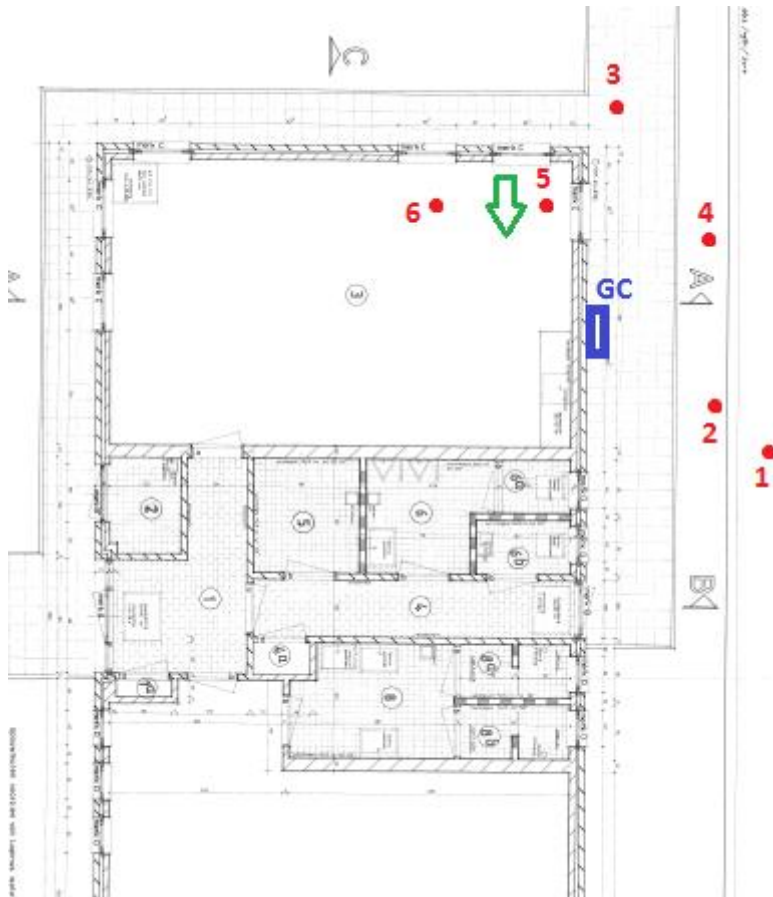


Figuur 39: resultaat proef 3; links buiten, rechts binnen.

Proef 4

Proef 4	
Datum	3-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	100
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	381
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	1,00m×0,75m (l×b), man-hole is net groot genoeg.
Locatie Gate Crasher	Op de zuidelijke zijde van gebouw 483.
Bijzonderheden	De kneedspringstof is in het onderste vakje geplaatst. Aan de binnenzijde waren tegels geplaatst, maar die zijn verwijderd. De mortel van de tegels is niet verwijderd, maar had geen onderlinge verbindingen.

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	13	Buiten, 45° t.o.v. GC	8,3	7,4
2	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	9,1
3	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	8,4
4	7,61	Buiten, evenwijdig aan muur	18,2	11,7
5	3,1	Binnen, in hoek van kamer	-	1,4
6	4,4	Binnen, 45 t.o.v. man-hole	-	1,2
7	0	kapot	-	0
8	0	kapot	-	0



Figuur 40: proefopstelling proef 4.

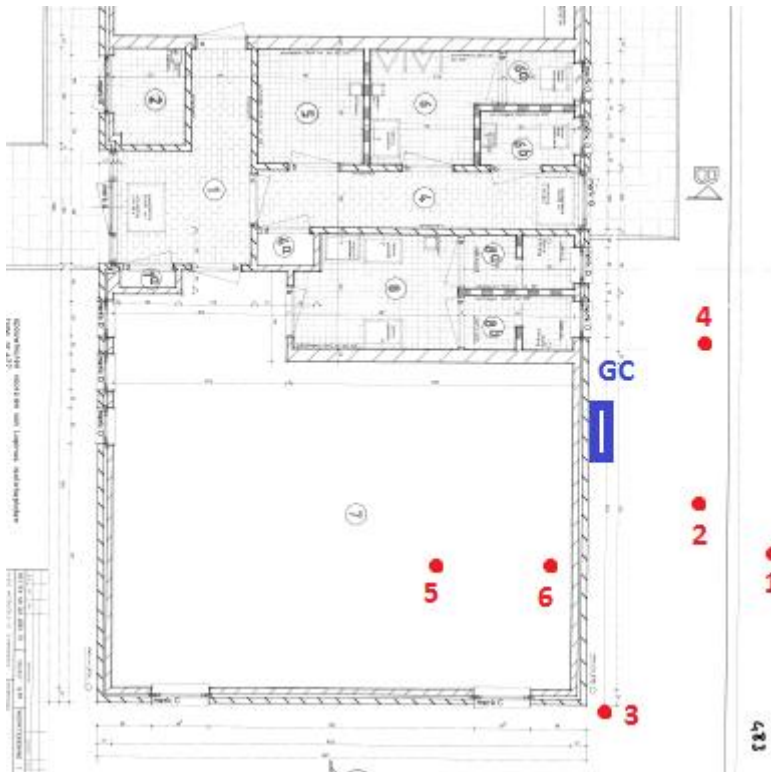


Figuur 41: resultaat proef 4; links buiten, rechts binnen.

Proef 5

Proef 5	
Datum	3-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	0
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	254
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	Geen man-hole. Alleen buitenste muur is kapot.
Locatie Gate Crasher	Op de zuidelijke zijde van gebouw 483. vijf bakstenen vanaf de onderkant.
Bijzonderheden	Er is geen breach. De binnenzijde van de muur is licht gescheurd. De druk slaat de isolatie weg.

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	13	Buiten, 45° t.o.v. GC	6,8	4,4
2	6,67	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,1	9,5
3	6,67	Buiten, evenwijdig aan muur	18,1	8,0
4	6,67	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,1	8,9
5	3,8	Binnen, links van 'man-hole'	-	0,6
6	4,4	Binnen, 45 t.o.v. man-hole	-	0,8
7	0	kapot	-	0
8	0	kapot	-	0



Figuur 42: proefopstelling proef 5.

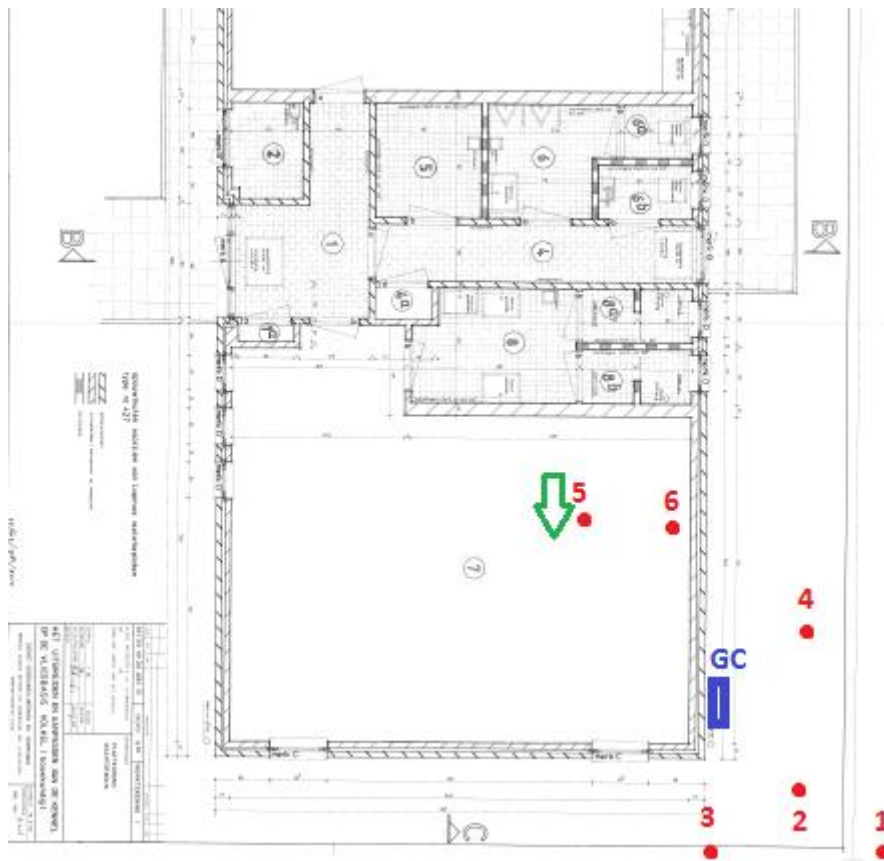


Figuur 43: resultaat proef 5; links buiten, rechts binnen.

Proef 6

Proef 6	
Datum	4-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	100
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	381
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	1,2m×0,9m (l×b)
Locatie Gate Crasher	Op de zuidelijke zijde in de hoek van gebouw 483. Midden op de muur, 3 meter naast proef 5
Bijzonderheden	Groot gat in de muur. De muur is tot het dak ingescheurd en de hoek staat op instorten. Geen delen van bakstenen aan de buitenkant van de muur. Kan niet worden betreden!

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	13	Buiten, 45° t.o.v. GC	8,3	6,0
2	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	13,9
3	7,61	Buiten, evenwijdig aan muur	18,2	7,4
4	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	9,6
5	4,4	Binnen, 45 t.o.v. man-hole	-	0,5
6	3,8	Binnen, rechts van man-hole	-	0,5
7	0	kapot	-	0
8	0	kapot	-	0



Figuur 44: proefopstelling proef 6.

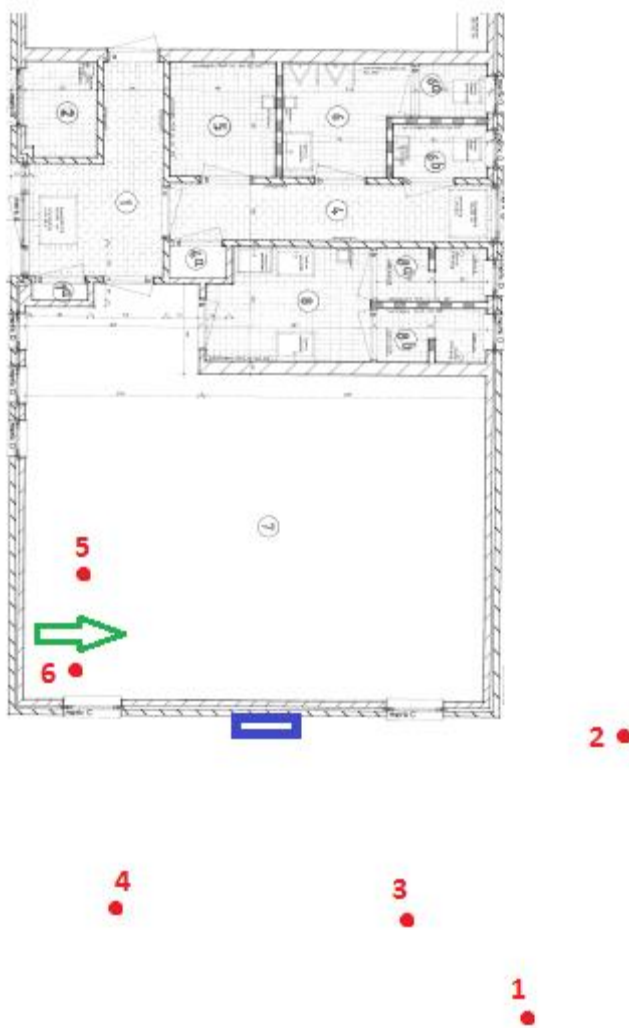


Figuur 45: resultaat proef 6; links binnen, rechts buiten.

Proef 7

Proef 7	
Datum	4-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	200
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	508
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	1,15m×0,80m (l×b), precies groot genoeg
Locatie Gate Crasher	Op de westelijke zijde van gebouw 483. vijf bakstenen van de onderkant.
Bijzonderheden	Te veel springstof gebruikt. Brokstukken vliegen tot de overstaande muur en kaatsen terug.

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	13	Buiten, 45° t.o.v. GC	9,5	7,4
2	8,36	Buiten, evenwijdig aan muur	18,2	8,2
3	8,36	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	13,8
4	8,36	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	13,4
5	4,4	Binnen, 45 t.o.v. man-hole	-	0,8
6	3,8	Binnen, links van man-hole	-	0,8
7	0	kapot	-	0
8	0	kapot	-	0



Figuur 46: proefopstelling proef 7.

