

TNO-rapport

TNO-060-UT-2011-01712

Kwantificering van de effectiviteit van maatregelen voor ongevallen met gevaarlijke stoffen, Fase 1: kwantificeren van aantallen gewonden

Datum	21 november 2011
Auteur(s)	Inge Trijssenaar Marika van der Horst Ries Simons Reinier Sterkenburg Ingrid Raben
Aantal pagina's	156 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	11 (A t/m K)
Opdrachtgevers	Ministerie van Veiligheid en Justitie De heer W. Klijn Ministerie van Infrastructuur en Milieu De heer M. Timmer
Projectnaam	Kwantificering van de effectiviteit van maatregelen voor ongevallen met gevaarlijke stoffen
Projectnummer	034.24733

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

Samenvatting

Aanleiding

In Nederland worden gevaarlijke stoffen geproduceerd, verwerkt, opgeslagen en getransporteerd. Ten behoeve van externe veiligheid hanteert men in Nederland de risicobenadering om te bepalen of de plaatsgebonden- en groepsrisico's die gepaard gaan met gevaarlijke stoffen acceptabel zijn [25]. In de risicobenadering gaat het om (de kansinschatting van) het aantal doden.

De brandweer heeft de formele adviestaak aangaande het groepsrisico [74]. De brandweer wordt geacht te adviseren over maatregelen ter verbetering van de zelfredzaamheid van de aanwezigen in het invloedsgebied van het object met gevaarlijke stoffen en de bestrijdbaarheid van de effecten [27]. Het aantal doden dat geschat kan worden met een risicobenadering is hiertoe weinig informatief, daarentegen is hiervoor met name inzicht in het aantal en de aard van de gewonden gewenst.

Een methodiek en rekenregels om het aantal en de aard van de gewonden kwantitatief inzichtelijk te maken ontbreken nochtans¹. Gewondenberekeningen zijn noodzakelijk voor een goede brandweeradvisering omtrent het groepsrisico [75]. Deze adviezen kunnen bijdragen aan maatregelen ten behoeve van zelfredzaamheid, ruimtelijke ordening en voorbereiding op de rampenbestrijding. Uiteindelijk kan met dergelijke goed onderbouwde adviezen op basis van gewondenberekeningen de veiligheid van de burgers beter worden gerealiseerd in aanvulling op de kansinschatting van het aantal doden.

De Ministeries van "Veiligheid en Justitie" en "Infrastructuur en Milieu" hebben NIFV, TNO en VRR opdracht gegeven tot het gezamenlijk uitwerken van een methode voor gewondenberekeningen [76].

Doel

Het doel van deze studie (fase 1)² is het ontwikkelen van een methodiek waarmee de ernst van het letsel en het aantal gewonden berekend kunnen worden ten gevolge van ongevallen met gevaarlijke stoffen. Het gaat daarbij om het opstellen van rekenregels. De vertaling ervan in een rekeninstrument en de ontwikkeling en implementatie van een handleiding en procedure voor de advisering valt buiten deze fase van de studie.

Het detailniveau van de ontwikkelde methodiek sluit aan bij de risicoanalysemethodieken (quantitative risk analysis = QRA) in het kader van externe veiligheid en van de voorbereiding op de rampenbestrijding. De ontwikkelde methodiek is in eerste instantie bedoeld voor gebruik in de risicobeheersingsfase (proactie, preventie en preparatie) en minder voor de (acute) repressieve fase.

¹ De DCMR methode [14] geeft aantallen gewonden en hun triageklasse. Wat hierbij nader dient te worden uitgewerkt is de wetenschappelijk onderbouwing en de ontwikkeling van rekenregels die inzicht geven over zelfredzaamheid.

² In fase 2 wordt een uitwerking voorzien van zelfredzaamheid bevorderende maatregelen en in fase 3 van repressieve maatregelen

Aanpak

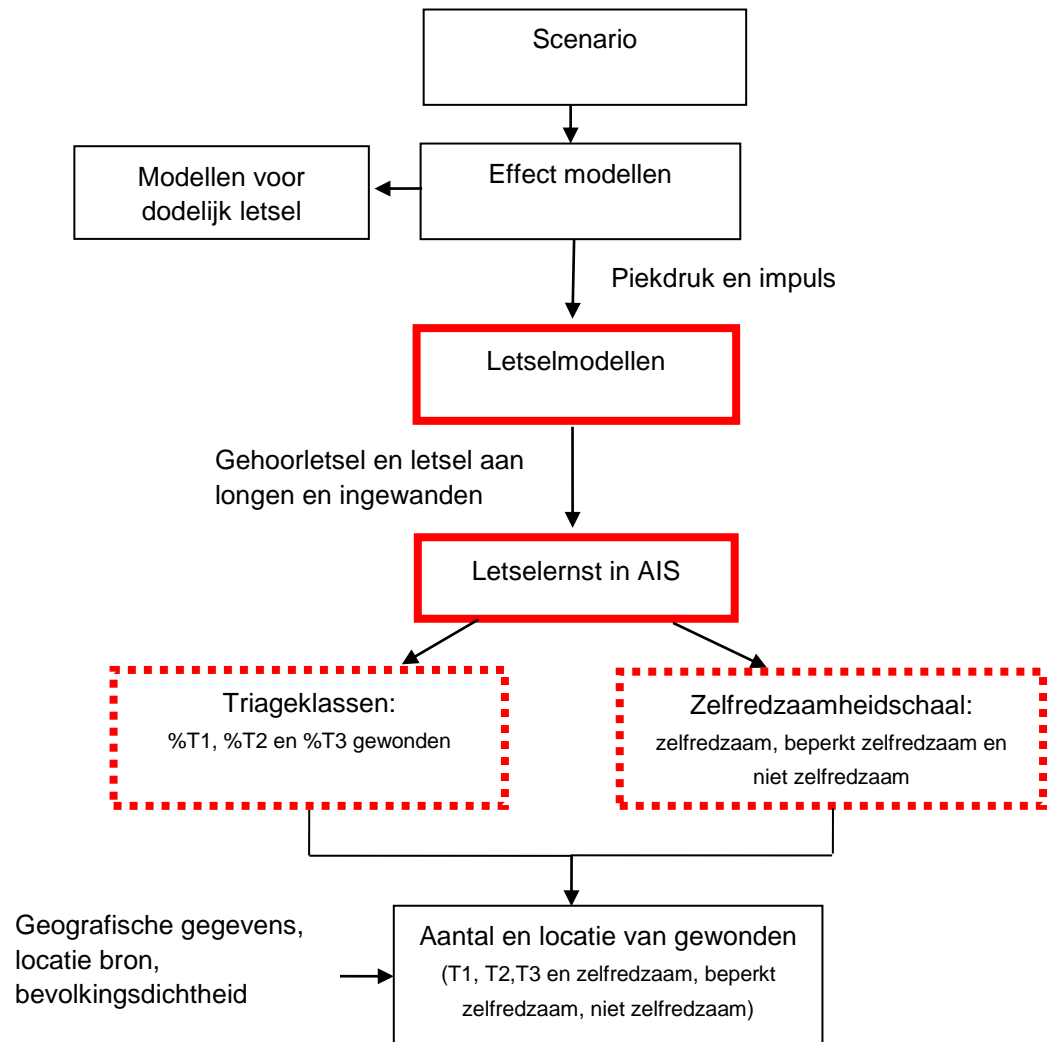
Om tot de methodiek te komen is een onderscheid gemaakt in 3 typen van fysische effecten, te weten brand, explosie en de verspreiding van toxische stoffen. Voor deze fysische effecten zijn letselmodellen voor subletaal letsel geïnventariseerd. De ontwikkelde methodiek vertaalt letsels die ontstaan door overdruk, warmtestraling en blootstelling aan toxische stoffen in triageklassen en (mate van) zelfredzaamheid. De bestaande letselmodellen voor brand, explosie en toxische stoffen zijn op basis van literatuurstudie uitgebreid met:

- een methodiek voor het bepalen van de letselernst (bijv. gehoorletsel of brandwonden),
- een vertaling hiervan naar triageklassen, zodat de letsels kunnen worden uitgedrukt in deze herkenbare en relevante maat voor de hulpverlening (triageklassen 1, 2 en 3) en
- een indeling voor zelfredzaamheid (zelfredzaam, beperkt zelfredzaam en niet-zelfredzaam).

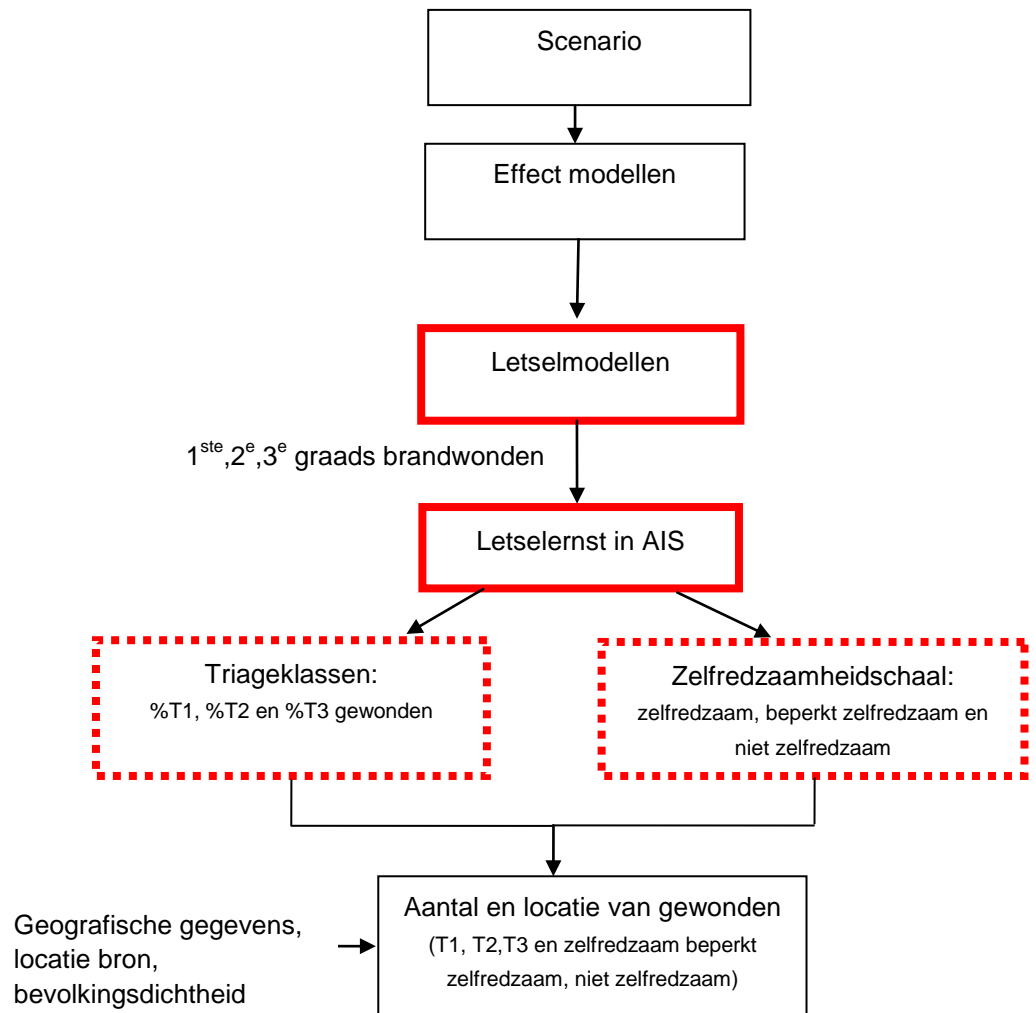
De ontwikkelde methodiek is aan de hand van een voorbeeldscenario verder uitgewerkt. In een workshop met deskundigen is de methodiek besproken om te bezien of deze volledig is en wordt ondersteund. De resultaten van de workshop zijn waar mogelijk verwerkt in de methodiek, of anders benoemd in de aanbevelingen in dit rapport.

