

Onderzoek ontwerp Vuurwerkopslag

Bijlagen



Student: L.J. Visser
Studienummer: 9894506
Datum: 25 oktober 2002

Afstudeerder:	L.J. Visser	Student B&B, CT, TU Delft
Afstudeercommissie:	Prof. dipl-ing. J.N.J.A. Vamberský (voorzitter) Ir. E.V. Brands Ir. T.H.W. Horstmeier Ir. S.I. Suddle Dr. ir. J. Weerheijm	Hoogleraar Utiliteitsbouw, TU Delft, directeur Corsmit ProXYZ Consultancy, Gouda Civiele Bedrijfskunde, TU Delft Promovendus Veiligheid bij Meervoudig Ruimtegebruik, TU Delft Explosie preventie en bescherming, TNO Prins Maurits Laboratorium, Rijswijk (ZH)
Informanten:	Drs. M. van der Plas Ing. J.G.A.M. Verbakel	Expertisecentrum Externe Veiligheid en Vuurwerk (CEV), RIVM, Bilthoven Ministerie van VROM, Den Haag

INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN

1	BEGRIPPEN	6
1.1	Vuurwerk	6
1.2	Externe veiligheid	7
1.3	Processen	10
1.4	Constructie	10
2	ALGEMENE WETGEVING	11
2.1	Vuurwerk	11
2.2	Externe veiligheid	11
2.3	Proces	12
2.4	Constructie	12
2.5	Samenvattend	13
3	EXPLOSIEVE STOFFEN	14
3.1	Definitie	14
3.2	Chemische explosies	14
3.3	Initiatie en gevoeligheid	14
3.4	Reagerende stoffen	15
3.5	Energiebeschouwing	15
3.6	Verhouding energie explosie-effecten	16
3.7	Pyrotechnische middelen	17
3.8	Detonatie versus deflagratie	18
3.9	Schadecriteria	19
3.10	Letselcriteria	19
4	SCHOKGOLF-EFFECTEN	22
4.1	Schokgolf	25
4.2	Detonatiegolf	25
5	VISUALISATIE ONTWERP	27
6	BROKSTUK BAAN	35
6.1	Formules model	35
6.2	Voorbeeld model brokstukbaan	38

7	AARDEN WAL	41
7.1	Statische berekening	41
7.2	Dynamische berekening	43
7.3	Beperking breedte aarden wal	44
8	ELASTISCHE BEREKENING DAK	46
9	EXTERN TRANSPORT	48
10	BEDRIJVEN & INSTANTIES	49
10.1	LMIP	49
10.2	ProXYZ	50
10.3	RIVM (CEV)	50
10.4	TUD	51
10.5	TNO-PML	51
10.6	VROM	52
10.7	VEN	53
11	NPR 7910-2	54
12	LITERATUURLIJST	56
13	PERSONEN & INSTANTIES	59
14	INTERNETLOCATIES	59

1 Begrippen

Dit hoofdstuk bevat omschrijvingen van basisbegrippen die overeen komen met de visie die het VROM in het vuurwerkbesluit is geëtaleerd, tenzij anders aangegeven.

1.1 Vuurwerk

De essentiële basisbegrippen rondom vuurwerk worden hier in het kort beschreven. De meeste beschrijvingen zijn terug te vinden in het Vuurwerkbesluit.

Tabel 1.1: Basisbegrippen vuurwerk

Basisbegrip	Verklaring
Vuurwerk	: Een product of voorwerp waarin of waarop een sas aanwezig is en dat bestemd is om voor vermakelijkheidsdoelen tot ontbranding gebracht te worden [31]
Gevaarlijke stof	: Stof die of preparaat dat bij of krachtens het Besluit verpakking en aanduiding milieugevaarlijke stoffen en preparaten is ingedeeld in een categorie als bedoeld in artikel 34, tweede lid, van de Wet milieugevaarlijke stoffen [31]
Detonatie	: De stof reageert in een front dat zich met een snelheid hoger dan 1.000 m/s door de massa voorplant.
Deflagratie	: De stof reageert in een front dat zich met een snelheid lager dan 1.000 m/s door de massa voorplant.
Vuurwerk	: Pyrotechnische voorwerpen bestemd voor licht- en geluidseffecten [18]
Explosieve stoffen	: Stoffen of mengsels van stoffen, waar doorheen een exotherme chemische reactie voortschrijdt, zonder dat daarvoor toevoer van energie of materie (zuurstof) van buiten nodig is [18]
Kruit	: Explosieve stof, waarvan het gebruik berust op de eigenschap dat het explosief kan verbranden onder sterke gasvorming [18]
Sassen (Pyrotechnische mengsels)	: Stoffen of mengsels van stoffen bestemd om als gevolg van niet-detonatieve, zichzelf onderhoudende exotherme chemische reacties een effect te veroorzaken in de vorm van warmte, licht, geluid, gas of rook of een combinatie hiervan [18]
Consumenten vuurwerk	: Vuurwerk dat is bestemd voor particulier gebruik [31]
Professioneel vuurwerk	: <ul style="list-style-type: none"> • Vuurwerk, niet zijnde consumentenvuurwerk; pyrotechnische stof of pyrotechnisch preparaat: stof of preparaat bestemd om als gevolg van niet-detonatieve, zichzelf onderhoudende exotherme chemische reacties een effect te veroorzaken in de vorm van warmte, licht, geluid, gas of rook of een combinatie daarvan [31] • Een door Onze Minister aangewezen stof of een preparaat, een voorwerp of een onderdeel van een voorwerp dan wel een stof of een preparaat, een voorwerp of een onderdeel van een voorwerp dat behoort tot een door Onze Minister bij ministeriele regeling aangewezen categorie, voor zover die stof of dat preparaat, dat voorwerp of dat onderdeel van een voorwerp kennelijk is gestemd of wordt gebruikt om voor vermakelijkheidsdoeleinden effecten te bewerkstelligen [31] • Vuurwerk met onbekende bestemming of doeleinden [31]

Primaire verpakking	: verpakking waarin zich meer dan één exemplaar bevindt van eenzelfde type vuurwerk, bedoeld om in zijn geheel aan de consument ter beschikking te worden gesteld [31]
Onverpakt vuurwerk	: vuurwerk inclusief de primaire verpakking zover het vuurwerk zich daarin bevindt, doch exclusief de vervoersverpakking als bedoeld in het ADR [3] [31]
Verpakt vuurwerk	: vuurwerk, inclusief de vervoersverpakking als bedoeld in het ADR [31]
Bewerken van	: <u>Professioneel vuurwerk</u> : bewerken, verwerken, verpakken, herverpakken, voormonteren, monteren en assembleren [31] <u>Consumenten vuurwerk</u> : handelingen gericht op het positief beïnvloeden van de stabiliteit, waardoor de kans op omvallen of afbreken tijdens het afsteken wordt verkleind, waarbij geen pyrotechnische stof wordt verwijderd of toegevoegd [31]
Ontsteken van vuurwerk	: Het, al dan niet op de voorgeschreven wijze, tot ontbrandingstemperatuur brengen van een stuk vuurwerk, zodat de pyrotechnische stof tot ontbranding komt [eigen definitie]



Figuur 1.1: Omgevingschade vuurwerkcramp Enschede {2}

1.2 Externe veiligheid

Externe veiligheid als zodanig wordt op twee verschillende manieren behandeld. Via de effecten methode en de risicobenadering.

De effecten methode gaat er vanuit dat de gebeurtenis plaatsvindt en rekt vervolgens met de minimalisering van de effecten van die gebeurtenis. Een dergelijke effectenbenadering is gebruikt bij het samenstellen van het vuurwerkbesluit.

Door elke afzonderlijke stap, die leidt tot de gebeurtenis, apart te beschouwen en de kans erop mee te laten wegen in de uitspraken over de totale gebeurtenis benadert men de gebeurtenis met een risicoanalyse. Deze benadering vraagt een diepgaand onderzoek naar alle mogelijke oorzaak-relaties met de feitelijke gebeurtenis waarbij het zoeken naar risico-relaties slechts op basis van praktijksituaties kan worden vastgesteld. Dit is een zeer tijdrovend onderzoek en wordt het liefst vermeden, wanneer daartoe de noodzaak, het motief, de tijd en/of het geld ontbreken.

De verschillen tussen deze methoden komen na keuze ervan pas goed openbaar. Zo wordt bij een effectenbenadering zoveel mogelijk gedaan om de effecten van de (zeker) optredende gebeurtenis te beperken totdat zij binnen acceptabele waarden vallen. Een voorbeeld hiervan is het dichtspijkeren van winkelruiten ter voorkoming van schade door 'voetbalsupporters'. Bij een risicobenadering wordt veel effort gestopt in het voorkomen van de gebeurtenis zelf. In de lijn van het vorige voorbeeld zouden 'voetbalsupporters' dan in het proces van komen tot vandalisme eerder tot staan worden gebracht, door bijvoorbeeld strengere straffen, preventief beleid of een door voetballers aan het einde van de wedstrijd geplaatste oproep aan hun publiek.

Hieronder worden diverse rapporten opgesomd, waar in de literatuur naar wordt verwezen. Rapporten zijn niet regel- of wetgevend, maar geven een beeld van de beschikbaarheid van bestaande vuurwerk/veiligheid kennis.

Tabel 1.2: Literatuur effectenbenadering

Effectenbenadering	
NATO AASTP-1	: Het Allied Ammunition, Storage and Transport Publication, AASTP –1 [2], is een handboek van NATO over opslag van munitie. Dit is niet beschikbaar voor particulieren, maar slechts voor Defensie onderdelen van overheid, mits de betreffende natie is aangesloten bij de NATO. Een klein gedeelte ervan is aanwezig in het afstudeerproject dossier
MP 40 – 21	: Het MP 40-21 [18], uitgave 1997, is het handboek dat is gepubliceerd door het ministerie van Defensie. In dit handboek zijn voorschriften opgenomen voor het opslaan van en bewerkingen aan explosieve stoffen en munitie
PML 2001.C73	: Dit TNO-rapport [24] geeft een overzicht van de selectie en aanpassingen vanuit het AASTP-1 en het MP 40-21 geadviseerd aan de Nederlandse overheid met betrekking tot het nieuw te vormen vuurwerkbesluit. Omdat professioneel vuurwerk mogelijk dezelfde eigenschappen bezit als explosieve stoffen is gedeeltelijk bij dit handboek aangesloten. De voorschriften van MP 40-21 zijn hierin toegespitst op professioneel vuurwerk en waar nodig aangepast. "Richtlijnen voor de opslag en bewerking van vuurwerk" is opgesteld door TNO Prins Maurits Laboratorium en is gerubriceerd als rapportnummer PML 2001-C73, mei 2001

Tabel 1.3: Literatuur risicobenadering

Risicobenadering	
Kansen in de Civiele Techniek	: "Kansen in de civiele techniek" is een door het Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR) uitgebracht dictaat. Het vormt een handboek, met civieltechnische achtergrond, met theorie om probabilistisch te kunnen ontwerpen. Uitgever Gouda: CUR, 1997. ISBN 90-376-0102-2 [16]
Groepsrisico bij externe veiligheid	: De handrekenmethode voor het groepsrisico bij Externe Veiligheid is opgenomen in het RIVM Rapport 610066004. Dit rapport beschrijft de generieke groepsrisicomethodiek die is ontwikkeld voor de lokale ruimtelijke ordening autoriteiten voor het inschatten van het effect op het groepsrisico van bouwplannen rond EVR-plichtige inrichtingen zonder het opnieuw uitvoeren van een risico-analyse. De methode maakt gebruik van informatie uit het externe veiligheidsrapport (EVR) welke voor de autoriteiten beschikbaar is. Deze informatie betreft de Potential Loss of Life, de F-N curve en de ligging van de individuele risicocontouren

Risicobenadering	
Overzicht veiligheidsafstanden	: Een overzicht van veiligheidsafstanden voor de opslag van vuurwerk in Nederland en enkele andere landen is gegeven in "A survey of safety distances for the storage of fireworks in the Netherlands and some other countries" door Matthijssen AJCM, RIVM Rapport 610066013 [27]. Het blijkt dat voor kleine opslagen in Nederland relatief kleine veiligheidsafstanden worden aangehouden. Voor de grote opslagen zijn de in Nederland voorgeschreven veiligheidsafstanden groter dan in Duitsland en vergelijkbaar met die in de V.S. en Engeland

De veiligheid met betrekking tot de omliggende verblijfgebieden wordt onder de noemer externe veiligheid behandeld. De belangrijkste begrippen hierbij zijn hieronder opgenomen.

Tabel 1.4: Basisbegrippen externe veiligheid

Basisbegrip	Verklaring
Bevoegd gezag	: Bestuursorgaan dat in dit kader bevoegd is of zou zijn een vergunning krachtens artikel 8.1 van de Wet milieubeheer te verlenen, voor een inrichting waar consumentenvuurwerk of professioneel vuurwerk wordt opgeslagen of bewerkt [31]
Bestemmingsgrens	: Grens van het perceel waarop de bouw, vestiging of plaatsing van een kwetsbaar object op grond van het voor het betrokken gebied geldende bestemmingsplan geëffectueerd of toelaatbaar is [31]
Kwetsbaar object	: Object waarvan de aard en functie of gemiddelde verblijfstijd van personen zodanig zijn, dat bij schade aan het object persoonlijk letsel vrijwel onvermijdelijk is, zoals: woningen, dagopvang, onderwijsinstellingen, ziekenhuizen, gebouwen/terreinen t.b.v. arbeid, winkels, hotels, kerken, rijkswegen, spoorwegen, enzovoorts [eigen definitie]
Geprojecteerd kwetsbaar object	: Nog niet aanwezig kwetsbaar object dat op grond van het voor het betrokken gebied geldende bestemmingsplan toelaatbaar is [31]
Veiligheidsafstanden	: In bijlage 3 van het vuurwerkbesluit wordt bepaald wat de veiligheidsafstanden moeten zijn per geval. Voorlopig is het hier voldoende te beseffen wat een veiligheidsafstand inhoudt: <i>Afstand die met het oog op de kwaliteit van het milieu voor zover het betreft externe veiligheid tenminste moet zijn gelegen tussen een inrichting als bedoeld in de artikelen 2.2.1, 2.2.2 en 3.2.1, of een onderdeel van een zodanige inrichting, dan wel een zodanige inrichting waarvoor het geldende bestemmingsplan verlening van een bouwvergunning toelaat enerzijds en kwetsbare objecten en geprojecteerde kwetsbare objecten anderzijds [31]</i> De Veiligheidsafstanden, bedoeld in bijlage 3 van het vuurwerkbesluit worden, voor zover deze in acht genomen moeten worden bij de vaststelling van een besluit als bedoeld in artikel 4.2, aangemerkt als grenswaarde als bedoeld in artikel 5.1, derde lid, van de Wet milieubeheer. Dat wil zeggen dat er tenminste aan deze afstand voldaan moet zijn [31]
<u>Vuurwerkconcentratie gebieden</u>	: Een vuurwerkconcentratiegebied is een, door de overheid aangewezen, gebied waarin een bundeling van verschillende vuurwerkinrichtingen plaatsvindt, waarbij de interne afstand tussen de inrichtingen (6.000 kg) minder mag zijn dan 800 m en de externe afstand van het gehele

vuurwerkconcentratiegebied 800 meter is [31], zie ook par. 6.4

1.3 Processen

Van het produceren van het vuurwerk tot en met het afsteken is een uitgebreid proces. De handelingen die door het vuurwerkbedrijf worden uitgevoerd is het gedeelte van import tot ontsteken. Het onsteken vindt plaats op een van te voren vastgestelde locatie waar de vuurwerkshow is gepland.

Tabel 1.5: Basisbegrippen processen

Basisbegrip	Verklaring
Werkplan	: Een vuurwerkbedrijf is verplicht om voor het afsteken van het vuurwerk een werkplan te maken waarin exact omschreven staat welk vuurwerk zal worden afgestoken, welke personen aanwezig zijn, enzovoorts [31]

1.4 Constructie

In de bijlagen 1 en 2 van het vuurwerkbesluit worden voorschriften gegeven voor het opslaan van vuurwerk gegeven.

Tabel 1.6: Basisbegrippen constructie

Basisbegrip	Verklaring
Automatische sprinklerinstallatie	: Vast leidingstelsel voorzien van sprinklers (sproeiers) die worden afgesloten door een hittegevoelig element of een systeem met sprinklers of sprinklerkoppen (deluge) dat wordt aangestuurd door een automatisch detectiesysteem, dat in geval van een brand wordt aangesproken, waardoor de sprinklers water gaan verspreiden [31]
Bewaarplaats	: Besloten ruimte, bestemd voor het bewaren van verpakt vuurwerk [31]
Bewerkingsruimte	: Besloten ruimte, bestemd voor het bewerken van vuurwerk [31]
Brandwerendheid	: <ul style="list-style-type: none"> • Van bouwonderdelen: Tijd uitgedrukt in minuten, gedurende welke een bouwkundig onderdeel van een gebouw, niet zijnde een deur-, luik- of raamconstructie, zijn functie moet kunnen blijven vervullen bij verhitting, bepaald volgens NEN 6069, uitgave 1991 [31] • Van deur-, luik- en raamconstructies: Tijd uitgedrukt in minuten, gedurende welke deur-, luik- en raamconstructies weerstand bieden tegen bezwijken en vlamdicht blijven in geval van brand, bepaald volgens NEN 6069, uitgave 1991 [31]
Domino-effect	: Effect dat de risico's van een ongeval binnen de inrichting of de gevolgen daarvan, buiten de inrichting groter kunnen zijn dan op grond van de in een inrichting aanwezige afzonderlijke hoeveelheden vuurwerk en gevaarlijke stoffen kan worden verwacht [31]

2 Algemene wetgeving

De relevante wet- en regelgeving wordt kort samengevat, waarbij de onderverdeling in vuurwerk, externe veiligheid, proces en constructies ter verduidelijking wordt vastgehouden.

2.1 Vuurwerk

Op het gebied van vuurwerk is maar één wetgeving aan te wijzen die bindend is voor de bezitter, gebruiker en handelaar van vuurwerk. Dat is het per 1 maart 2002 van kracht geworden vuurwerkbesluit. Er is meer wetgeving te noemen die ook over vuurwerk handelt, maar die is van kracht voor specifieke doelgroepen, zoals politie, milieutoezichthouders, enzovoorts.

Tabel 2.1: Wet- & regelgeving vuurwerk

Wet- & regelgeving	Verklaring
Vuurwerkbesluit	: Het vuurwerkbesluit van 22 januari 2002, is het belangrijkste document met betrekking tot wet- en regelgeving. Dit nieuwe document is een overkoepelend en bundelend stuk wetgeving. In principe is in het vuurwerkbesluit alle wetgeving voor Nederland opgenomen op het gebied van vuurwerk.
Wet rampen en zware ongevallen	: Het vuurwerkbesluit verwijst naar het derde lid van artikel 2c. Deze wetgeving omschrijft de rampenplannen en rampenbestrijdingsplannen van lokale gemeenten. Deze wet is van 30 januari 1985 en houdt regels inzake de rampenbestrijding en de voorbereiding daarop. Versie geldig vanaf: 27-04-2001
Wet wapens en munitie	: Het vuurwerkbesluit verwijst naar het vijfde lid van artikel 9 onder b. Deze wet is van 5 juli 1997, houdende regels inzake het vervaardigen, verhandelen, vervoeren, voorhanden hebben, dragen enz. van wapens en munitie Versie geldig vanaf: 27-04-2001

2.2 Externe veiligheid

Het vuurwerkbesluit is ook maatgevend als het gaat om de externe veiligheid, juist omdat in het vuurwerkbesluit wordt uitgegaan van een veilige benadering voor de omgeving. Er wordt echter ook verwezen naar externe wetten die zijn verwerkt in het vuurwerkbesluit. Onderstaande wetten worden aangehaald en hebben vooral betrekking op het milieu.

Tabel 2.2: Wet- & regelgeving externe veiligheid

Wet- & regelgeving	Verklaring
Wet milieugevaarlijke stoffen	: Het vuurwerkbesluit verwijst naar artikel 24, 31 en 34 van de wet milieugevaarlijke stoffen. Deze wet is van 5 december 1985, houdende regelen ter bescherming van mens en milieu tegen gevaarlijke stoffen en preparaten. Versie geldig vanaf: 09-11-2001
Wet milieubeheer	: Het vuurwerkbesluit verwijst naar artikel 8.1, 8.2, 8.4, 8.5 en 8.7 van de wet milieubeheer. Deze wet is van 13 juni 1979, houdende regelen met betrekking tot een aantal algemene onderwerpen op het gebied van de milieuhygiëne. Versie geldig vanaf: 01-01-2002
Transactiebesluit milieudelicten	: Besluit van 8 juli 2000, houdende aanwijzing van lichamen en personen, met een publieke taak belast, die bevoegd zijn tot het aanbieden van een strafrechtelijke transactie inzake milieudelicten en vaststelling van de grenzen waarbinnen die bevoegdheid kan worden uitgeoefend. Versie geldig vanaf: 01-01-2002

2.3 Proces

Het vuurwerkproces dat eigenlijk het hele traject inhoudt van productie tot en met afsteken wordt overkoepelend behandeld in het vuurwerkbesluit. Aanvullende wet- en regelgeving is o.a. te vinden bij de ARBO die richtlijnen heeft opgesteld voor het werken met gevaarlijke stoffen. Ook het transport is aan specifieke wetgeving onderhevig om zo een zo groot mogelijke veiligheid te garanderen.

Tabel 2.3: Wet- & regelgeving proces

Wet- & regelgeving	Verklaring
Arbowetgeving	: Wetgeving ten behoeve van de veiligheid van de werknemer. De interne veiligheidsaspecten die niet direct van invloed zijn op de externe veiligheid zullen niet worden meegenomen in het afstudeerwerk
Arbeidsomstandighedenbesluit	: In het vuurwerkbesluit wordt verwezen naar artikel 4.8. Hoofdstuk 3 beschrijft de inrichting van arbeidsplaatsen. Het is het besluit van 15 januari 1997, houdende regels in het belang van de veiligheid, de gezondheid en het welzijn in verband met de arbeid. Versie geldig vanaf: 01-01-2002
Besluit vervoer gevaarlijke stoffen	: Voor het vervoer van gevaarlijke stoffen wordt in het vuurwerkbesluit verwezen naar artikel 4 van het besluit vervoer gevaarlijke stoffen (let op, punt h wordt gewijzigd in vuurwerkbesluit). Dit is het besluit van 5 juni 1996, houdende vaststelling van nadere regels voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Versie geldig vanaf: 01-08-1996
ADR	: Deze op 30 september 1957 te Genève tot stand gekomen Europese overeenkomst betreffende het internationale vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg (Trb. 1959, 171), bevat naast internationale transportrichtlijnen voor gevaarlijke stoffen ook de internationale classificatie van vuurwerk. Het ADR [3] is in de Engelse versie beschikbaar op internet {1}
Besluit verpakking en aanduiding milieugevaarlijke stoffen en preparaten	: Hoe verpakking en aanduiding op de vuurwerkartikelen is geregeld is te vinden in het besluit verpakking en aanduiding milieugevaarlijke stoffen en preparaten. Deze bevat artikelen waarin beschreven de gevaarlijke eigenschappen van vuurwerk. Dit is het wet besluit van 14 oktober 1987, houdende regels met betrekking tot de verpakking en aanduiding van milieugevaarlijke stoffen en bepaalde gevaarlijke preparaten. Versie geldig vanaf: 08-06-2001

2.4 Constructie

In het vuurwerkbesluit worden wel bepaalde eisen aan de constructie gesteld, maar deze is niet uitgewerkt op zo'n gedetailleerd niveau waaruit ontworpen kan worden, zodat ook hier is aanvullende regelgeving nodig is. NEN-normen en richtlijnen zijn een belangrijk handvat bij het ontwerp van een constructie.