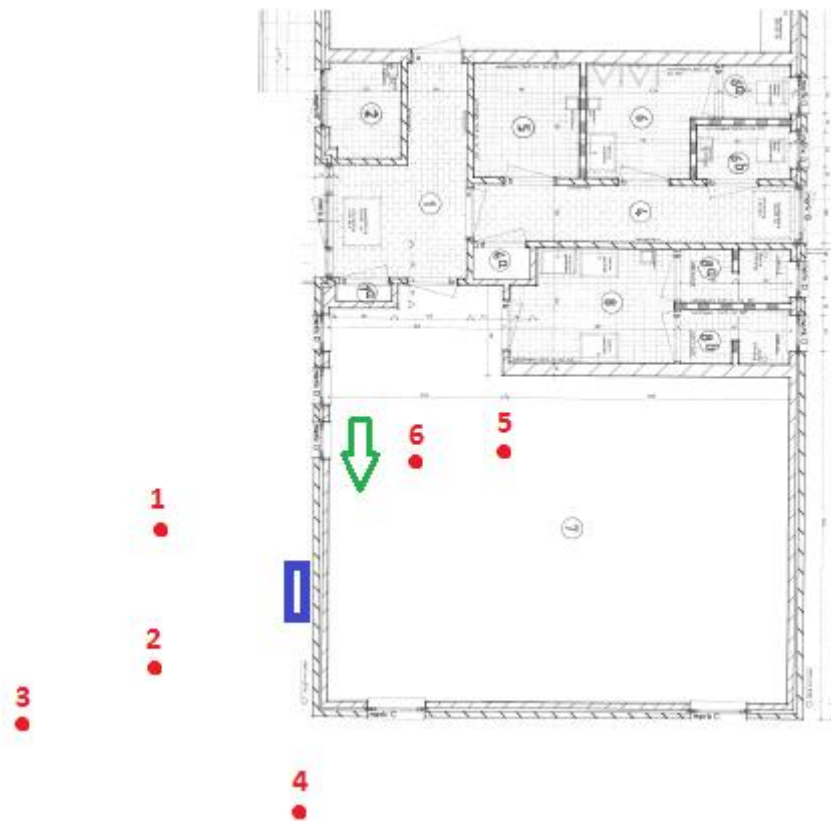


Figuur 47: resultaat proef 7; links buiten, rechts binnen.

Proef 8

Proef 8	
Datum	4-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	100
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	381
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	1,05m×0,80m (l×b), precies groot genoeg
Locatie Gate Crasher	Op de noordelijke zijde van gebouw 483. vijf bakstenen van de onderkant.
Bijzonderheden	Goede hoeveelheid springstof. Ramen intact.

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	16,1
2	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	14,6
3	13	Buiten, 45° t.o.v. GC	8,3	6,4
4	7,61	Buiten, evenwijdig aan muur	18,2	7,6
5	4,4	Binnen, 45 t.o.v. man-hole	-	0,8
6	1,5	Binnen, links van man-hole	-	1,1
7	0	kapot	-	0
8	0	kapot	-	0



Figuur 48: proefopstelling proef 8.

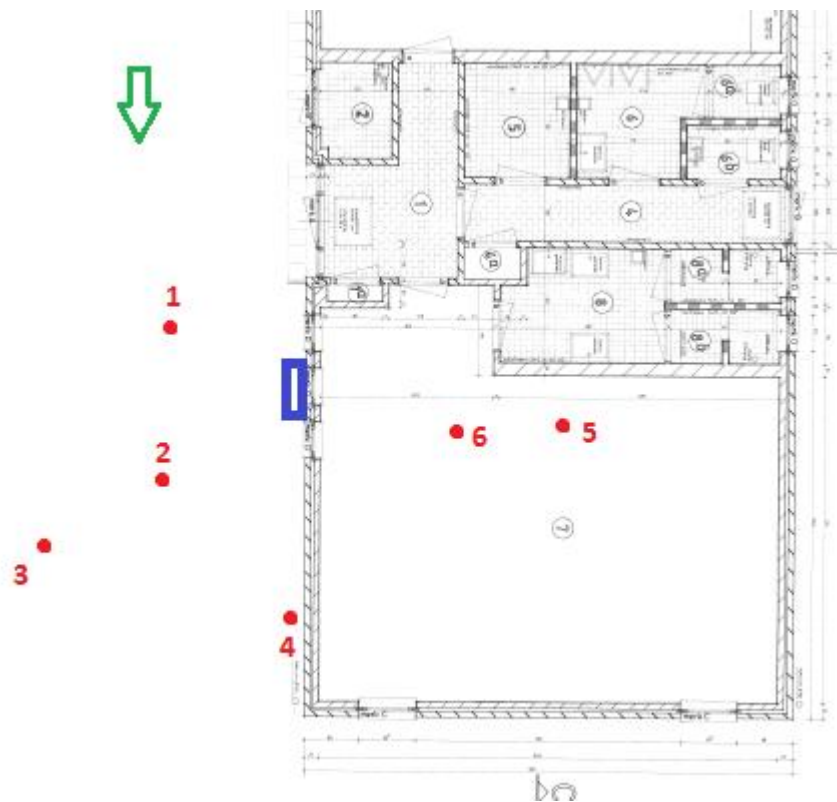


Figuur 49: resultaat proef 8, links buiten, rechts binnen.

Proef 9

Proef 9	
Datum	4-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	0
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	254
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	0,90m×0,75m (l×b), precies groot genoeg
Locatie Gate Crasher	Op de noordelijke zijde van gebouw 483, naast proef 8. Vijf bakstenen van de onderkant.
Bijzonderheden	De muur was al voor een groot deel gescheurd en bezwaken. Boven de GC zijn raampjes die de muur verder verzwakken.
Sensoren	Geen metingen verricht vanwege technische storingen.

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	6,67	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,1	-
2	6,67	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,1	-
3	13	Buiten, 45° t.o.v. GC	6,8	-
4	6,67	Buiten, evenwijdig aan muur	18,1	-
5	4,4	Binnen, 45 t.o.v. man-hole	-	-
6	0	niet geplaatst	-	-
7	0	kapot	-	-
8	0	kapot	-	-



Figuur 50: proefopstelling proef 9.

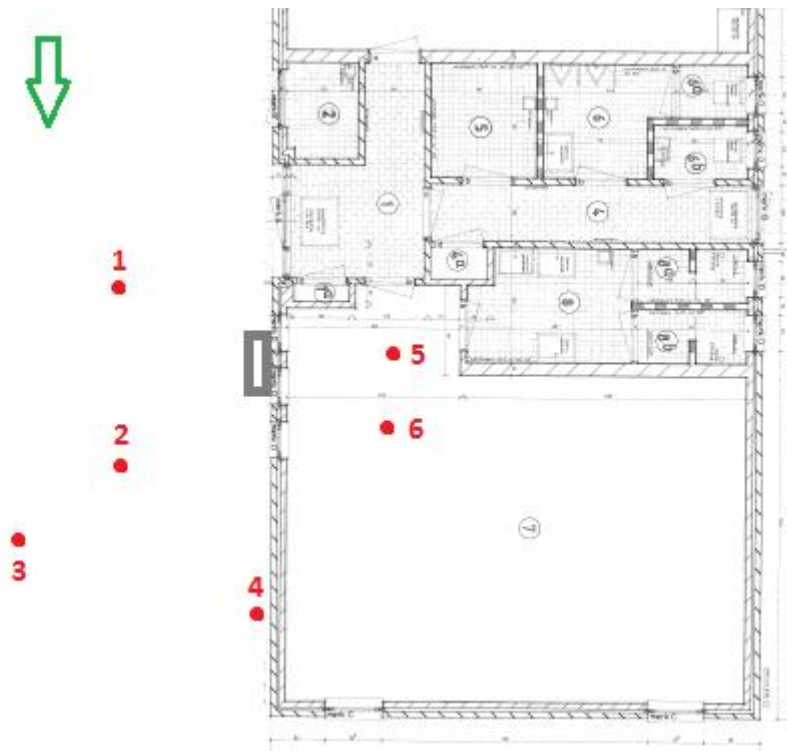


Figuur 51: resultaat proef 9, links buiten, rechts binnen.

Proef 10

Proef 10	
Datum	4-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	geen GC gebruikt, strengen slagsnoer zijn bij elkaar gebundeld zoals in de GC
Midden (strengen slagsnoer)	
Kneedspringstof [g]	0
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	254
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	Geen breach. Muur is licht beschadigd.
Locatie Gate Crasher	Op de noordelijke zijde van gebouw 483, naast proef 9. Vijf bakstenen van de onderkant.
Bijzonderheden	Deze test is bedoeld om hem te vergelijken met de MSD tabel.

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	6,67	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,1	24,1
2	6,67	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,1	24,6
3	13	Buiten, 45° t.o.v. GC	6,8	8,2
4	6,67	Buiten, evenwijdig aan muur	18,1	16,6
5	4,4	Binnen, 45 grd t.o.v. mogelijke man-hole	-	2,9
6	1,5	Binnen, rechts in het gat van proef 9	-	7,0
7	0	kapot	-	0
8	0	kapot	-	0



Figuur 52: proefopstelling proef 10.

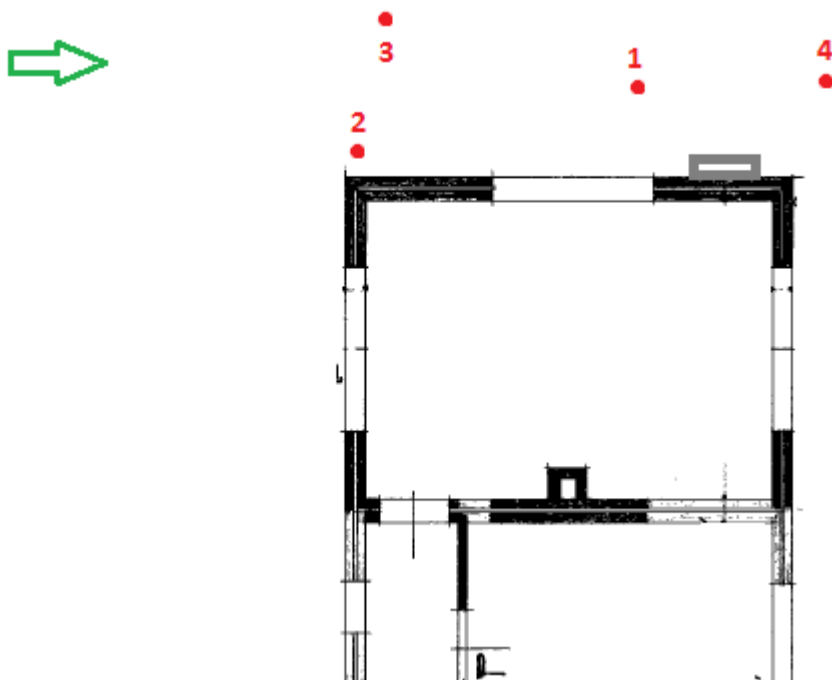


Figuur 53: resultaat proef 10, alleen buiten.

Proef 11

Proef 11	
Datum	4-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	300
Omtrek (rondes slagsnoer)	geen GC gebruikt, 12 rondes slagsnoer gebruikt
Midden (strengen slagsnoer)	
Kneedspringstof [g]	0
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	381
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	Alleen breach door eerste muur.
Locatie Gate Crasher	Op de zuidelijke kant van gebouw 483.
Bijzonderheden	Deze test is bedoeld om hem te vergelijken met de MSD tabel.

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	18,0
2	7,61	Buiten, evenwijdig aan muur	18,2	21,3
3	13	Buiten, 45° t.o.v. GC	8,3	11,1
4	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	17,2
5	0	Niet geplaatst	-	-
6	0	Niet geplaatst	-	-
7	0	kapot	-	-
8	0	kapot	-	-



Figuur 54: proefopstelling proef 11.

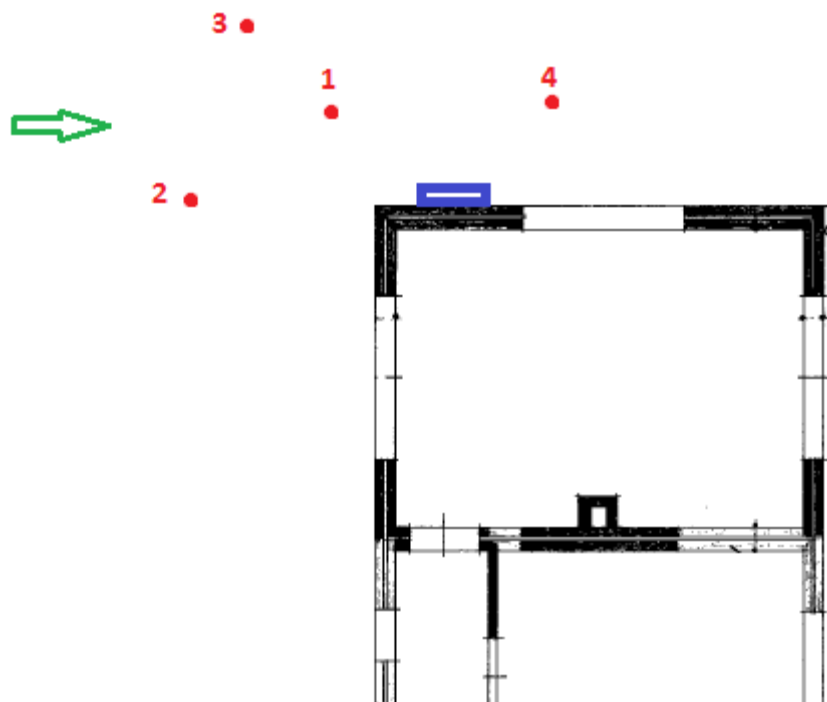


Figuur 55: resultaat proef 11, alleen buiten.