Resultaat

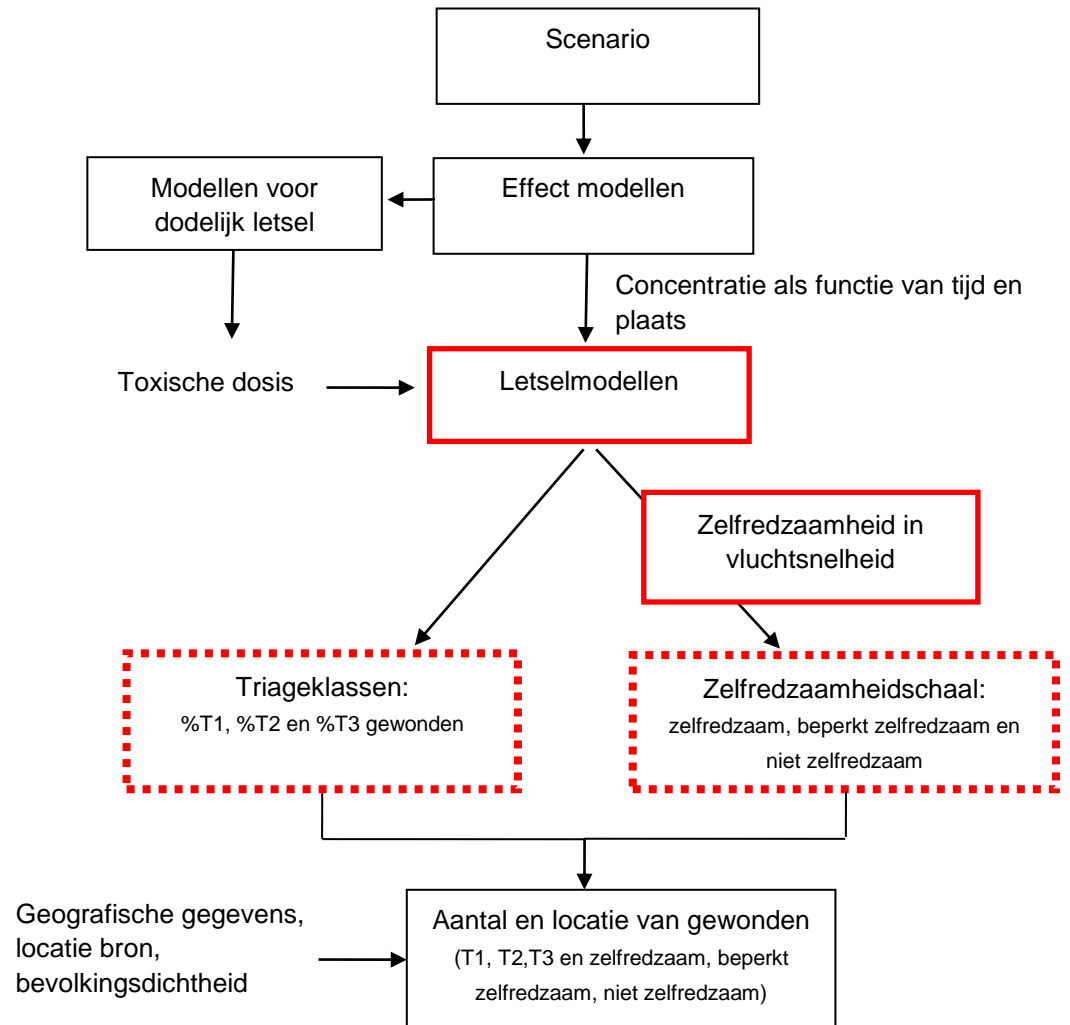
Het stappenplan en de methodiek voor explosieletsel zijn samengevat in onderstaande figuur, waarbij AIS staat voor *abbreviated injury scale*. De methodiek zoals opgezet voor explosieletsel wekt voldoende vertrouwen bij de deelnemers van de workshop.



Het stappenplan en de methodiek voor brandletsel zijn samengevat in onderstaande figuur, waarbij AIS staat voor *abbreviated injury scale*. De methodiek zoals opgezet voor brandletsels wekt voldoende vertrouwen bij de deelnemers van de workshop.



Het stappenplan en de methodiek voor toxisch letsel zijn samengevat in onderstaande figuur. In de methodiek zoals opgezet voor toxisch letsel zien de deelnemers van de workshop de behoefte deze nader te specificeren per gezondheidskundig eindpunt en de behoefte om de extrapolatiebaarheid en toepasbaarheid van de methodiek voor andere stoffen te onderzoeken.



Conclusies

1. Er is een eerste aanzet gerealiseerd voor het koppelen van modellen aan letseltypering en triageklassen v.w.b. explosie, brand en toxisch letsel.
2. Deze koppelingen hebben wel beperkingen en gaan gepaard met nader te verifiëren aannames.
3. Desondanks is er duidelijke support vanuit deskundigen voor de koppeling m.b.t. explosie- en brandletsel.
4. De “generieke methodiek” voor vertaling van letsel naar triageklassen voor toxische stoffen sluit methodisch aan bij eerdere voorstellen voor letselmodellen voor gewonden [26],[12], die een uitspraak doen over ofwel triageklasse 2 ofwel de sommatie van triageklassen 1 en 2. Voor irriterende stoffen met een werking op de hogere luchtwegen is een aanpassing op de “generieke methodiek” opgesteld.

- Deskundigen hebben aanvullende vragen met betrekking tot de letselmodellen voor toxische stoffen: graag zien zij een benadering die meer op gezondheidskundig eindpunt is gericht en een onderbouwing van de extrapolatie naar andere stoffen dan de gehanteerde voorbeeldstoffen.
5. Een eerste aanzet tot software-implementatie van de methodieken voor explosie-, brand- en toxisch letsel is uitgevoerd in het softwarepakket EFFECTS. Dit vereenvoudigt het om - na een testfase en eventuele aanpassingen - een instrument te ontwikkelen, waarmee de methode breed kan worden toegepast. De methodieken zijn daarnaast geschikt voor integratie in andere softwarepakketten voor het berekenen van effecten en risico's van ongevallen met gevaarlijke stoffen, zoals PHAST, SAFETI of RBMII.
 6. Het detailniveau van de ontwikkelde methodieken is voldoende voor het bepalen van de effectiviteit van maatregelen en sluit aan bij het detailniveau van methodieken voor risicoanalyses van externe veiligheid conform het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (BEVI, [27]) en de circulaire Risiconormering Vervoer van gevaarlijke stoffen (RNVGS), [28]).

Aanbevelingen

Op basis van de conclusies van het onderzoek zijn de volgende aanbevelingen geformuleerd:

1. Uitwerken van de modellen tot een praktisch instrument in de vorm van software (bijvoorbeeld in EFFECTS) en procedures voor hulpverlening en adviseurs bij externe veiligheidsvraagstukken.
 - Dit traject uitvoeren in nauwe samenwerking met de toekomstige gebruikers en de koepelorganisaties van de hulpverlening (NVBR en GHOR-NL).
 - Uitvoeren van pilots met het ontwikkelde instrument.

Deze aanbeveling is gericht aan de ministeries van VenJ en IenM als stakeholders. De uitvoering valt buiten de voorziene werkzaamheden van het project "effectiviteit van maatregelen" [77].
2. Uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse van de resultaten om marges in beeld te brengen als gevolg van aannames.
 - Uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse aan de hand van berekeningen met verschillende stoffen en scenario's, onder meer om de extrapolatie naar andere stoffen te toetsen.
 - Nader beschouwen van belangrijke aannames.

Deze aanbeveling is gericht aan de ministeries van VenJ en IenM als stakeholders. De uitvoering valt deels (voor zover relevant voor de modellering van maatregelen) binnen de voorziene werkzaamheden van het project "effectiviteit van maatregelen".
3. Aanvullen van het explosieletselmodel met letsels als gevolg van schade aan gebouwen en rondvliegende brokstukken. Deze aanbeveling is gericht aan het ministerie van IenM als stakeholder. De uitvoering valt buiten de voorziene werkzaamheden van het project "effectiviteit van maatregelen".
4. Standaardiseren en formaliseren van de methoden voor explosie- en brandletsel, d.w.z. opname in relevante handreikingen, procedures en lesmateriaal. Hier valt te denken aan (updates van/ addendum voor) het regionaal risicoprofiel, Handreiking risicoanalyse transport en het Schadescenarioboek. M.b.t. tot lesmateriaal valt te denken aan de opleidingen specialisten risico en veiligheid en adviseurs gevaarlijke stoffen aan het NIFV.

- Deze aanbeveling is gericht aan het ministerie van VenJ als stakeholder. De uitvoering valt buiten de voorziene werkzaamheden van het project “effectiviteit van maatregelen”.
5. Het uitvoeren van nader onderzoek voor toxisch letsel met als doel om de methode eindpuntspecifieker te maken en de extrapolatiemogelijkheden naar verschillende toxische stoffen met vergelijkbare werking te verbeteren. Onder meer in de volgende gevallen biedt dit meerwaarde: voor ongevalsonderzoek waarbij toxische stof is vrijgekomen en voor het inschatten van het aantal gewonden tijdens een (langdurig) incident. Deze aanbeveling is gericht aan GHOR Nederland als stakeholder. De uitvoering valt buiten de voorziene werkzaamheden van het project “effectiviteit van maatregelen”.
 6. Testen van de software-implementatie van de methodieken, zowel softwarematig als m.b.v. de eerder genoemde gevoeligheidsanalyses. Deze aanbeveling is gericht aan TNO en RIVM-CEV. De uitvoering valt buiten de voorziene werkzaamheden van het project “effectiviteit van maatregelen”.
 7. Het ontwikkelen van rekenregels, die het effect laten zien van zelfredzaamheid en bestrijdbaarheid bevorderende maatregelen, gebruik makend van de ontwikkelde letselmodellen. Deze aanbeveling is gericht aan de ministeries van VenJ en IenM als stakeholders. De uitvoering valt *binnen* de voorziene werkzaamheden van het project “effectiviteit van maatregelen”.

Definities

AEGL- grenswaarden

AEGLs represent threshold exposure limits for the general public and are applicable to emergency exposure periods ranging from 10 minutes to 8 hours. AEGL-2 and AEGL-3, and AEGL-1 values as appropriate, will be developed for each of five exposure periods (10 and 30 minutes, 1 hour, 4 hours, and 8 hours) and will be distinguished by varying degrees of severity of toxic effects. It is believed that the recommended exposure levels are applicable to the general population including infants and children, and other individuals who may be susceptible. The three AEGLs have been defined as follows:

AEGL-1 is the airborne concentration, expressed as parts per million or milligrams per cubic meter (ppm or mg/m³) of a substance above which it is predicted that the general population, including susceptible individuals, could experience notable discomfort, irritation, or certain asymptomatic nonsensory effects. However, the effects are not disabling and are transient and reversible upon cessation of exposure.

AEGL-2 is the airborne concentration (expressed as ppm or mg/m³) of a substance above which it is predicted that the general population, including susceptible individuals, could experience irreversible or other serious, long-lasting adverse health effects or an impaired ability to escape.

De AEGL- 2 is de concentratie (in ppm of mg/m³) van een stof in de lucht, waarboven verwacht wordt dat de algemene populatie, inclusief gevoelige individuen, irreversibele of andere ernstige, langdurige gezondheidseffecten kunnen ondervinden òf waarboven *het vluchtvermogen kan verminderen*.

AEGL-3 is the airborne concentration (expressed as ppm or mg/m³) of a substance above which it is predicted that the general population, including susceptible individuals, could experience life-threatening health effects or death.

Airborne concentrations below the AEGL-1 represent exposure levels that can produce mild and progressively increasing but transient and nondisabling odor, taste, and sensory irritation or certain asymptomatic, nonsensory effects. With increasing airborne concentrations above each AEGL, there is a progressive increase in the likelihood of occurrence and the severity of effects described for each corresponding AEGL. Although the AEGL values represent threshold levels for the general public, including susceptible subpopulations, such as infants, children, the elderly, persons with asthma, and those with other illnesses, it is recognized that individuals, subject to unique or idiosyncratic responses, could experience the effects described at concentrations below the corresponding AEGL.