Tabel 2.4: Wet- & regelgeving constructie

Wet- & regelgeving	Verklaring
NPR 7910-2	: Deze norm geeft regels voor gevarezone-indeling met betrekking tot ontploffingsgevaar. Het gaat hierbij om deel 2: Stofontploffingsgevaar, gebaseerd op NEN-EN 50281-3, uitgave 2001. Deze norm is te bestellen bij het NEN- instituut en een samenvatting ervan is opgenomen in de bijlage 3

NEN-normen	: Door de Stichting Nederlands Normalisatie-Instituut zijn vele normen uitgegeven. Alle normen zijn te bestellen bij het NEN-instituut of er ter plaatse in te zien
CPR 15	: Handboek brandbestrijdingssystemen (1993, CPR 15 supplement). Dit handboek is uitgegeven door de Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen en is beschikbaar op internet {7}
CPR 7	: De bewaring van springstoffen en ontstekingsmiddelen wordt geregeld in de CPR 7. Deze richtlijn is volgens TNO echter verouderd en wordt op een aantal punten herzien
Besluit opslag- en transportbedrijven milieubeheer	: Naar aanleiding van het vuurwerkbesluit is bijlage b, onderdeel c (1) gewijzigd. Het is het besluit van 15 juni 2000, houdende regels voor inrichtingen ten behoeve van de opslag van goederen. Versie geldig vanaf: 01-12-2001

2.5 Samenvattend

Dit hoofdstuk bevat zowel basisbegrippen als een overzicht van wet- en regelgeving op het gebied van vuurwerk, externe veiligheid, processen en constructies. Op het gebied van wet- en regelgeving is het Vuurwerkbesluit het belangrijkste document, omdat deze overkoepelend behoort te zijn. Het vuurwerkbesluit verwijst naar aanverwante en opgesomde nadere wet- en regelgeving.

Het ADR is belangrijk omdat hierin de verschillende (vuurwerk-)klassen worden uitgewerkt en voorgeschreven. Het rapport "Richtlijnen voor opslag en bewerking van vuurwerk" is interessant omdat hierin adviserende richtlijnen worden behandeld voor vuurwerkopslagen. Het rapport "Overzicht veiligheidsafstanden" van het RIVM laat zien hoe in verschillende landen wordt omgegaan met de veiligheid betreffende vuurwerkbedrijven.

3 Explosieve stoffen

De basiskennis en de voornaamste verwijzingen naar aanvullende literatuur met betrekking tot explosies is vooral opgedaan uit het rapport PML 2001 A27. De Koninklijke Militaire Academie (KMA) heeft het TNO Prins Maurits Laboratorium opdracht gegeven voor het samenstellen van dit rapport. Dit rapport vat bestaande kennis over explosieve stoffen samen en voegt hier specifieke kennis van TNO aan toe. De voor het afstudeerwerk relevante informatie is, na toestemming van TNO, uit het rapport overgenomen en uitgewerkt [23].

3.1 Definitie

Er bestaan fysische explosies (ploffes van drukvat, knappen van fietsband) en chemische explosies (snelle oxidatie van brandstof elementen).

Explosie: In het algemeen noemt men een proces een explosie wanneer de energie vrij komt binnen een zeer korte tijd en in een beperkt volume zodat zich een drukgolf vormt van eindige amplitude die zich van het explosiepunt af beweegt. De vrijgekomen energie kan in het systeem opgeslagen hebben gezeten als nucleaire, chemische, elektrische of drukenergie. De energie vrijgave wordt alleen 'explosief' genoemd wanneer deze snel plaats vindt en geconcentreerd genoeg om een drukgolf te veroorzaken. Alhoewel een explosie veel schade aan de omgeving kan aanrichten, hoeft deze niet altijd tot schade te leiden. Een eis is dat de explosie zo krachtig is dat deze hoorbaar moet zijn [19].

3.2 Chemische explosies

In het algemeen zijn er twee typen reacties mogelijk bij verbranding of detonatie (Smith en Hutherington, 1994, en Cooper en Kurowski, 1996). Bij het eerste type zijn er twee separate reagerende elementen (brandstof en zuurstof). Een voorbeeld hiervan is de methaanverbranding. Een methaan molecuul (CH_4) en twee zuurstof moleculen (2O_2) vormen samen koolstofdioxide en water(-damp). Bij het tweede type reactie wordt de zuurstof en brandstof in één molecuul opgeslagen. Vanuit dit molecuul worden tijdens de reactie verbrandingsproducten ontleed. De meeste springstoffen en voortstuwende ladingen bevatten de vier elementen C, H, N en O (de zogenaamde CHNO-explosieven). Een snelle oxidatie van een stof resulteert in een nieuwe opbouw van de stof, het vormen van reactieproducten en het vrijkomen van warmte. Per stof zullen deze eigenschappen verschillen, zodat ook de explosie karakteristiek anders zal zijn. De zuurstof balans is een belangrijke indicatie voor een chemische reactie.

3.3 Initiatie en gevoeligheid

Een explosieve stof is een instabiele verbinding die na het toevoegen van een initiatie energie tot een voortschrijdende zichzelf instandhoudende ontbranding komt. Deze initiatie kan plaatsvinden door een zestal impulsen te weten; warmte, stoot, wrijving, vonk, straling en schok. Een explosieve stof is meer of minder gevoelig voor een bepaald initiatiemogelijkheid. Om veilig met explosieve stoffen te werken zijn tal van proeven ontwikkeld die de gevoeligheid voor de afzonderlijke typen bepalen. De gevoeligheid van een explosieve stof is het gemak waarmee een stof d.m.v. een externe energiepuls tot reactie komt. Deze energiepuls kan naast warmte, stoot, wrijving, vonk en straling ook door een schokgolf worden toegevoegd.

- Warmte toevoegen is de meest triviale mogelijkheid om het energieniveau van de explosieve stof te bereiken, waarop een chemische ontbranding zal plaatsvinden. Bij externe toevoeging van warmte kunnen de temperatuur van de stof en de omgevingstemperatuur in evenwicht komen, voordat de ontbrandingstemperatuur is bereikt. De stof kan echter ook zijn initiatietemperatuur bereiken. De kritische temperatuur is de temperatuur die het omslagpunt vormt tussen twee processen die kunnen optreden bij het opwarmen van een explosieve stof. De tijd die, bij een kritische externe temperatuur, nodig is om te komen tot de explosie wordt inductietijd genoemd. Voorbeeld: verwarmen van constructie rond explosieve stof door brand.
- Stoot kan een explosieve stof initiëren door de holtes in de stof te comprimeren. Bij deze compressie komt warmte vrij. Deze lokale warmtebronnetjes worden 'hot spot' genoemd. Afhankelijk van de gevoeligheid van de stof, de duur van de stoot en de temperatuur die bereikt wordt in de 'hot spots', zal er initiatie ontstaan. Voorbeeld: laten vallen van doos met vuurwerk.

- Wrijving ontstaat bij het langs elkaar heen bewegen van twee vlakken. Bij de contactpunten wordt geconcentreerd warmte ontwikkeld die net als bij stoot voor initiatie kan zorgen. Voorbeeld: verschuiven van kapotte doos, zodat explosieve stof door wrijving wordt belast.
- Vonken kunnen voor initiatie zorgen. Het is daarbij van belang de verschillende soorten vonken te onderkennen. Vonken ontstaan door statische elektriciteit en/of door mechanisch botsen, schuren of wrijven. Voorbeelden: bliksem, statische lading persoon, (mis-)slaan hamer.
- Straling (elektromagnetisch) kan bij voldoende intensiteit ook zorgen voor de initiatie op afstand van een explosief. Het vormt dan ook een nieuwe veilige manier om explosieve stoffen op afstand met behulp van een laser te initiëren. Voorbeeld: laser met gerichte stralingsenergie.
- Schokinitiatie leidt bij heterogene stoffen tot het ontstaan van dezelfde 'hot spots' als bij de stootinitiatie. Bij homogene stoffen komt de schokgolf met afnemende snelheid de stof in, waarbij de stof wordt gecompriëerd en er initiatie ontstaat op de plaats waar het langst verhit is (intredepunt schokgolf). Vervolgens zal de stof zelf door de initiatie ook kleine schokgolfjes wegsturen die de invallende schokgolf inhalen en weer versterken. Zo ontstaat er een tijdelijke snellere initiatiegolf, maar uiteindelijk neemt deze snelheid af tot de normale stationaire detonatiesnelheid. Voorbeeld: schokgolf externe explosie.

Het ontstaan van 'hot spots' in pyrotechnische middelen is door de poreuze opbouw van de stof een extra aandachtspunt.

3.4 Reagerende stoffen

Explosieve stoffen zijn stoffen of mengsels van stoffen die als ze tot ontbranding worden gebracht een zelfstandige verbranding kunnen voorzetten. Een explosie omvat een snelle oxidatie van deze brandstofelementen van het explosief, zoals koolstof en waterstof atomen. De zuurstof ten behoeve van de explosie zit opgeslagen in het explosief. Deze stoffen zijn instabiele verbindingen, waarvan de reactieproducten zich op een lager energetisch niveau bevinden. De neiging tot ontleden dient echter wel met een bepaalde hoeveelheid energie, de zogenaamde activeringsenergie, te worden gestimuleerd om de reactie te starten [23].

Bij initiatie van het explosief zal het op heftige wijze ontleden in hete verbrandingsgassen waarbij warmte vrijkomt. De reactiesnelheid van een explosieve stof wordt uitgedrukt in de snelheid waarmee het reactiefront (voortschrijdend front waarin de stof reageert) zich door de explosieve stof voortbeweegt. Deze reactiesnelheid ligt bij een explosieve verbranding ofwel deflagratie tussen de 10^{-3} en de 10^2 m/s. Een detonatie kenmerkt zich door een reactiesnelheid die ligt boven de 10^3 m/s, waarbij de snelheid in ieder geval hoger ligt dan de geluidssnelheid door het betreffende medium.

3.5 Energiebeschouwing

Er komen twee soorten energie vrij bij een explosie: Energie gerelateerd aan de temperatuur die bij een explosie ontstaat (explosiewarmte). Daarnaast een energie die gerelateerd is aan de mechanische energie geassocieerd met de gecompriëerde gassen (zie figuur 3.1).

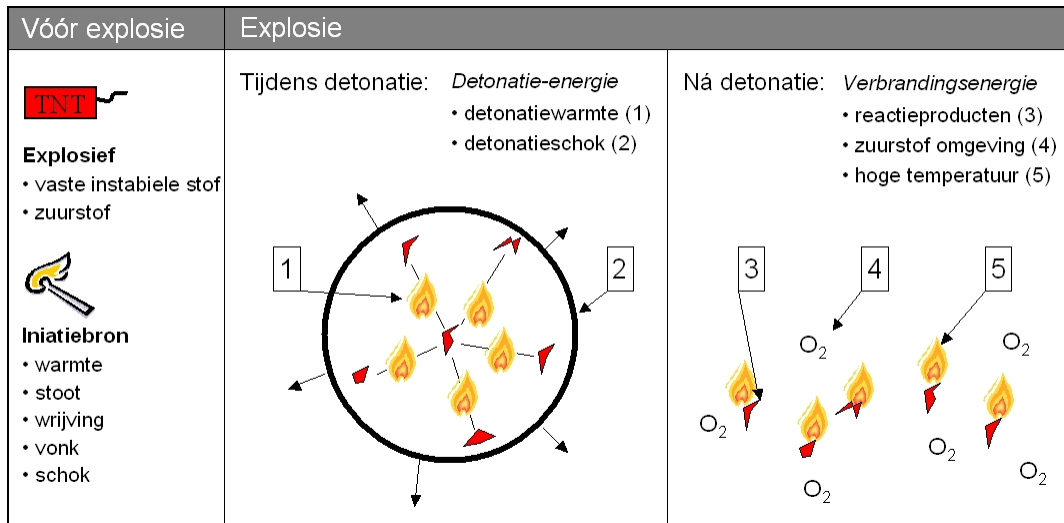
De vrijgekomen energie van een explosie uit zich in een deel thermische energie en een deel mechanische energie. Een explosie leidt dus naast temperatuurstoename, tot een grote hoeveelheid zeer gecompriëerde detonatiegassen. De explosiewarmte is gerelateerd aan de energieoverdracht ten gevolge van temperatuursverschillen. De mechanische energie die wordt overgedragen van het explosief naar de omgeving is te berekenen uit de expansie arbeid die het systeem verricht.

$$\text{Mechanische energie: } \int_1^2 PdV \quad 3.1$$

$$\begin{aligned}
 P &= \text{druk schokgolf} && [\text{kPa}] \\
 V &= \text{volume schokgolf} && [\text{m}^3] \\
 1 &= \text{toestand voor schokgolf} \\
 2 &= \text{toestand tijdens schokgolf}
 \end{aligned}$$

Deze totale mechanische energie is de intergraal van de druk over het volume V . Wanneer energie waarden gegeven zijn voor bepaalde stof wordt hier veelal de totale energie bedoeld, zowel mechanisch als warmte. Voor TNT is de gemeten explosie energie bijvoorbeeld 4520 Joule per gram, terwijl de explosie-warmte circa 2800 Joule per gram bedraagt [23]. Figuur 3.1 illustreert voorgaande,

waarbij wordt opgemerkt dat de verbrandingswarmte van de stof mede wordt bepaald door de aanwezige hoeveelheid zuurstof in het medium waarin de explosie heeft plaatsgevonden.



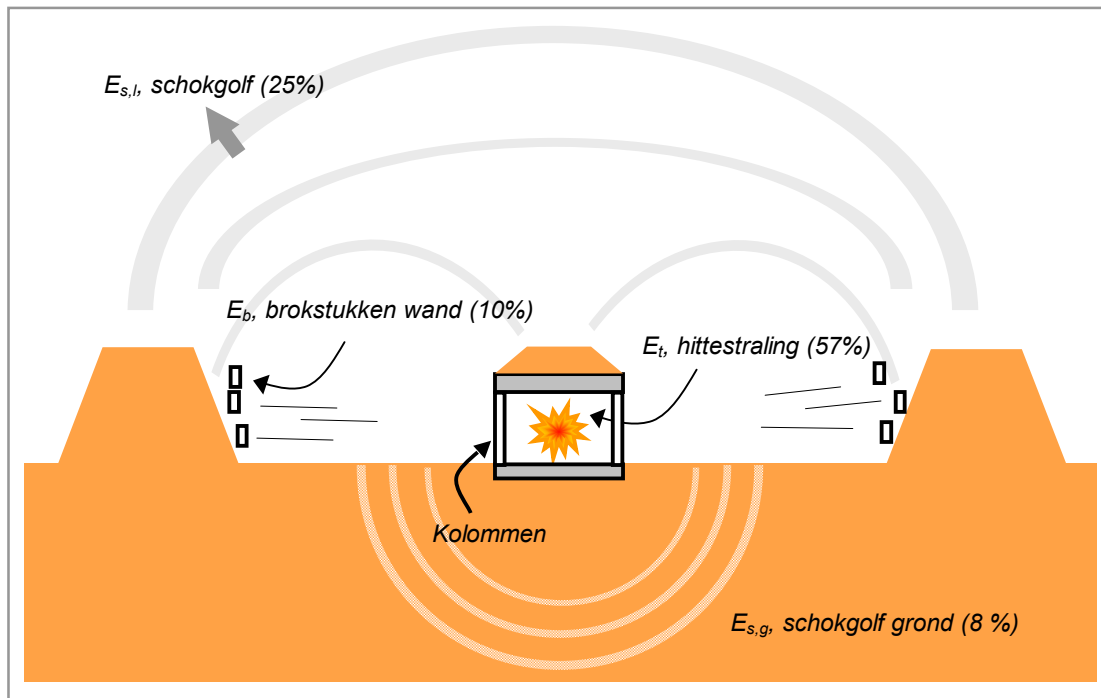
Figuur 3.1: explosie energie

3.6 Verhouding energie explosie-effecten

De in het vuurwerk aanwezige energie komt bij een (massa-)explosie vrij en wordt verdeeld over de vier explosie-eigenschappen:

- Hittestraling, E_t
- Brokstukken, E_b
- Luchtschok, $E_{s,l}$
- Grondschock, $E_{s,g}$

De verdeling van de energie hangt af van de explosieve stof zelf, maar ook van de constructie rondom de explosie. De energieverdeling is voor het uit te werken ontwerp globaal bepaald (6) en weergegeven in figuur 3.2.



Figuur 3.2: Energieverdeling massaspecifieke energie TNT

De energie in de schok is 47% van de totale explosie-energie. Van deze 47% wordt maximaal 25% omgezet in brokstukenergie, dat is ongeveer 11% van de totale explosie-energie. Vervolgens wordt de resterende 36% schokenergie verdeeld over de luchtschok en de grondschock met een verhouding van 3:1. De luchtschok heeft dan 25% en de grondschock 8% van de totale energie. De resterende 57% wordt gebruikt voor warmteontwikkeling (50%) en hittestraling (7%).

3.7 Pyrotechnische middelen

Pyrotechnische middelen bevatten net als alle te verbranden producten twee ingrediënten, brandstof en zuurstof. In het algemeen vormen metalen de brandstof en zit de zuurstof opgeslagen in zouten of metaaloxiden. Voor pyrotechnische middelen geldt dat de reactiesnelheid beduidend lager is dan de geluidssnelheid van het materiaal. Ze produceren ten opzichte van voortstuwende ladingen weinig gas. Springstoffen en voortdrijvende ladingen zijn nagenoeg niet-poreuze materialen, mede omdat holtes worden gevuld door de binders.

De verbrandingsnelheid wordt vooral bepaald door de dichtheid, temperatuur en druk. Pyrotechnische middelen daarentegen zijn zeer poreus. Daardoor wordt het verbrandingsproces mede bepaald door het convectieve warmtetransport dat plaatsvindt door de hete gassen die het reactieve materiaal binnendringen en voor het reactiefront uit bewegen. De verbrandingsnelheid wordt bepaald door de poreusiteit, deeltjesgrootte, zuiverheid, homogeniteit en brandstof/zuurstof verhouding. Afhankelijk van hun effect zijn pyrotechnische middelen onder te verdelen in:

- Geluid: Tot de eerste categorie behoort het standaard vuurwerk.
- Licht: Lichtproducerende pyrotechnische middelen zijn onder te verdelen in flash poeder en flares. Ze onderscheiden zich door hun verbrandingsnelheden. Flash poeder branden snel (tot 1 km/s) en worden vaak gebruikt voor het 's nachts kortstondig verlichten van doelen, bijvoorbeeld voor verkenning. Meestal bevatten ze magnesium of aluminium als brandstof en bariumnitraat of kaliumperchloraat als oxidatiemiddel. Flares daarentegen verbranden veel minder snel. Ze worden gebruikt voor diverse doeleinden, zoals signalering of het verlichten van doelen. Ze zijn meestal gemaakt van metaal/zout mengsels maar bevatten daarnaast een grote hoeveelheid bindmiddel.

- **Warmte:** Een typisch voorbeeld van een warmte- en hitte-producerend pyrotechnisch materiaal is thermiet. Dit bestaat uit een mengsel van aluminium en ijzeroxide, waarbij gesmolten ijzer als een van de reactieproducten ontstaat, dat gebruikt kan worden voor laswerkzaamheden. Fosfor, dat verbrand bij contact met lucht, en napalm zijn aanverwante producten.
- **Rook:** De rook producerende pyrotechnische middelen zijn ook onder te verdelen in organische en anorganische middelen. Rook wordt meestal gebruikt voor markering of signalering, maar ook om een rookgordijn aan te leggen om het zicht te ontnemen.
- **Vertragingsmiddelen:** Vertragers zijn pyrotechnische middelen waarbij van de gecontroleerde verbrandingssnelheid gebruik wordt gemaakt om een vooraf bepaalde tijdvertraging in het ontsteekmoment in te bouwen. Tot deze categorie behoren vele ontstekers [15].

3.8 Detonatie versus deflagratie

Bij een deflagratie of explosieve verbranding reageert de stof in een front dat zich met een snelheid lager dan de geluidssnelheid door de massa voortplant. De voortgang van de reactie wordt in stand gehouden door de warmteoverdracht vanuit het reactiefront naar de nog niet gereageerde stof voor het front.

Bij een detonatie reageert de stof in een front dat zich met een snelheid hoger dan de geluidssnelheid door de massa voortplant. De voortgang van de reactie wordt in stand gehouden door de energieoverdracht als gevolg van de adiabatische compressie van de niet-gereageerde stof voor het front.

Een schokgolf is een drukgolf met grote amplitude en een steil front dat zich door een materiaal voortplant. Schokgolven hebben door ieder materiaal een andere snelheid, wat voornamelijk met de dichtheid van het materiaal heeft te maken. Voor de schokgolfsnelheid (U) bestaat de empirische snelheids Hugoniot relatie.

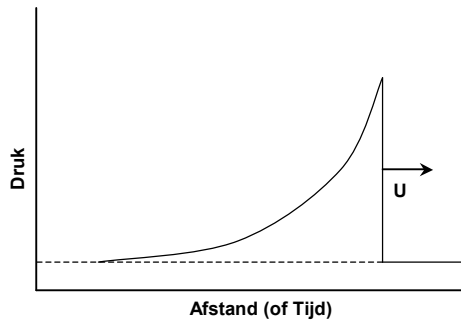
$$\text{Snelheids Hugoniot: } U = c_o + su \quad 3.2$$

$$\begin{array}{ll} U = & \text{schokgolfsnelheid} \quad [km/s] \\ c_o = & \text{geluidssnelheid medium} \quad [km/s] \\ s = & \text{snelheidscoëfficiënt} \quad [-] \\ u = & \text{deeltjessnelheid} \quad [km/s] \end{array}$$

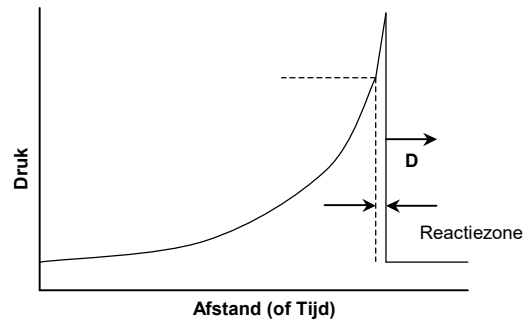
De variabelen s en c_o zijn materiaalgrootheden en veel experimenteel bepaalde waarden zijn opgenomen in tabellen [15, pag 66, tabel 3.4].

Een detonatiegolf is een schokgolf die zich voortbeweegt door de explosieve stof en haar daardoor ook initieert. Een detonatiegolf onderscheidt zich van een normale schokgolf door de complexe exotherme chemische reactie in het front. Daardoor hangt de reactiesnelheid niet alleen af van de dichtheid van de stof, maar ook in belangrijke mate van de chemische samenstelling van de explosieve stof. Bijbehorende typische eigenschappen van een detonatiegolf zijn de voortplantingsnelheid in de orde van 3 - 9 km/s, de detonatiedruk van circa 100 - 400 kbar en de temperatuur van circa 1500 - 2000 K.