Proef 12

Proef 12	
Datum	4-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	100
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	381
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	1,3m×1,1m (l×b), gat is veel te groot. Muur is volledig ontzet en de hoek is weggeslagen. Scheuren lopen lang de hoek om en maken gebouw instabiel.
Locatie Gate Crasher	Op de noordelijke zijde van gebouw 206 in de rechter hoek.
Bijzonderheden	Naast een raam en naast een hoek geplaatst.

Sensor	Afstand [m]	Locatie	Verwachte druk [kPa]	Gemeten druk [kPa]
1	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	11,4
2	7,61	Buiten, evenwijdig aan muur	18,2	9,2
3	13	Buiten, 45° t.o.v. GC	8,3	4,8
4	7,61	Buiten, 45° t.o.v. GC	18,2	14,7
5	0	Niet geplaatst	-	-
6	0	Niet geplaatst	-	-
7	0	kapot	-	-
8	0	kapot	-	-



Figuur 56: proefopstelling proef 12.



Figuur 57: resultaat proef 12, links buiten, rechts binnen.

Proef 13

Proef 13	
Datum	5-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	Geen GC gebruikt. Strengen slagsnoer zijn nu naast elkaar gelegd.
Midden (strengen slagsnoer)	
Kneedspringstof [g]	0
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	254
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	Alleen buitenste muur is bezweken. Isolatie houdt waarschijnlijk de schokgolf tegen.
Locatie Gate Crasher	Door de individuele explosies van het slagsnoer is er een snijvlak ontstaan.
Bijzonderheden	



Figuur 58: resultaat proef 13, links direct na afzetten, rechts na verwijderen van binnenring.

Proef 14

Proef 14	
Datum	5-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	200
Omtrek (rondes slagsnoer)	5×
Midden (strengen slagsnoer)	8×
Kneedspringstof [g]	0
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	254
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	Geen breach. Tegels zijn van de muur geslagen.
Locatie Gate Crasher	Op een binnenmuur van gebouw 483. Muur is enkelsteens en is betegeld. GC is in het midden van de muur geplaatst.
Bijzonderheden	Doel was om te vergelijken van enkele bakstenen muur met spouwmuur. De mortel van de tegels is deels weggeslagen. Deze twee reflectievlakken hebben de werking tegengehouden.



Figuur 59: resultaat proef 14, links binnen, rechts buiten.

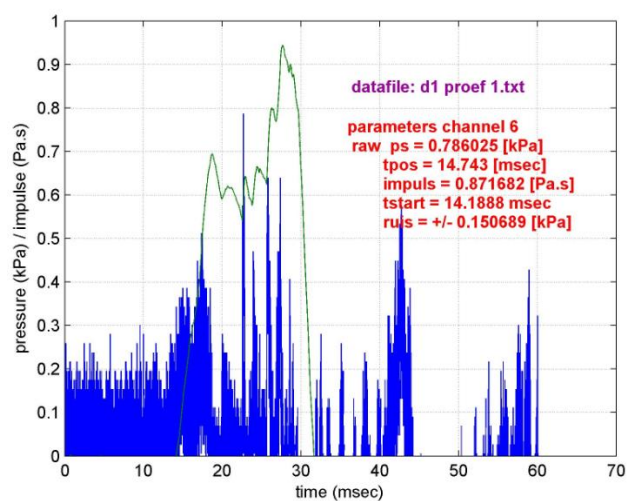
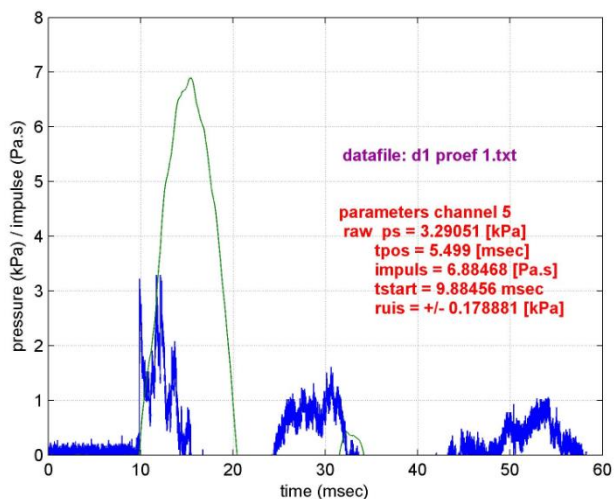
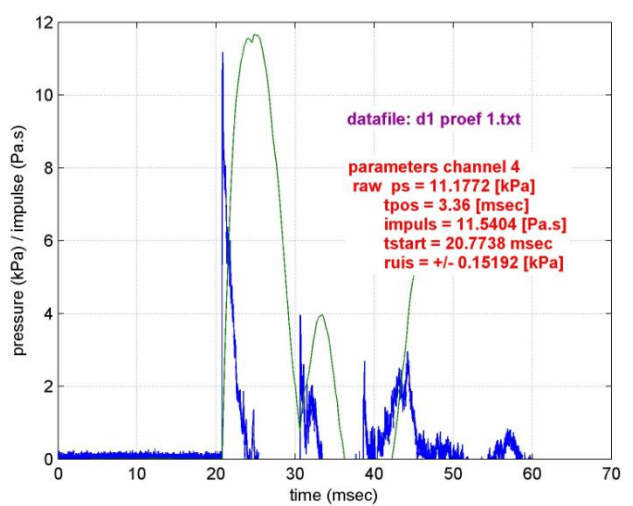
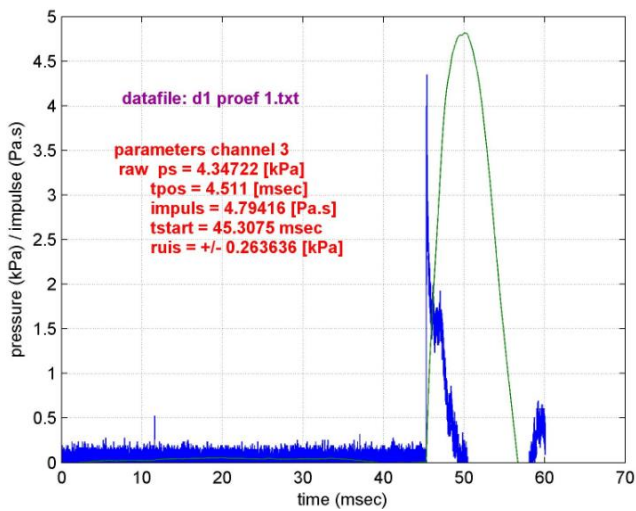
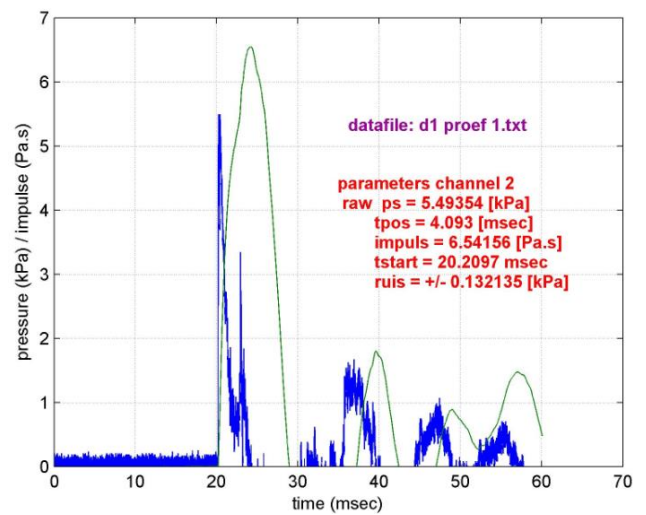
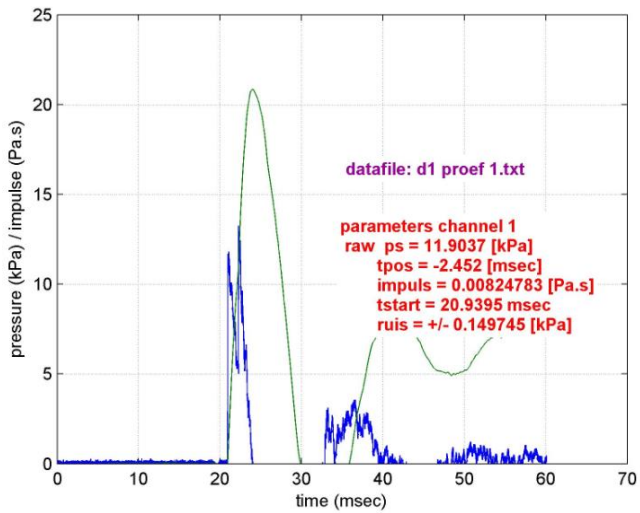
Proef 15

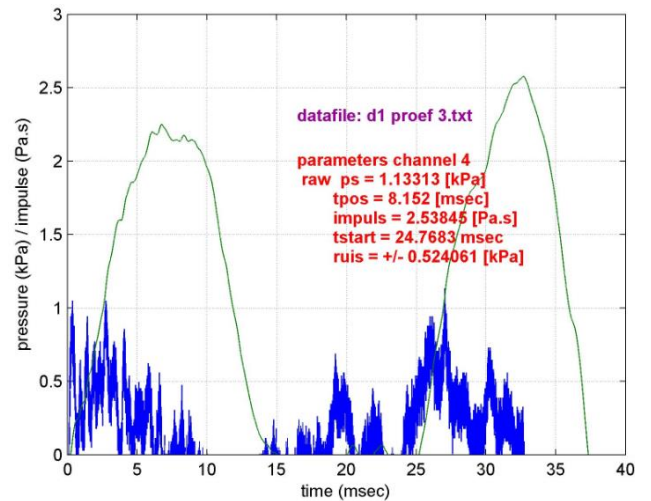
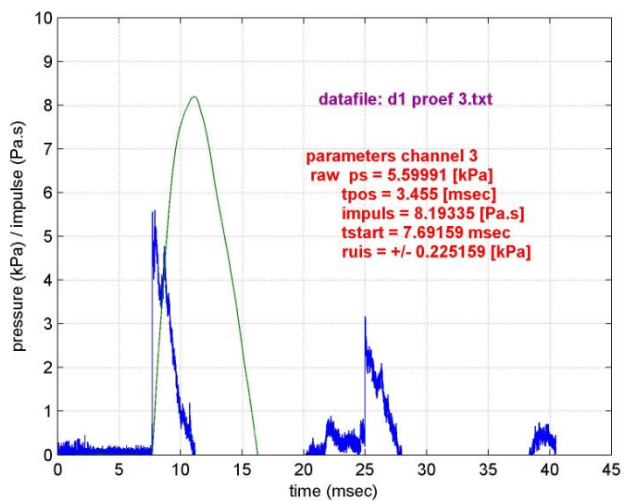
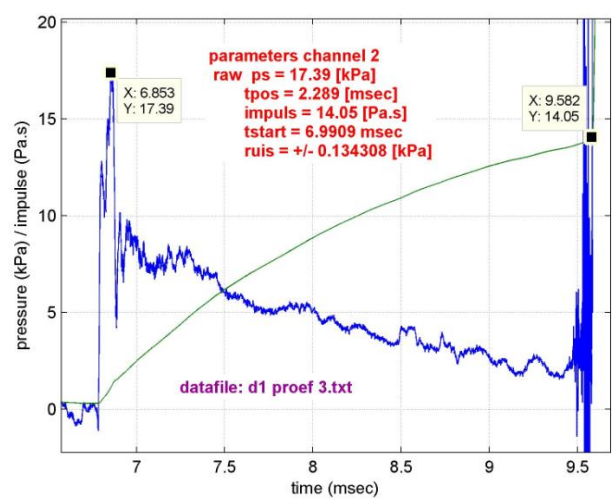
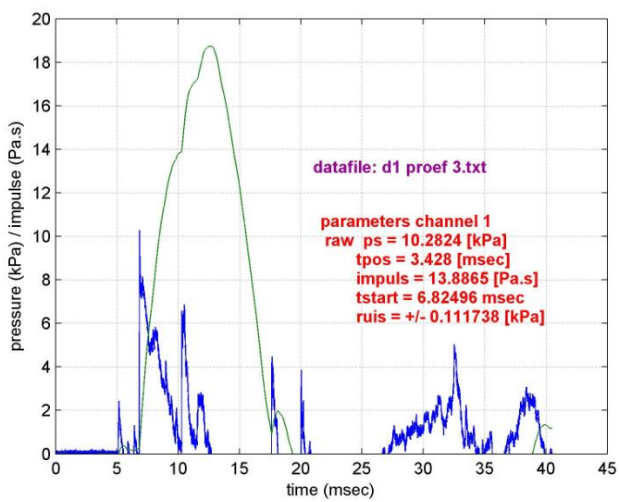
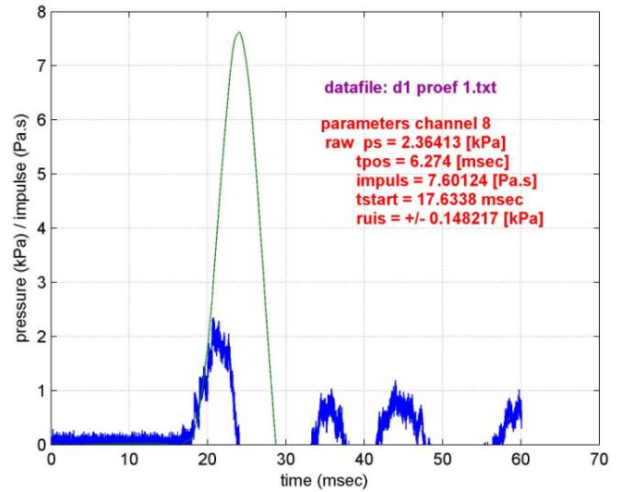
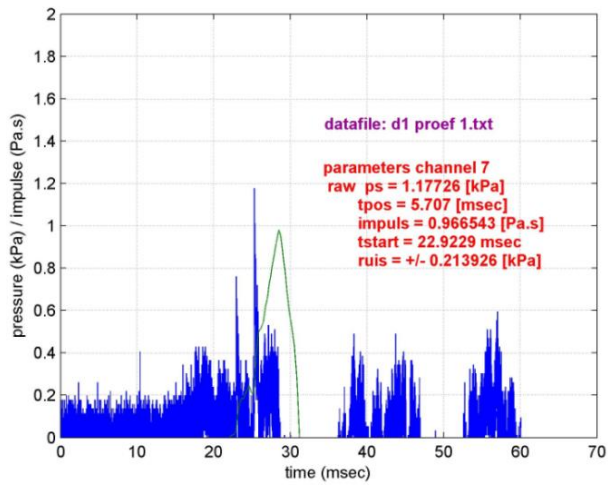
Proef 15	
Datum	5-12-2013
Slagsnoer: lading [g]	100
Omtrek (rondes slagsnoer)	4×
Midden (strengen slagsnoer)	0
Kneedspringstof [g]	200
TNT Equivalentie	1,27
Lading gewicht [g]	381
Ontsteking	elektrisch
Grootte man-hole	Geen breach. Buitenste muur is deels kapot. Duidelijk
Locatie Gate Crasher	Op de noordelijke zijde van gebouw 392, onder kleine raampjes.
Bijzonderheden	GC is anders geladen. 100 g slagsnoer moet 200 g kneed initiëren. Alleen de buitenste muur is deels kapot. Onder en boven (waar de kneed heeft gezeten). Hoek van het gebouw is weggeslagen door de schokgolven die door de spouw gaan.