Externe veiligheid (bron: BEVI)

Kans om buiten een inrichting te overlijden als rechtstreeks gevolg van een ongewoon voorval binnen die inrichting waarbij een gevaarlijke stof betrokken is.

Kwantitatieve risicoanalyse (QRA, quantitative risk analysis)).

Plaatsgebonden risico (PR)

Risico op een plaats buiten een inrichting, uitgedrukt als de kans per jaar dat een persoon die onafgebroken en onbeschermd op die plaats zou verblijven, overlijdt als rechtstreeks gevolg van een ongewoon voorval binnen die inrichting waarbij een gevaarlijke stof of gevaarlijke afvalstof betrokken is.

Groepsrisico (GR)

Cumulatieve kansen per jaar dat ten minste 10, 100 of 1000 personen overlijden als rechtstreeks gevolg van hun aanwezigheid in het invloedsgebied van een inrichting en een ongewoon voorval binnen die inrichting waarbij een gevaarlijke stof of gevaarlijke afvalstof betrokken is.

Gezondheidkundig eindpunt

Het kritische effect van een toxische stof op basis waarvan een grenswaarde is bepaald (bijv. geur voor AEGI-1, irritatie voor AEGI-2 en longoedeem voor AEGI-3).

Interventiewaarden

Voorlichtingsrichtwaarde - VRW

De concentratie van een stof die met grote waarschijnlijkheid door het merendeel van de blootgestelde bevolking hinderlijk wordt waargenomen of waarboven lichte, snel reversibele gezondheidseffecten mogelijk zijn bij een blootstelling van één uur. Vaak is dit de concentratie waarbij blootgestelden beginnen te klagen over het waarnemen van de blootstelling.

Alarmeringsgrenswaarde - AGW

De concentratie van een stof waarboven irreversibele of andere ernstige gezondheidsschade kan optreden door directe toxische effecten bij een blootstelling van één uur.

Levensbedreigende waarde - LBW

De concentratie van een stof waarboven mogelijk sterfte of een levensbedreigende aandoening door toxische effecten kan optreden binnen enkele dagen na een blootstelling van één uur.

Biomechanische respons

De mechanische en fysiologische respons van het menselijke lichaam ten gevolge van de belasting.

Letselmechanisme

Het mechanisme dat zich in het menselijke lichaam afspeelt en letsel veroorzaakt. Vergelijkbaar met het schadeproces in de kwetsbaarheid letaliteitstudies van platformen.

Letselcriteria

Fysieke parameters, of een samenstelling van deze parameters die bij overschrijding van een tolerantie waarde een relatie vertonen met letsel.

Tolerantiewaardes/niveaus

Een waarde (drempelwaarde) voor een criterium waarboven er een bepaald percentage kans is op een bepaald type letsel.

Triageklassen

T1: triageklasse 1 (onmiddellijk, rood)

ABC instabiel, Triageklasse 1 rood wordt gebruikt bij A (airways), B (breathing) of C (circulation) ABC- instabiele patiënten. Deze patiënten zijn levensbedreigend gewond en hebben onmiddellijk stabilisatie nodig.

T2: triageklasse 2 (urgent, geel)

Binnen 6 uur te hospitaliseren, op termijn ABC-instabiel gewonden.

T3: triageklasse 3 (uitgesteld, groen)

Gewond (maar kan lopen). ABC-stabiele gewonden. Minder ernstig gewonden van wie behandeling zonder gevaar zes uur kan worden uitgesteld.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Definities	11
1 Inleiding	17
1.1 Probleemstelling	17
1.2 Behoeftte	17
1.3 Doelstelling	17
1.4 Aanpak en leeswijzer.....	18
2 Achtergrondinformatie	21
2.1 Externe veiligheid en groepsrisico	21
2.2 Effectiviteit van maatregelen	25
2.3 Verantwoording van het groepsrisico	26
2.4 Zelfredzaamheid	28
2.5 Triageklassen	29
3 Ongevalsscenario's	31
3.1 Scenario's voor transportrisico's gevaarlijke stoffen	31
4 Explosie letselmodel	35
4.1 Inleiding	35
4.2 Effect op de mens.....	36
4.3 Modelbeschrijving	38
4.4 Toetsing	46
4.5 Conclusies en aanbevelingen.....	47
5 Brand letselmodel	49
5.1 Inleiding	49
5.2 Modelbeschrijving	49
5.3 Toetsing	51
5.4 Conclusies en aanbevelingen.....	52
6 Toxisch letselmodel	53
6.1 Inleiding	53
6.2 Modelbeschrijving	61
6.3 Toetsing	69
6.4 Discussie	70
6.5 Conclusies en aanbevelingen.....	72
7 Conclusies en aanbevelingen	75
8 Referenties	79
9 Ondertekening	85

Bijlage A Ongevalsscenario's.....	87
Bijlage B Letselbiomechica	109
Bijlage C Methoden Bepaling Fysieke Toestand Mens	113
Bijlage D Letselmodel structuur	117
Bijlage E Simplified single point injury model.....	121
Bijlage F Blast letsel in AIS schaal	127
Bijlage G Warmtestraling letsel in AIS schaal.....	129
Bijlage H Voorbeeldberekening zelfredzaamheidsmodel: vrijkomen acrylonitril tijdens railtransport.....	131
Bijlage I Workshop 14 juni 2011	137
Bijlage J Toelichting keuzes AIS en triage	141
Bijlage K Toxisch letsel	143

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Het huidige instrumentarium voor externe veiligheid biedt onvoldoende mogelijkheden voor het beoordelen van maatregelen t.b.v. de rampenbestrijding. Het ontbreekt aan methoden om subletaal letsel kwantitatief te bepalen, waardoor de effectiviteit van maatregelen ter verbetering van de zelfredzaamheid of de rampenbestrijding momenteel niet kan worden gekwantificeerd.

1.2 Behoeftte

De behoefte bij de rampbestrijdingsorganisaties aan goede modellen voor het bepalen van het aantal gewonden is groot, dat blijkt uit diverse bijeenkomsten en rapporten over verantwoording van het groepsrisico. In het Kabinetsstandpunt met betrekking tot de adviezen van de Adviesraad Gevaarlijke Stoffen [2], geeft het kabinet onder meer aan dat het zinvol is meer inzicht te verwerven in maatregelen ter beperking van (de kans op) (sub)letaal letsel. Inmiddels zijn we in Nederland een stap verder met evaluatie en verbetering van de verantwoording van het groepsrisico met de Handreiking verantwoorde brandweeradvisering externe veiligheid [1] en met de softwaretool Mal Groepsrisico [3]. De Handreiking verantwoorde brandweeradvisering externe veiligheid biedt een methodiek voor de brandweeradvisering en samenwerking tussen brandweer en bevoegd gezag. De softwaretool Mal Groepsrisico biedt mogelijkheden om verschillende maatregelen met elkaar te vergelijken en een kosten-baten analyse uit te voeren. Tijdens de presentatie van Handreiking en Mal Groepsrisico in het Minisymposium groepsrisico op 24 juni 2010 werd opnieuw de behoefte aan een verbeterde methode voor gewondenberekeningen aangegeven vanuit de Veiligheidsregio's.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van het totale project is het kwantificeren van de effectiviteit van maatregelen ter verbetering van de zelfredzaamheid en de rampenbestrijding. De effectiviteit zal worden beoordeeld op basis van aantallen doden en gewonden en op de ligging van de groepsrisicocurve (voor doden).

De doelstelling van de voorliggende studie, de eerste fase van het project, is het uitbreiden van modellen voor subletaal letsel voor explosie, brand en toxische scenario's met output in termen van triageklassen en (mate van) zelfredzaamheid. De letselmodellen vertalen letsels die ontstaan door overdruk, warmtestraling en blootstelling aan toxische stoffen naar triageklassen en (mate van) zelfredzaamheid. De ontwikkelde letselmodellen zijn toepasbaar voor externe veiligheid scenario's voor inrichtingen, die vallen onder het BEVI en transport (BTEV) zoals benoemd in [8],[25].

1.4 Aanpak en leeswijzer

In dit onderzoek zijn bestaande letselmodellen voor brand, explosie en toxische stoffen uitgebreid met

- een methodiek voor het bepalen van de letselernst (bijv. gehoorletsel of brandwonden)
- een vertaling hiervan naar triageklassen, zodat de berekende letsels kunnen worden uitgedrukt in deze herkenbare en relevante maat voor de hulpverlening en
- een indeling voor zelfredzaamheid (zelfredzaam, beperkt zelfredzaam of niet zelfredzaam).

Er is een methodiek opgezet voor zelfredzaamheid. Deze methodiek is consistent opgezet voor explosie en brand letselmodellen. Voor toxische stoffen is verder gebouwd op een dynamisch model voor zelfredzaamheid ([7],[5]). Hierin is onder andere het waarnemen van de blootstelling (reactie op basis van reuk en gevoel) meegenomen. Bovendien zijn voor toxische stoffen gedetailleerder modellen aanwezig die de loopsnelheid geven als functie van de blootstelling. Daarnaast is bij het opstellen van de methodiek voor toxische stoffen de prioriteit gelegd bij de uitwerking van verschillende stoffen met verschillende werkingsmechanismen. Het is wel mogelijk om de methodiek voor toxische stoffen verder uit te werken voor aansluiting op de methodiek voor explosie en brand.

Per letselmodel wordt hieronder de gehanteerde aanpak beschreven.

Explosie letselmodel

In de voorliggende studie zijn explosie letselmodellen geïnventariseerd, waarbij met input vanuit effectmodellen voor scenario's zoals een gaswolkexplosie, een uitspraak gedaan kan worden over de letselernst (bijvoorbeeld gehoorletsel of brandwonden). Die letselernst is vervolgens vertaald naar triageklassen en zelfredzaamheid, zodat er een uitspraak gedaan kan worden over de effectiviteit van maatregelen voor dat specifieke scenario.

Brand letselmodel

In de voorliggende studie zijn modellen geïnventariseerd, waarbij met input vanuit effectmodellen voor specifieke scenario's (bijvoorbeeld een BLEVE of een plasbrand), een uitspraak gedaan kan worden over de letselernst (bijvoorbeeld gehoorletsel of brandwonden). Die letselernst is vervolgens vertaald naar triageklassen en zelfredzaamheid, zodat er een uitspraak gedaan kan worden over de effectiviteit van maatregelen voor dat specifieke scenario.

Toxisch letselmodel

Kennis omtrent scenario's en de bijbehorende effectmodellen en modellen voor dodelijk letsel was reeds beschikbaar. Recent ontwikkelde letselmodellen ([12],[5],[6],[7]), zoals het model voor zelfredzaamheid en vluchtsnelheid (zie paragraaf 0) zijn gebruikt als bouwstenen voor de vertaling naar triageklassen en zelfredzaamheidsschaal.

Het letselmodel is aangevuld met een onderverdeling naar triageklassen (Paragraaf 6.2). Het model is ontwikkeld aan de hand van vertaling naar triageklassen voor de twee voorbeeldstoffen, vergelijking met literatuur en feedback van experts tijdens het project.

De selectie van de voorbeeldstoffen ammoniak en acrylonitril wordt toegelicht in paragraaf 6.1.2, de scenario's worden beschreven in paragrafen 6.1.3 en 6.1.4. vormt de kern van het hoofdstuk waarin het model wordt beschreven voor de vertaling naar triageklassen voor toxische stoffen.