Een detonatiegolf heeft een front dat de explosieve stof initieert. Vervolgens ontstaat er in de reactiezone een chemische reactie. De reactiezone is veelal ongeveer 1 mm dik. De druk daalt tijdens deze reactie naar de detonatiedruk. Deze detonatiedruk met bijbehorende toestand (temperatuur, dichtheid) noemt men wel de Chapman-Jouget (C-J) toestand. Vervolgens expanderen de detonatiegassen en daalt de druk overeenkomstig een schokgolf.



Figuur 3.3: Schokgolf



Figuur 3.4: Detonatiegolf

3.9 Schadecriteria

De schokgolf oefent een kracht op een constructie uit. Een constructie kan vanuit verschillende richtingen worden belast. Als de schokgolf de constructie bereikt zal deze afhankelijk van de dynamische opnamecapaciteit bezwijken.

De fragmentatiedelen (brokstukken) zijn een belasting voor constructies omdat deze diep in de constructie kunnen doordringen. Afhankelijk van de functie en veiligheidsmarge van het constructieonderdeel zullen de ingeslagen fragmentatiedelen een desastreuze werking hebben.

Om een beeld te krijgen van de schade naar aanleiding van explosie-effecten als schokgolf, fragmenten en brokstukken zijn een aantal criteria opgesteld. Aan de hand van deze criteria kan worden ingeschat wat de schade is bij een bepaalde explosiedruk. Onderstaande tabel is een indicatie van de te verwachten schade bij een binnenvallende schokgolf met een bepaald piekdrukniveau.

Tabel 3.1: Schadecriteria [23]

Schadebeeld	kPa	
Lichte schade aan glas panelen	0,1	0,3
Drempelwaarde voor glasbreuk	1,0	1,5
Ondergrens voor schade door brokstukken	1,5	2,5
Ruitbreuk, scheuren in pleisterwerk, lichte schade aan gebouwen	3,5	7,5
Personen omver geblazen	7,0	10,0
Vervorming van dunnen metalen platen	7,5	12,5
Bezwijken van houten of asbest zijpanelen van woningen	7,5	15,0
Bezwijken van wanden gemaakt van betonblokken	12,5	20,0
Bezwijken van zelfdragende gebouwen	20,0	30,0
Openscheuren van olietanks	20,0	30,0
Afbreken van steunpalen	30,0	50,0
Ernstige schade aan gebouwen met stalen frame	30,0	50,0
Ondergrens voor trommelvliesbreuk	35,0	35,0
Gewapend betonnen constructies ernstig beschadigd	40,0	60,0
Treinstellen omver geblazen	40,0	60,0
Totale vernieling van ongewapende gebouwen	70,0	80,0
Long schade	200,0	500,0
Letaliteit	700,0	1500,0

3.10 Letselcriteria

Naast de constructieschade kunnen schokgolf en fragmentatie ook voor persoonlijk letsel zorgen. In het vrije veld kan het lichaam echter vrij grote drukken opvangen, voordat letsel optreedt (zie tabel 3.2).

Er zijn drie categorieën schokgolf effecten; directe of primaire effecten, indirecte of secundaire effecten en tertiaire effecten.

- Primaire schokgolf effecten zijn effecten die ontstaan als direct gevolg van de druksprong van de schokgolf. Het schadebeeld of letsel wordt bepaald door verschillende eigenschappen van de schokgolf, zoals de invallende en de gereflecteerde overdruk, de dynamische druk, de specifieke impuls, de stijgtijd van de drukgolf en de duur. Indicatie van verwondingen: inwendige bloedingen in de longen, het hart of het centrale zenuwstelsel, scheuren in de longen, trommelvliesbreuk en andere oorschade.
- Secundaire schok effecten zijn de effecten veroorzaakt door de impact van scherven of fragmenten. Daarbij zijn massa, snelheid, vorm en dichtheid van de fragmenten van invloed op het te verwachten letsel.
- Tertiaire schokgolf effecten zijn die effecten die ontstaan na het verplaatsen van het hele lichaam. Als een persoon omvergeworpen wordt en als gevolg daarvan tegen een vast object terecht komt veroorzaakt dit afhankelijk van de geraakte plaats letsel. Brandwonden van branden geïnitieerd door explosie(effecten) vallen ook onder de tertiaire effecten.

Longschade is een letsel dat onder de primaire schokgolf effecten valt. De positie van het lichaam tijdens de inval van de schokgolf is van groot belang voor de overlevingskansen van deze persoon. Personen in gebouwen hebben niet alleen met primaire effecten te maken, maar maken juist daar ook veel kans om getroffen te worden door de secundaire en tertiaire effecten. Onderstaande tabel geeft een indicatie van de te verwachten letselcriteria bij een bepaalde overdruk. Daarbij is ook een relatie opgenomen van de hoeveelheid explosief materiaal (W in kg) en de afstand (R in m).

Tabel 3.2: Letselcriteria [23]

Overdruk (kPa)	Hoeveelheid-afstand (R in m, W in kg) $R =$	Letsel
190	$R = 2,4 W^{1/3}$	Personen in ongewapende gebouwen zullen letaal letsel oplopen door directe schokgolf effecten, of door impact tegen harde objecten
69-76	$R = 3,6 W^{1/3}$	Personen in ongewapende gebouwen zullen ernstig letsel oplopen of gedood worden door directe schokgolf effecten, instorten van gebouwen, of meesleureffecten
55	$R = 4,4 W^{1/3}$	Personen in ongewapende gebouwen zullen ernstig of zelfs letaal letsel oplopen aan de oren en longen, door omver geblazen te worden of geraakt te worden door fragmenten en brokstukken
24	$R = 7,1 W^{1/3}$	Ernstig letsel of mogelijk letaal letsel is waarschijnlijk het gevolg van fragmentatie, brokstukken of uitbrekende branden. Er bestaat 10% kans op trommelvliesbreuk
16	$R = 9,5 W^{1/3}$	Personen kunnen leiden aan tijdelijke gehoorschade of letsel door secundaire schokgolf effecten, zoals geraakt worden door brokstukken en tertiaire effecten zoals verplaatsing. Er zijn geen dodelijke slachtoffers of ernstig letsel te verwachten door directe schokgolf effecten
8,3-5,9	$R = (16-20) W^{1/3}$	Personen zijn in hoge mate beschermd, letsel zal vooral het gevolg zijn van glasbreuk en brokstukken.

De gevolgen van scherven en brokstukken hangen helemaal af van de restsnelheid, vorm en plaats van inslag in het lichaam. Voor de schedel (meest kwetsbare onderdeel van het lichaam) bestaan tabellen die bijvoorbeeld voor de inslag van glasscherven in de schedel aangeven hoe groot deze delen moeten zijn, onder welke hoek deze moeten inslaan en welke snelheid 50% van de inslaande scherfjes moet hebben om een schedelbreuk te veroorzaken [23]. De 50% snelheid is de gemiddelde snelheid van alle deeltjes.

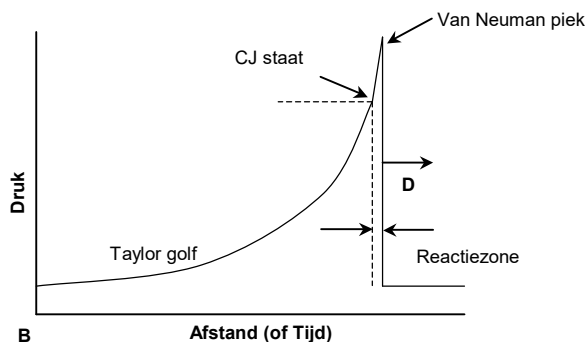
Glasscherven vormen een groot risico en er is daarom veel onderzoek verricht door TNO-PML naar de gevolgen van een door drukgolf bezwijkende ruit waarachter zich mensen bevinden. Aangezien gebouwen kunnen instorten bij drukbelastingen die veel lager zijn dan de drukniveaus waarbij mensen in het vrije veld letsel ondervinden is het duidelijk dat men in een gewone constructie minder veilig is dan in het open veld.

Als gebouwen daadwerkelijk in zouden storten, hebben ouderen en zeer jonge mensen minder kans om te overleven dan volwassenen. Vrouwen hebben een lagere overlevingskans dan mannen. Daarbij wordt de kans op overleven in grote en oude gebouwen ook naar beneden gebracht. Warmtestraling heeft tenslotte ook effect op het lichaam. Er kunnen verschillende graden van verbranding optreden. Tweede en derdegraads verbrandingen kunnen leiden tot verminking en zelfs tot overlijden [23].

4 Schokgolf-effecten

Detonatiegolven (figuur 4.1) zijn schokgolven door een exploderend materiaal, waarbij de chemische reactie plaatsvindt in het schokfront. Deze chemische reactie voegt continu energie toe aan de schok en compenseert de energieverliezen. In het geval de energie die door de chemische reactie wordt toegevoegd en de verliezen door de arbeid en expansie van de geproduceerde gassen elkaar compenseren, bereikt de golf een constante snelheid D . Dit wordt de vaste dichtheid detonatie genoemd. De vaste dichtheid detonatie golf dempt niet uit, hij behoudt zijn structuur en eigenschappen totdat al het explosieve materiaal is verbruikt.

De scherpe punt aan het begin van de detonatiegolf, de Van Neuman piek, initieert de explosieve reactie. In de reactie zone vindt de chemische reactie plaats en komt de chemische energie (hitte van de detonatie) vrij. Deze reactiezone is circa 1 mm dik. Het einde van deze piek wordt het Chapman-Jouget (C-J) vlak genoemd. De daarbij behorende staat (druk, dichtheid, deeltjessnelheid en schoksnelheid) is karakteristiek voor het toegepaste explosieve materiaal bij een gegeven ongereageerde startdichtheid. Achter het C-J vlak expanderen de hete, hoge druk geproduceerde gassen op een manier die bepaald wordt door de grenscondities. Het bijbehorende drukverlies gedurende de expansie wordt de Taylor golf genoemd.



Figuur 4.1: Detonatiegolf

Bij een explosie in de lucht ontstaat een bolvormige schokgolf die reflecteert en afgebogen wordt op alles wat de voortgang van deze schokgolf belet. De plaats waar de schokgolf reflecteert wordt belast met een hogere druk dan de druk die in de schokgolf aanwezig is. Het aardoppervlak reflecteert de drukgolf en de gereflecteerde drukgolf kan de originele drukgolf inhalen, doordat de lucht reeds is opgewarmd (en dus een lagere weerstand heeft dan koudere lucht).

Een piekdruk van 2 à 3 kPa (200 kg/m^2) wordt acceptabel geacht door de Nederlandse overheid, gezien de in het Vuurwerkbesluit vastgestelde waarden. De daarbij behorende schadegevallen zijn opgenomen in § 4.1.3.

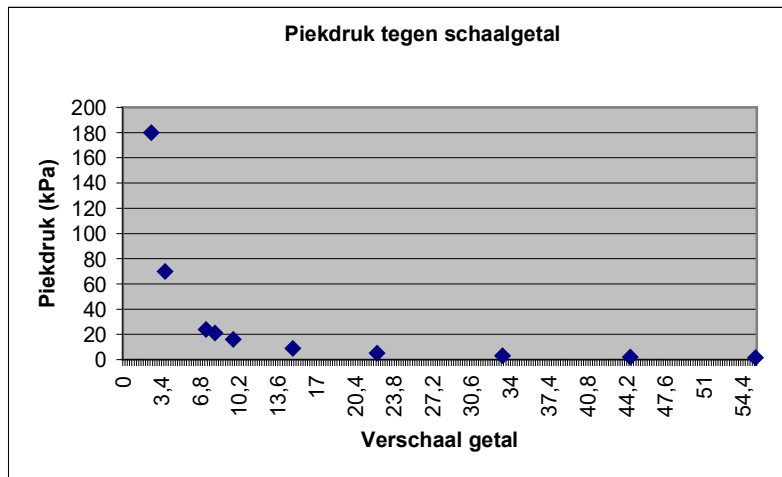
$$\text{Verschaalformule:} \quad Z = \frac{M}{\sqrt[3]{Kg}} \quad 4.1$$

Z	=	<i>Verschaalgetal</i>
M	=	<i>De afstand in meters vanaf de explosiekern tot de plaats waar de piekdruk optreedt</i>
Kg	=	<i>Hoeveelheid kilo's TNT</i>

Onderstaande tabel 4.1 laat voor enkele waarden van de verschaalformule zien wat de druk op een bepaalde afstand van de explosie is bij gegeven hoeveelheid explosieve stof TNT. De afstand van 807 meter, een hoeveelheid 6.000 kg TNT, een verschaalgetal van 44,4 en de piekdruk van 2 kPa horen bij elkaar.

Tabel 4.1: Veiligheidsafstanden basistabel

kPa	m/kg ^{1/3}	m	kg												
			10000	9000	8000	7000	6000	5000	4000	3000	2000	1000	500	250	
1,5	55,5	effectindicatie	1106	1154	1110	1062	1009	949	881	800	699	555	441	350	
2	44,4		957	924	888	849	807	759	705	640	559	444	352	280	
3	33,3		717	693	666	637	605	569	529	480	420	333	264	210	
5	22,2		478	462	444	425	403	380	352	320	280	222	176	140	
9	14,8		319	308	296	283	269	253	235	213	186	148	117	93	
16	9,6		207	200	192	184	174	164	152	138	121	96	76	60	
21	8,0		172	166	160	153	145	137	127	115	101	80	63	50	
24	7,2		155	150	144	138	131	123	114	104	91	72	57	45	
70	3,6		78	75	72	69	65	62	57	52	45	36	29	23	
180	2,4		52	50	48	46	44	41	38	35	30	24	19	15	



Grafiek 4.1: Piekdruk tegen schaalgetal

In deze tabel is de piekdruk bekend, waardoor bij bekende hoeveelheid explosieve stof de acceptabele veiligheidsafstand kan worden bepaald. Om de piekdruk af te kunnen lezen in een grafiek zijn de verschaalgetallen (Z) uitgezet tegen de piekdrucken. Met de trendlijnfunctie in Excel is vervolgens een functie vastgesteld voor de verschaalgetallen van 0 tot 8, een functie voor de waarden van 8 tot 33,3 en een functie voor waarden boven de 33, om de piekdruk (P) vanuit de schaalgetallen (Z) zo exact mogelijk te bepalen.

$$Piekdrukfuncties: \quad Z < 10, \quad P = 2836,1 \times x^{-1,367}, \quad x = 1 + \frac{Z-1}{0,2} \quad 4.2a$$

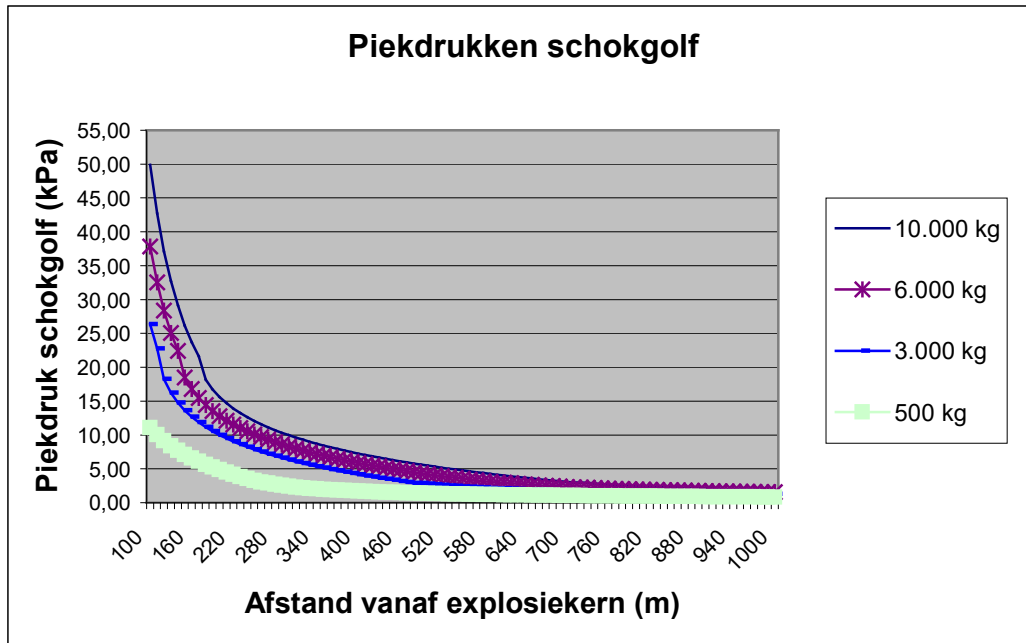
$$Z < 33,3 \quad P = -5,3749 \times LN(x) + 29,16, \quad x = 1 + \frac{Z-7}{0,2} \quad 4.2b$$

$$Z > 33,3 \quad P = 21,871 \times x^{-0,5286}, \quad x = 1 + \frac{Z-25}{0,2} \quad 4.2c$$

$$P = \text{piekdruk [Pa]}$$

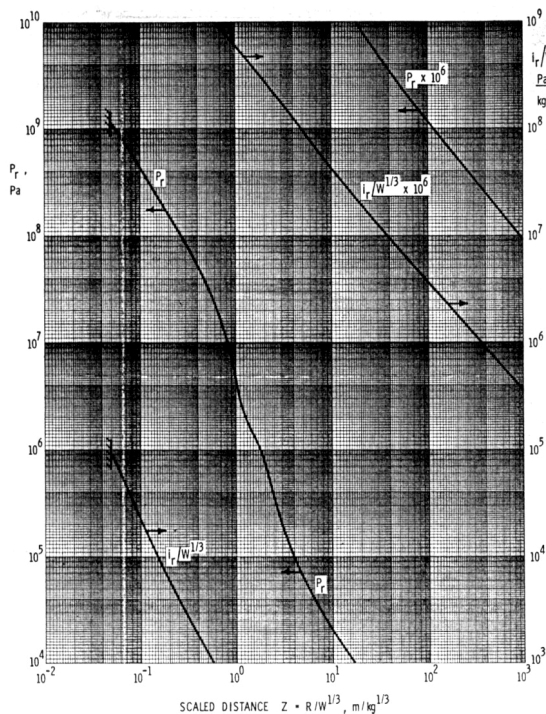
$$Z = \text{schaalgetal (formule 3.01)}$$

Vanuit deze functies is een tabel samengesteld met een reeks afstanden en hoeveelheden, waaruit de piekdruk gelezen kan worden. Van deze tabel is voor de hoeveelheden 10.000, 6.000, 3.000 en 500 kg explosieve stof uitgezet wat de piekdruk is bij een gegeven afstand in grafiek 4.2. Deze grafiek laat slechts de piekdruk vanaf 100 meter afstand zien, omdat de gevonden piekdrukfuncties dichterbij niet nauwkeurig meer zijn.

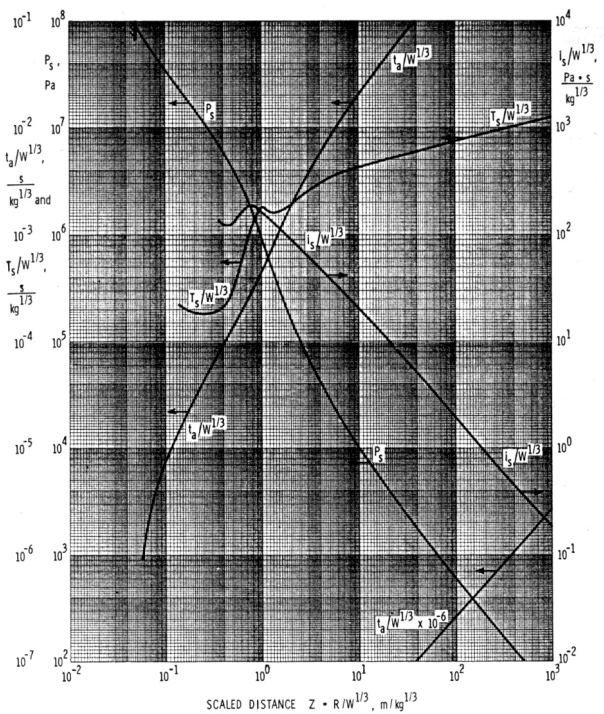


Grafiek 4.2: Piekdruk

Om de hoogte van de piekdruk ook op kleine afstanden te bepalen wordt gebruik gemaakt van de volgende grafieken. Deze grafieken maken ook gebruik van de Z-waarde (formule 4.1). De gereflecteerde piekdruk is de piekdruk die optreedt in geval de constructie de piekdruk volledig weerkaatst. Een object dat volkomen omgeven is met de luchtschok ondervindt een side-on piekdruk.



Grafiek 4.3 Gereflecteerde blast parameters



Grafiek 4.4: Side-on blast parameters

De schokgolf is de optredende schokgolf die optreedt bij een explosie. Afhankelijk van soort explosie en hoeveelheid exploderend materiaal verandert de aard en impact van de schokgolf.

4.1 Schokgolf

Schokgolven zijn geen nette geluidsgolven, maar karakteriseren zich door de grote amplitude en de daarbij optredende plastische vervorming (irreversibel). Als schokgolven door een materiaal lopen, blijven de massa, de impuls en energie behouden door het schokfront. Rankine-Hugoniot sprongvergelijkingen geven de relaties voor behoud van massa, impuls en energie:

$$\text{Behoud van massa: } \frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{U - u_0}{U - u_1} \quad 4.3$$

$$\text{Behoud van impuls: } P_1 - P_0 = \rho_0(u_1 - u_0)(U - u_0) \quad 4.4$$

$$\text{Behoud van energie: } e_1 - e_0 = \frac{P_1 u_1 - P_0 u_0}{\rho_0(U - u_0)} - \frac{1}{2}(u_1^2 - u_0^2) \quad 4.5$$

P	=	schokdruk	[Gpa]
U	=	schoksnelheid	[km/s]
u	=	deeltjessnelheid	[km/s]
ρ	=	dichtheid medium	[g/cm ³]
e	=	interne energie	[kg m ² s ⁻²]
$_0$	=	ongeschokte toestand	
$_1$	=	geschokte toestand	

Als de ongeschokte toestand in rust was bij een lage ambiënte druk (veelal in geval van ongewenste explosie) zal de beginsituatie uit de formules kunnen worden gehaald. Dit levert het volgende:

$$\text{Behoud van massa: } \frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{U}{U - u_1} \quad 4.6$$

$$\text{Behoud van impuls: } P = \rho_0 u_1 U \quad 4.7$$

$$\text{Behoud van energie: } e_1 - e_0 = \frac{1}{2} P \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_1} \right) \quad 4.8$$

De schoksnelheid is groter dan de geluidssnelheid in het ongeschokte materiaal. Zij is gerelateerd aan de deeltjessnelheid door de empirische snelheid relatie:

$$\text{Hugoniot vergelijking: } U = c_0 + su \quad 4.9$$

U	=	schokgolfsnelheid	[km/s]
c_0	=	geluidssnelheid medium	[km/s]
s	=	snelheidscoëfficiënt	[-]
u	=	deeltjessnelheid	[km/s]

Deze in de formules [15] gevangen uitdrukkingen vormen de mogelijkheid om invloeden op het effect van de schokgolf aan te tonen. Naast de piekoverdruk en de faseuur wordt de schokgolf ook gekarakteriseerd door de zogenaamde 'positieve specifieke impuls' (totale oppervlak onder de druk-tijd curve in de positieve fase).