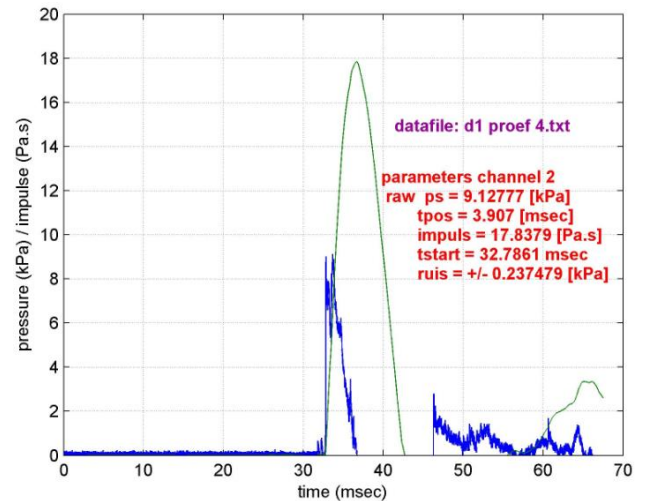
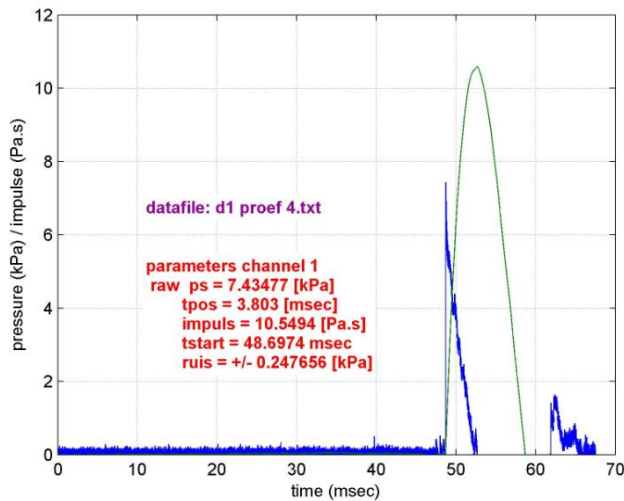
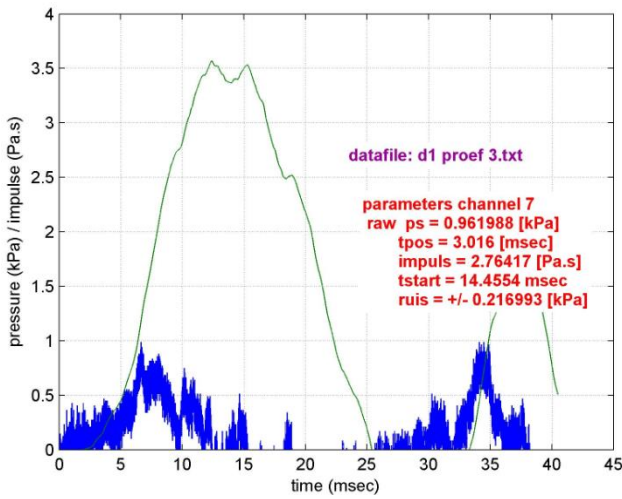
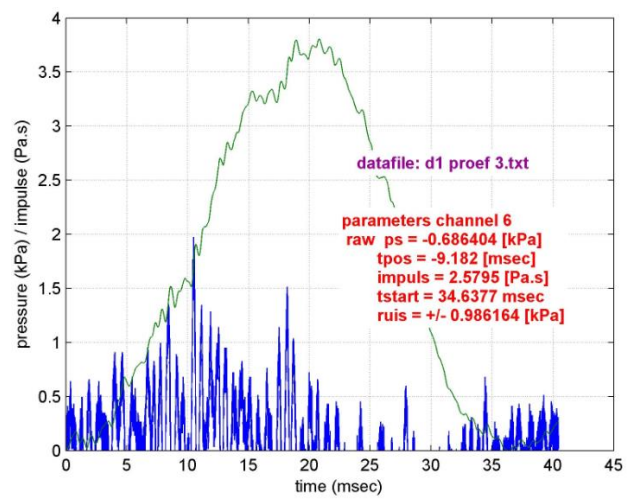
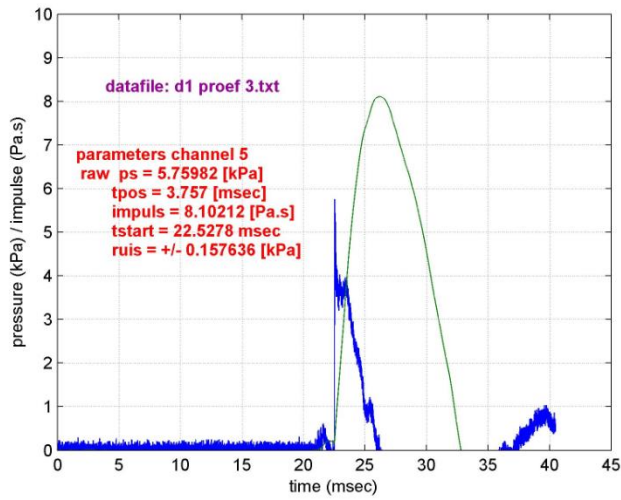


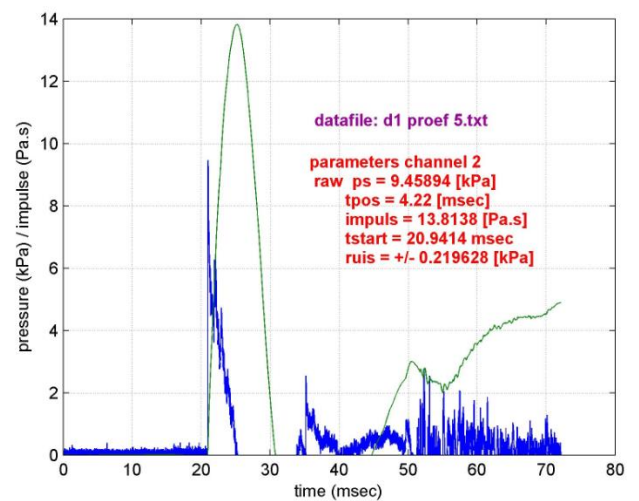
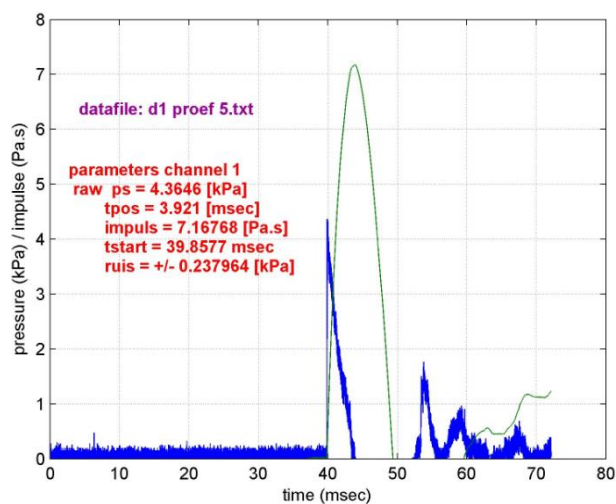
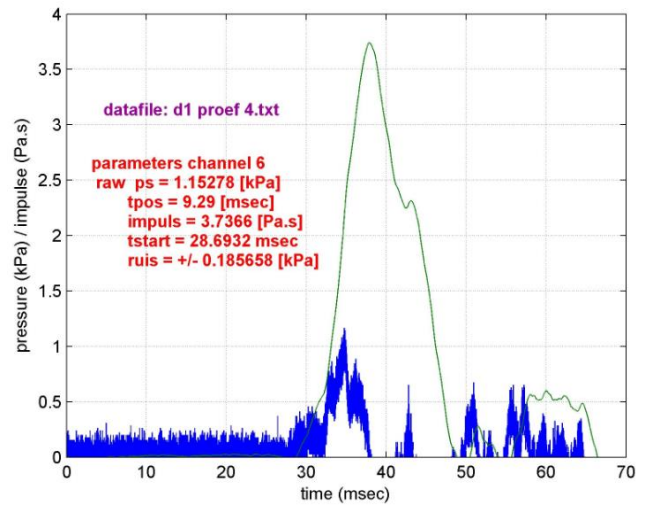
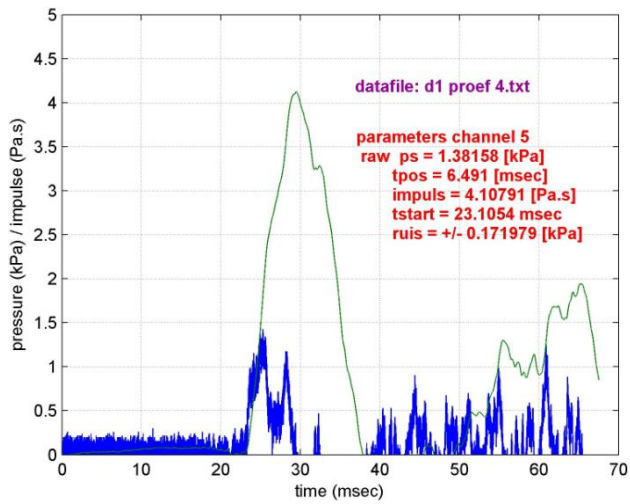
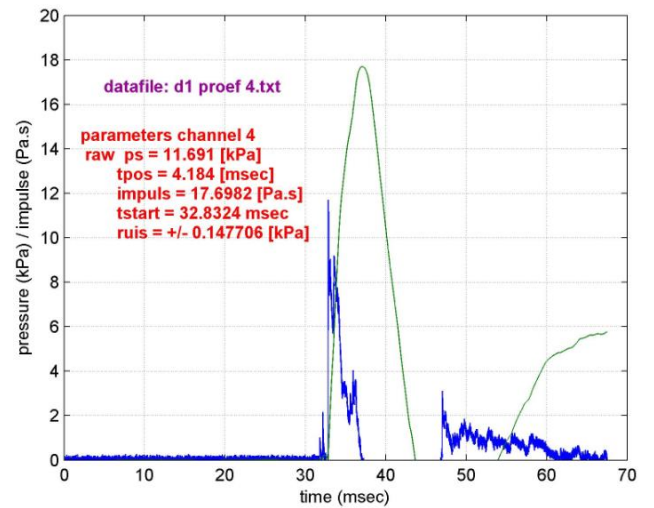
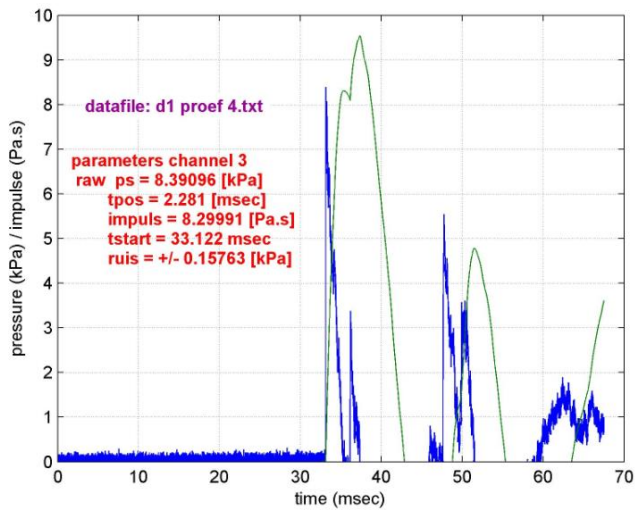
Figuur 60: resultaat proef 15, links binnen, rechts buiten.