Door Carolien Mommers, Senior beleidsmedewerker GHOR, Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond is een bijdrage geleverd aan de volgende onderdelen van het project: advies bij interpreteren van toxicologische gegevens naar triageklassen voor ammoniak en acrylonitril, scenarioselectie, organisatie workshop met experts, deelname aan het projectteam en projectteamvergaderingen

Toetsing

De letselmodellen voor explosie, brand en toxisch zijn voorgelegd aan experts tijdens een workshop, in de vorm van een presentatie en discussies rondom geponeerde stellingen. De belangrijkste bevindingen uit de workshop zijn per letseltype (explosie, brand en toxisch) samengevat in het rapport (zie paragrafen 4.4, 0 en 6.3). De stellingen en uitkomsten van de workshop zijn opgenomen in bijlagen.

Eerste aanzet softwareimplementatie

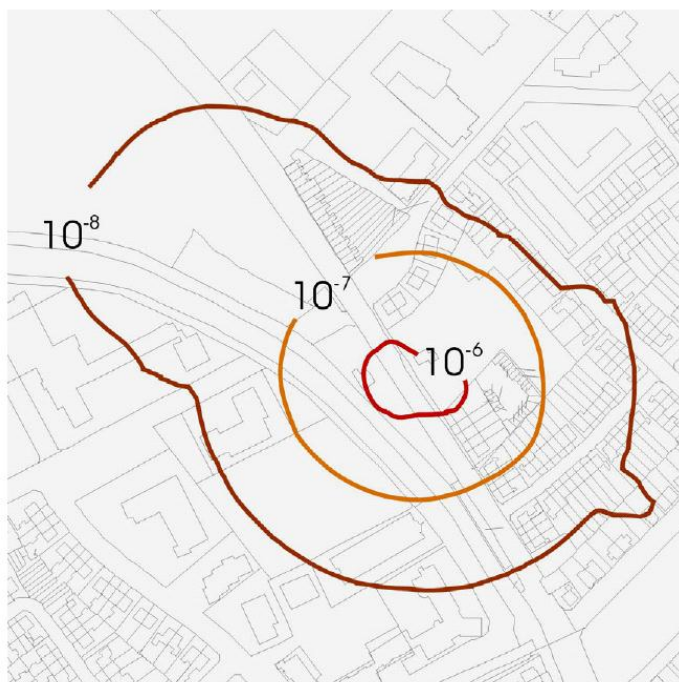
De vertaling voor triageklassen voor brand, explosie en toxisch letsel alsmede de zelfredzaamheid voor toxische stoffen zijn geïmplementeerd in een prototype van EFFECTS, een softwarepakket om effecten en schade mee te schatten voor ongevallen met gevaarlijke stoffen [16]. In het toxische letselmodel zijn ook enkele maatregelen reeds geïmplementeerd, zoals "alarmeren" en "schuilen". De modelimplementaties worden nog uitvoerig getest, zowel softwarematig als m.b.v. gevoeligheidsanalyses, alvorens zij toegepast gaan worden. De testers zullen in eerste instantie de model- en softwareontwikkelaars zijn en vervolgens de toekomstige gebruikers (experts externe veiligheid van de hulpverlening, onderzoekers en adviseurs externe veiligheid).

2 Achtergrondinformatie

2.1 Externe veiligheid en groepsrisico

De externe veiligheid rondom inrichtingen met gevaarlijke stoffen en transportroutes met gevaarlijke stoffen dient conform het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (BEVI, [27]) en de circulaire Risiconormering Vervoer van gevaarlijke stoffen (RNVGS, [28]) te worden getoetst aan het **plaatsgebonden risico** (PR) en het **groepsrisico**. Beide zijn gebaseerd op letaliteit (dodelijke slachtoffers) en worden berekend door een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) uit te voeren.

Het **plaatsgebonden risico** is de kans per jaar dat een persoon dodelijk wordt getroffen door een ongeval met gevaarlijke stoffen indien deze zich permanent en onbeschermd op een bepaalde plaats bevindt. Het plaatsgebonden risico wordt op een kaart weergegeven door middel van zogenaamde iso-risico contouren (zie figuur 2.1). Dit zijn lijnen die punten met dezelfde kans op overlijden met elkaar verbinden. De PR 10^{-6} contour (kans op overlijden van eens in de miljoen jaar) geldt als grenswaarde voor nieuwe kwetsbare objecten. Binnen de 10^{-6} contour mogen geen nieuwe kwetsbare objecten worden gerealiseerd. Voor bestaande kwetsbare objecten binnen een 10^{-6} contour voor inrichtingen geldt een saneringsplicht op basis van [27]. Voor transport geldt vooralsnog geen saneringsplicht [28]. Voor beperkt kwetsbare objecten geldt de 10^{-6} contour als een richtwaarde. De definitie voor kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten is opgenomen in [27] en [28]. In grote lijnen komt het er op neer dat kwetsbare objecten gebouwen zijn waar mensen zich gedurende langere tijd bevinden en/of het verblijf van kwetsbare en/of grote groepen betreft (zoals woningen, verpleegtehuizen, scholen, e.d.).

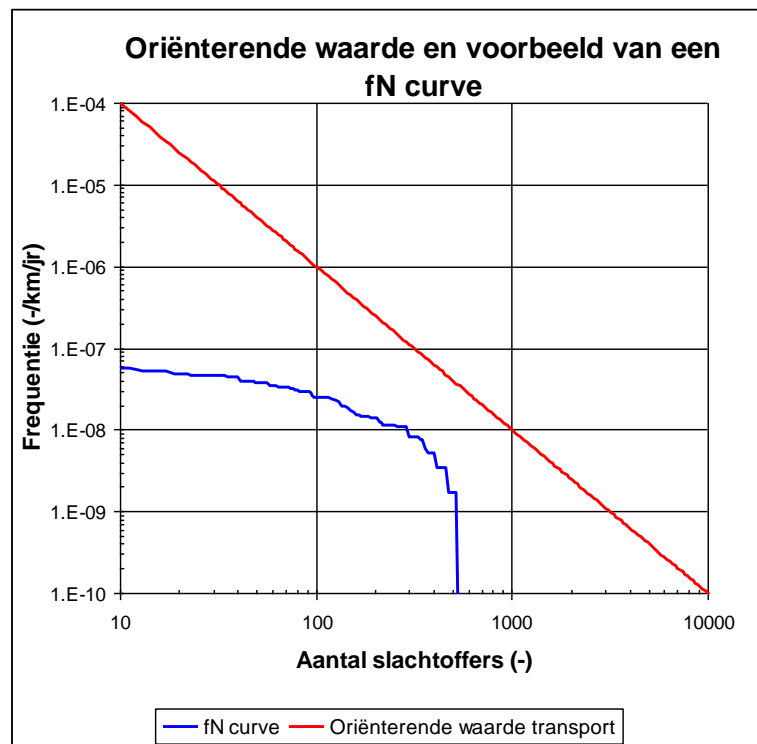


Figuur 2.1 Weergave van het plaatsgebonden risico (fictief voorbeeld) [17]

Het **groepsrisico** is een maat voor de maatschappelijke ontwrichting. Groepsrisico beschouwt de aanvaardbaarheid van grote rampen met een kleine kans. Het groepsrisico wordt bepaald door de cumulatieve kans per jaar dat in één keer een groep van ten minste een bepaalde grootte zal overlijden als gevolg van een ongeval tijdens de beschouwde activiteit. Bij dit risico wordt dus rekening gehouden met personen die zich in de buurt van het traject bevinden; hoe meer mensen in de omgeving van het traject, des te hoger het groepsrisico. Het groepsrisico wordt weergegeven in een fN-curve: een grafiek die de cumulatieve frequentie van ongevallen (f) geeft voor een bepaald aantal slachtoffers (N).

Voor transportroutes wordt het groepsrisico gepresenteerd voor routes met een lengte van 1 kilometer. De oriënterende waarde is een aantal van minimaal 10 slachtoffers bij een maximale cumulatieve frequentie van optreden van 10^{-4} /jaar en een aantal van minimaal 100 slachtoffers bij een maximale cumulatieve frequentie van optreden van 10^{-6} /jaar.

De oriënterende waarden voor het externe groepsrisico per km vormen een lijn die in Figuur 2.2 is weergegeven.



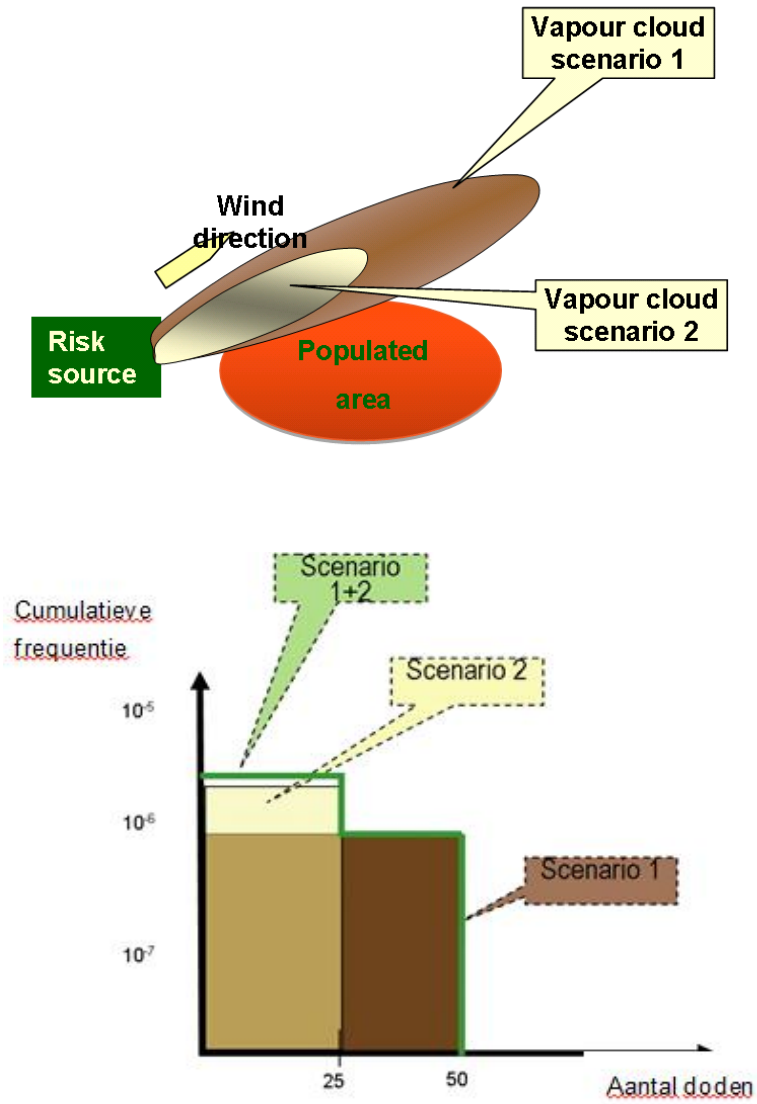
Figuur 2.2 Oriënterende waarden voor het groepsrisico per km traject per jaar.

Het BEVI [27] vereist een verantwoording van het groepsrisico bij het verlenen van de milieuvergunning of bij vernieuwing, aanpassing of verlening van vrijstelling op het bestemmingsplan. Ook in de circulaire RNVGS [28] is opgenomen dat bij een overschrijding van de oriëntatiewaarde en/of een toename van het groepsrisico een verantwoording van het groepsrisico nodig is.

Bij de verantwoording van het groepsrisico is het nodig, dat wordt aangegeven hoe hoog het groepsrisico is en in welke mate dit verandert ten gevolge van de voorgestelde ontwikkeling, wat de personendichtheid in het invloedsgebied is, wat de mogelijkheden zijn voor de beperking van het risico, de zelfredzaamheid en hulpverlening in geval een calamiteit daadwerkelijk optreedt. Tevens moet worden aangegeven welke alternatieven er zijn: wat zijn de voor- en nadelen van andere ruimtelijke ontwikkelingen.