4.2 Detonatiegolf

Evenals bij de schokgolf worden de Rankine-Hugoniot sprongvergelijkingen toegepast over het detonatiefront. De schokdruk is vervangen door de C-J druk P_{cj} , de schok deeltjessnelheid door u_{cj} , de schok dichtheid door ρ_{cj} en de schok snelheid door de detonatie snelheid D .

$$\text{Massa balans:} \quad \frac{\rho_{cj}}{\rho_0} = \frac{D}{D - u_{cj}} \quad 4.10$$

$$\text{Impuls balans:} \quad P_{cj} = \rho_0 u_{cj} D \quad 4.11$$

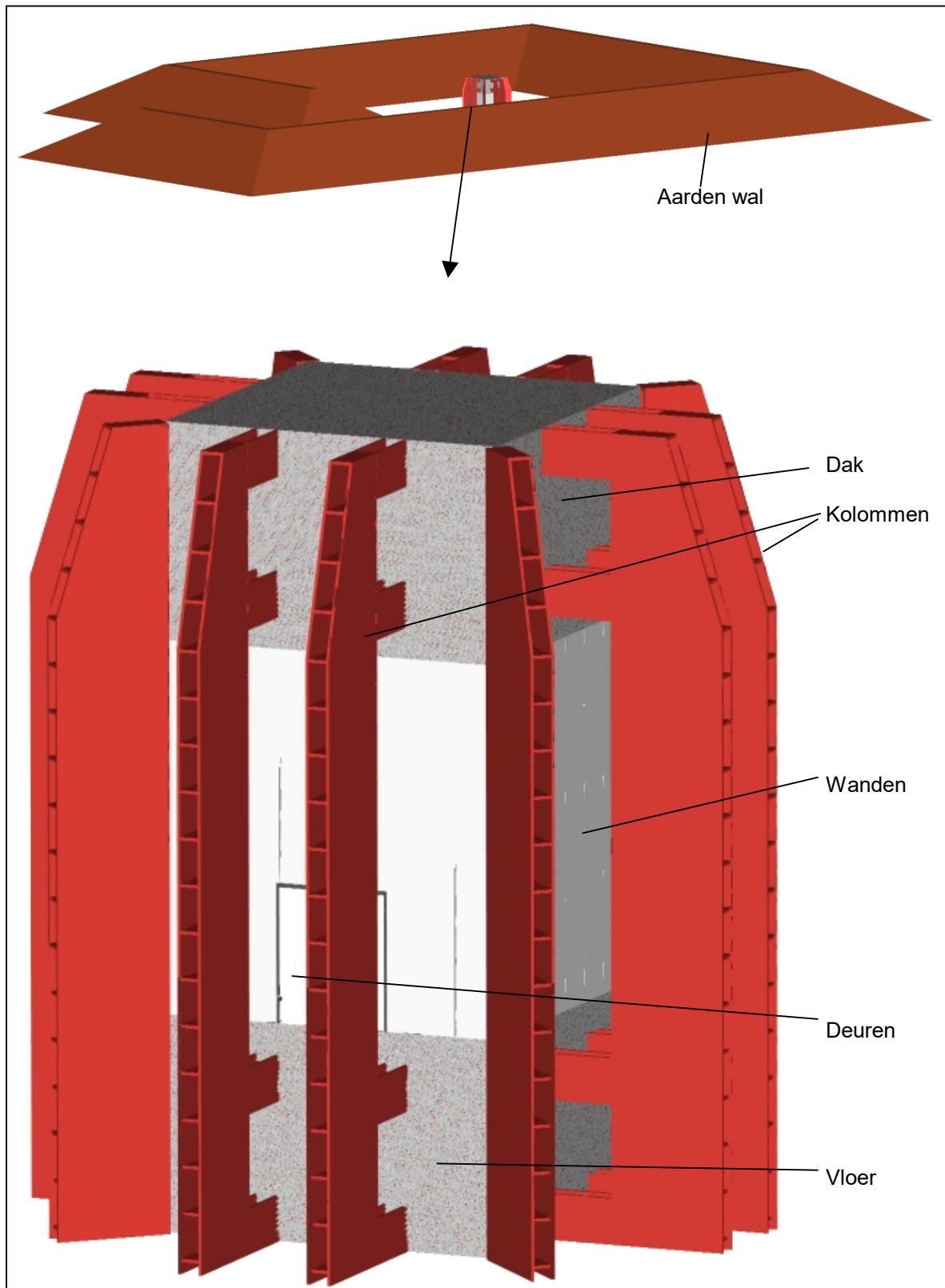
$$\begin{aligned} P_{cj} &= \text{de C-J druk} && [\text{GPa}] \\ \rho_{cj} &= \text{dichtheid in C-J staat} && [\text{g/cm}^3] \\ \rho_{c0} &= \text{dichtheid ongereageerd materiaal} && [\text{g/cm}^3] \\ u_{cj} &= \text{deeltjessnelheid C-J staat} && [\text{km/s}] \\ D &= \text{detonatiesnelheid} && [\text{km/s}] \end{aligned}$$

De impuls vergelijking kan verder worden gesimplificeerd door de volgende benadering, waarbij de C-J druk met een nauwkeurigheid van 7% voor de meeste explosieven wordt beschreven [15].

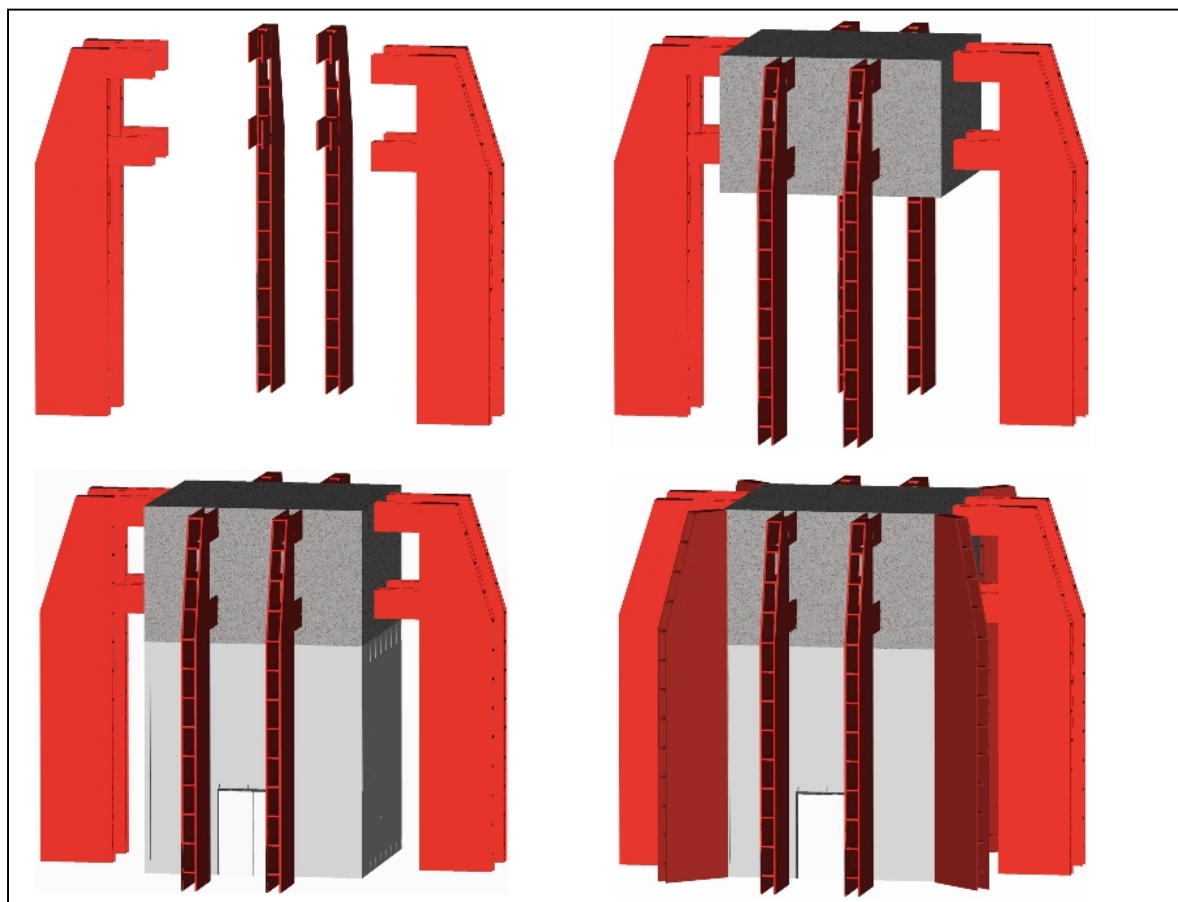
$$\text{Simpel impuls:} \quad P_{cj} = \rho_0 D^2 / 4 \quad 4.12$$

5 Visualisatie ontwerp

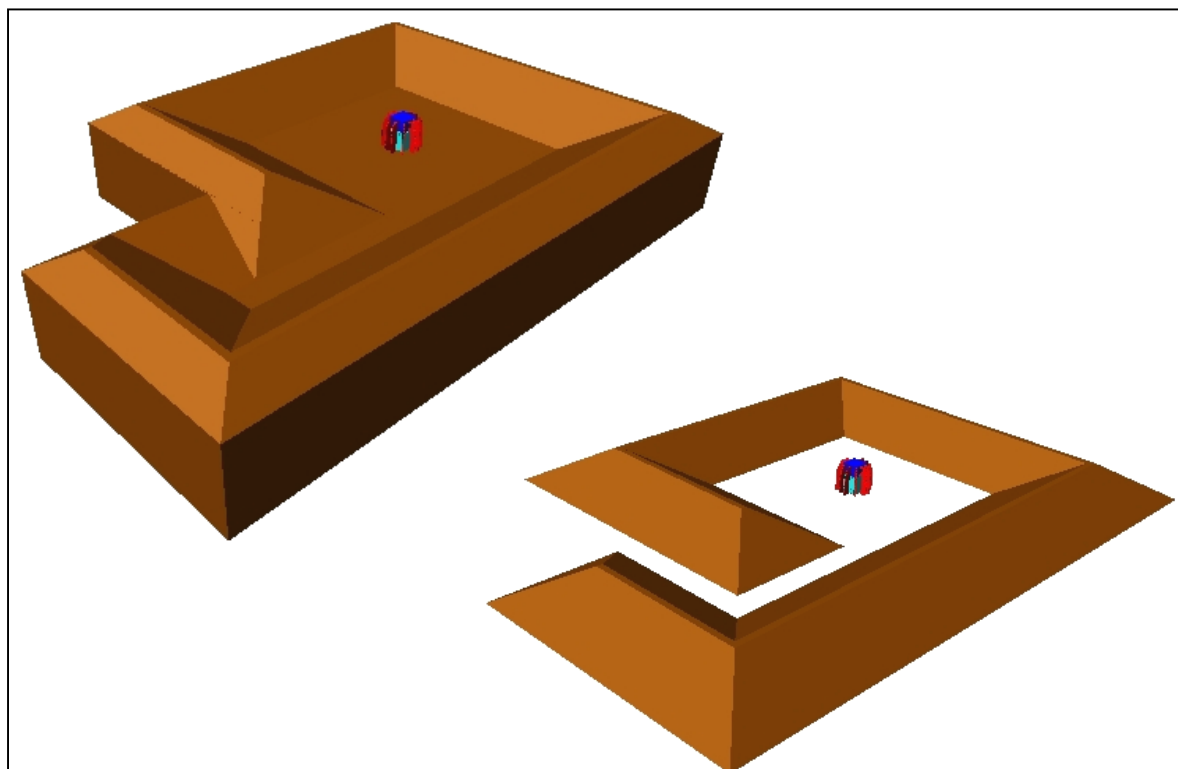
In deze bijlagen zijn de figuren uit het rapport betreffende het ontwerp groter en daardoor duidelijker leesbaar opgenomen.



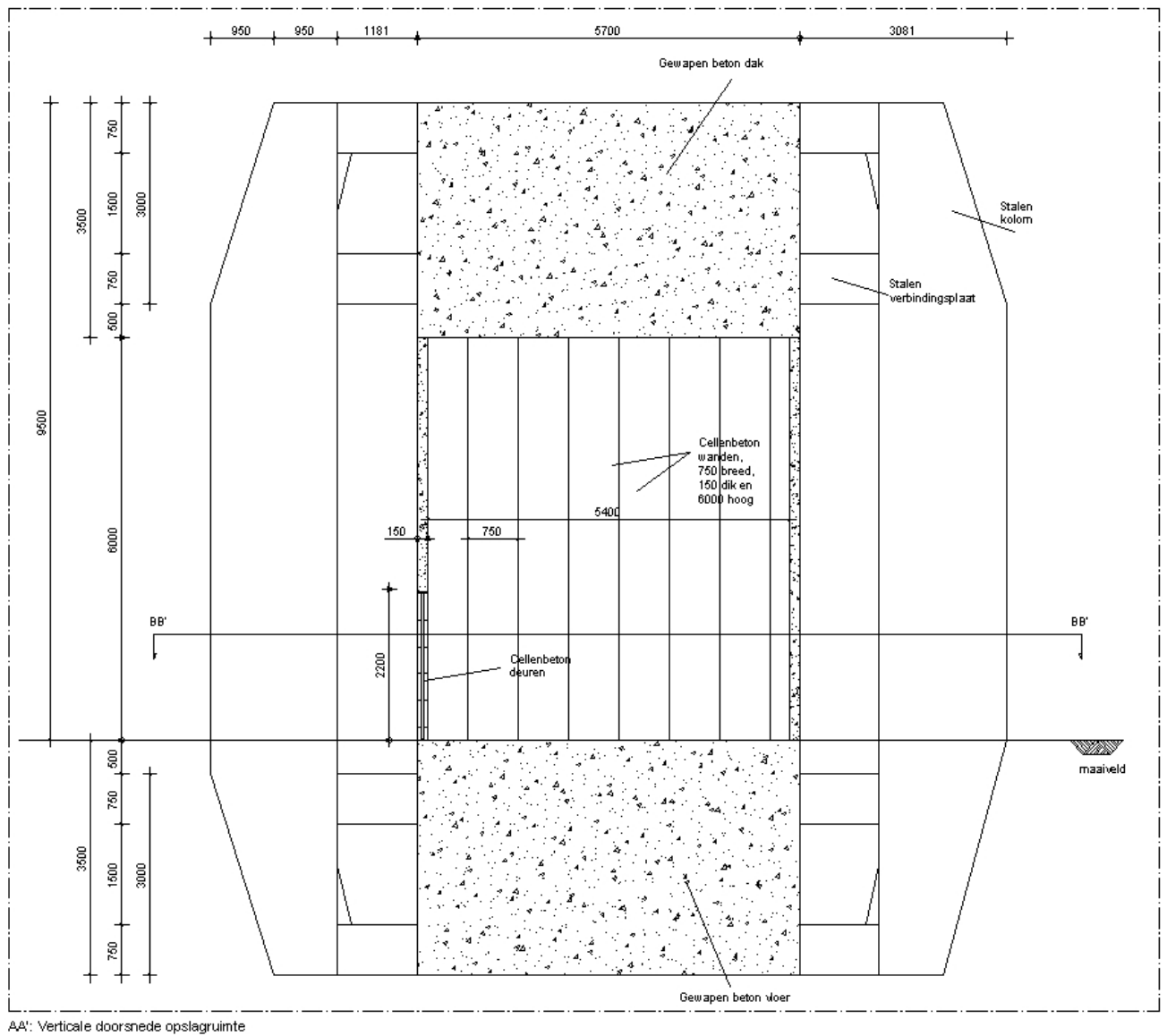
Figuur 5.1: 3D-schets complete constructie



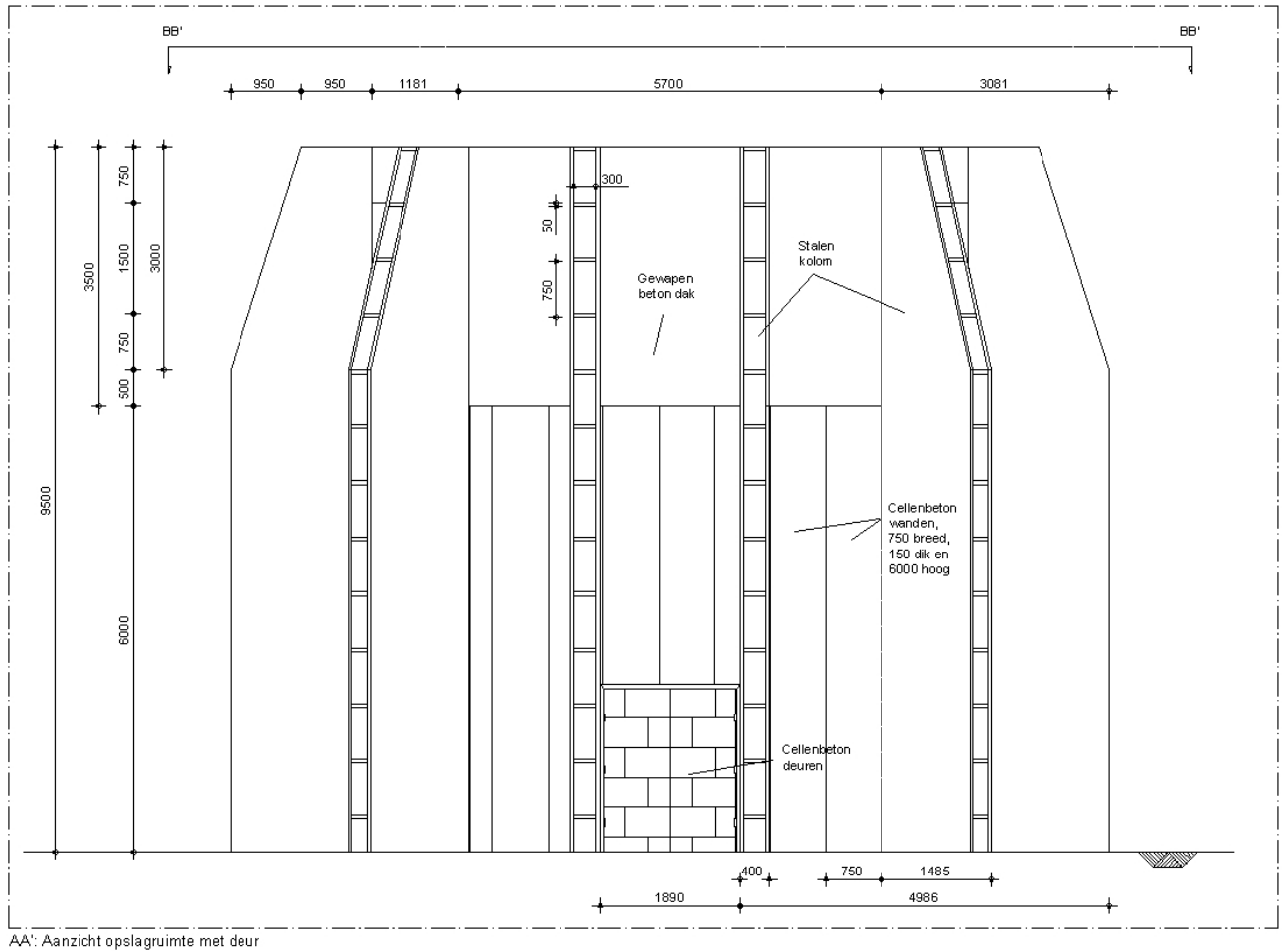
Figuur 5.2: 3D-schets opbouw geplaatste constructie



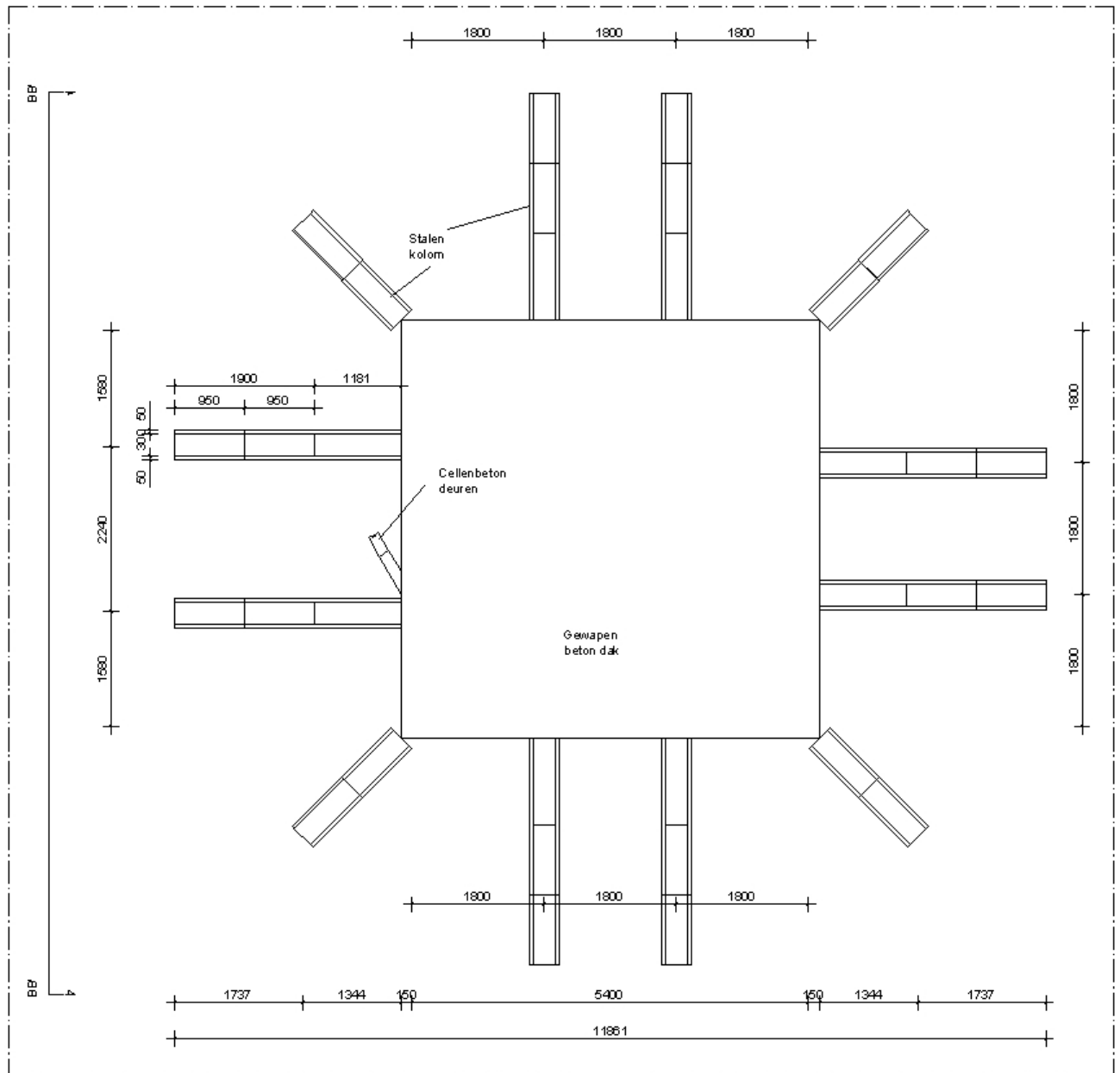
Figuur 5.3: 3D-schets totale constructie verdiept en onverdiept