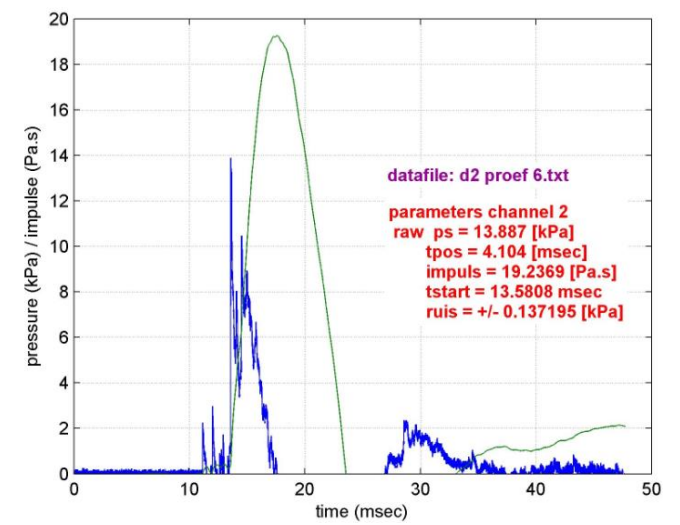
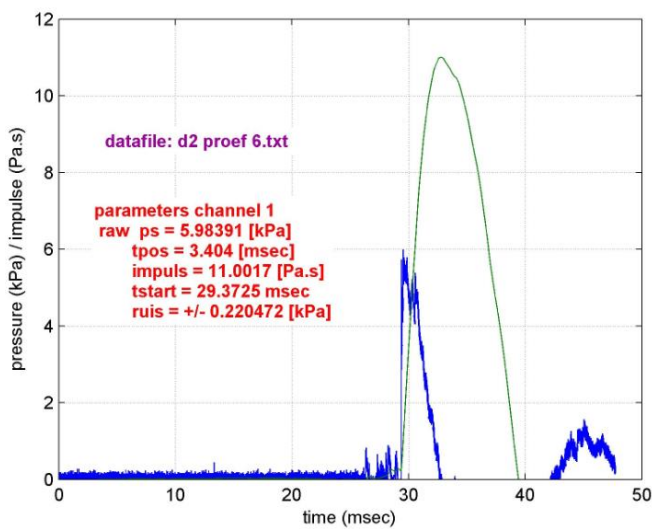
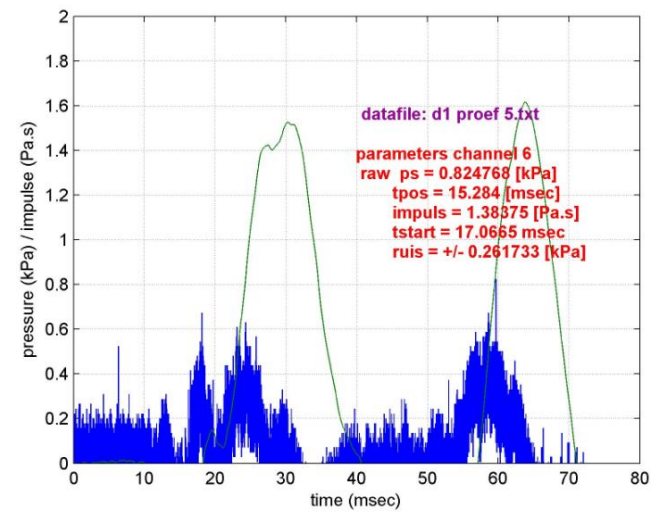
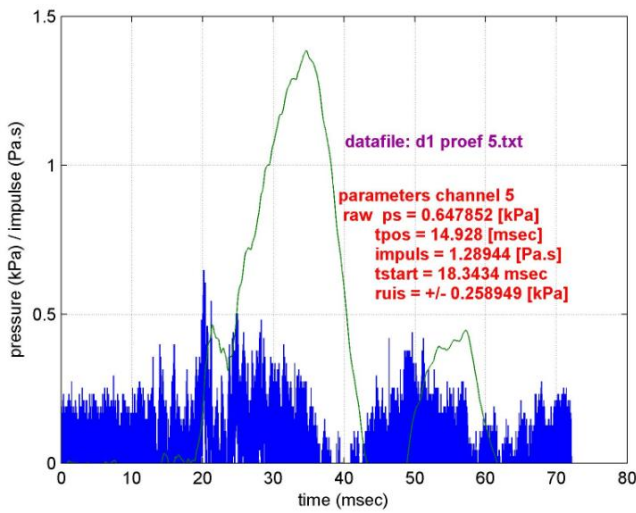
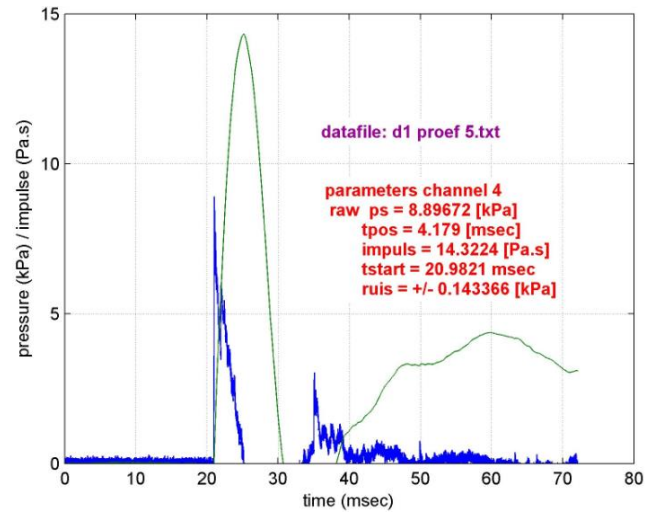
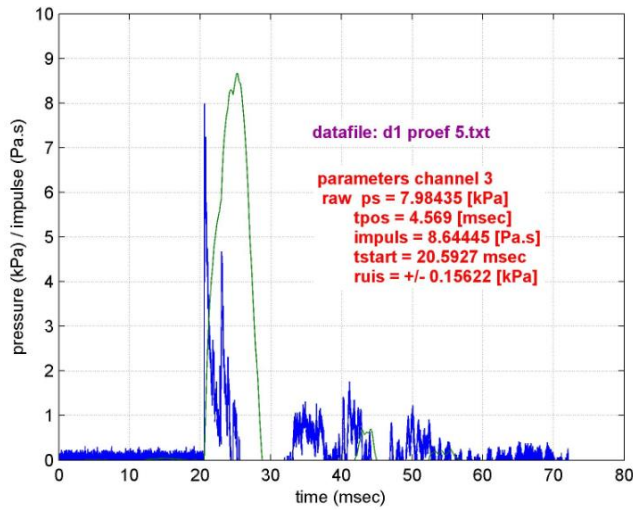
Bijlage E: drukmetingen

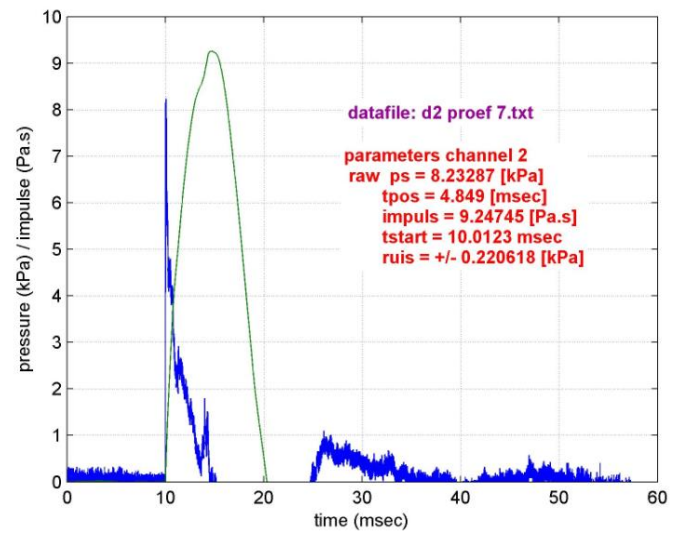
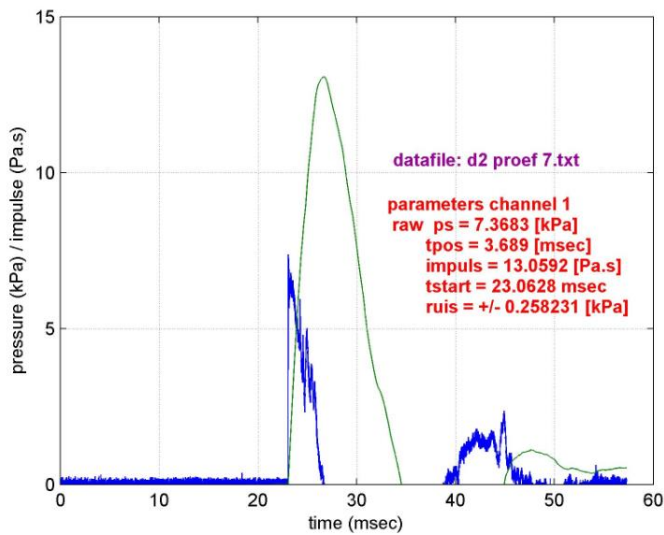
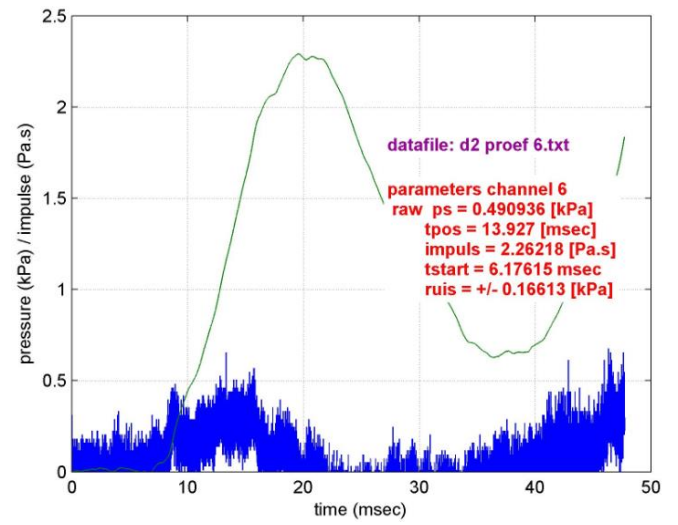
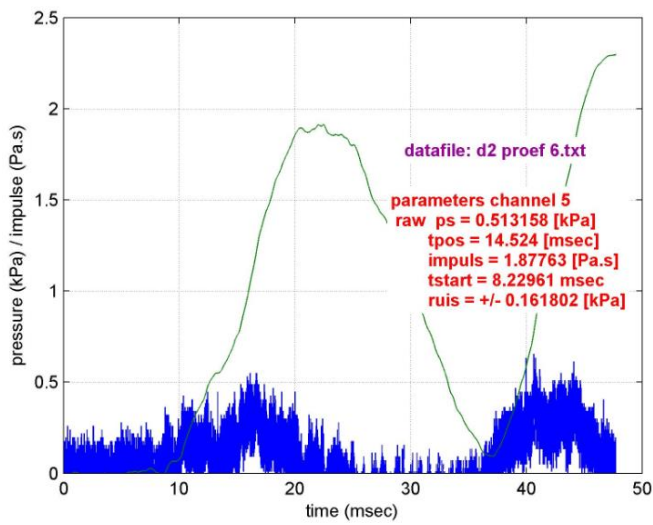
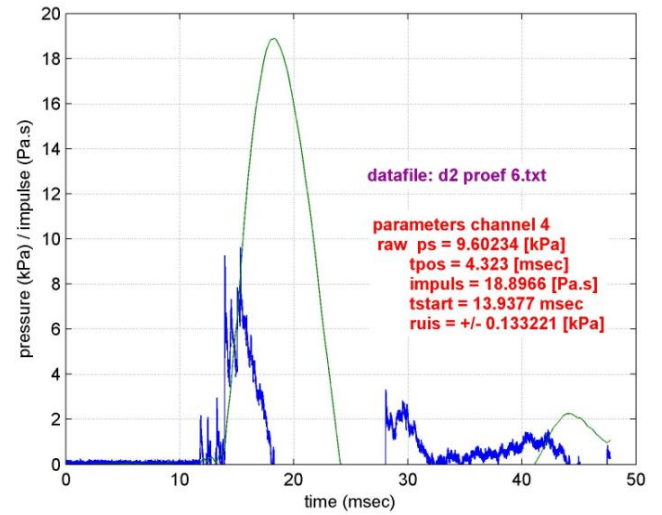
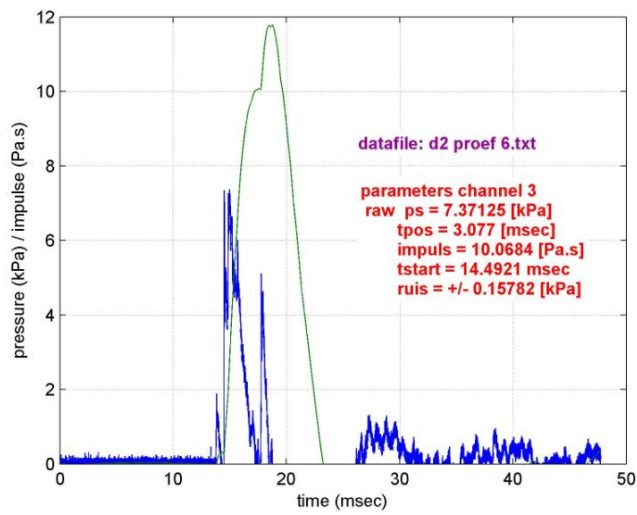