Berekenen Groepsrisico

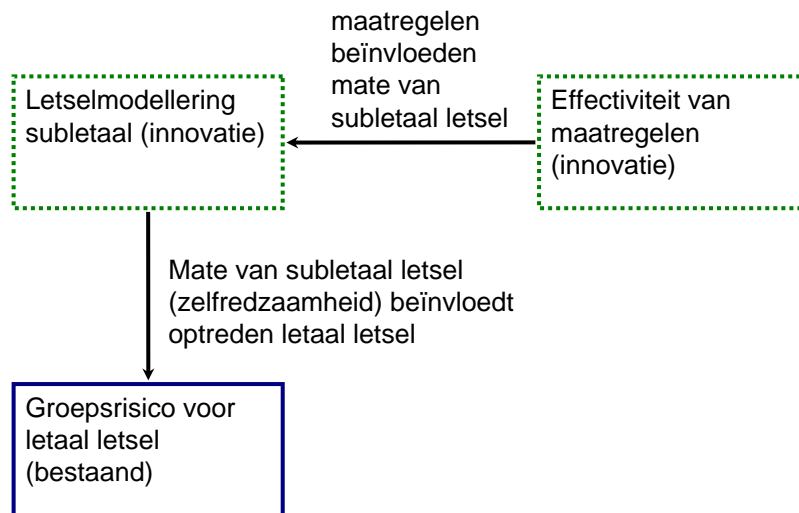
Bij een bedrijf of transportroute kunnen diverse ongevalsscenario's optreden. De QRA scenario's worden bepaald en berekend conform de richtlijnen voor risicoanalyses voor bedrijven en transportroutes [8],[25]. Ieder scenario heeft een kans en een gevolg. Figuur 2.3 laat 2 scenario's zien vanuit dezelfde risicobron met verschillende effectafstanden en kansen. Het aantal gewonden wordt bepaald door de effectafstanden te combineren met de verwachte aanwezigheid van bevolking in het betreffende gebied. Scenario 1 leidt tot 50 doden en heeft een kans van voorkomen van $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar. Scenario 2 leidt tot 25 doden en heeft een frequentie van $5 \cdot 10^{-6}$ per jaar. De groepsrisicocurve op basis van deze 2 scenario's is weergegeven in Figuur 2.3. Op de y-as staat de cumulatieve kans op het optreden van een ongeval met op de x- as het aantal slachtoffers .



Figuur 2.3 Toelichting van een groepsrisicocurve met 2 scenario's

2.2 Effectiviteit van maatregelen

Maatregelen kunnen ofwel gevolgen verminderen of de kans op een ongeval verlagen. Voor het bepalen van het effect van een maatregel op het aantal slachtoffers is het van belang om het subleetaal letsel goed te modelleren (zie Figuur 2.4). Maatregelen, zoals (automatische) alarmering, betere vluchtroutes en voorlichting, hebben namelijk in eerste instantie effect op de zelfredzaamheid van personen: personen gaan eerder vluchten, kunnen sneller vluchten (vermogen om zichzelf te helpen) en weten bijvoorbeeld beter hoe te handelen om incidenten te beheersen. Afhankelijk van de aard en ontwikkelingssnelheid van het incident, kunnen personen in de loop van het incident subleetaal letsel oplopen, hetgeen de zelfredzaamheid van personen kan verminderen. De aard en *mate van subleetaal letsel* bepaalt de zelfredzaamheid van personen en daarmee de mogelijkheid van maatregelen om nog effect te kunnen hebben. Veel maatregelen zoals alarmeren en betere vluchtroutes hebben namelijk alleen effect op zelfredzame personen.



Figuur 2.4 Modelleren van de subleetaal letsel als tussenstap voor het bepalen van de effectiviteit van maatregelen op het groepsrisico

Het effect van de maatregelen kan worden bepaald door de scenario's opnieuw te berekenen met de genomen maatregelen. Hiervoor moeten de maatregelen in de effectmodellen worden gemodelleerd. De veranderde gevolgen en kansen kunnen dan vervolgens opnieuw in een groepsrisicocurve worden weergegeven. Figuur 2.4 laat zien welke innovaties in het project "kwantificering van de effectiviteit van maatregelen voor ongevallen met gevaarlijke stoffen" worden gemaakt (stippellijn = innovatie). De voorliggende studie geeft invulling aan de innovatie "letselmodellering subleetaal".

2.3 Verantwoording van het groepsrisico

Via het groepsrisico wordt een koppeling gelegd met de rampenbestrijding, door in de vorm van een verantwoordingsplicht advies te vragen aan de brandweer over de veiligheid. In navolging van de BEVI wetgeving (artikel 12 en 13), adviseert de brandweer onder meer over maatregelen ter verbetering van de zelfredzaamheid van de aanwezigen in het invloedsgebied van het object met gevaarlijke stoffen (Het invloedsgebied wordt doorgaans begrensd door 1% letaliteitgrens [71]). Ook kunnen maatregelen worden geadviseerd die het optreden van de hulpverleningsdiensten in geval van een ramp verbeteren. De GHOR levert input in dit proces en bij de advisering.

De stappen in het brandweeradvies zijn (zie Figuur 2.5) [72]:

Stap 1: uitvoeren verkenning

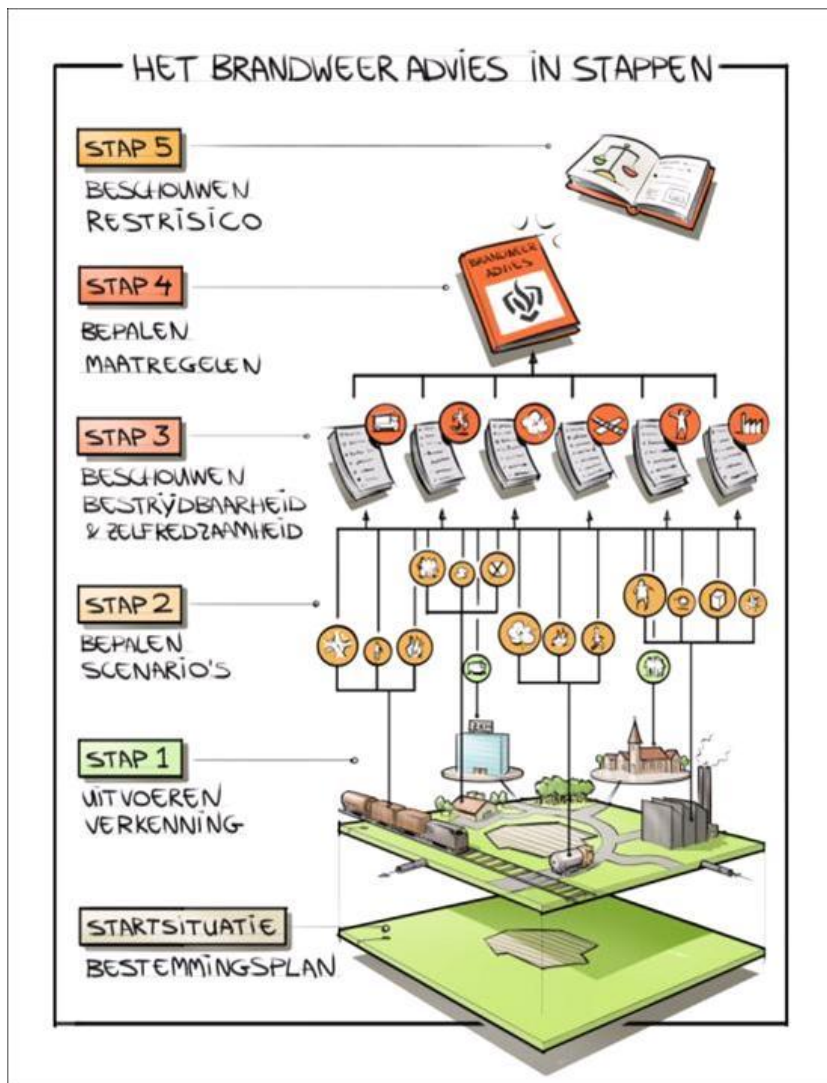
Stap 2: bepalen scenario's

Stap 3: het beschouwen van bestrijdbaarheid & zelfredzaamheid bij de geselecteerde scenario's

Stap 4: bepalen maatregelen

Stap 5: beschouwen restrisico

Het project "kwantificeren van de effectiviteit van maatregelen voor ongevallen met gevaarlijke stoffen", waar voorliggende studie onderdeel van is, kan invulling geven aan stap 3 t/m 5 in het brandweeradvies (Figuur 2.5). Voorliggende studie draagt bij aan stap 3.



Figuur 2.5 Het brandweeradvice in stappen [1]

Ter illustratie van maatregelen die geadviseerd kunnen worden, zijn hieronder enkele voorbeelden gegeven van zelfredzaamheid-bevorderende maatregelen. Deze maatregelen zijn in een eerder project [15] uitgewerkt voor toxische scenario's.

- Verkorten tijd tot vluchten, bijvoorbeeld door sneller te alarmeren
 - Sirenes
 - Luidsprekers in de openbare ruimte
 - Alarmering vanuit rijdende patrouillewagens
 - Persoons- of groepsgerichte sms / cell broadcasting
- Schuilen
 - Effect van “naar binnen gaan en ramen en deuren sluiten”
 - Openbare collectieve schuilplaatsen
 - Lekdichte gebouwen
- Verbreden of vermijden versmallingen op de vluchtroute (zoals trappen).

2.4 Zelfredzaamheid

Zelfredzaamheid is een veelgebruikte term met - afhankelijk van de context - verschillende betekenissen. De algemene definitie van zelfredzaamheid die in dit project wordt gehanteerd is:

Vermogens en handelingen van burgers om incidenten te voorkomen of beheersen, om zichzelf én anderen te kunnen helpen de gevolgen van het incident te beperken.

Bovenstaande definitie is veelomvattend: zichzelf in veiligheid stellen is een handeling om zichzelf te helpen en tegelijkertijd een manier om de gevolgen (het aantal slachtoffers) van het incident te beperken. In dit project ligt de focus van zelfredzaamheid op het vermogen van burgers om te vluchten en zichzelf te helpen door zich veilig te stellen. Hieronder valt ook het in staat zijn om een schuilplaats te zoeken, naar binnen te gaan, ramen en deuren te sluiten en (indien aanwezig) de ventilatie uit te zetten. De zelfredzaamheid van een persoon kan belemmerd zijn door blootstelling aan o.a. toxische stoffen, warmtestraling en overdruk. In dit rapport andere fysieke of geestelijke belemmeringen in de zelfredzaamheid, die van toepassing kunnen zijn bij bejaarden, kinderen of lichamelijk en/of geestelijk gehandicapten, niet met een gespecialiseerde methodiek behandeld. Zelfredzaam gedrag komt in vier fasen tot stand (naar analogie van de fasen bij brandevacuatie in [73]):

1. Waarnemen;
2. Interpreteren;
3. Beslissen;
4. Actie/verplaatsen.

De eerste fase van zelfredzaam gedrag bestaat uit het waarnemen van signalen van het gevaar. Wanneer aanwezig in een gebied een goed waarnemingsvermogen hebben zijn zij in staat om het gevaar te ontdekken (mits het gevaar waarneembaar is). Een goed waarnemingsvermogen leidt daarmee tot een hoge mate van vluchtveiligheid. De tweede fase van zelfredzaam gedrag bestaat uit het interpreteren van signalen en uit het nemen van beslissingen over wat te doen. Een goed beoordelingsvermogen leidt daarmee tot een hoge mate van vluchtveiligheid. De derde en laatste fase van zelfredzaam gedrag bestaat uit de daadwerkelijk actie, dit kan een verplaatsing zijn, maar ook binnen blijven en handelingen uitvoeren zoals ramen en deuren sluiten. Wanneer mensen mobiel zijn en in staat zijn om zich zelfstandig te verplaatsen, kunnen zij naar een veilige omgeving vluchten. Een goed verplaatsingsvermogen leidt daarmee tot een hoge mate van vluchtveiligheid.

Bij de ontwikkeling van letselmodellen ligt de nadruk op het (vermogen om te) handelen. Specifieker geformuleerd ligt de nadruk op het vermogen om te vluchten na blootstelling aan de effecten van een ongeval met gevaarlijke stoffen. Omgevingsfactoren, zoals de complexiteit van de vluchtweg, beïnvloeden eveneens de fase van het "handelen", deze omgevingsfactoren kunnen worden aangepast bij het nemen van maatregelen ter bevordering van de zelfredzaamheid.