Figuur 5.4a: Verticale doorsnede over deurconstructie

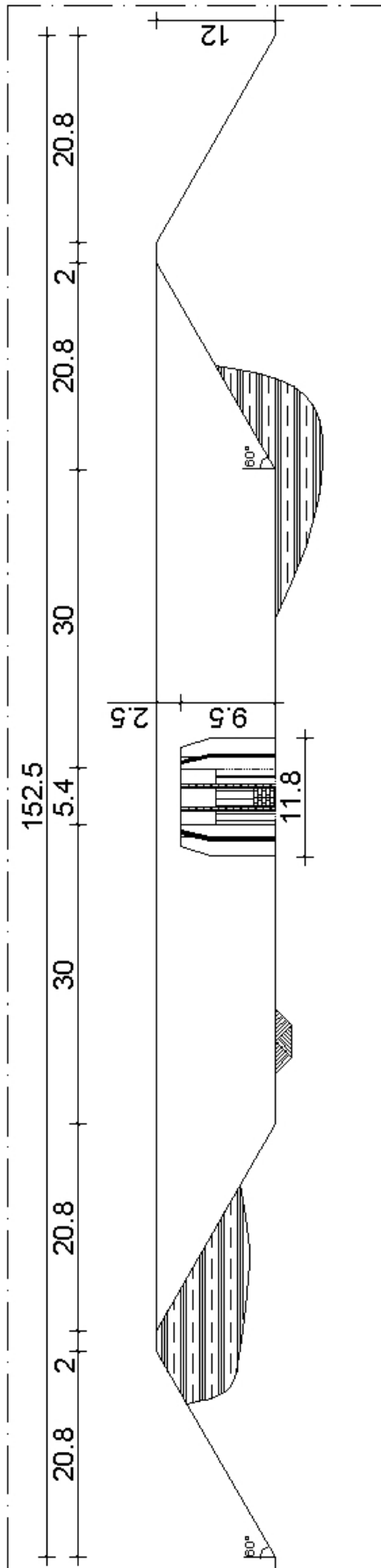


Figuur 5.5a: Verticaal zijaanzicht

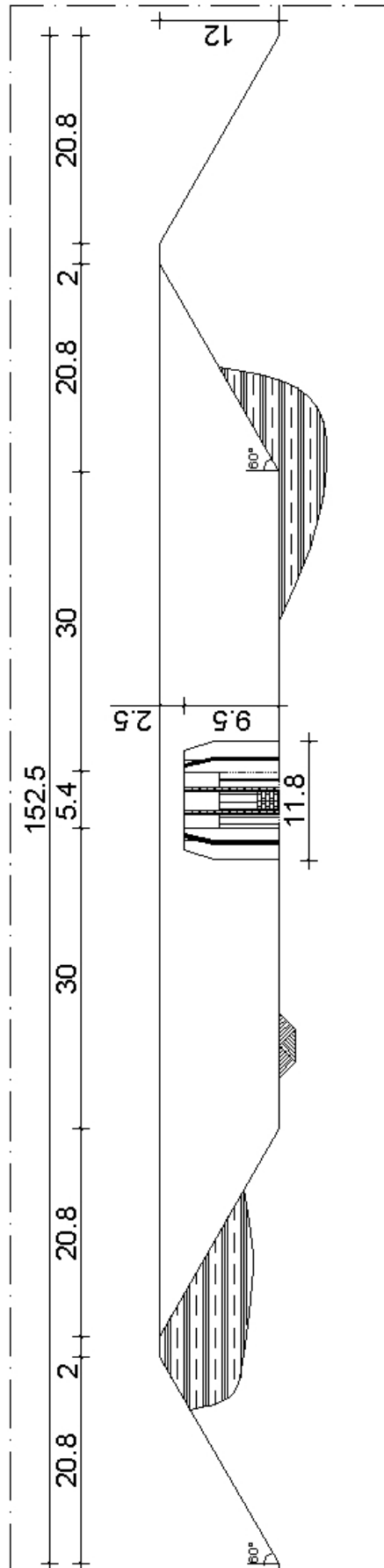


BB': Boven-aanzicht opslagruimte

Figuur 5.5b: Horizontaal dakaanzicht



Totaaldoorsnede ontwerp onverdiept



Totaaldoorsnede ontwerp onverdiept

Figuur 5.6: Aanzicht constructie onverdiept

Figuur 5.6: Aanzicht constructie verdiept

6 Brokstuk baan

In dit bijlagenhoofdstuk worden de formules die de basis vormen van het brokstukkenmodel en een voorbeeld van een ingevuld werkblad gegeven.

6.1 Formules model

Voor de brokstukken van een bezwijkende constructie wordt, bij bekende beginsnelheid/energie en richting, de wegwerpafstand uitgerekend. Daarvoor moeten een aantal aannamen worden gedaan:

- De constructie deelt zich netjes op in brokstukken van gelijk formaat en gewicht. Omdat dit niet zo is, wordt de maximale brokstukgrootte bepaald.
- Het medium waar de brokstukken doorheen geworpen worden (lucht) oefent geen weerstand uit op de brokstukken. Dit levert een extra veiligheidsfactor op. Omdat deze veiligheidsfactor ontorecht hoog blijkt, wordt de weerstand van de lucht ter controle meegenomen het brokstukkenmodel met weerstand.
- De luchtschok beïnvloedt de brokstukken niet.
- Het brokstuk dat het verst weggeworpen wordt is maatgevend voor de veiligheidsafstand betreffende brokstukuitworp.
- Werktuigen en machines aanwezig in de ruimte worden niet meegenomen in de beoordeling van de constructie. Dit gaat niet op voor werktuigen of constructies die specifiek in relatie tot een bepaald constructietype aanwezig moeten zijn.

Zonder luchtweerstand houdt het brokstuk in horizontale richting dezelfde snelheid als bij de uitbraak ($v_{hor} = \text{constant}$). Verticaal werkt de zwaartekracht met een versnelling van 9.8 m/s^2 op het brokstuk. Een brokstuk met een negatieve verticale beginsnelheid wordt dus eerst vertraagd tot verticale snelheid van 0. Voor dit punt kan met het tijdstip en de hoogte worden berekend. Vervolgens neemt de snelheid weer toe gelijk aan de valversnelling. Het punt waarop de snelheid nul is wordt als volgt berekend [28].

$$\text{Horizontale afstand: } x_{hor} = v_{hor} \cdot t \quad [m] \quad 6.1$$

$$v_{hor,0} = \text{start snelheid in horizontale richting} \quad [m/s]$$

$$t = \text{tijd} \quad [s]$$

$$\text{Tijd baantop: } t_{top} = \frac{v_{ver,0}}{g} \quad [s] \quad 6.2$$

$$v_{ver,0} = \text{start snelheid in verticale richting} \quad [m/s]$$

$$g = 9,8 \quad [m/s^2]$$

$$\text{Hoogte baantop: } y_{top} = \left[\frac{1}{2} g (t_{top})^2 \right] + h_0 \quad [m] \quad 6.3$$

$$g = 9,8 \quad [m/s^2]$$

$$t_{top} = \text{tijdstip waarop verticale snelheid nul is} \quad [s]$$

$$h_0 = \text{starthoogte t.o.v. maaiveld} \quad [m]$$

$$\text{Plaats baantop: } x_{top} = v_{hor} \cdot t_{top} \quad [m] \quad 6.4$$

$$v_{ver,0} = \text{start snelheid in verticale richting} \quad [m/s]$$

$$t_{top} = \text{tijdstip waarop verticale snelheid nul is} \quad [s]$$

Het punt van inslag dat bereikt wordt na het traject dat volgt op het punt waarop de verticale snelheid is opgelopen tot nul wordt als volgt berekend.

$$\text{Tijd van inslag: } t_{inslag} = t_{top} + \sqrt{\frac{y_{top}}{\frac{1}{2}g}} \quad [s] \quad 6.5$$

$$t_{top} = \text{tijdstop waarop verticale snelheid nul is} \quad [s]$$

$$y_{top} = \text{hoogte waarop verticale snelheid nul is} \quad [m/s]$$

$$\text{Plaats van inslag: } x_{inslag} = t_{inslag} \cdot v_{hor,0} \quad [m] \quad 6.6$$

$$t_{inslag} = \text{tijdstop van inslag} \quad [s]$$

$$v_{hor,0} = \text{startnelheid in horizontale richting} \quad [m/s]$$

$$g = 9,8 \quad [m/s^2]$$

Tijdens de inslag heeft het brokstuk een bepaalde verticale en horizontale snelheid. Met deze snelheden kan de hoek worden berekend van inslag. De horizontale snelheid is gelijk aan de startnelheid $v_{hor,0}$ en de verticale snelheid kan berekend worden.

$$\text{Verticale snelheid: } v_{vert, inslag} = \frac{t_{inslag} - t_{top}}{g} \quad [m] \quad 6.7$$

$$t_{inslag} = \text{tijdstop van inslag} \quad [s]$$

$$t_{top} = \text{tijdstop waarop verticale snelheid nul is} \quad [s]$$

$$g = 9,8 \quad [m/s^2]$$

$$\text{Hoek van inslag: } \tan \alpha = \tan \frac{v_{vert, inslag}}{v_{hor}} \quad [grad] \quad 6.8$$

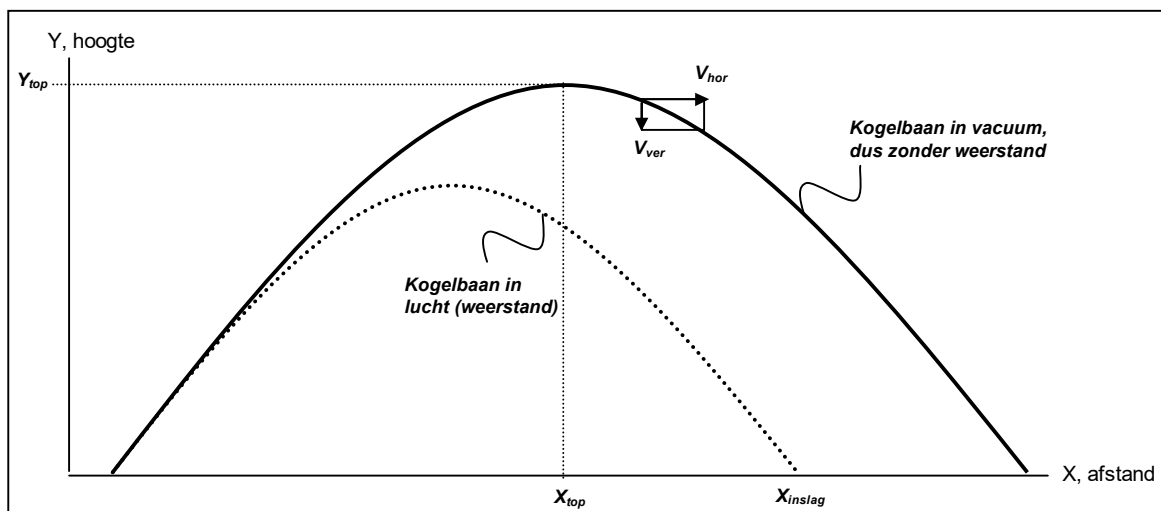
Wanneer de totale snelheid bekend is (wortel van de som van de verticale en horizontale snelheid in het kwadraat) kan de energie worden berekend die bij de inslag nog aanwezig is.

$$\text{Inslag energie: } E_{inslag} = \frac{1}{2} \cdot m_{brok} \cdot v_{totaal}^2 \quad [kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}] = [N] \cdot [m] = [J] \quad 6.9$$

$$m_{brok} = \text{massa brokstuk} \quad [kg]$$

$$v_{totaal} = \text{totale snelheid brokstuk} \quad [m/s]$$

Deze voorgaande formules zijn in een rekenblad opgenomen, zodat de gegevens van een willekeurig brokstuk snel zijn te bepalen.



Figuur 6.1: Indicatie brokstukbaan met of zonder weerstand

Wanneer de **luchtweerstand** waar het brokstuk doorvliegt wel wordt opgenomen in het model, dient er een numerieke benadering toegepast te worden, omdat de kracht die de (lucht-) weerstand uitoefent op het brokstuk evenredig is met de snelheid van het brokstuk (ten opzichte van de lucht) in het kwadraat.

Enkele aannamen:

- De constructie deelt zich op in brokstukken van gelijk formaat, vorm en gewicht. Omdat dit niet zo is, wordt de maximale brokstukgrootte bepaald. De brokstukken worden gemodelleerd tot bollen met hetzelfde doorsnede oppervlak.
- Het medium (de lucht) waar de brokstukken doorvliegen staat stil.
- De beginsnelheid of energie en de richting is bekend.

Het rekenblad met de numerieke benadering heeft onderstaande variabele invoerparameters, waarbij de dwarsdoorsnede zelf wordt berekend aan de hand van een bol. De weerstandcoëfficiënt C_w is een dimensieloze factor en is afhankelijk van de vorm van het brokstuk. Een bol heeft de laagste weerstandcoëfficiënt dus een veilige benadering [25]. Hierbij wordt er van uitgegaan dat brokstukken geen vormen aannemen die gelijk zijn aan gestroomlijnde vliegtuigvleugels. Wanneer een andere vorm voor het brokstuk gekozen wordt moet de dwarsdoorsnede, loodrecht op de verplaatsing, zelf worden berekend en moet de weerstandcoëfficiënt daaraan worden aangepast.

Tabel 6.1: Voorbeeld invoergegevens brokstukmodel

Tijdstapje berekening:	0,01	sec
Startsnelheid:	100	m/s
Hoek:	45	grad
Gewicht brokstuk:	1	kg
Dichtheid:	2600	kg/m ³
Dwarsdoorsnede:	0,006394038	m ²
Weerstandcoëfficiënt:	1	
Dichtheid medium:	1,293	kg/m ³
Ystart:	0	m (>0)

De startpositie is een brokstuk met coördinaten 0, Y_{start} (de y-positie kan ingegeven worden) en een bepaalde totale snelheid en richting. Net als met het model zonder weerstand wordt de verticale en horizontale verplaatsing apart benaderd.

De luchtweerstand $F_{l,w}$ oefent een kracht met bijbehorende (vertraging) uit op het brokstuk. De versnelling is bekend omdat berekende luchtweerstand een kracht is. Een kracht is een massa maal een versnelling (in dit geval een vertraging). De massa van het brokstuk is bekend en dus ook de versnelling/vertraging. Per tijdstap wordt de snelheid berekend door de snelheid in de vorige tijdstap te verrekenen met de versnelling/vertraging maal de tijdstap. De verplaatsing is dan de oude verplaatsing verrekend met de nieuwe snelheid vermenigvuldigd met de duur van de tijdstap.

Verticaal: Specifiek voor de verticale verplaatsing is de combinatie van zwaartekracht en weerstandkracht. De snelheid naar boven is positief gekozen, zodat zwaartekracht altijd negatief werkt en de vertragingkracht door luchtweerstand negatief in het geval van stijgen en positief in het geval van dalen van het brokstuk.

Voor de (lucht-)weerstand is uitgegaan van onderstaande formule.

$$F_{w,lucht} = C_w \cdot A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{medium} \cdot v_{brok}^2 \quad [N] \quad (6.10)$$

$$C_w = \text{weerstandcoëfficiënt}$$

$$A = \text{dwarsdoorsnede loodrecht op verplaatsing} \quad [m^2]$$

$$\rho_{medium} = \text{dichtheid doorstroomd medium} \quad [kg/m^3]$$

$$v_{\text{brok}}^2 = \text{snelheid van het brokstuk in kwadraat} \quad [m^2 \cdot s^{-2}]$$

6.2 Voorbeeld model brokstukbaan

Met bepaalde invoergegevens wordt in het brokstukwerkblad onder andere berekend wat de maximale horizontale afstand is. In tabel 6.1 zijn de invoergegevens aangegeven. In tabel 6.2 is aangegeven wat de gevonden bij de brokstukbaan behorende gegevens zijn. In figuur 6.3 is de grafiek op schaal weergegeven van de brokstukbaan in een situatie met en zonder luchtweerstand.

Tabel 6.1: Invoergegevens brokstukmodel

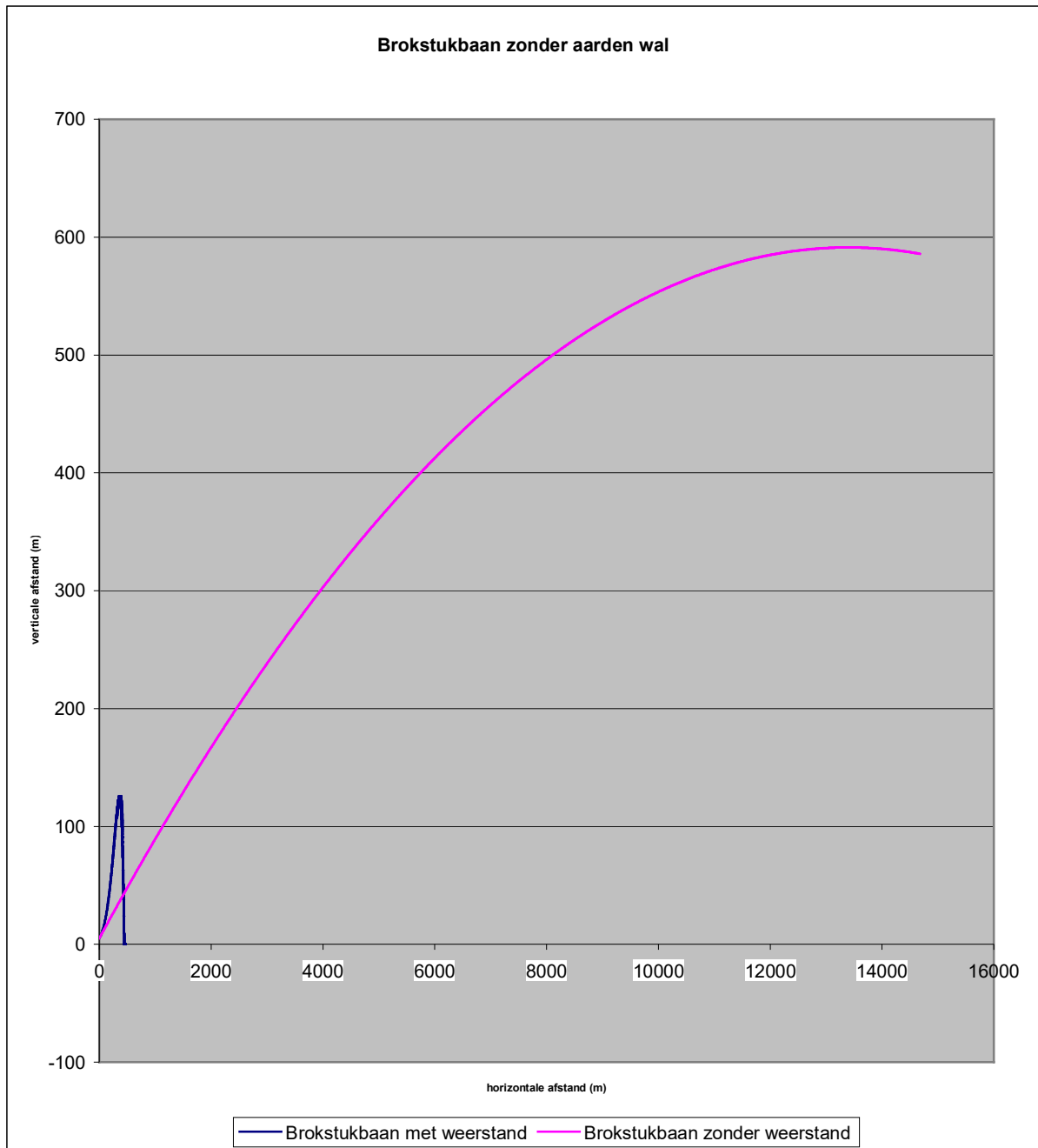
Startsnelheid:	1230	m/s
Gewicht brokstuk:	1,12	kg
Dichtheid:	580	kg/m ³
Tijdstapje:	0,01	sec
Hoek:	5	grad
Oppervlak:	0,0187	m ²
Weerstandscoeff:	1	
Dichtheid medium:	1,293	kg/m ³
Ystart:	5	m (>0)
Afstand tot aarden wal:	30	m
Hoogte aarden wal:	12	m
Volume brokstuk:	0,0019	m ³
Oppervlak bol:	0,0187	m ²
Oppervlak kubus:	0,0155	m ²

Tabel 6.2: Uitvoergegevens brokstukmodel

Zonder aarden wal		
Gegevens	met weerstand	zonder weerstand
<i>x, top</i>	363	13.393
<i>y, top</i>	126	591
<i>t, top</i>	3,97	10,93
<i>x, inslag</i>	448	0
<i>y, inslag</i>	0,00	5,00
<i>t, inslag</i>	10,23	0,00
<i>v, inslag totaal</i>	30,45	1230,00
<i>v, verticaal</i>	-29,12	107,20
<i>v, horizontaal</i>	8,92	1225,32

Met aarden wal		
Gegevens	met weerstand	zonder weerstand
<i>x, inslag</i>	32,29	36,76
<i>y, inslag</i>	8,18	11,42
<i>t, inslag</i>	0,03	0,03
<i>v, inslag totaa</i>	851,14	1229,97
<i>v, verticaal</i>	103,27	106,91
<i>v, horizontaal</i>	844,85	1225,32

Figuur 6.1: Uitvoergrafiek brokstukbaan zonder weerstand en brokstukbaan met weerstand