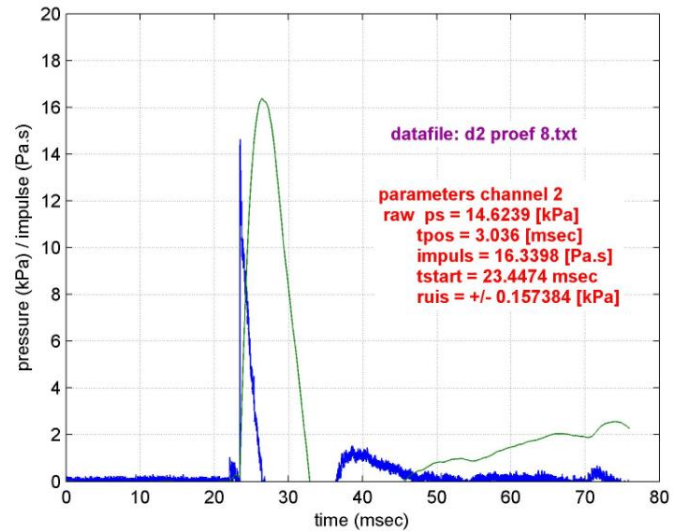
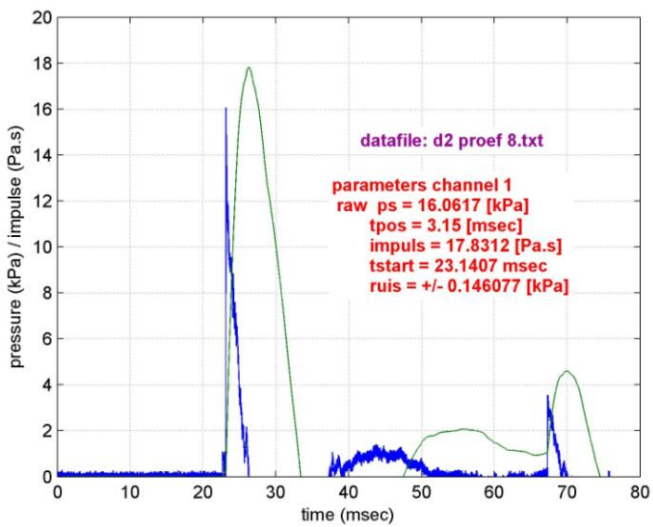
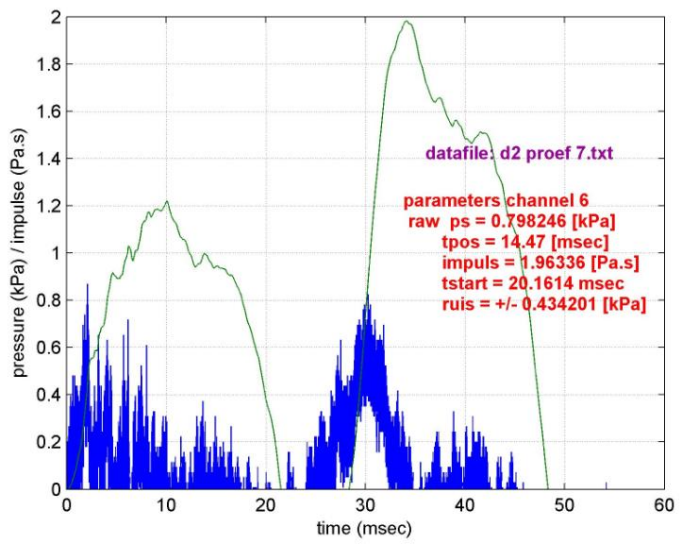
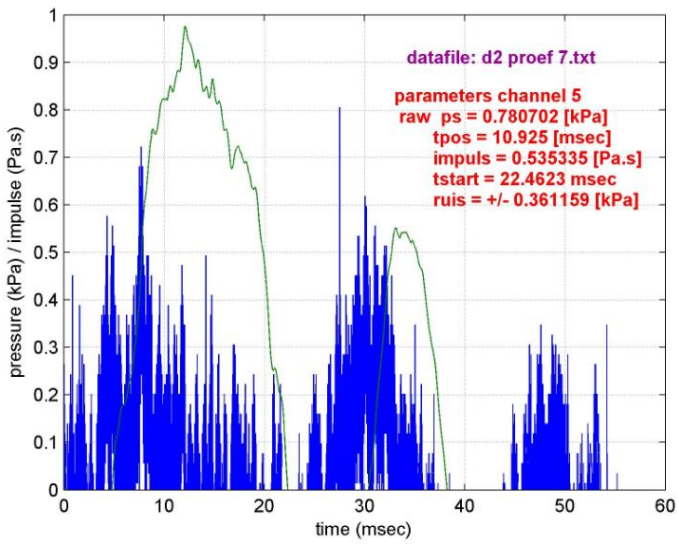
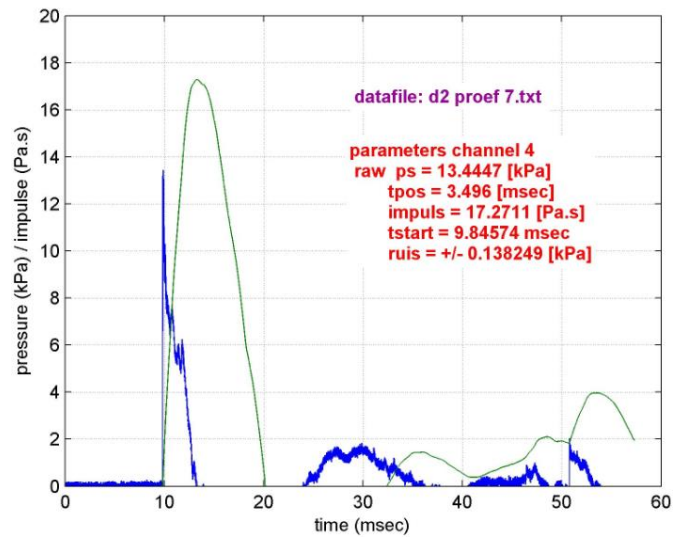
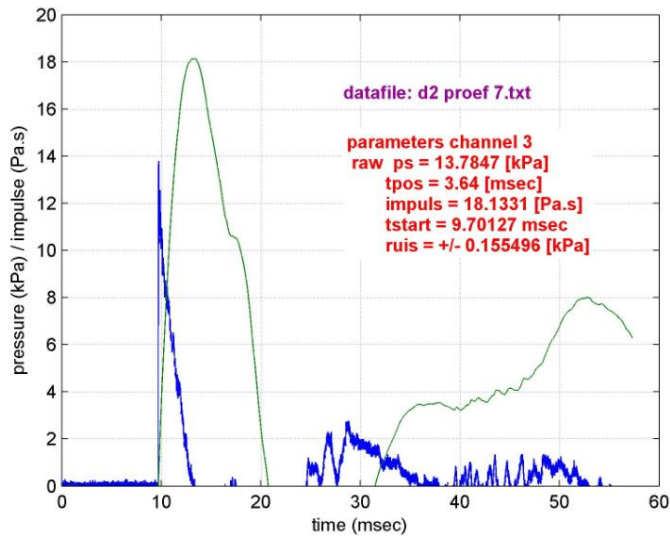


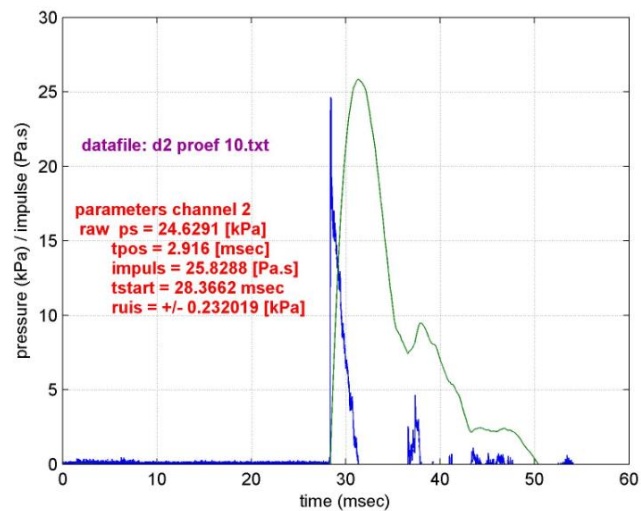
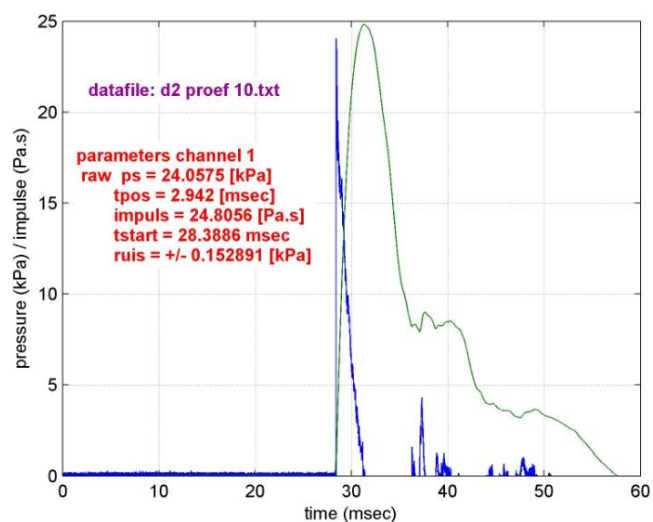
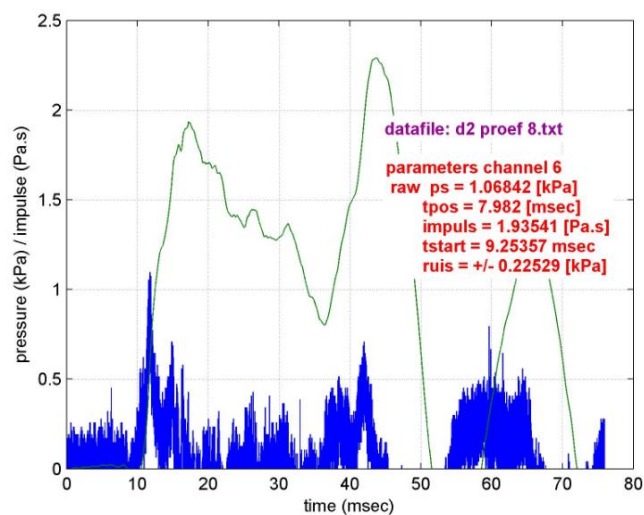
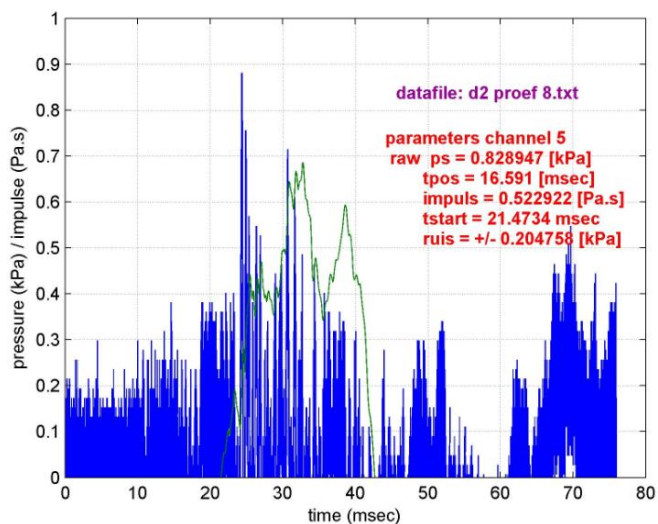
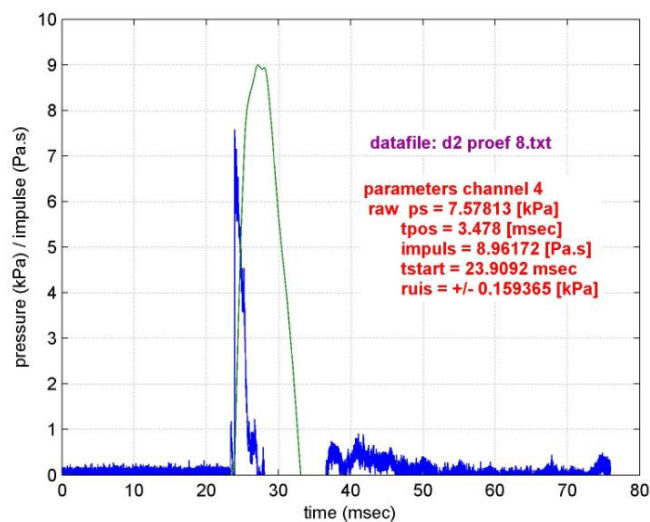
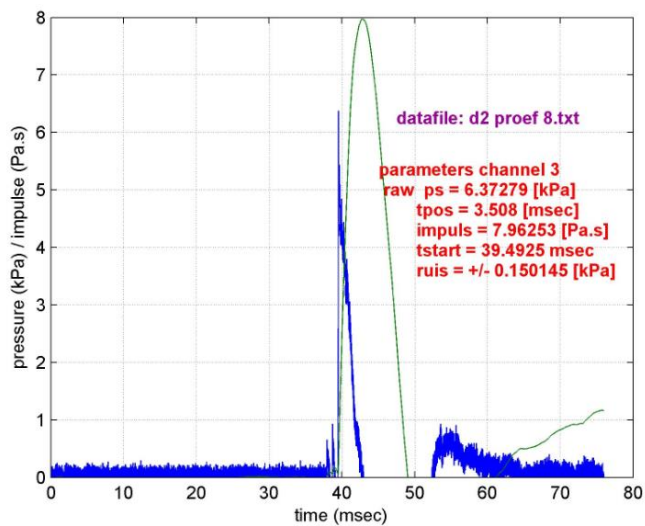