2.5 Triageklassen

De resultaten van de nieuwe letselmodellen worden uitgedrukt in triageklassen, waarmee de berekende letsels worden uitgedrukt in een herkenbare en relevante maat voor de hulpverlening, die afkomstig is uit de acute hulpverlening maar ook voor risicobeheersingsdoeleinden wordt gebruikt. Triageklassen worden in de risicobeheersing gebruikt om een inschatting te maken van de benodigde capaciteit van de hulpdiensten bij mogelijke ongevallen met gevaarlijke stoffen.

Triage is het proces van prioriteitstelling voor acute hulpverlening aan letselslachtoffers op grond van de waargenomen ernst en de medische kennis ten aanzien van het verdere beloop van hun letsel/ziektebeeld. Als de medische hulpbehoefte groter is dan de mogelijke behandelcapaciteit heeft triage de functie om te bepalen welke slachtoffers onmiddellijke hulp nodig hebben (veelal om vitale functies te stabiliseren), op welke behandellocatie en deze categorie voorrang te geven bij behandeling en het (ambulance)vervoer. De gebruikelijke indeling in verschillende categorieën slachtoffers, gebaseerd op de status van vitale functies, is als volgt ([17],[20],[21]):

- T1: triageklasse 1 (onmiddellijk, rood)
ABC instabiel, Triageklasse 1 rood wordt gebruikt bij A (airways), B (breathing) of C (circulation) ABC- instabiele patiënten. Deze patiënten zijn levensbedreigend gewond en hebben onmiddellijk stabilisatie nodig.
- T2: triageklasse 2 (urgent, geel)
binnen 6 uur te hospitaliseren, op termijn ABC-instabiel gewonden.
- T3: triageklasse 3 (uitgesteld, groen)
gewond (maar kan lopen). ABC-stabiele gewonden. Minder ernstig gewonden van wie behandeling zonder gevaar zes uur kan worden uitgesteld

De gegeven normtijden hebben betrekking op de aanvang van de definitieve stabilisatie in het ziekenhuis.

Naast bovenstaande drie klassen zijn er nog de klassen “overleden” en “T4” (afwachten, blauw), deze worden in dit rapport verder niet gehanteerd. De klasse T4 wordt vrijwel uitsluitend in oorlogstijd gehanteerd waarbij de omstandigheden (overlevingskansen en benodigde behandelcapaciteit) zodanig zijn dat in eerste aanleg een afwachtende houding wordt aangenomen.

Aandachtspunten bij triage

Bij triage tijdens een ramp is de klasse T3 een 'lastige' patiëntenklasse [21]; iedere ervaren hulpverlener weet dat er zwaargewonde slachtoffers zijn die in eerste instantie kunnen lopen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan patiënten met een inhalatietrauma of een stomp buiktrauma. Toch laten hulpverleners ze na de primaire triage naar veilig gebied lopen. Pas tijdens de secundaire triage in veilig gebied kan de patiënt in een andere triageklasse worden ingedeeld [21]. In het model beschouwen we de zelfredzaamheid van de slachtoffers als een separaat kenmerk naast de triageindeling. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld zelfredzame T2 slachtoffers in het model voorkomen of verminderd of niet-zelfredzame (T3) slachtoffers, die ABC stabiel zijn of kunnen worden als gevolg van hun verwondingen. In het model is het uitgangspunt, dat T3 slachtoffers niet zullen overlijden als gevolg van hun verwondingen.

Doordat het effect en de aard van het letsel “berekend” wordt (bijv. stomp buiktrauma), kan op basis daarvan makkelijker getrieerd worden dan op basis van uiterlijke observatie van een slachtoffer. De toevoeging “maar kan lopen” in de definitie voor T3 slachtoffers wordt daarmee van ondergeschikt belang ten opzichte van “op termijn ABC-instabiel”.

3 Ongevalseenario's

De letselmodellen zijn toepasbaar voor een breed scala aan scenario's, die binnen de reikwijdte van het project vallen. Voor het selecteren van de juiste letselmodellen is eerst een aantal relevante ongevalsscenario's beschreven. Deze ongevalsscenario's worden in een later stadium opnieuw gebruikt om de letselmodellen te illustreren en te toetsen en het doorrekenen van maatregelen (in projectfase 2). De letselmodellen zijn toepasbaar voor externe veiligheidsscenario's voor inrichtingen (BEVI) en transport (BTEV) zoals benoemd in respectievelijk de Handleiding Risicoberekeningen Bevi [8] en het Paarse boek [25]. Daarnaast wordt verwacht dat de letselmodellen bruikbaar zijn voor ongevallen met buisleidingen (BEVB) en mogelijk voor loodsbranden (PGS15 opslagen), deze worden in voorliggende studie niet verder uitgewerkt. Om in een later stadium een groepsrisicocurve te kunnen berekenen op basis van de geselecteerde voorbeeldscenario's dienen de risicoresultaten te kunnen worden opgeteld. Voor transportscenario's worden de kansen uitgedrukt in kans/km/jaar en voor inrichtingen in kans/ jaar. In dit project zijn de scenario's daarom zoveel mogelijk gerelateerd aan (rail-)transport, zodat in fase 2 ook daadwerkelijk het effect van maatregelen op een groepsrisicocurve kan worden getoond.

Het doel van dit hoofdstuk is een beeld geven van de scenario's waarvoor de letselmodellen worden ontwikkeld.

3.1 Scenario's voor transportrisico's gevaarlijke stoffen

Voor veiligheidsstudies voor transportrisico's worden gevaarlijke stoffen ingedeeld in vier categorieën, te weten:

- brandbaar gas;
- brandbare vloeistof;
- toxisch gas;
- toxische vloeistof.

Elke categorie kan uit enkele subcategorieën bestaan, aangegeven met een cijfer. Hoe hoger het cijfer, hoe gevaarlijker de stof. In Tabel 3.1 zijn de voorbeeldstoffen voor enkele categorieën aangegeven. Waar relevant voor de berekeningen zijn ook typische wagon/ tankauto inhouden aangegeven.

Tabel 3.1 Voorbeeldstoffen vervoerscategorieën van gevaarlijke stoffen

Categorie	Codering		Voorbeeld stof	Inhoud	
	Spoor	Weg		Spoor (ton)	Weg (m ³)
Brandbaar gas	-	GF2	Butaan	-	50 m ³
	A	GF3	Propaan	50	50 m ³
Toxisch gas	-	GT2	Methylmercaptaan	-	16 ton
	B2	GT3	Ammoniak	50	16 ton
	B3	GT5	Chloor	55	16 ton
Brandbare vloeistof	-	LF1	Butaan	Inhoud is niet van belang voor berekeningen, er wordt gerekend met plasoppervlakte	
	C3	LF2	Pentaaan		
Toxische vloeistof	D3	LT1	Acrylonitril	Inhoud is niet van belang voor berekeningen, er wordt gerekend met plasoppervlakte	
	-	LT2	Propylamine		
	D4	LT3	Acroleine		
	-	LT4	Methylisocyanaat		

Voor elk van deze (sub)categorieën wordt een voorbeeldstof gehanteerd om de effecten te berekenen. Deze voorbeeldstof is representatief voor de gevaareigenschappen van de vervoerde stoffen.

Om de effecten te kunnen berekenen moet worden uitgegaan van bepaalde ongevalscenario's. In Nederland worden deze ontleend aan het 'Paarse Boek' [25]. Volgens het Paarse Boek moeten de volgende scenario's worden beschouwd voor transport:

- Instantaan vrijkomen van de inhoud ('instantaan');
- Continu vrijkomen van de inhoud van de tank door een gat in de tank ('continu')

Voor het vrijkomen van vloeistoffen is het gevormde plasoppervlak bepalend. De volgende vaste plasoppervlakken worden gehanteerd in risicoanalyses voor transport [22], [25]:

- Spoor
 - Instantaan vrijkomen: 600 m²
 - Continu vrijkomen: 300 m²

De ontwikkeling van een scenario in de tijd is afhankelijk van de stofcategorie en het type scenario. Ook andere factoren zijn van invloed op de ontwikkeling van het scenario en voor de consequenties voor blootgestelde personen alsmede aangerichte schade.

De voorbeeld ongevalscenario's worden in de hoofdstukken van de letselmodellen beschreven. Daarin zal op verschillende factoren en relevante parameters worden ingegaan.

Voorbeeldscenario's voor het toxisch letselmodel:

- Ammoniak (vrijkomen toxisch gas);
- Acrylonitril (vrijkomen toxische vloeistof);
- Brand letselmodel: LPG BLEVE en Pentaan (Plasbrand).

Voorbeeldscenario voor het explosie letselmodel:

- LPG gaswolkexplosie.

Voorbeeldscenario's voor het brand letselmodel:

- LPG BLEVE;
- Pentaan (Plasbrand).

De effectafstanden voor concentraties, warmtestraling en overdruk zijn voor deze scenario's doorgerekend met het rekenprogramma "EFFECTS 8.1.4" [16], de resultaten van de scenarioberekeningen staan in bijlage A.

4 Explosie letselmodel

4.1 Inleiding

In de voorliggende studie zijn letselmodellen geïnventariseerd, waarbij met input vanuit effectmodellen voor scenario's zoals een BLEVE of een gaswolkexplosie, een uitspraak gedaan kan worden over de letselernst (bijvoorbeeld gehoorletsel of brandwonden). Die letselernst dient daarna weer vertaald te kunnen worden naar triage en zelfredzaamheid, zodat er een uitspraak gedaan kan worden over de effectiviteit van maatregelen voor dat specifieke scenario.

Met behulp van letselmodellen kan inzicht verkregen worden in de fysieke toestand van de mens (letselernst). Voor meer achtergrond over letselmodellen en de letselmodellenstructuur wordt verwezen naar bijlage C en D. Voor meer achtergrond met betrekking tot letselbiomechanica, van belang voor het opstellen van de letselmodellen wordt verwezen naar bijlage B. Daarnaast zijn verschillende definities die vaak gebruikt worden binnen de letselbiomechanica opgenomen in bijlage B.

4.1.1 Scenario LPG (BLEVE en gaswolkexplosie)

BLEVE

Een spoorketelwagon met LPG, een brandbaar gas, faalt en de volledige inhoud komt instantaan vrij. Brandbare gassen worden als tot vloeistof verdichte gassen vervoerd: een gas dat door overdruk vloeibaar gemaakt is. Wanneer de inhoud instantaan vrijkomt valt de overdruk weg en zal de vloeistof gaan koken en explosief verdampen. Dit wordt een BLEVE genoemd: boiling liquid expanding vapour explosion. In een QRA wordt onderscheid gemaakt tussen een "koude" BLEVE en een "warme" BLEVE. Bij een koude BLEVE faalt de tank bij opslagdruk als gevolg van bijvoorbeeld het mechanisch falen van de tank. Bij een warme BLEVE wordt de tank aangestraald door een brand. Hierdoor neemt de druk in de tank toe en faalt de tank bij een hogere druk. Een warme BLEVE heeft daardoor grotere effecten dan een koude BLEVE.

Wanneer het vrijgekomen gas direct ontstoken wordt ontstaat een vuurbal. Is er echter sprake van vertraagde ontsteking, dan zal de gaswolk zich in de omgeving gaan verspreiden. Vervolgens kan de gaswolk alsnog ontstoken worden. Als de gaswolk omsloten is, kunnen er bovendien overdruk effecten ontstaan. De warmtestraling is echter bepalend voor het letsel.

Gaswolkexplosie

Bij het instantaan vrijkomen van propaan gaat er niet alleen een deel van de inhoud de lucht in die een (zware) wolk vormt, maar er wordt ook een plas op de grond gevormd. Deze gaat vervolgens verdampen. Voor de bepaling van de explosieve massa in de gaswolk dienen beide bronnen (de "instantane" zware wolk en de dampende plas) meegenomen te worden. Bij de explosie zullen overdruk verschijnselen ontstaan die letsel kunnen veroorzaken.