Tabel 6.3: Numeriek gedeelte brokstukmodel

Tijdstip	Horizontaal				Verticaal				Zonder VEERS/AND			
	Vhor (m/s)	Fw hor (N)	Fwma (m/s ²)	X (m)	Vyer (m/s)	Fw yer (N)	Fwma (m/s ²)	Y (m)	Vhor (m/s)	X(m)	Vvee(m/s)	Y(m)
0	1225,32	18197,76378	16248,00338	0	107,20	139,2305291	124,3656438	5,000	1225,32	0	107,20	5
0,01	1062,839445	10391151493	12224,65819	12,25319479	105,8957981	135,8255497	121,2728123	6,072	1225,32	12,25319	107,1034636	9,81
0,02	940,1528383	10723,15849	9574,248695	22,89188324	104,5488791	132,4264937	118,2898042	7,131	1225,32	24,50639	107,0053636	9,81
0,03	844,8503965	8651,252204	7724,332325	32,28791807	102,2679896	125,2576042	115,4071644	8,178	1225,32	36,75958	106,9032636	9,81
0,04	767,6070732	7416,289884	6376,45445	40,73602203	102,068918	126,1404513	112,6254043	9,209	1225,32	49,01278	106,8039636	9,81
0,05	703,8425287	6004,40259	5351,080589	48,14029276	100,7914639	123,1308435	109,9382531	10,229	1225,32	61,26597	106,710636	9,81
0,06	650,2317228	5124,543065	4575,450236	55,45059505	99,59398339	120,2224397	107,344464	11,237	1225,32	73,51917	106,623636	9,81
0,07	604,4783205	4428,724372	3954,21819	61,93283528	98,4266875	117,0449422	104,8310213	12,233	1225,32	85,77232	106,548636	9,81
0,08	564,9346386	3868,260887	3453,804363	67,99780348	97,27605622	114,6915037	102,403218	13,217	1225,32	98,02566	106,467636	9,81
0,09	530,3965949	3401,736378	3044,407481	73,64849387	96,15382522	112,0607137	100,0542087	14,190	1225,32	110,2788	106,388636	9,81
0,1	499,9625201	3029,541264	2704,947557	78,95091682	95,0528314	109,5145614	97,78089836	15,161	1225,32	122,5319	106,2205636	9,81
0,11	472,9030446	2710,368357	2420,169176	83,95044102	93,97337485	107,0494522	95,57396804	16,102	1225,32	134,7891	106,124636	9,81
0,12	448,7013628	2440,24489	2178,79366	88,67947146	92,92547757	104,6619775	93,44819148	17,042	1225,32	147,0383	106,0243636	9,81
0,13	426,9134262	2209,016578	1972,33623	93,16848503	91,89289393	102,3489062	91,3812942	17,971	1225,32	159,2915	105,9262636	9,81
0,14	407,1900639	2009,618835	1794,302531	97,43561936	90,88096441	100,1071742	89,38140566	18,890	1225,32	171,5447	105,8281636	9,81
0,15	389,2470386	1836,41141	1638,653045	101,501752	89,88980036	97,9328737	87,44039686	19,799	1225,32	183,7979	105,7300636	9,81
0,16	372,8505081	1684,957019	1504,42591	105,3993904	88,91644077	95,82624398	85,59314632	20,698	1225,32	196,0511	105,6319636	9,81
0,17	357,8062449	1551,72955	1385,470134	109,1284959	87,96284931	93,78166215	83,73462692	21,587	1225,32	208,3043	105,5338636	9,81
0,18	343,9515477	1433,883557	1280,253176	112,7065583	87,02743004	91,9763358	81,96217482	22,466	1225,32	220,5575	105,4357636	9,81
0,19	331,1430919	1329,124015	1186,720005	116,460734	86,0983129	89,8779439	80,24267356	23,337	1225,32	232,8107	105,3376636	9,81
0,2	318,2981859	1235,571033	1103,188422	119,4575636	85,20916455	88,0088258	78,57310444	24,198	1225,32	245,0639	105,2395636	9,81
0,21	308,2499317	1151,662767	1028,270328	122,8603817	84,32533346	86,18576351	76,95165663	25,050	1225,32	257,3171	105,1414636	9,81
0,22	297,9672284	1076,109217	960,8180005	125,7288011	83,4517718	84,42136259	75,37621859	25,893	1225,32	269,5703	105,0433636	9,81
0,23	288,3591004	1007,828656	899,8470139	128,7125533	82,58958564	82,70676164	73,84532289	26,728	1225,32	281,8235	104,9452636	9,81
0,24	279,3606403	945,9099268	844,5624346	131,9961445	81,76930241	81,04009358	72,35722641	27,554	1225,32	294,0767	104,8471636	9,81
0,25	270,916095	889,5910088	794,2587578	134,3897509	80,94763014	79,1898728	70,91034578	28,371	1225,32	306,3299	104,7490636	9,81
0,26	262,9723283	838,1841645	749,378783	137,0989301	80,14042868	77,34735283	69,50031217	29,181	1225,32	318,5831	104,6509636	9,81
0,27	255,4985411	791,1951372	706,3894082	139,7268243	79,34729498	76,3103715	68,13426531	29,982	1225,32	330,8363	104,5528636	9,81
0,28	248,4246471	748,012252	667,8680822	142,2825097	78,5678231	74,81819177	66,8024398	30,776	1225,32	343,0895	104,4547636	9,81
0,29	241,7459662	708,3339636	632,440618	144,7677562	77,8072381	73,365509	65,50816	31,561	1225,32	355,3426	104,3566636	9,81
0,3	235,4216594	671,7963999	599,7824399	147,1852168	77,0485717	71,9523382	64,24389482	32,339	1225,32	367,5958	104,2585636	9,81
0,31	229,4237344	637,9638023	569,6105378	149,5394314	76,30803475	70,57846243	63,0483986	33,110	1225,32	379,849	104,1604636	9,81
0,32	223,727623	606,6784785	541,671219	151,9336888	75,57978776	69,25979518	61,8767427	33,873	1225,32	392,1022	104,0623636	9,81
0,33	218,3108969	576,656369	515,7651509	154,0709451	74,8635102	67,92397036	60,6526264	34,629	1225,32	404,3554	103,9642636	9,81
0,34	213,1532054	550,6847938	491,6828516	156,2540536	74,1689879	66,6570444	59,5191946	35,377	1225,32	416,6086	103,8661636	9,81
0,35	208,2963769	525,5723947	469,2610667	158,3895857	73,46984388	65,4169338	58,40767304	36,119	1225,32	428,8618	103,7680636	9,81
0,36	203,5437662	502,16727	448,3497563	160,4679495	72,78346715	64,20736221	57,23900197	36,854	1225,32	441,115	103,6699636	9,81
0,37	199,0602687	480,2733849	428,8165222	162,5003871	72,1108713	63,02828344	56,07252037	37,582	1225,32	453,3682	103,5718636	9,81
0,38	194,772104	459,8041661	410,539434	164,4939889	71,4512346	61,87836403	55,04653331	38,303	1225,32	465,6214	103,4737636	9,81
0,39	190,6867191	440,6250011	393,4161796	166,4417109	70,8006482	60,7665621	54,04700001	38,917	1225,32	477,8746	103,3756636	9,81
0,4	186,7325673	422,6291895	377,347487	168,3483781	70,1600791	59,68223089	53,02894901	39,725	1225,32	490,1278	103,2775636	9,81
0,41	182,9590924	405,7208693	362,2507726	170,2197038	69,52928061	58,59422581	52,0627304	40,427	1225,32	502,381	103,1794636	9,81
0,42	179,3365847	389,8137356	348,0479782	172,0452347	68,9080788	57,5579373	51,0953012	41,122	1225,32	514,6342	103,0813636	9,81
0,43	175,8561049	374,8294178	334,6695695	173,9386606	68,2960258	56,53412283	50,17689806	41,811	1225,32	526,8874	102,9832636	9,81
0,44	172,5094082	360,6389883	322,026882	175,8572262	67,6931936	55,54044506	49,28868309	42,494	1225,32	539,1406	102,8851636	9,81
0,45	169,2898825	347,3571958	310,1402998	177,8223167	67,0919877	54,5700047	48,4212848	43,171	1225,32	551,3938	102,7870636	9,81
0,46	166,1874796	334,7464276	298,8907389	179,0152045	66,5138459	53,62220692	47,56866332	43,842	1225,32	563,647	102,6889636	9,81
0,47	163,1866722	322,8141702	288,2269377	180,5770793	65,93699959	52,69600148	46,70500132	44,507	1225,32	575,9002	102,5908636	9,81
0,48	160,3164028	311,5123488	278,1380257	182,3030661	65,36839594	51,79108442	45,8203366	45,167	1225,32	588,1533	102,4927636	9,81
0,49	157,5350425	300,7371864	268,5688718	183,9122301	64,80787564	50,96386852	44,95407296	45,820	1225,32	600,4065	102,3946636	9,81
0,5	154,8493838	290,6284617	259,499698	185,4876905	64,25949544	50,0422241	44,0805724	46,488	1225,32	612,6597	102,2965636	9,81
0,51	152,2544568	280,9696283	250,8657396	187,0380741	63,71034589	49,19707405	43,23595898	47,111	1225,32	624,9129	102,1984636	9,81

7 Aarden wal

Dit hoofdstuk laat de ingevulde werkbladen zien met betrekking tot het bepalen van de afmetingen van de aarden wal.

7.1 Statische berekening

De wandhoogte, de wandbreedte en wanddikte van de bezwijkende gevel wordt ingevuld. Ook het soortelijk gewicht van het materiaal en het aantal brokstukken dient te worden opgegeven. Automatisch worden dan gegevens uitgerekend die nodig zijn om de snelheid van de brokstukken te bepalen. Vanuit de Z-waarde wordt de gereflecteerde piekdruk bepaald. Er wordt gekozen om de snelheidsbepaling met behulp van de impuls te gebruiken (aan rechts) in plaats van met de energieverdeling (aan links). Dat levert een conservatieve waarde, omdat de impuls niet volledig wordt omgezet in snelheid van het brokstuk maar ook wordt gebruikt voor het opdelen in brokstukken en warmteverliezen.

Tabel 7.1: Invoergegevens

Indringdiepte brokstukken			
Wandhoogte	6,00 m	236,40 in	
Wandbreedte	5,40 m	212,76 in	
Wanddikte	0,15 m	5,91 in	
Soortelijk gewicht wand	580,00 kg/m ³	0,02 lb/in ³	
Aantal brokstukken in wand	2500,00 st	2500,00 st	
Volume brokstuk	0,002 m ³	118,90 in ³	
Straal brokstuk	0,077 m	3,05 in	
Doorsnede brokstuk (bolvorm)	0,019 m ²	29,23 in ²	
Gewicht brokstuk	1,128 kg	2,49 lb	
Hoeveelheid TNT	3600,00 kg		
Massa-spec energie	4520,00 kJ/kg	Afstand tot wand	2,70 m
Explosieenergie	16272000,00 kJ	Z-waarde	0,18 m/kg ^{1/3}
Percentage brokstukken	10,00 %	I _r /W ^{1/3}	7000,00 Pa.s / kg ^{1/3}
Energie brokstukken	1627200,00 kJ	Impuls p/m ² wand	107283,32 Pa.s
Energie per wand	36981,82 kJ	Gewicht m ² wand	87,00 kg
Energie per brokstuk	14,79 kJ	Gewicht brokstuk	1,13 kg
		Verhouding	0,01
		Impuls brokstuk	1390,39 N.s
Snelheid brokstuk volgens aangenomen energieverdeling, deze waarde ligt dichterbij de praktijk dan de snelheid hiernaast (impuls), maar wordt toch niet gebruikt, vanwege de onzekerheid betreffende de energieverdeling.	161,99 m/s	Snelheid brokstuk volgens conservatieve aanname dat de complete impuls wordt omgezet in snelheid	1233,14 m/s

Vervolgens worden de brokstuksnelheid, het gewicht van het brokstuk, het soortelijk gewicht van het brokstukmateriaal en het brokstukgewicht in het brokstukmodel ingevoerd (Bijlage 6). De gevonden inslagsnelheid in de aarden wal wordt ingevoerd in onderstaand werkblad en levert een bepaalde indringdiepte volgens de genoemde formules.

Tabel 7.2: Resultaat gegevens

Taludhoek	60,00 graden		
Verticale snelheid inslag	103,00 m/s		
Horizontale snelheid inslag	845,00 m/s		
Hoek met de normaal (t.o.v. m.v.)	83,05 graden		
Totale snelheid	851,25 m/s	33539,42 in/sec	2792,11 ft/sec
Youngs formula:	V < 200 ft/sec V > 200 ft/sec	$p = 0,53 S N (W_p/A)^{1/2} \log_e(1 + 2V^2/10^5)$ $p = 0,0031 S N (W_p/A)^{1/2} (V - 100)$	
S	10,00 -	factor afhankelijk van inslagmateriaal; aarde = 10	
N	0,75 -	neusvorm brokstuk (bolvormig tot plat)	
Wp	2,49 lb	gewicht brokstuk	
A	29,23 in ²	doorsnede brokstuk	
V	2792,11 ft/sec	inslagsnelheid	
Er wordt gebruik gemaakt van: $p = 0,0031 S N (W_p/A)^{1/2} (V - 100)$			
p, totaal =	18,25 feet	5,56 meter	
p, verticaal =	2,21 feet	0,67 meter	
p, horizontaal =	18,12 feet	5,52 meter	

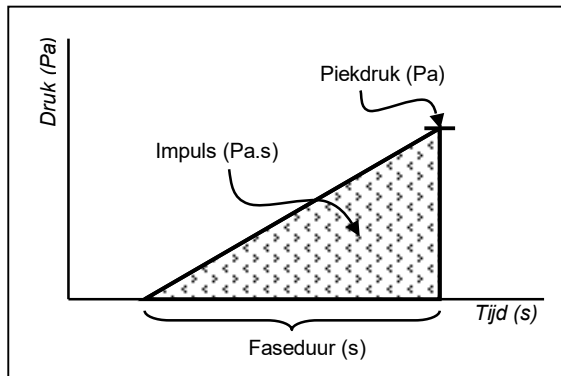
Met behulp van tabel 7.3 wordt bepaald wat de maximale piekdruk is die mag optreden bij aanname van een bepaald glijvlak. Duidelijk is te zien dat, met de aangenomen taludhoek van 60 graden het glijvlak met de laagste maximale piekdruk gelijk met het maavel loopt. Dat is het beste te verklaren doordat de piekdruk in geval van een schuin glijvlak zelf zorgt voor een hoge glijweerstand.

Tabel 7.3: Glijvlak berekening

Bezwijkvlak door lichtschock		Gereflecteerde piekdruk		talud + breedte bovenzijde		taludbreedte		W ₁		W ₂		W ₃		W _v schock		T		Tv		Th		N		Nv		Nh		O		q _{max}	
taludhoek	graden	0,50	Mpa	0,35	Mpa (hor)	0,35	Mpa (ver)	talud	breedte	W ₁	W ₂	W ₃	W _v	T	Tv	Th	N	Nv	Nh	O	q _{max}	KN/m ²	KN/m	KN/m ²	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m	KN/m ²	KN/m ²
60	60	2494,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7348,5	7348,5	0,0	0,0	0,0	7348,5	4395,5	2197,8	3806,6	11023,0	9546,2	5511,5	9318,2	776,5	9318,2	9546,2	5511,5	9318,2	9546,2	5511,5	9318,2	776,5		
61	60	2494,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7348,5	7452,1	0,0	0,0	0,0	7348,5	4390,6	2128,6	3840,1	10954,2	9680,8	5310,7	9150,8	762,6	9150,8	9680,8	5310,7	9150,8	9680,8	5310,7	9150,8	762,6		
62	20	10056,7	2494,2	0,0	0,0	0,0	0,0	7348,5	7562,6	0,0	0,0	0,0	7348,5	4392,4	2062,1	3878,3	10900,6	9624,7	5117,5	8995,8	749,6	8995,8	9624,7	5117,5	8995,8	9624,7	5117,5	8995,8	749,6		
63	25	10174,6	2494,2	23,1	20,4	11,8	0,7	7348,5	7678,9	0,8	0,8	0,8	7348,5	4386,4	1991,4	3908,3	10853,2	9670,3	4927,3	8835,6	736,3	8835,6	9670,3	4927,3	8835,6	9670,3	4927,3	8835,6	736,3		
64	64	10300,9	2494,2	23,6	20,0	11,5	4,0	7348,5	7798,0	0,7	0,7	0,7	7348,5	4379,9	1920,0	3936,6	10812,3	9718,0	4739,8	8676,4	723,0	8676,4	9718,0	4739,8	8676,4	9718,0	4739,8	8676,4	723,0		
65	64	10436,6	2494,2	24,1	19,5	11,2	10,0	7348,5	7920,0	12,4	12,4	12,4	7348,5	4376,5	1849,6	3966,5	10779,5	9769,6	4556,6	8522,1	710,2	8522,1	9769,6	4556,6	8522,1	9769,6	4556,6	8522,1	710,2		
66	66	10582,8	2494,2	24,6	19,0	11,0	19,0	7348,5	8044,9	24,7	24,7	24,7	7348,5	4376,3	1780,0	3998,0	10754,8	9825,0	4374,4	8372,3	697,7	8372,3	9825,0	4374,4	8372,3	9825,0	4374,4	8372,3	697,7		
67	67	10740,9	2494,2	25,1	18,5	10,7	31,2	7348,5	8173,1	42,4	42,4	42,4	7348,5	4379,3	1711,1	4031,1	10737,9	9884,2	4196,6	8226,8	685,6	8226,8	9884,2	4196,6	8226,8	9884,2	4196,6	8226,8	685,6		
68	68	10912,6	2494,2	25,6	17,9	10,4	46,8	7348,5	8304,7	86,9	86,9	86,9	7348,5	4385,3	1642,8	4066,0	10728,7	9947,5	4019,1	8085,1	673,8	8085,1	9947,5	4019,1	8085,1	9947,5	4019,1	8085,1	673,8		
69	69	11099,8	2494,2	26,2	17,4	10,0	66,2	7348,5	8440,0	99,5	99,5	99,5	7348,5	4394,5	1574,9	4102,6	10714,8	10014,8	3844,3	7947,0	662,2	7947,0	10014,8	3844,3	7947,0	10014,8	3844,3	7947,0	662,2		
70	70	11304,8	2494,2	26,7	16,8	9,7	89,5	7348,5	8579,1	142,0	142,0	142,0	7348,5	4406,8	1507,2	4141,1	10733,6	10086,3	3671,1	7812,2	651,0	7812,2	10086,3	3671,1	7812,2	10086,3	3671,1	7812,2	651,0		
71	71	11530,5	2494,2	27,3	16,3	9,4	117,3	7348,5	8722,4	196,7	196,7	196,7	7348,5	4422,3	1439,8	4181,4	10747,7	10162,1	3499,1	7680,5	640,0	7680,5	10162,1	3499,1	7680,5	10162,1	3499,1	7680,5	640,0		
72	72	11780,3	2494,2	27,9	15,7	9,1	149,9	7348,5	8870,0	266,3	266,3	266,3	7348,5	4441,1	1372,4	4223,7	10769,5	10242,4	3328,0	7551,7	629,3	7551,7	10242,4	3328,0	7551,7	10242,4	3328,0	7551,7	629,3		
73	73	12058,5	2494,2	28,5	15,1	8,7	187,6	7348,5	9022,4	354,3	354,3	354,3	7348,5	4463,1	1304,9	4268,1	10799,2	10327,3	3157,4	7425,5	618,8	7425,5	10327,3	3157,4	7425,5	10327,3	3157,4	7425,5	618,8		
74	74	12370,3	2494,2	29,1	14,5	8,3	231,1	7348,5	9179,9	465,3	465,3	465,3	7348,5	4488,5	1237,2	4314,7	10836,9	10417,1	2987,0	7301,7	608,5	7301,7	10417,1	2987,0	7301,7	10417,1	2987,0	7301,7	608,5		
75	75	12722,6	2494,2	29,8	13,8	8,0	280,8	7348,5	9342,7	605,0	605,0	605,0	7348,5	4517,4	1169,2	4363,5	10862,7	10511,9	2816,7	7180,1	598,3	7180,1	10511,9	2816,7	7180,1	10511,9	2816,7	7180,1	598,3		
76	76	13124,0	2494,2	30,4	13,1	7,6	337,4	7348,5	9511,3	781,2	781,2	781,2	7348,5	4549,9	1100,7	4414,7	10936,9	10612,0	2645,9	7060,6	588,4	7060,6	10612,0	2645,9	7060,6	10612,0	2645,9	7060,6	588,4		
77	77	13685,8	2494,2	31,1	12,4	7,2	401,5	7348,5	9686,1	1004,0	1004,0	1004,0	7348,5	4586,1	1031,6	4466,5	10999,7	10717,8	2474,4	6942,9	578,6	6942,9	10717,8	2474,4	6942,9	10717,8	2474,4	6942,9	578,6		
78	78	14123,1	2494,2	31,8	11,7	6,8	474,0	7348,5	9867,6	1287,4	1287,4	1287,4	7348,5	4626,1	961,8	4525,0	11071,4	10829,4	2301,9	6826,9	568,9	6826,9	10829,4	2301,9	6826,9	10829,4	2301,9	6826,9	568,9		
79	79	14756,6	2494,2	32,6	11,0	6,3	555,7	7348,5	10050,3	1650,5	1650,5	1650,5	7348,5	4670,2	891,1	4584,4	11152,3	10947,4	2128,0	6712,3	559,4	6712,3	10947,4	2128,0	6712,3	10947,4	2128,0	6712,3	559,4		
80	80	15515,1	2494,2	33,4	10,2	5,9	647,7	7348,5	10252,7	2120,6	2120,6	2120,6	7348,5	4718,5	819,4	4646,8	11242,9	11072,0	1952,3	6599,1	549,9	6599,1	11072,0	1952,3	6599,1	11072,0	1952,3	6599,1	549,9		
81	81	16440,3	2494,2	34,2	9,4	5,4	751,0	7348,5	10457,4	2737,7	2737,7	2737,7	7348,5	4771,3	746,4	4712,5	11343,5	11203,8	1774,5	6487,0	540,6	6487,0	11203,8	1774,5	6487,0	11203,8	1774,5	6487,0	540,6		
82	82	17594,6	2494,2	35,0	8,5	4,9	867,1	7348,5	10671,2	3562,1	3562,1	3562,1	7348,5	4828,8	672,0	4781,8	11454,7	11343,2	1594,2	6376,0	531,3	6376,0	11343,2	1594,2	6376,0	11343,2	1594,2	6376,0	531,3		
83	83	19076,3	2494,2	35,9	7,6	4,4	997,4	7348,5	10894,7	4690,0	4690,0	4690,0	7348,5	4891,3	596,1	4854,8	11577,1	11490,8	1410,9	6265,7	522,1	6265,7	11490,8	1410,9	6265,7	11490,8	1410,9	6265,7	522,1		
84	84	21049,2	2494,2	36,9	6,7	3,9	1143,7	7348,5	11128,9	6282,4	6282,4	6282,4	7348,5	4969,1	518,4	4931,9	11711,4	11647,2	1224,2	6156,1	513,0	6156,1	11647,2	1224,2	6156,1	11647,2	1224,2	6156,1	513,0		
85	85	23807,7	2494,2	37,8	5,7	3,3	1307,9	7348,5	11374,5	8631,1	8631,1	8631,1	7348,5	5032,6	438,6	5013,5	11868,8	11813,2	1033,5	6047,0	503,9	6047,0	11813,2	1033,5	6047,0	11813,2	1033,5	6047,0	503,9		
86	86	27941,4	2494,2	38,9	4,7	2,7	1492,4	7348,5	11632,8	12322,1	12322,1	12322,1	7348,5	5112,3	366,6	5009,8	12018,7	11968,4	836,4	5938,2	494,9	5938,2	11968,4	836,4	5938,2	11968,4	836,4	5938,2	494,9		
87	87	34825,3	2494,2	39,9	3,6	2,1	1699,9	7348,5	11904,7	18726,6	18726,6	18726,6	7348,5	5198,5	272,1	5191,4	12193,5	12176,8	632,2	5829,5	485,8	5829,5	12176,8	632,2	5829,5	12176,8	632,2	5829,5	485,8		
88	88	48584,7	2494,2	41,1	2,5	1,4	1933,4	7348,5	12191,7	31965,4	31965,4	31965,4	7348,5	5291,9	184,7	5288,6	12383,9	12376,4	432,2	5720,8	476,7	5720,8	12376,4	432,2	5720,8	12376,4	432,2	5720,8	476,7		
89	89	89846,0	2494,2	42,3	1,3	0,7	2196,7	7348,5	12495,2	5392,9	5392,9	5392,9	7348,5	5392,9	94,1	5392,1	12591,2	12589,3	219,7	5611,8	467,7	5611,8	12589,3	219,7	5611,8	12589,3	219,7	5611,8	467,7		
90	90	832406,9	2494,2	43,4	0,1	0,1	2462,7	7348,5	12783,7	814666,2	814666,2	814666,2	7348,5	5491,1	9,6	5491,0	12793,3	12793,3	22,3	5513,4	459,4	5513,4	12793,3	22,3	5513,4	12793,3	22,3	5513,4	459,4		

7.2 Dynamische berekening

Situatie **druk rondom**: Deze situatie treedt op afhankelijk van de duur van de piekdruk. De duur wordt bepaald door aan te nemen dat de luchtschok gemodelleerd mag worden door een driehoekige vorm (zie figuur 7.1). Bij een bekende impuls en de instantane piekdruk is de fase duur dan $2 \times$ (impuls/piekdruk).