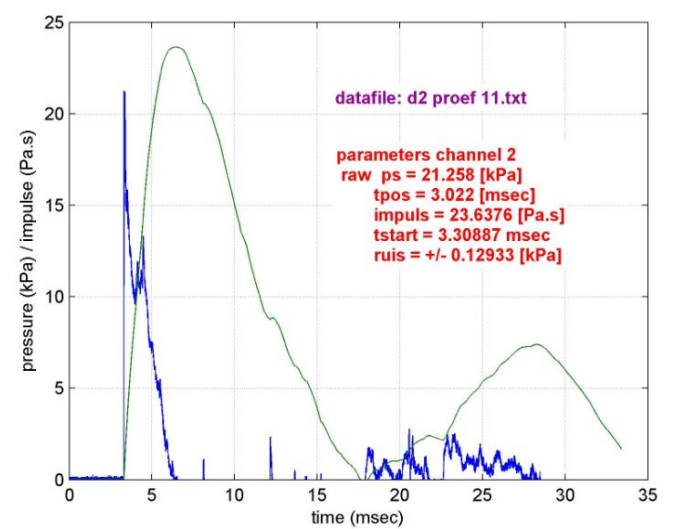
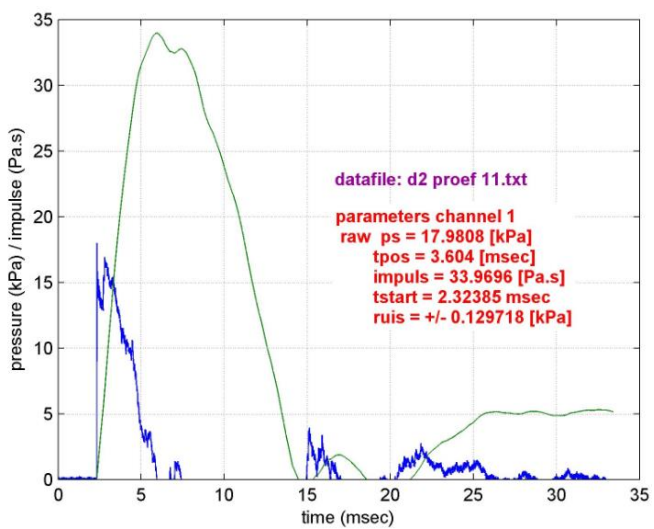
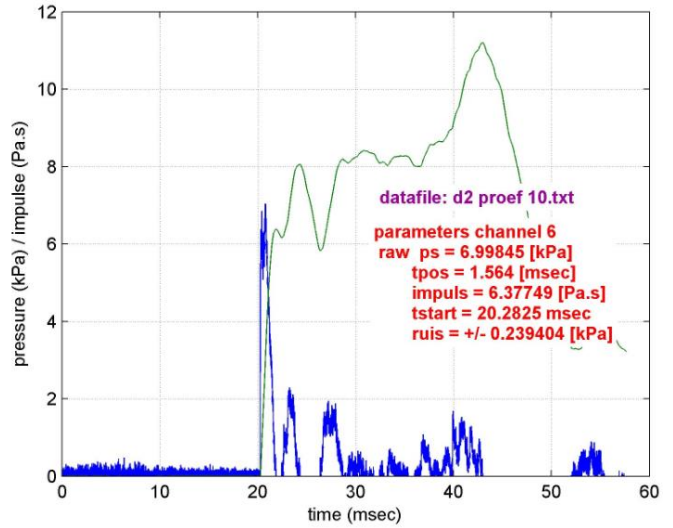
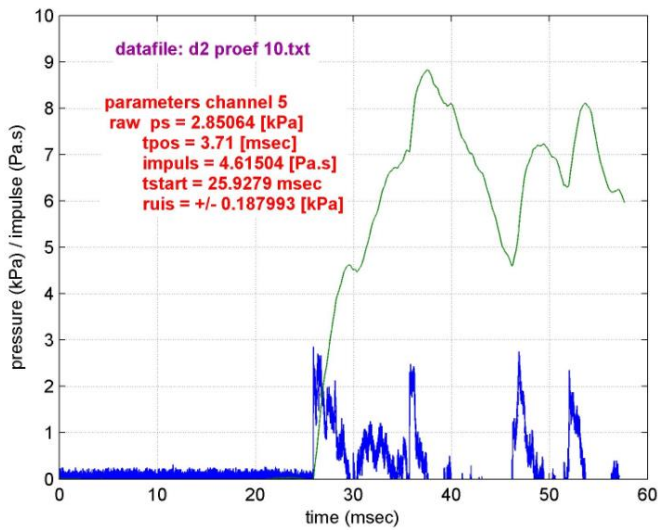
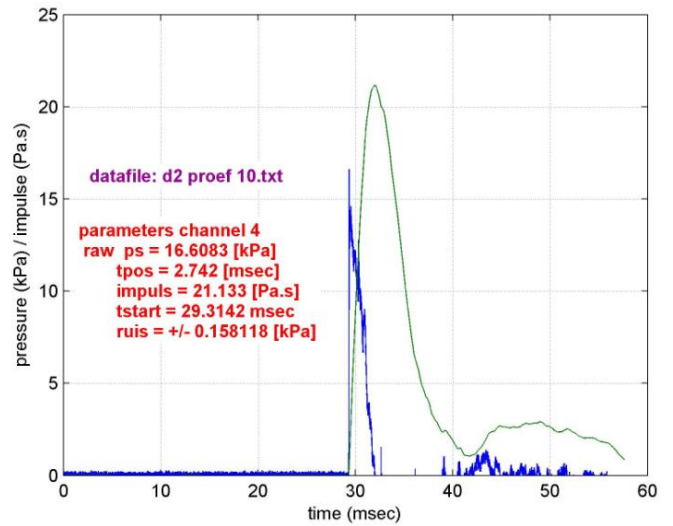
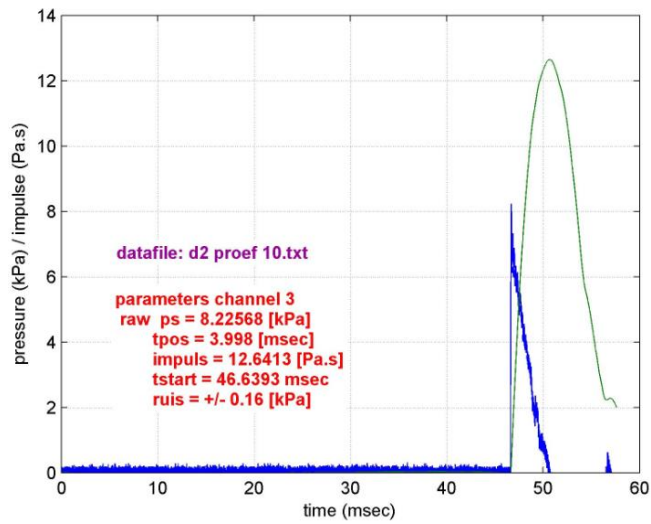