4.2 Effect op de mens

De door een explosie veroorzaakte plotselinge drukverhoging (blast) kan bij personen (dodelijk) letsel veroorzaken. Zo kan er gehoorletsel (tijdelijk of permanent) ontstaan en letsel aan de ingewanden en gasgevulde organen (o.a. longen, maag darm kanaal). Ook is bekend uit studies uitgevoerd in de Verenigde Staten n.a.v. de uitzendingen in Irak en Afghanistan [70] dat de blast ook directe gevolgen heeft voor hersenen en letsel kan veroorzaken (mild traumatic brain injuries). Over de oorzaken van deze letselmechanismen is nog onvoldoende bekend.

Indien er fragmenten ontstaan tijdens de explosie (bijv glas/hout/metalen rechtstreeks van de explosiebron, dan wel secundair van bijvoorbeeld gebouwen) kunnen de kleinere fragmenten zorgen voor penetratiewonden terwijl de grotere onderdelen kunnen resulteren in stomp letsel al dan niet gepaard gaan met snij- en schaafwonden. Penetratie door (enkele dan wel meerdere) fragmenten kan ernstig tot dodelijk letsel veroorzaken, afhankelijk welke lichaamsdelen getroffen worden en hoe diep de wonden zijn.

Blast wordt vergezeld door een explosiewind van orkaankracht. Deze wind kan mensen meesleuren. Een persoon kan daardoor tegen objecten aangeworpen worden, of rondvliegende objecten tegen een persoon. Dit kan resulteren in stompe letsels. De ernst van de letsels hangt naast de impact condities (massa, snelheid, vorm) onder andere af van het lichaamsdeel dat geraakt wordt alsmede van de fysieke gesteldheid van de persoon.

Brandwonden (1^e t/m 3^e graads) kunnen ontstaan indien er een hoge mate van warmtestraling ontstaat bij de explosie of wanneer er een brand optreedt. De ernst van het letsel hangt af van de graad van de brandwonden alsmede het lichaamsoppervlak dat verbrand is.

Er dient onderscheid gemaakt te worden tussen belastingen op het onbeschermd lichaam en het beschermd lichaam. Want de belasting op het lichaam kan door de bescherming gereduceerd worden, maar ook het type belasting kan veranderen. In het kader van het huidige project speelt beschermende kleding (bijvoorbeeld voor politie, brandweer of militairen) geen rol, omdat er gekeken wordt naar burgers in dagelijkse kleding.

Naast de fysieke effecten spelen uiteraard de mentale effecten ook een grote rol. Deze mentale aspecten vallen buiten het kader van dit project.

De letsels kunnen in verschillende scoringssystemen worden aangegeven. In het vakgebied explosie en munitie effecten op de mens wordt gebruik gemaakt van de Abbreviated Injury Scale (AIS) [39]. De AIS wordt vastgesteld en regelmatig geactualiseerd door het Committee on Injury Scaling of the Association for the Advancement of Automotive Medicine, dat bestaat uit tientallen experts uit Noord-Amerika, Azië, Australië en Europa. De AIS is in het verleden ontwikkeld voor de botsveiligheid, en ondertussen aangepast voor letsels ten gevolge van o.a. brand en explosies [AIS, 2005]. De AIS is gebaseerd op de anatomie (en niet op de fysiologie) en wordt via consensus door het internationale comité vastgesteld.

Het is een wereldwijd gebruikt scoringssysteem waarmee de ernst van letsels per lichaamssysteem op een 6-punts ordinale schaal wordt gescoord op basis van hun relatieve belang voor de gezondheidsstatus van het hele lichaam. AIS scores zijn voornamelijk gebaseerd op de uitkomsten van letsels van patiënten die zijn opgenomen op spoedeisende hulpafdelingen en traumacentra. De AIS scores geven de ernst van een letsel weer bij een overigens gezond individu; ze houden dus geen rekening met reeds aanwezige letsels of ziektes. De scores betreffen uitsluitend het letsel, maar niet de lange-termijn uitkomsten. Hoewel de AIS scores in principe tijdsafhankelijk zijn, is het in het kader van het bepalen van de mate van zelfredzaamheid nuttig om de letselernst te kennen vanaf het begin (het optreden van het gevaar (of een dreiging in het algemeen) tot aan het einde van een hulpverleningsoperatie. Voor een dergelijke toepassing is het daarom nuttig om de AIS score te relateren aan een gedefinieerde tijdsperiode vanaf het optreden van het gevaar. Voor het huidige project is deze tijdsperiode gesteld op 1 uur. Een voorbeeld van AIS scores en bijbehorende letsels is weergegeven in Tabel 4.1.

Tabel 4.1: AIS voorbeelden per lichaamsdeel [Wismans, 2000]

AIS	Hoofd	Borstkas	Buik en bekkeninhoud	Wervelkolom	Ledematen en bekken
1	hoofdpijn of duizeligheid; gehoorletsel	1 gebroken rib	schaafwond buikwand	acute kneuzing (zonder breuk of ontwrichting)	gebroken teen
2	<1 uur bewusteloos; barst in schedel	2-3 gebroken ribben; breuk borstbeen	kneuzing of oppervlakkige scheur in milt, nier of lever	kleine breuk zonder beschadiging ruggenmerg	eenvoudige breuk van scheenbeen, bekken, of knie-schijf
3	1-6 uur bewusteloos; deuk in schedel	2-3 of meer gebroken ribben met bloeding in borstkas of klaplong	diepe scheur in milt of nier	gebarsten tussenwervelschijf met beschadiging van uittredende zenuwwortel	Ontwrichting knie; breuk in bovenbeen
4	6-24 uur bewusteloos; open schedelbreuk	4 of meer gebroken ribben met bloeding in borstkas of klaplong; fladderthorax: (abnormale beweging zonder ventilatie)	diepe scheur in lever	beschadiging van het ruggenmerg met gedeeltelijke uitval van functie of gevoel in armen en/of benen, blaas, rectum	amputatie of verbrijzeling boven de knie; verbrijzeling bekken met intacte huid
5	>24 uur bewusteloos; grote bloeding in schedel (100cc)	gedeeltelijke afscheuring grote lichaamsslagader (aorta)	gebarsten nier, lever of dikke darm	beschadiging van het ruggenmerg met uitval van functie en gevoel van beide armen en benen	verbrijzeling bekken, waarbij de wond open ligt

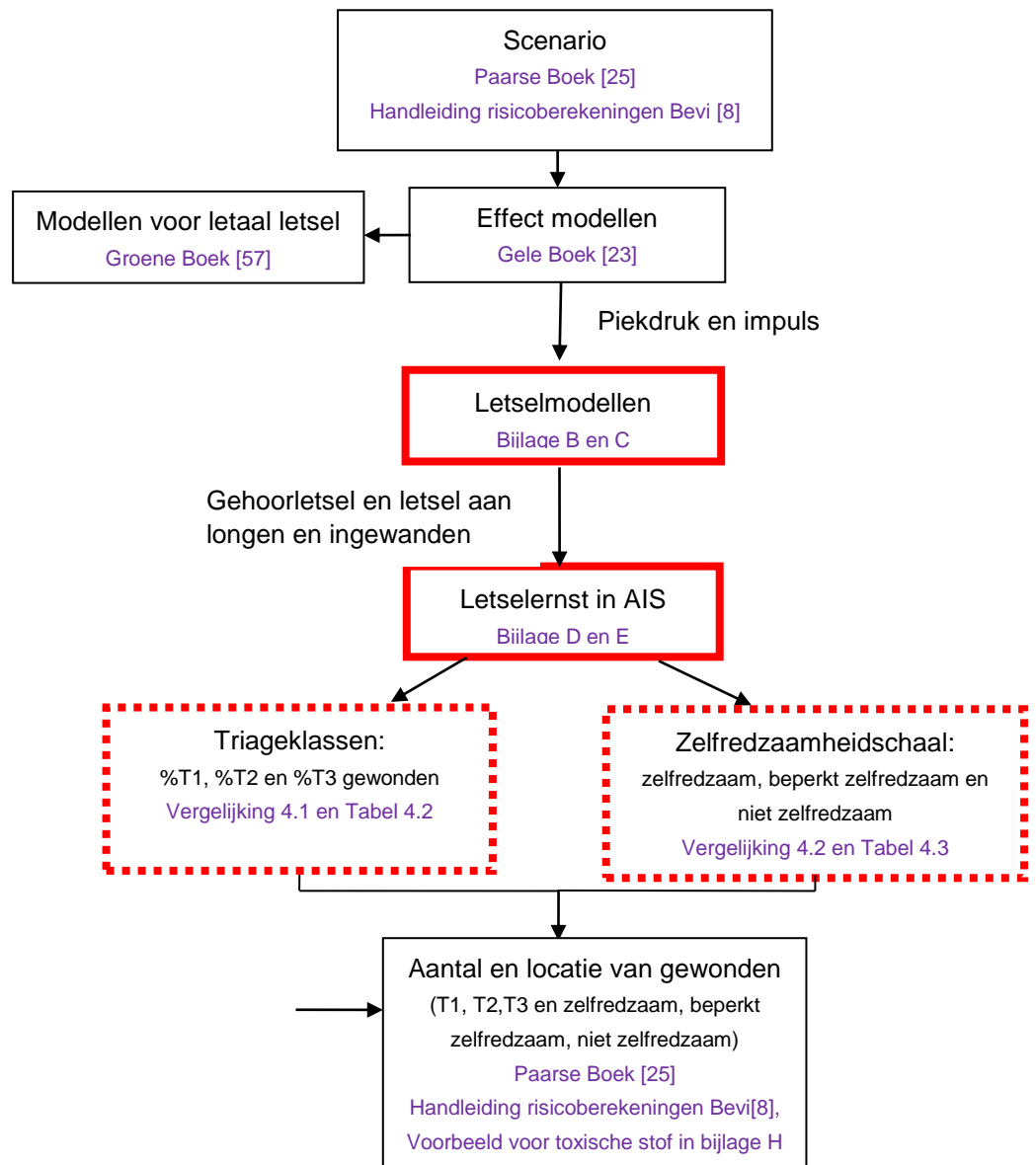
Voetnoot bij tabel:

de AIS is een 6 puntsschaal. Aangezien AIS 6 letsel zo ernstig is, en overeenkomt met dodelijk letsel zijn daarvan geen voorbeelden gegeven in deze tabel.

4.3 Modelbeschrijving

Er dient opgemerkt te worden dat voor het beoordelen van de effecten op de mens, niet zozeer het scenario zelf, alsmeer de type belastingen die optreden een rol spelen. Zo kunnen er verschillende scenario's zijn, die tot dezelfde type belastingen leiden. En de modellen die dan van belang zijn om de risico's te beoordelen worden dan ook niet opgesteld voor specifieke scenario's maar worden verbonden aan de belastingen op het lichaam (zie bijlage C).

In onderstaand schema is weergegeven welke stappen nieuw zijn voor dit project. De kennis omtrent scenario's en de bijbehorende effectmodellen en modellen voor dodelijk letsel waren reeds beschikbaar. Enkele letselmodellen met output in de letselernst schaal AIS waren beschikbaar. Binnen de voorliggende studie zijn deze modellen aangepast om het geheel geschikt te maken voor gebruik binnen externe veiligheidsscenario's. Hiervoor zijn vertaalslagen gemaakt vanuit de letselernst uitgedrukt in AIS, naar triageklassen en een zelfredzaamheidsschaal.



In het kader van projecten voor het Ministerie van Defensie zijn verschillende letselmodellen ontwikkeld [55]. Voor het huidige project is besloten om deze ontwikkelde kennis te gebruiken als uitgangspunt en te starten met het verder uitwerken van de letselmodellen voor het gehoor, de longen en ingewanden, specifiek voor overdruk effecten die optreden bij explosies.