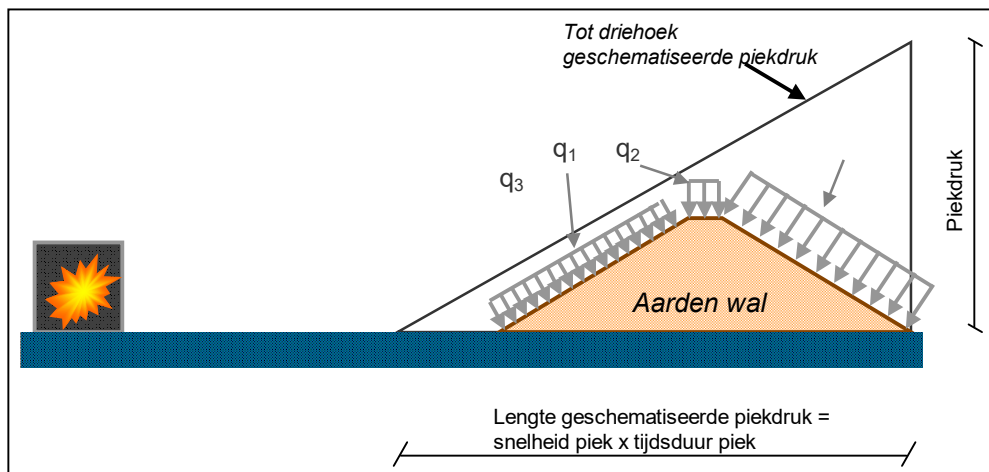


Figuur 7.1: Modelleringsdiagram van een luchtschok

7.2.1.1 Luchtschok alle zijden

Met de aanname dat de luchtschok met een snelheid van ongeveer 400 m/s de aarden wal passeert (6), dan kan de situatie worden geschetst die optreedt wanneer de aarden wal totaal omgeven is door de luchtschok.

De gereflecteerde impuls en piekdruk hangen af van de afstand van de aarden wal tot de explosiekern. Omdat de aarden wal voor de enkelzijdige belasting op 30 meter afstand wordt geplaatst wordt bepaald wat de totale belasting van de explosiedruk op de aarden wal is.



Figuur 7.2: Geschematiseerde piekdruk voor aarden wal

Op een afstand van 30 meter (tot de voet aarden wal) + 33 meter (breedte aarden wal) = 63 meter is er een gereflecteerde piekdruk van: 15.000 Pa en een gereflecteerde impuls van: 275 Pa.s. De tijdsduur van de schok is dan $2.750 / 15.000 = 0,18$ sec. Met een aangenomen snelheid van 400 m/s legt de schokgolf een afstand af van $0,18 \times 400 = 73$ meter.

De drukken in de geschematiseerde piek worden over de taluds en de bovenbreedte gemiddeld, zodat de volgende situatie ontstaat.

$$q_1 = ((73 \text{ (lengte golf)} - (1 \text{ talud} + 1 \text{ bovenbreedte} + 0,5 \text{ talud})) / 73) \times \text{piekdruk} = 9.785 \text{ Pa}$$

$$q_2 = ((73 \text{ (lengte golf)} - (1 \text{ talud} + 0,5 \text{ bovenbreedte})) / 73) \times \text{piekdruk} = 11.590 \text{ Pa}$$

$$q_3 = ((73 \text{ (lengte golf)} - (0,5 \text{ talud})) / 73) \times \text{piekdruk} = 13.400 \text{ Pa}$$

Het verschil in de drukken q_1 en q_3 is zo klein ($13.400 - 9.785 = 3.525 \text{ Pa} = 3,5 \text{ kPa}$) dat deze situatie niet maatgevend is voor het bepalen van de benodigde afmetingen.

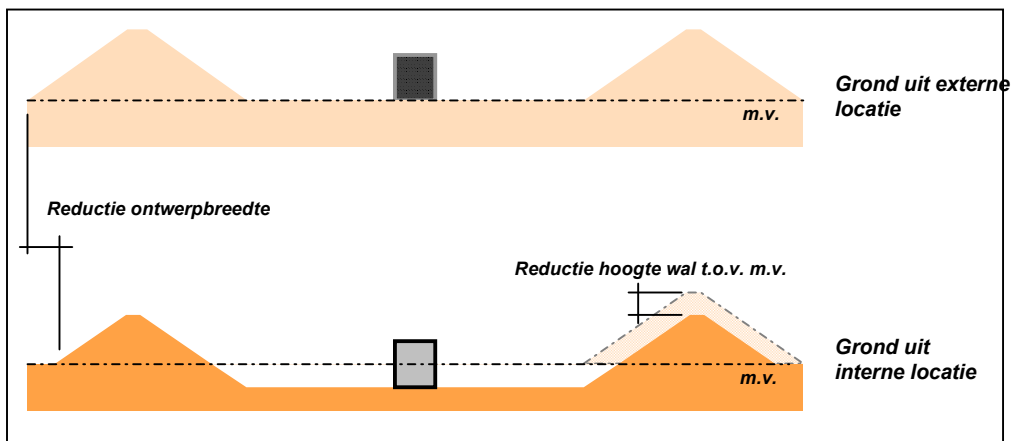
7.3 Beperking breedte aarden wal

Door het aanpassen van de taludhoek (kleiner dan 60 graden) wordt de totale breedte van het ontwerp gereduceerd. Dit aanpassen wordt mogelijk gemaakt wanneer de aarden wal permanent begroeid is met struikgewas of een sterke grassoort. Dat heeft echter ook consequenties voor de invloed van luchtschok en brokstukken.

Een andere manier om de totale breedte van het ontwerp te reduceren is het variëren van de hoogteligging van de constructie ten opzichte van het maaiveld.

Het benodigde grondmateriaal dat gebruikt wordt voor de aanleg van de aarden wal wordt mogelijk aangevoerd van externe locaties, maar wanneer grondmateriaal binnen de aan te leggen wal wordt ontgraven heeft dit twee voordelen.

- De aarden wal hoeft ten opzichte van het maaiveld minder hoog te worden, waardoor de totale breedte van de wal afneemt.
- De grondbalans gelijk, wat inhoudt dat er geen grond uit externe locaties aangevoerd hoeft te worden met alle bijbehorende grondkwaliteit metingen, administratieve zaken en transportactiviteiten van dien (zie figuur 7.3). Het nadeel van een verdieping ten behoeve van reductie van de ontwerpafmetingen en grondbalans is het hoogteverschil dat moet worden overwonnen bij het transport naar de ruimte en de problemen met grondwaterstanden.



Figuur 7.3: Grond externe en interne locatie

De verdieping die moet worden toegepast, ten einde al het grondmateriaal van de aarden wal uit de verdieping te realiseren (gelijke grondbalans), kan eenvoudig worden bepaald. Daarbij gelden de volgende uitgangspunten.

- Afstand constructie – voet wal is 30 meter
- Taludhoek 60 graden t.o.v. normaal loodrecht op maaiveld
- Aarden wal vierkant en volledig gesloten
- Hoogte wal t.o.v. bovenkant wand constructie + 6 meter
- Bovenbreedte is 2 meter

De uiteindelijke afmetingen van de aarden wal zijn in tabel 8.2 weergegeven.

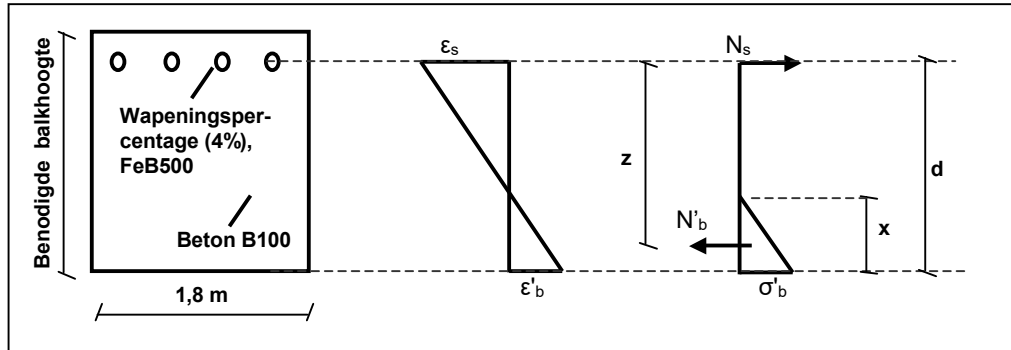
Tabel 7.4: Afmetingen ontwerp

Afmetingen in meters	herkomst grond	
	extern	intern
hoogte wal boven maaiveld	12	6
bovenbreedte wal	2	2
taludhoek	60	60
breedte wal maaiveld	43,6	22,8
totale lengte/breedte constructie + wallen	152,5	131,8

De keuze tussen de interne of externe herkomst van grond kan niet alleen gebaseerd worden op de praktische voor- en nadelen. Afhankelijk van de locatie moet worden bepaald hoe diep kan worden gegraven en of dit toegestaan is met plaatselijke onderbreking van de grondwaterstand (brongbemaling naast aarden wal).

8 Elastische berekening dak

De middendoorsnede van de balk die dit moment elastisch moet kunnen opnemen ziet er als volgt uit:



Figuur 8.1: Doorsnede strook en spanningverloop bij elastisch materiaalgedrag

Beton B100 heeft een betondruksterkte met rekenwaarde voor de éénassige druksterkte van 60 N/mm^2 , een E-modulus van $= 47.250 \text{ N/mm}^2$ en een maximale betonrek van 1.27 ‰ .

Staal FeB500 heeft een staaltreksterkte van 500 N/mm^2 , een E-modulus van 210.000 N/mm^2 en een maximaal elastische staalrek van $2,75 \text{ ‰}$.

Vervorming:
$$\frac{\varepsilon'_b}{\varepsilon_s} = \frac{x}{d-x} \quad (8.1)$$

ε'_b = rek beton in uiterste vezel (max. $3,5 \text{ ‰}$)
 ε_s = rek staal
 x = hoogte drukzone tot neutrale lijn
 d = hoogte van staal tot maximale betondruk (balkhoogte – (staaldekking + halve staaldiameter))

Horizontaal evenwicht:
$$\frac{1}{2} b \cdot x \cdot \varepsilon'_b \cdot E'_b = A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s \quad (8.2)$$

A_s = doorsnede wapening
 E_s = stijfheidmodulus staal
 b = breedte balk
 E'_b = stijfheidmodulus beton

Moment:
$$N_s \cdot z = M_r$$

$$A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s \left(d - \frac{1}{3} x \right) = M_r \quad (8.3)$$

M_r = moment juist na scheuren (maatgevend moment)

Verhouding:
$$\frac{x}{d} = -n\omega + \sqrt{(n\omega)^2 + 2n\omega} \quad (8.4)$$

ω = A_s / bd

$$n = E_s / E'_b$$

In het hier beschouwde geval nemen we aan dat minimaal geldt: Hoogte balk 3000 mm, dekking 100 mm,

$$\begin{aligned} d &= y - (\text{de dekking en halve geschatte staaldiameter}) \rightarrow 3000 - 300 = 2700 \\ \omega &= 4\% \quad (216.000 \text{ mm}^2) \\ n &= 210.000 / 47.250 = 4,4 \\ x/d &= 0,44 \quad (\text{met formule 8.5}) \end{aligned}$$

Dan is x gelijk aan $0,44 * 2700 = 1188$ mm. Voor de staalrek ϵ_s geldt dan met formule (8.4) en het op te nemen moment $656.100.000.000$ Nmm: $6,2$ ‰. De betonrek is met formule (8.2) en de gevonden x en d dan: $4,9$ ‰. Deze waarde is hoger dan de gevonden maximale elastische betonrek van $1,27$ ‰. De beton (en de wapening) zijn in de plastische fase, zodat de doorsnede niet elastisch blijft het moment kan opnemen. Pas bij een dakdikte van 6 meter kan de piekdruk elastisch worden opgenomen.

9 Extern transport

Extern transport:

Het internationaal transport van vuurwerk vanuit China vindt plaats in containers. De containers hebben een afmeting van 20 of 40 voet. De inhoud van een geheel gevulde container van 40 voet heeft in de praktijk een gewicht van ongeveer 18-25 ton. De containers zijn standaard containers voor het vervoer van goederen. Er zijn aan de containers geen speciale voorzieningen aangebracht voor het transport van vuurwerk [19].

Voor het vervoer van stoffen en voorwerpen van de klasse 1 over de weg in Nederland moeten speciale voertuigen worden gebruikt, namelijk EX/II en EX/III voertuigen. Aan deze voertuigen worden speciale eisen gesteld bijvoorbeeld m.b.t. de uitlaat, de brandstoftank en het gebruik van brandbaar materiaal. De maximaal toegestane hoeveelheden voor deze voertuigen zijn afhankelijk van het type voertuig en de subklasse waaronder de stof of het voorwerp moet worden ingedeeld (8). Het volgende overzicht laat zien welke hoeveelheden per klasse mogen worden vervoerd [3], (4).

- EX/II voertuig:
 - subklasse 1.1, compatibiliteitsgroep 1.1A: 6,25 kg, overige 1.000 kg
 - subklasse 1.2: 3.000 kg
 - subklasse 1.3: 5.000 kg

- EX/III voertuig:
 - subklasse 1.1, compatibiliteitsgroep 1.1A: 18,75 kg, overige 16.000 kg
 - subklasse 1.2: 16.000 kg
 - subklasse 1.3: 16.000 kg

Vervoer van vuurwerk is onveiligere dan opslag, omdat hierbij de kans op externe initiatie groter is (ongeluk, technisch falen transportmiddel).

Onderzoek is geboden of door de sanering van vuurwerkbedrijven en het aanwijzen van vuurwerkconcentratiegebieden en/of het verplaatsen van bedrijven over de grens het totaal aantal landelijke transportkilometers toeneemt. Onderzoek wat voor soort transporten en door wat voor bevolkingsdichtheden deze plaatsvinden. Vind de maximale hoeveelheden per klasse die mogen worden getransporteerd per vervoermiddel. Onderzoek of het veiliger is meerdere opslagpunten in Nederland te hebben of aangewezen te zijn op enkele concentratiegebieden.

Met als doel het transportgevaar uit te zetten tegenover opslaggevaar en vervolgens het totale gevaar minimaliseren.

10 Bedrijven & Instanties

Dit hoofdstuk beschrijft in het kort de activiteiten van de bedrijven die verbonden zijn aan het afstudeerwerk. Achtereenvolgens komen de volgende bedrijven en instanties aan de orde:

- LMIP Landelijk Meld- en InformatiePunt
- ProXYZ Consultancy bedrijf op vergunningen gebied
- RIVM (CEV) RijksInstituut Volksgezondheid en Milieu (expertiseCentrum Externe Veiligheid)
- TUD Technische Universiteit Delft
- TNO-PML Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek - Prins Maurits Laboratorium
- VROM ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening & Milieubeheer en Vuurwerk)
- VEN Vereniging Evenementenvuurwerk Nederland

10.1 LMIP

Bij VROM is een landelijk meld- en informatiepunt ondergebracht waar informatie wordt verzameld over de opslag van vuurwerk bij bedrijven, het afsteken van vuurwerk bij evenementen en voorstellingen en over de in- en uitvoer en aflevering van vuurwerk. Hier kunnen overheden en de branche terecht met vragen over deze onderwerpen. Daarnaast kunnen ook (andere) burgers bij het meldpunt terecht voor informatie.

Een van de belangrijkste uitkomsten van de commissie Oosting is dat er in Nederland geen sprake is van samenhangende handhaving. Dat is reden geweest voor de ministerraad om aan te sturen op minder vrijblijvende en beter gecoördineerde handhaving, kortweg gezegd ketenhandhaving. Ketenhandhaving biedt de uitdaging om de handhaving op een betere manier te organiseren. Nederland is in kolommen georganiseerd en nu ligt er een kans om over de grenzen van elkaars competenties te gaan werken.

De taak van het informatiepunt is het bundelen, actueel houden en verrijken van informatie inzake vergunningverlening, meldingen, toestemmingen, verklaringen van geen bezwaar, controlebevindingen en handhavingsactiviteiten ten behoeve van de betrokken instanties. Dit alles binnen de grenzen van de van daarop van toepassing zijnde wet- en regelgeving en binnen de taken die zijn opgedragen aan de betrokken instanties. De handhavende instanties zullen kosteloos toegang hebben tot deze informatie.

Het doel van het Landelijk Meld- en InformatiePunt is het ondersteunen van de keten handhaving door het actief of passief verstrekken van informatie in de verschillende stadia van het handhavingsproces. Het LMIP heeft een facilitaire rol. Dat wil zeggen, dat het LMIP de handhaving niet als gezag aanstuurt.

Het LMIP heeft drie functies:

- Informeren
 - Vergaren
 - Veredelen
 - Vastleggen
 - Verstrekken
 - Actief doorkoppelen
- Analyseren
 - Operationele analyses
 - Strategische analyses/managementinformatie
- Coördineren

Het LIMP dient zoveel mogelijk aan te sluiten bij de bestaande structuren. Servicepunten handhaving (SEPH's) hebben een belangrijke rol bij de informatie-uitwisseling op provinciale schaal. Idealiter vormen de SEPH's de schakel tussen het LMIP en de lokale en regionale handhavinginstanties.

10.2 ProXYZ

ProXYZ Consultancy richt zich op het vergunningentraject van renovatie en bouwactiviteiten voor grootschalige bouwprojecten.

Door de werkwijze van ProXYZ Consultancy is een overlap mogelijk van het vergunningentraject met site acquisitie en engineering, hetgeen voor ieder bouwproject tijdwinst kan opleveren.

Onder site acquisitie wordt het uitvoeren van een locatieonderzoek verstaan, waarbij gezocht wordt naar een locatie die voldoet aan de wensen van de klant en die daarnaast planologisch en juridisch haalbaar is.

Onder vergunningen verstaat ProXYZ het uitvoeren van een haalbaarheidsstudie tot en met het verkrijgen van een vergunning danwel afwijzing van de vergunningaanvraag.

Onder engineering wordt de ontwerpfase van het voorontwerp tot en met het bestek verstaan, waarbij detaillering wordt overgelaten aan specialisten zoals aannemers en leveranciers.

10.3 RIVM (CEV)

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) is voortgekomen uit onderzoeksinstituten die van oorsprong het Staatstoezicht op de volksgezondheid bijstonden. Het RIVM van nu voert haar taken uit ten behoeve van de beleidsontwikkeling en het toezicht op het gebied van volksgezondheid, milieu en natuur. Het instituut ressorteert onder de Minister van Welzijn, Volksgezondheid en Sport en voert tevens onderzoek uit ten behoeve van andere departementen, met name Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

In de Wet op het RIVM (Wet van 21 oktober 1996) zijn de taken van het RIVM als volgt geformuleerd:

- a) onderzoek te verrichten dat is gericht op ondersteuning van de beleidsontwikkeling en de uitoefening van toezicht op het terrein van de volksgezondheid en het terrein van het milieu en natuur
- b) periodiek te rapporteren over de toestand en de toekomstige ontwikkeling van de volksgezondheid, het milieu en de natuur,
- c) andere door de ministers op te dragen onderzoeken,
- d) onderzoek in opdracht van derden dat aansluit op het onder a t/m c bedoeld onderzoek en dat nuttig is uit oogpunt van algemeen belang. Het door het RIVM uit te voeren onderzoek is opgenomen in meerjarenactiviteitenprogramma's die de goedkeuring behoeven van de betrokken ministers.

Krachtens de Wet op het RIVM is het instituut wetenschappelijk onafhankelijk. Ministers kunnen geen aanwijzingen geven over de wijze waarop onderzoek dient te worden uitgevoerd c.q. gerapporteerd. Een commissie van toezicht bewaakt het wetenschappelijk niveau van het RIVM.

De dertig RIVM faciliteiten zijn geplaatst in vijf divisies, welke nauw samenwerken aan specifieke projecten.

Pronk opent Centrum voor Externe Veiligheid en Vuurwerk bij RIVM

Minister Pronk van VROM heeft op woensdag 23 januari bij het RIVM het expertiseCentrum voor Externe Veiligheid en Vuurwerk geopend. De oprichting van dit centrum is het direct gevolg van de vuurwerkram্প in Enschede. Na de rampen in Enschede en Volendam, heeft het kabinet besloten de bestaande kleine eenheid die zich bij het RIVM bezighoudt met externe veiligheid, uit te breiden en om te vormen tot een ExpertiseCentrum voor Externe Veiligheid en Vuurwerk (CEV). De commissie-Oosting schrijft in haar rapport naar aanleiding van de vuurwerkram্প in Enschede: „Het is van belang dat het externe veiligheidsbeleid van de rijksoverheid voldoende wordt gevoed door deskundige advisering, juist ook uit eigen beweging, naar aanleiding van ontwikkelingen in relevante wetenschapsgebieden, onder meer ten aanzien van onderzoeksresultaten die van belang kunnen zijn voor het externe veiligheidsbeleid in het algemeen en ten aanzien van professioneel vuurwerk in het bijzonder. (...) De verantwoordelijkheid voor die voeding van het beleid zou kunnen worden opgedragen aan het expertisecentrum, of wellicht aan het RIVM.”

Direct advies voor gemeenten en provincies Het ExpertiseCentrum voor Externe Veiligheid en Vuurwerk kan ook direct aan gemeenten en provincies adviseren bij vragen die opkomen over risico's. Gemeenten en provincies kunnen advies inwinnen ten behoeve van vergunningverlening en handhaving van de regelgeving. Op deze wijze kan het centrum bijdragen aan een beter extern veiligheidsbeleid van gemeenten en provincies. Het centrum bij het RIVM krijgt ook het beheer van

de landelijke registratie van risicosituaties met gevaarlijke stoffen. Dr. Ben Ale is benoemd tot hoofd van het centrum.

Centrum voor Externe Veiligheid en Vuurwerk (CEV)

Externe veiligheid houdt zich bezig met de risico's voor mensen in de omgeving van bedrijven waar gewerkt wordt met gevaarlijke stoffen, zoals ammoniak, LPG, chloor, munitie en vuurwerk. Ook het transport van gevaarlijke stoffen en de veiligheid rond vliegvelden valt onder de noemer 'externe veiligheid'. Het Centrum voor Externe Veiligheid en Vuurwerk van het RIVM is opgericht naar aanleiding van de vuurwerk explosie in Enschede. Het doel van het centrum is:

- a) *Het adviseren van het Ministerie van VROM en andere ministeries op het gebied van externe veiligheid,*
- b) *het adviseren van gemeentes, provincies en toezichthouders, zoals de Inspectie Milieuhygiëne, op het gebied van externe veiligheid in het algemeen en vuurwerk in het bijzonder,*
- c) *het in stand houden en versterken van de kennis in Nederland op het gebied van externe veiligheid,*
- d) *het presenteren van de externe veiligheid situatie in Nederland door middel van een register van risicovolle situaties en jaarlijkse rapporten (Milieubalans),*
- e) *deelname aan taken van de rijksoverheid op het gebied van rampenbestrijding en -preventie.*

10.4 TUD

Van nature streeft de mens naar groei, verandering en verbetering. Voortdurend verfijnen we bestaande systemen, zoeken we wegen om ons leven eenvoudiger, veiliger en comfortabeler te maken. Technologie is er om aan de behoeften van de mens tegemoet te komen. Technologie raakt alle aspecten van ons leven. De resultaten nemen we om ons heen waar, we voelen ze. En, op zoek naar oplossingen van bestaande problemen, doen we vaak nieuwe ontdekkingen: technologie reageert op verandering én stuurt verandering aan.