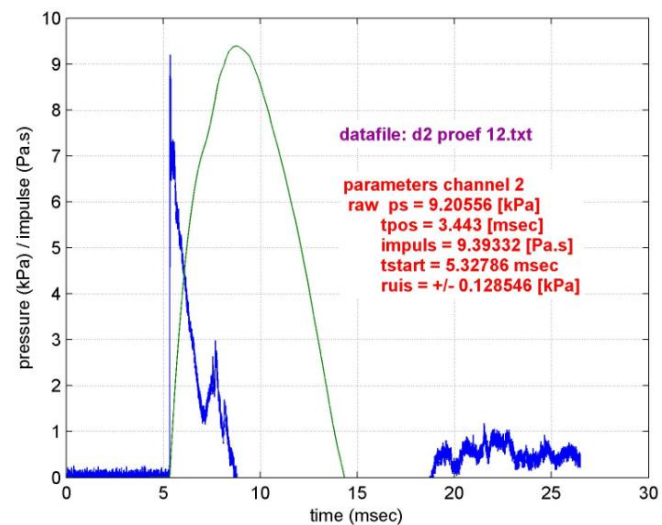
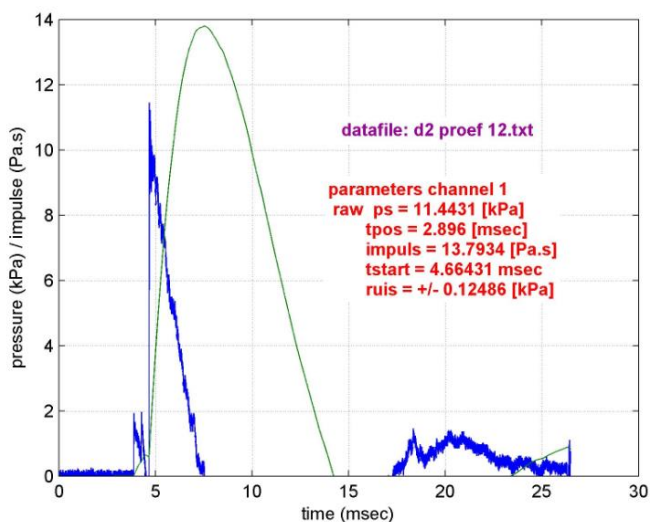
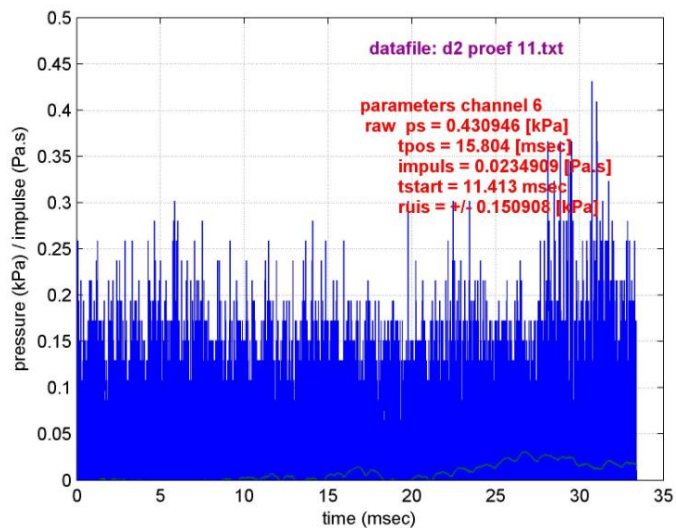
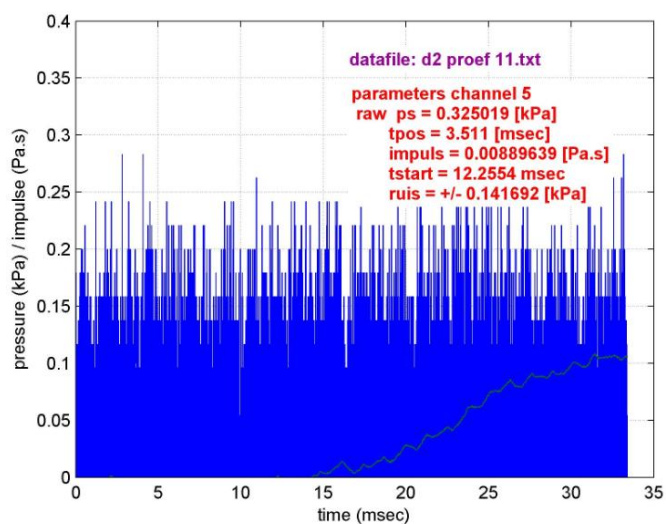
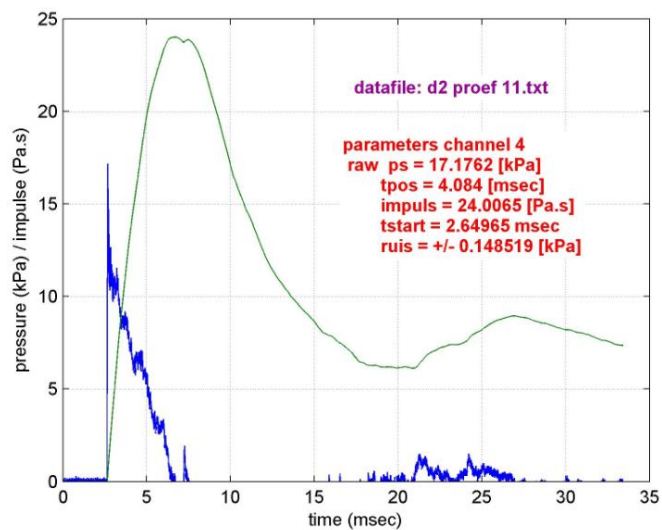
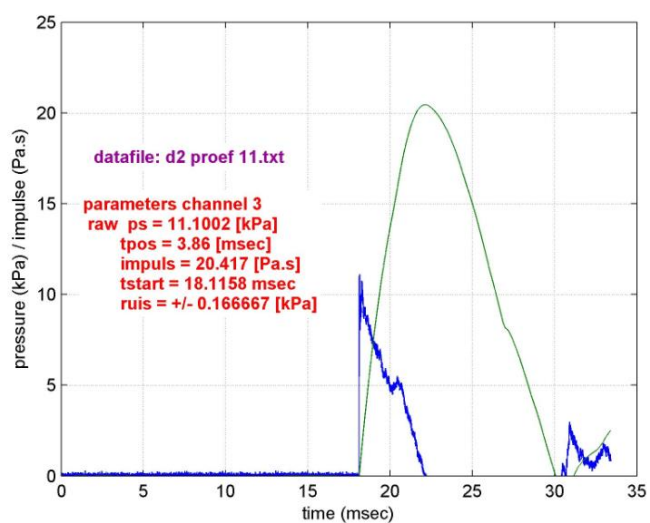


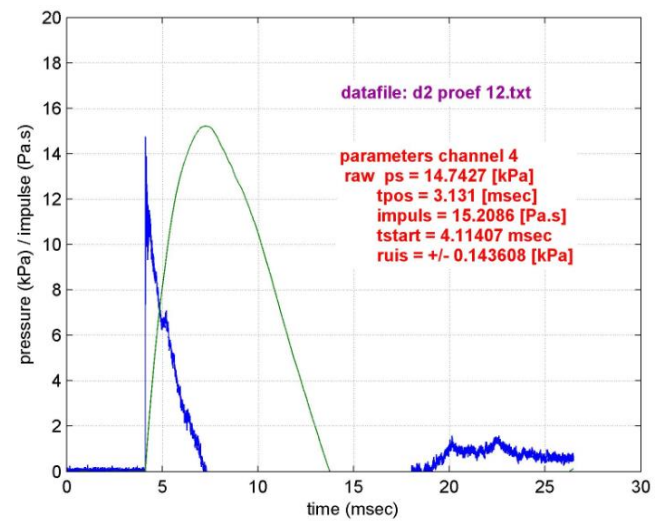
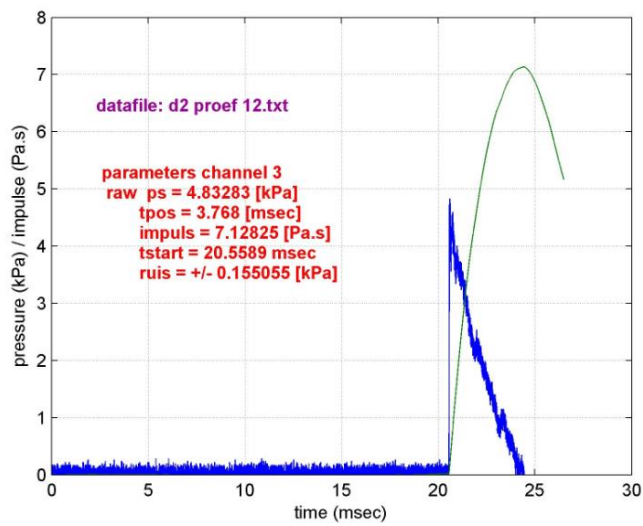












Bijlage F: analyse fragmenten

Een voorbeeld van een kalibratiestok wordt in de onderstaande figuur weergegeven. Door de pixels te tellen die over de afstand van de stok zijn verspreid kan de lengte per pixel worden berekend.



Proef 2

Algemeen	
Begin stok (pixel)	831
Einde stok (pixel)	651
lengte gemeten [m]	0,8
lengte 1 pixel [m]	0,004444444
fps	2000
tijd van 1 frame [s]	0,0005

Fragment 1 meetmomenten	Horizontaal	verticaal	afstand in pixels	afstand in m	frame	snelheid [m/s]
Punt 1	776	266	0,00	0,00	-300	0,00
Punt 2	647	275	129,31	0,57	-55	4,69
Punt 3	522	321	133,20	0,59	180	5,04
Punt 4	511	327	12,53	0,06	200	5,57
Gemiddelde			271,93	1,21		4,83

Fragment 2 meetmomenten	Horizontaal	vertikaal	afstand in pixels	afstand in m	frame	snelheid [m/s]
Punt 1	753	290	0,00	0,00	-320	
Punt 2	559	309	194,93	0,87	-115	8,45
Punt 3	328	359	236,35	1,05	145	8,08
Punt 4	281	379	51,08	0,23	200	8,26
Gemiddelde			480,32	2,13		8,21

Proef 3

Algemeen	
Begin stok (pixel)	737
Einde stok (pixel)	655
lengte gemeten [m]	0,5
lengte 1 pixel [m]	0,006097561
fps	2000
tijd van 1 frame [s]	0,0005

Fragment 1 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	686	390	0,00	0,00	-418	0,00
Punt 2	384	414	302,95	1,35	-149	10,01
Punt 3	253	433	132,37	0,59	-21	9,19
Gemiddelde			435,13	1,93		9,74

Fragment 2 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
punt 1	708	363	0,00	0,00	-418	
punt 2	539	359	169,05	0,75	-149	5,59
punt 3	454	371	85,84	0,38	-21	5,96
punt 4	314	407	144,55	0,64	191	6,06
gemiddelde			396,45	2,42		7,94

Fragment 3 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
punt 1	728	363	0,00	0,00	-418	0,00
punt 2	561	372	167,24	0,74	-149	5,53
punt 3	481	385	81,05	0,36	-21	5,63
punt 4	349	430	139,46	0,62	191	5,85
gemiddelde			384,88	1,71		5,62

Proef 4

Algemeen	
Begin stok (pixel)	275
Einde stok (pixel)	135
Lengte gemeten [m]	0,5
Lengte 1 pixel [m]	0,003571429
Fps	2000
Tijd van 1 frame [s]	0,0005

Fragment 1 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	243	388	0,00	0,00	-442	0,00
Punt 2	357	399	114,53	0,41	-363	10,36
Punt 3	538	423	182,58	0,65	-239	10,52
Punt 4	732	448	195,60	0,70	-103	10,27
Gemiddelde			492,67	1,76		10,38

Fragment 2 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	203	362	0,00	0,00	-442	
Punt 2	294	369	91,27	0,33	-363	8,25
Punt 3	424	380	130,46	0,47	-239	7,52
Punt 4	567	405	145,17	0,52	-103	7,62
Gemiddelde			366,53	1,31		7,72

Proef 6

Algemeen	
Begin stok (pixel)	852
Einde stok (pixel)	763
Lengte gemeten [m]	0,5
Lengte 1 pixel [m]	0,005617978
Fps	2000
Tijd van 1 frame [s]	0,0005

Fragment 1 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	209	192	0,00	0,00	-428	0,00
Punt 2	331	204	122,59	0,69	-270	8,72
Punt 3	438	225	109,04	0,61	-142	9,57
Punt 4	564	249	128,27	0,72	0	10,15
Gemiddelde			359,55	2,02		9,44

Fragment 2 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	157	229	0,00	0,00	-428	
Punt 2	235	243	79,25	0,45	-270	5,64
Punt 3	292	263	60,41	0,34	-142	5,30
Punt 4	362	293	76,16	0,43	0	6,03
Gemiddelde			214,76	1,21		5,64

Fragment 3 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	200	212	0,00	0,00	-428	
Punt 2	294	225	94,89	0,53	-270	6,75
Punt 3	377	242	84,72	0,48	-142	7,44
Punt 4	473	266	98,95	0,56	0	7,83
Gemiddelde			278,29	1,56		7,31

Proef 7

Algemeen	
Begin stok (pixel)	640
Einde stok (pixel)	753
Lengte gemeten [m]	0,6
Lengte 1 pixel [m]	0,004424779
Fps	2000
Tijd van 1 frame [s]	0,0005

Fragment 1 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	712	348	0,00	0,00	-355	0,00
Punt 2	547	353	165,08	0,73	-270	17,19
Punt 3	384	362	163,25	0,72	-187	17,41
Punt 4	171	376	213,46	0,94	-75	16,87
Gemiddelde			541,72	2,40		17,12

Fragment 2 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	761	255	0,00	0,00	-355	
Punt 2	700	255	61,00	0,27	-270	6,35
Punt 3	641	256	59,01	0,26	-187	6,29
Punt 4	562	262	79,23	0,35	-75	6,26
Gemiddelde			199,12	0,88		6,29

Fragment 3 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	722	335	0,00	0,00	-355	
Punt 2	580	347	142,51	0,63	-270	14,84
Punt 3	439	357	141,35	0,63	-187	15,07
Punt 4	249	375	190,85	0,84	-75	15,08
Gemiddelde			474,69	2,10		15,00

Proef 8

Algemeen	
Begin stok (pixel)	750
Einde stok (pixel)	866
Lengte gemeten [m]	0,6
Lengte 1 pixel [m]	0,004310345
Fps	2000
Tijd van 1 frame [s]	0,0005

Fragment 1 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	826	265	0,00	0,00	-283	0,00
Punt 2	719	265	107,00	0,47	-123	5,92
Punt 3	591	285	129,55	0,57	68	6,00
Punt 4	503	320	94,70	0,42	205	6,12
Gemiddelde			327,65	1,45		5,94

Fragment 2 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	828	322	0,00	0,00	-283	
Punt 2	740	332	88,57	0,39	-123	4,90
Punt 3	641	362	103,45	0,46	68	4,79
Punt 4	573	391	73,93	0,33	205	4,78
Gemiddelde			264,17	1,17		4,79

Fragment 3 meetmomenten	Horizontaal	Verticaal	Afstand in pixels	Afstand in m	Frame	Snelheid [m/s]
Punt 1	850	280	0,00	0,00	-283	
Punt 2	786	279	64,01	0,28	-123	3,54
Punt 3	718	293	69,43	0,31	68	3,22
Punt 4	664	315	58,31	0,26	205	3,77
Gemiddelde			189,26	0,84		3,43