Aan al het onderzoek en onderwijs van de Technische Universiteit Delft ligt een gezonde nieuwsgierigheid ten grondslag en de behoefte om de kwaliteit van het leven te vergroten, waar ook ter wereld. Onze onderzoekers en studenten willen een rol spelen bij het vormgeven van de wereld van morgen. Dat betekent naast het stellen van vragen die verder gaan dan de gebruikelijke 'wie, wat, waar, waarom, wanneer en hoe?', vooral het zoeken naar het antwoord op de belangrijkste vraag: 'wat, als....?'

De faculteit CiTG heeft 7 onderzoeksafdelingen, die weer zijn onderverdeeld in afdelingen: Bouwtechniek & Bouwproces, Geodesie, Infrastructuur, 'Mechanica, Materialen en Constructies', Technische Aardwetenschappen, Watermanagement, Waterbouwkunde en Geotechniek. Bij de afdeling Bouwtechniek en Bouwproces is vanuit de sectie Gebouwen en Gebouwtechniek een commissie samengesteld die het afstudeerwerk zullen begeleiden. In het opgestelde werkplan is hierover meer informatie te vinden.

10.5 TNO-PML

Profile: Three of the institutes of The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO) work mainly for the Netherlands Ministry of Defence (MoD). These institutes are TNO Physics and Electronics Laboratory, TNO Human Factors and our TNO Prins Maurits Laboratory (TNO-PML). Together with these institutes and a number of research groups of other TNO institutes, we constitute TNO Defence Research, the 'in-house laboratory' of the Netherlands MoD. TNO-PML employs about 340 professionals active in research & development of defence technology.

Within the framework of TNO Defence Research, our principal mission is to support the Netherlands' armed forces in building and maintaining a cost-effective, strong defence by providing scientific and technical advice in areas such as: protection against NBC and impact weapons; ammunition technology and explosion safety; weapon effects.

With a proven track record of high quality research delivered at a fixed price and fixed time, other clients besides the Netherlands Defence have found their way to the TNO-PML and account for more than 35% of our turnover. For example, TNO-PML has excellent opportunities to offer to: foreign

Defence contractors to fulfil their offset obligations with high-tech research contracts; civilian contractors for contract research, product design, and standard products.

An important aim of TNO is to contribute to the quality of our society with know-how. For instance, the TNO-PML assists the Government in its endeavours to support non-proliferation treaties of mass destruction weapons. Also, we are developing new methods for the destruction of surplus conventional and chemical munitions in a safe and environmentally friendly way, and for clearing anti-personnel minefields.

Mission and Strategy: The TNO Prins Maurits Laboratory has the following mission: To support the Dutch Ministry of Defence in setting up and maintaining capable and cost effective Armed Forces by introducing relevant scientific know-how

To contribute to the strengthening national defence technology base by development of knowledge and by transferring this knowledge to industry

To support the Dutch Ministry of Defence in setting up and maintaining capable and cost effective Armed Forces by introducing relevant scientific know-how

To perform research and development for (inter)national industries and governments in the areas of core expertise

The strategy of the TNO Prins Maurits Laboratory is defined once every 4 years, in conjunction with the definition of the TNO strategy. The main components from the 1999-2002 TNO PML strategy are: main area of activity will remain defence research; most important customer will remain the Netherlands Armed Forces; increase the contract research for (inter)national industries and government with 10% per annum; use, amongst others, the mechanism of industrial cooperation for increasing contract research with international industries; increase the spin-off of defence technology to civil applications, amongst which space, gas generators, pharmacology, and personal protection; stimulation of the partnership within TNO Defence Research with the sister laboratories TNO Physics and Electronics Laboratory and the TNO Human Factors Institute; develop standard products with a relevance to the market; aim at a technology investment of 25% of the yearly turnover; enlarging the network on the basis of European co-operation; increase the technology investment for other departments as defence; stimulation of entrepreneurship; improve quality care.

10.6 VROM

'Ruimte voor elkaar, ruimte voor de toekomst'

Nederland is bijna het meest dichtbevolkte land ter wereld. Ruim 16 miljoen inwoners en we groeien gestaag door. Dan moet je verstandig omgaan met de beschikbare ruimte. Waar gaan we werken, waar wonen en waar vakantie houden? Wat bebouwen en wat blijft ongerept? Nergens ter wereld wordt daar zo grondig over nagedacht als hier. We moeten wel.

Het is de taak van VROM om randvoorwaarden te scheppen voor de kwaliteit van wonen en leven in onze huidige samenleving en de toekomstige. Een samenleving waarin voldoende ruimte is voor mensen om gezond te leven en waarin mensen zich veilig voelen en respect hebben voor hun leefomgeving.

Wonen, ruimte en milieu

VROM staat voor volkshuisvesting, ruimtelijke ordening, milieubeheer en rijkshuisvesting. Zelf hebben we het meestal over wonen, ruimte en milieu. Voor VROM kunnen deze drie begrippen niet los van elkaar gezien worden, omdat ze van grote invloed zijn op elkaar. VROM is bevoegd bezig met de duurzame relatie tussen mens en samenleving in de context van de fysieke leefomgeving.

Samenwerking

Onder de politieke leiding van minister J.P. Pronk en staatssecretaris J.W. Remkes werken zo'n vierduizend medewerkers van VROM aan duurzame en creatieve oplossingen bij de inrichting van ons land. Dat komt tot uiting in nota's, waarin de hoofdlijnen van het beleid worden neergelegd. Op basis hiervan worden wetten en regels gemaakt. Het beleid van VROM komt tot stand in samenspraak met andere partijen, zoals gemeenten en provincies, maatschappelijke organisaties en bedrijven. Ook bij de uitvoering is VROM voor een groot deel aangewezen op anderen. Per slot van rekening is de inrichting van ons land een kwestie die iedereen aangaat.

Beleidsvorming

Het VROM werkt actief aan beleidsvorming inzake vuurwerk. Daarom is zij hier een essentiële partner in het afstudeerwerk.

10.7 VEN

De Vereniging Evenementenvuurwerk Nederland (VEN) stuurt minister Pronk (VROM) een open brief om hun ongenoegen over het vuurwerkbesluit te uiten. Het wordt voor de professionele vuurwerkbranche namelijk onmogelijk om hun activiteiten zonder ingrijpende aanpassingen te handhaven. Dit houdt in dat alle bedrijven die professioneel vuurwerk willen blijven bezigen en opslaan zullen moeten verhuizen naar geschikte locaties (binnen vuurwerkconcentratiegebieden) of naar het buitenland. Branchecollega PVPT (Branchevereniging voor Professioneel Vuurwerk, Pyrotechniek en Toepassingen) steunt de actie. Bij de twee brancheorganisaties zijn 34 van de 71 vuurwerkbedrijven met een vergunning aangesloten. De branches vertegenwoordigen dus bijna de helft van alle professionele vuurwerkbedrijven.

11 NPR 7910-2

In bedrijven en installaties waar brandbare vaste stoffen, brandbare vloeistoffen en gassen aanwezig zijn, is kans op brand en ontploffingsgevaar. Ondanks het feit dat hier bij het ontwerpen en bedienen van apparatuur en systemen rekening mee wordt gehouden, is het soms niet te vermijden dat er toch brandbare stoffen vrijkomen. Vaak zijn daarom verdere maatregelen nodig om de waarschijnlijkheid van een ontsteking aanvaardbaar klein te maken. Die maatregelen kunnen beperkt blijven tot gebieden - of zones - waar een ontplofbare atmosfeer kan optreden.

De Nederlandse norm NEN-EN-IEC 60079 (deel 10) geeft de principes voor het vaststellen van de plaats en klasse van de zones, maar verwijst voor de daadwerkelijke uitvoering naar nationale richtlijnen.

De NPR 7910 is zo'n richtlijn; deel 1 van deze richtlijn bevat aanwijzingen voor het uitvoeren van de op grond van de norm vereiste gevarezone-indeling. Deel 2 is een nieuwe praktijkrichtlijn, met regels voor de preventie en bestrijding van stofontploffingsgevaar. Deze materie was in Nederland tot dusver niet in voorschriften met een bindend karakter geregeld. Dit deel is een nadere uitwerking van een Europees normontwerp: NEN-EN 50281-3 'Classification of areas where combustible dusts are or may be present' en gebaseerd op de ervaringen die zijn opgedaan met het voorlichtingsblad V27 en met een in 1995 door DSM opgesteld bedrijfsvoorschrift voor de zone-indeling van gebieden met stofontploffingsgevaar.

Inhoudsopgave:

1. Onderwerp & Toepassingsgebied
2. Verwijzingen
3. Termen en definities
4. Brandbare stof en zijn eigenschappen
5. Principe van gevarezone-indeling
6. Organisatorische aspecten
7. Ontstekingsbronnen

- B1. Identificatie van zones in tekeningen
- B2. Voorbeelden van bepaling van afmetingen van een gevarezone
- B3. Ontploffingen
- B4. Bestrijding van ontploffingsgevaar
- B5. Handleiding voor bestrijding van stofontploffingsgevaar
- B6. Aanduiding gevarezones
- B7. Explosie veiligheidsmaatregelen volgens Bijlage 11 van Richtlijn 1999/92/E6
- B8. Internationale normen met vergelijkbare gevarezone-indeling
- B9. Samenstelling werkgroep
- B10. Literatuurlijst

Ontstekingsprocessen: Heet oppervlak, vlammen (open vuur), ontledingsprocessen in de stof waarbij warmte wordt ontwikkeld, vonken van mechanisch of elektrische aard.

Zones: Ingedeelde gebieden gebaseerd op frequentie en duur van de potentiële aanwezigheid van ontplofbare atmosfeer.

Zone 20: Gebied waarbinnen tijdens normaal bedrijf een ontplofbaar stof-luchtmengsel voortdurend of gedurende lange periode aanwezig is (gedurende in totaal meer dan 1000 uur per jaar).

Zone 21: Gebied waarbinnen tijdens normaal bedrijf de kans op aanwezigheid van een ontplofbaar stof-luchtmengsel groot is ten gevolge van vrijkomen uit een gevaarbron en/of opwerveling van gedurende lange perioden aanwezig afgezet stof (10-1000 uur aanwezig brandbaar stof-luchtmengsel per jaar of stofafzettingen die in totaal meer dan 1000 uur per jaar aanwezig zijn).

Zone 22: Gebied waarbinnen tijdens normaal bedrijf de kans op aanwezigheid van een ontplofbaar stof-luchtmengsel gering is en waar dergelijke mengsels slechts kortstondig kunnen bestaan ten gevolge van vrijkomen uit een gevaarbron en/of opwerveling van gedurende lange perioden aanwezig afgezet stof

(minder dan 10 uur aanwezig brandbaar stof-luchtmengsel per jaar of stofafzettingen die in totaal minder dan 1000 uur per jaar aanwezig zijn).

- Categorie 1-D: Zeer hoog beveiligingsniveau (twee onafhankelijke systemen) en bij 2 onafhankelijke storingen nog steeds veiligheid gewaarborgd.
 Categorie 2-D: Hoog beveiligingsniveau, zelfs bij normaal frequente storingen.
 Categorie 3-D: Normaal beveiligingsniveau.
- Zone indeling: 20: 1D apparatuur
 21: 1D of 2D apparatuur
 22: 1D, 2D of voor niet geleidende stoffen categorie 3D apparatuur.

Overdruk niveaus:

Overdruk (BAR)	Effect
0,002	Grote ruiten kunnen breken
0,003	Kleine ruiten kunnen breken
0,006	Orkaan windkracht 12
0,020	ca. 10% ruitbreuk
0,030	Veel ruitbreuk, lichte schade gebouwen
0,070	Ruiten verbrijzeld, huizen zwaar beschadigd
0,140	Muren huizen storten in
0,200	Gebouwen met stalen skelet beschadigd
0,280	Olietankers opengescheurd
0,300	Trommelvlies scheurt
0,420	Huizen bijna totaal vernietigd
0,500	Treinen gekanteld
0,700	Alle gebouwen vernietigd
1,000	Mensen gedood in open lucht (longbeschadiging)

- Methodes van aanpak: Overdruk gebruiken om systemen (brandblusmiddelen, compartimentering) te activeren
 Voorkomen ontsteking
 Geavanceerde temperatuurtechnieken
 Compartimentering n.a.v. hoeveelheden opgeslagen stoffen
 Afzuigsysteem stofdeeltjes

12 Literatuurlijst

De literatuurlijst bevat alle gebruikte literatuur, waarbij ook aangegeven waar het betreffende document te vinden is. In het rapport wordt met vierkante [x] haken verwezen naar de literatuur.

	Titel	Omschrijving/uitgave	Auteur	Locatie
[1]	A study of schokgolf characteristics of several primary explosives and pyrotechnic compositions	: Journal of Hazardous Materials, Volume 21, Issue 2, 1989, Pages 135-142	L.V. de Yong and G. Campanella	Centrale bibliotheek TUDelft, CB 3278 1.1975 -
[2]	AASTP-1	: Het Allied Ammunition, Storage and Transport Publication is een handboek van de NATO over munitieopslag, 1997	NATO	Niet beschikbaar, dan voor militaire rijksinstellingen, van landen aangesloten bij de NATO, en onafhankelijke onderzoeksinstellingen zoals TNO
[3]	ADR	: european Agreement concerning the international carriage of Dangerous goods by Road (ADR), July 2001	Europese overeenkomst te Genève	http://www.veiligheidsadviseurs.org
[4]	Air Schokgolf from non-ideal explosives	: Praktijkproeven van niet-ideale explosieven ter vergelijking met TNT, 28 ^e explosie veiligheid seminair, 1998	Michael G. Leone, Robert L. Abernathy, e.a.	New Mexico Institute of Mining and Technology Socorro, NM 87801
[5]	Chemistry of pyrotechnics	: Chemische principes van pyrotechnieken, hitte, kleur, licht, rook en geluid, etc..., 1985	J.A. Conkling	Centrale bibliotheek TUDelft, CB 21845429
[6]	De op extensie en buiging belaste staaf	: Collegedictaat Ctme2040 – deel 2, 1997	C. Hartsuiker / C.F. Vrijman	Collegemateriaal 2040, Faculteit Civiele Techniek, TUDelft
[7]	De vuurwerkkramp	: Rapport Commissie Oosting, 28 februari 2001	mr. dr. M. Oosting, mevrouw drs. M.B.C. Beckers - de Bruijn, e.a.	ISBN: 90-71082-67-9
[8]	Dynamics of explosions and its use	: Boek met uitgebreide beschrijving van explosie-effecten	Josef Henrich	Interne literatuur TNO-PML
[9]	Eindrapport naar de vuurwerkkramp in Enschede	: Onderzoek naar de feiten, causale gebeurtenissen en schadebeeld, Februari 2001	MSNP Technisch projectrealisatie en advisering	http://www.msnp.nl (eindrapport vuurwerkkramp)
[10]	Explosion	: Hét basisboek met	W.E. Baker,	Centrale bibliotheek

	Titel	Omschrijving/uitgave	Auteur	Locatie
	hazards and evaluation	uitgebreide beschrijving van explosieven, energie, hittestraling, luchtschok, brokstukken, etc..., 1983	P.A. Cox, e.a.	TUDeft, CB17304187
[11]	Explosive loading of engineering structures	: A history of research and a review of recent developments, 1997	Bulson, P.S.	Centrale bibliotheek TUDeft, CB UJG197 / ISBN 0-419-16930-X
[12]	Functioneel ontwerpen	: Collegedictaat met functioneel ontwerp methodieken, Augustus 2000	Prof.dr.ir H.A.J. de Ridder, e.a.	Sectie Civiele Bedrijfskunde, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
[13]	Gewapend beton	: Collegedictaat Ctco3050, september 1998	Prof. Dr. Ir. J.C. Walraven	Collegemateriaal 3050, Faculteit Civiele Techniek, TUDeft
[14]	Grond mechanica	: Belangrijkste begrippen, theorieën en technieken van de grond-mechanica, VSSD, 1990	Verruijt, A	ISBN 90 6562 045 1
[15]	Introduction to the technology of explosives	: Boek met beschrijving van explosieve stoffen van samenstelling tot effecten, 1996.	Paul W. Cooper, Stanley R. Kurowski	Centrale bibliotheek TUDeft, CB 24034457
[16]	Kansen in de Civiele Techniek	: Deel 1: Probabilistisch ontwerpen in theorie, maart 1997	Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR)	ISBN 90-376-0102-2
[17]	Materiaalkunde	: Collegedictaat Ctma1120, 1997	Prof. Dr. J.M.J.M. Bijen e.a.	Collegemateriaal 1120, Faculteit Civiele Techniek, TUDeft
[18]	MP 40-21	: Het MP 40-21, uitgave 1997, is het handboek, met voorschriften voor het opslaan van en bewerkingen aan explosieve stoffen en munitie, dat is gepubliceerd door het ministerie van Defensie.	Ministerie van Defensie	Een kopie wordt na aanvraag, bij het Defensievoorzichtingscentrum aan de Kalvermarkt 38 in Den Haag, toegezonden
[19]	NASA CR 134779	: The characterization and evaluation of accidental explosions, 1975	Strehlow, R.A. en Baker, W.E.	NASA Lewis Research Centre
[20]	Onderzoeksmethodologie	: Collegedictaat met diverse onderzoeksmethodes, december 2000	Prof.dr.ir. Ch.F.Hendriks, e.a.	Afdeling MMC, Sectie Civieltechnische Materiaalkunde, Faculteit Civiele Techniek, TUDeft

	Titel	Omschrijving/uitgave	Auteur	Locatie
[21]	Overspannend Staal	: Basisboek en Construceren A, 1996	Staalbouwkundig Genootschap	ISBN: 90-72830-18-0 en 90-72830-20-2
[22]	Physics of shock waves and high-temperature hydrodynamic phenomena	: Uitvoerige beschrijvingen van schokgolf, straling, thermodynamische gassen, etc..., 1966	Zel'dovich, Yu. P. Raizer	Centrale bibliotheek TUDelft, CB 12175275, CB 12562012
[23]	PML 2001 A27	: Pyrotechniek en Beschermingsconstructies	TNO Prins Maurits Laboratorium	Ongerubriceerd, slechts beschikbaar voor de Genisten opleiding van de KMA-II aan de Universiteit Twente.
[24]	PML 2001-C73	: TNO rapport: "Richtlijnen voor opslaan van en bewerkingen aan explosieve stoffen en munitie". Een overzicht van de selectie en aanpassingen uit het MP40-21, mei 2001	Ing. Ph. Van dongen, ir. W. Karthaus, ing. G.H. Lodder, dr.ir. J. Weerheijm	http://www.pml.tno.nl/en/fireworks/publications.html
[25]	Principes algemene mechanica	: Collegedictaat Ctme1020, 1997	R. Booij	Collegemateriaal Ctme1020, Faculteit Civiele Techniek, TUDelft
[26]	Properties of chemical explosives and explosive simulants	: Rapport met gegevens over chemische explosieven, California University, july 1974	Dobratz, B.M.	Centrale bibliotheek TUDelft, CB 19083226
[27]	RIVM rapport 610066013	: Overzicht van veiligheidsafstanden voor de opslag van vuurwerk in Nederland en enkele andere landen, mei 2001	A.J.C.M. Matthijssen	http://www.rivm.nl:80/bibliotheek/rapporten/610066013.html
[28]	Scoop Natuurkunde	: Natuurkunde voor bovenbouw vwo, Wolters-Noordhoff Groningen, 1990	Hubert Biezeveld/Louis Mathot	ISBN 90 01 076343
[29]	Toegepaste bouwfysica	: Collegedictaat CT5240, hoofdstuk 2, Brandveiligheid, september 2001	Cauberg, J.J.M., Ham v/d, E.R. e.a.	Collegemateriaal 5240, Faculteit Civiele Techniek, TUDelft
[30]	Uitwerking van explosie-effecten op constructies	: TNO-rapport PML 1988-C-74, juni 1988	Ir. W.P.M. Mercx	Centrale bibliotheek TUDelft, CB 20451561
[31]	Vuurwerkbesluit	: Besluit van 22 januari 2002, houdende nieuwe regels met betrekking tot consumenten- en professioneel vuurwerk,	Ministerie van VROM	http://wetten.sdu.nl/cgi-bin/login/anonymous, zoeken op 'Vuurwerkbesluit'

Titel	Omschrijving/uitgave	Auteur	Locatie
	van kracht geworden op 1 maart 2002		

13 Personen & instanties

Deze lijst bevat gegevens van personen en/of instanties die hun medewerking hebben verleend bij het onderzoek. Met ronde haken (x) wordt naar personen of instanties verwezen.

	Persoon/instantie	Omschrijving
(1)	CEV	: Het expertiseCentrum voor Externe Veiligheid en Vuurwerk is een onderdeel van het RijksInstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en houdt zich bezig met de gevaren omtrent gevaarlijke stoffen en vuurwerk. Contactpersoon ir. M. van der Plas
(2)	Fraaij, A.L.A.	: Professor bij onderzoeksafdeling Civieltechnische materiaalkunde aan de Technische Universiteit Delft
(3)	Gresnigt, Ir. A.M.	: Universiteit Delft, afdeling staal & hout, materiaalkunde
(4)	Jonge, G.J. de	: Kenner ADR via internetpagina: http://home.hetnet.nl/~jongede/page2.html
(5)	Stübener, P.O.W.	: Leering, deurspecialist, Enschede
(6)	TNO-PML	: Het Prins Maurits Laboratorium is een onderdeel van TNO en houdt zich voornamelijk bezig met explosieven en munitie. Contactpersoon dr. ir. J. Weerheijm.
(7)	VROM	: Het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Contactpersoon ir. G.J. Verbakel
(8)	Wagenvoort, G.J.	: Voorzitter branchevereniging professionele vuurwerkbranche, te Wapenveld.
(9)	Wal, A. van der	: Adviseur bij Ytong. YTONG Nederland BV is producent van cellenbeton. De producten van het bedrijf worden toegepast in gevels, vloeren, daken en wanden.

14 Internetlocaties

Deze lijst bevat de internetadressen die zijn geraadpleegd bij het tot stand komen van dit rapport. Er wordt met accolades {x} in het rapport naar de internetlocaties verwezen.

	Internetlocatie
{1}	http://home.hetnet.nl/~jongede/page2.html
{2}	http://web.planet.nl/news/nieuws/archief/2000/05/enschedefotos_zaterdag.shtml
{3}	http://www.milieu-extra.nl/cpr_15-2.htm
{4}	http://www.msnp.nl
{5}	http://www.pml.tno.nl/en/fireworks/publications.html
{6}	http://www.rivm.nl:80/bibliotheek/rapporten/610066013.html
{7}	http://www.veiligheidsadviseurs.org