4.3.1 Overdruk: gehoor

Het oor is een gevoelig orgaan dat reageert op zeer kleine drukvariaties. Trommelvliesbreuk is maatgevend voor gehoorbeschadiging. Er zijn verschillende modellen beschikbaar die aangeven wat de kans is op trommelvliesbreuk bij een bepaalde piekoverdruk. De afgelopen jaren heeft er internationaal volop onderzoek plaatsgevonden naar gehoorletsels (tijdelijk en permanent, met en zonder bescherming) [eg. 49c, 49d, 59].

Indien het van belang is om een nauwkeurige uitspraak te kunnen doen over gehoorschade is het raadzaam deze studies in detail te evalueren en het letselmodel voor gehoorletsel eventueel aan te passen. Echter voor een eerste inschatting van gehoorschade voldoet het huidige groene boek model [57]].

De bijbehorende probit functie is : $Pr = - 12.6 + 1.524 \ln Ps$ (met Ps de gereflecteerde overdruk).

De gehoorletsels kunnen vertaald worden naar AIS scores volgens [39]. Gehoorschade is in AIS codering meestal AIS 1, met een maximum van AIS 2 voor totale doofheid aan beide oren.

4.3.2 Overdruk: longen en ingewanden

De "Bowen-curves" [68] worden al jaren gebruikt voor het bepalen van de letaliteit als gevolg van overdruk in het open veld. Deze curves worden ook toegepast in de huidige richtlijnen voor het bepalen van dodelijk letsel [57]. Recent zijn de "Bowen-curves" door Bass et al [41] verbeterd. Door het toevoegen van extra data punten en het opnieuw nagaan van de "Bowen" data is een verbeterd letaliteitsmodel ontstaan, waarmee de kans op longschade kan worden bepaald. Daarnaast zijn er door Axelsson [40] en ook Stuhmiller [69] letsel modellen ontwikkeld voor longen en ingewanden voor zowel vrije veld als gesloten ruimtes. Aangezien het model van Axelsson goed gedocumenteerd is, en internationaal geaccepteerd is [48] heeft TNO besloten om dit letselmodel verder te ontwikkelen, zodat het toegepast kan worden in de verschillende onderzoeken waar letseluitspraak gewenst is. De input voor het Axelsson letselmodel is de overdruk-tijds curve voor vier punten gemeten op een blast test device (BTD= cylinder met diameter van 30 cm). En de output van het model is de CWVP waarde die gerelateerd is aan een ASII letselschaal [40]. De output is vertaald naar een AIS schaal [48]. De input voor het letselmodel moet gegenereerd worden door de effectmodellen. Voor geen enkel effectmodel voor blast overdruk verschijnselen worden deze drukdata bepaald voor die vier punten. De effect modellen genereren ofwel een druktijdsprofiel op een specifiek punt, of genereren alleen een piekdruk en impuls. Voor deze situaties is zowel een single point approach als een approximation methode ontwikkeld, waarbij met eenvoudige input gegevens uit effectmodellen een uitspraak over letsel gedaan kan worden. Deze ontwikkelingen hebben vooral plaatsgevonden binnen projecten voor de Nederlandse Defensie [44][45][65]]. Het model voor de gesloten ruimtes, de complexe blast omgeving is nog in ontwikkeling [45] en nog niet bruikbaar voor het huidige project. Echter het model voor het vrije veld is reeds gereed en internationaal gepubliceerd. In het huidige project wordt gebruik gemaakt van de approximation methode die wordt beschreven in bijlage D. De vertaling van de output naar een AIS schaal op basis van [48] is verder toegelicht in bijlage E.

4.3.3 AIS naar triageklassen

Er is behoefte om een vertaling te maken van de output van de letselmodellen naar de in Nederland door hulpverleners gebruikte triageklassen, zodat in de toekomst hulpverleners een inschatting kunnen maken voor de benodigde hulpverlenerscapaciteiten.

Triage is het proces van prioriteitstelling voor acute hulpverlening aan letselsslachtoffers op grond van de waargenomen ernst en de medische kennis ten aanzien van het verdere beloop van hun letsel/ziektebeeld. Als de medische hulpbehoefte groter is dan de mogelijke behandelcapaciteit heeft triage de functie om te bepalen welke slachtoffers onmiddellijke hulp nodig hebben (veelal om vitale functies te stabiliseren), op welke behandellocatie en deze categorie voorrang te geven bij behandeling en het (ambulance)vervoer. De gebruikelijke indeling in verschillende categorieën slachtoffers, gebaseerd op de status van vitale functies, is als volgt:

- T1 (onmiddellijk, rood) ABC instabiel, Triageklasse 1 rood wordt gebruikt bij A (airways), B (breathing) of C (circulation) ABC- instabiele patiënten. Deze patiënten zijn levensbedreigend gewond en hebben onmiddellijk stabilisatie nodig.
- T2 (urgent, geel) binnen 6 uur te hospitaliseren, op termijn ABC-instabiel gewonden.
- T3 (uitgesteld, groen) gewond (maar kan lopen). ABC-stabiele gewonden. Minder ernstig gewonden van wie behandeling zonder gevaar zes uur kan worden uitgesteld.

Hierbij staat ABC voor de vitale functies Airways, Breathing, Circulation. De gegeven normtijden hebben betrekking op de aanvang van de definitieve stabilisatie in het ziekenhuis. Bij zeer grote rampen kan er een (vierde) categorie slachtoffers zijn waarbij de omstandigheden (overlevingskansen en benodigde behandelcapaciteit) zodanig zijn dat in eerste aanleg een afwachende houding wordt aangenomen. Deze vierde categorie heeft uiteraard grote betekenis in de praktijk, maar heeft geen betekenis bij de effectvoorspelling op voorhand, waarbij het om een voorspelling van de uiteindelijke uitkomst gaat.

Omdat de uitgangspunten van de Triageklasse systematiek en de AIS systematiek verschillen, is geen directe eenduidige vertaling mogelijk vanuit de output van de letselmodellen naar triageklassen. Echter op basis van medische expertise is een globale indeling te maken, vanuit de AIS indeling naar de triageklassen. Daarmee kunnen de uitkomsten van de letselmodellen voor een bepaald scenario, direct een beeld geven over de indeling in triageklassen die te verwachten is.

De indeling voor zeer zware en zeer lichte letsels naar de T1 en T3 klassen is vrij eenvoudig te maken op basis van het AIS handboek [39] waarin alle letsel gedetailleerd zijn beschreven en gecodeerd zijn per lichaamsdeel. Zo is een licht letsel van AIS 1 (denk aan gebroken vinger, of bijvoorbeeld schaafwonden) vrij eenvoudig in te delen in T3, terwijl de zwaardere letsels van AIS 4 en hoger (bijvoorbeeld ernstige hoofdwonden, of zwaar inwendig letsels) levensbedreigend zijn, en thuishoren in T3.

Voor de explosie letselmodellen resulteert dit in de volgende regels:
 ALS model output Letsel ernst \leq AIS 1 DAN model output Triage = T3
 ALS model output Letsel ernst \geq AIS 4 DAN model output Triage = T1 (4.1)

Echter de vertaling van de letsels van de AIS2 en AIS3 categorie zijn minder eenvoudig in te delen in de triageklassen. Op basis van de informatie in het handboek [39] en medische expertise is een indeling gemaakt. In bijlage F worden de beweegredenen van de keuzes toegelicht.

Tabel 4.2: indeling AIS 2-3 naar Triage

	T1	T2	T3
AIS 2		Hoofd Buik Thorax Bekken Huid wervelkolom	Extremiteiten
AIS 3	Hoofd Thorax Wervelkolom Extremiteiten	Bekken buik huid	

NB: het project is gericht op het kunnen kwantificeren van de effectiviteit van maatregelen. Daarvoor is de indeling naar zelfredzaamheid van belang (zie volgende paragraaf). De beweegredenen voor de gemaakte keuzes voor de triageklassen zijn daarvoor minder relevant. Echter indien de modellen gebruikt worden voor het inschatten van hulpverlenersbehoeften, wordt deze indeling belangrijker. Middels evaluatie van uitkomsten van enkele case studies, dan wel door het uitvoeren van parameterstudies zou bestudeerd kunnen worden of er significante fouten gemaakt worden door de keuzes die nu gemaakt zijn. Hierbij kan gedacht worden aan een studie waarin verschillende hoofdletsels, dan wel letsels aan extremiteiten voor zouden kunnen optreden. Echter de huidige modellen zoals ze nu geïmplementeerd zijn kunnen deze mate van detail nog niet aan.

4.3.4 Zelfredzaamheidsschaal

De algemene definitie van zelfredzaamheid die in dit project wordt gehanteerd is:

Vermogens en handelingen van burgers om incidenten te voorkomen of beheersen, om zichzelf én anderen te kunnen helpen de gevolgen van het incident te beperken

Het explosie letselmodel houdt rekening met het volgende deelelement van de term zelfredzaamheid (zie de achtergrondinformatie over zelfredzaamheid in paragraaf 2.4):

Vermogen om te vluchten na blootstelling aan de effecten van een explosie.

Er bestaat geen specifieke schaal voor zelfredzaamheid. Vanuit Defensie onderzoek is er een lijst met specifieke vaardigheden die gebruikt worden om een inschatting te maken over de restcapaciteit van een militair na een incident [51]. Deze vaardigheden zijn als basis gebruikt in het huidige project. Aangezien de mate van detail te hoog was voor de aanpak binnen externe veiligheid, is de lijst samengevoegd tot de volgende lijst:

- Zicht
- Gehoor
- Mentaal
- Fysiek
- Uithoudingsvermogen
- Somatic senses (tastzin en spier- en gewrichtsgevoel)
- Vocaal.

Voor zelfredzaamheid spelen de volgende aspecten een rol:

- Waarnemen (met name zien) (zicht gehoor)
- Denken (interpreteren & besluiten) (mentaal)
- Handelen (fysiek en uithoudingsvermogen)

Om de effectiviteit van maatregelen te kunnen kwantificeren is er een eenvoudige schaalverdeling gemaakt voor zelfredzaamheid. We hebben gekozen voor de volgende indeling:

- Zelfredzaam: iemand heeft geen of nauwelijks letsel en is volledig zelfredzaam,
- Beperkt: letsel is van dien aard dat persoon nog beperkt zelfredzaam is,
- Niet zelfredzaam: letsel is van dien aard dat persoon 100% belemmerd is in zijn zelfredzaamheid.

Uit de verschillende letselmodellen komt de output in AIS schaal. Dit dient dan weer als input voor het zelfredzaamheidsmodel. De indeling die gemaakt is is weergegeven in Tabel 4.3.

Ter illustratie is onderstaand voorbeeld gegeven, zowel in tekst als ook meer in programmeer taal.

Als de letsel ernst aan het hoofd kleiner of gelijk is aan AIS 2, en de letselernst aan het gezicht kleiner of gelijk is aan AIS1 en de letselernst aan de borstkast kleiner of gelijk aan AIS 3 en de letsel ernst aan de buik/bekken regio kleiner of gelijk aan AIS 3 dan is de vaardigheid zicht aanwezig. Er moet dus aan alle voorwaarden met betrekking tot letselernst worden voldaan, om een volledig zicht te hebben.

ALS

head (hoofd) <= AIS2 EN

face (gezicht) <= AIS1 EN

thorax (borstkast) <= AIS 3 EN

abdomen&pelvis (buik/bekken regio) <= AIS 3

DAN vaardigheid zicht aanwezig (+).

(4.2)

De keuze welke lichaamsdelen vallen onder welke vaardigheden is verantwoord in [51]. Hierbij dient opgemerkt te worden dat vitale functies zoals ademhaling en bloedsomloop thuishoren bij lichaamsdelen thorax en abdomen & pelvis. Vandaar dat deze lichaamsdelen ook onderdeel uitmaken van alle vaardigheden. Verder worden met het huidige warmtestralingsmodel alleen de brandwonden voorspeld (zie hoofdstuk 5). In het huidige model geeft dat letsel aan de huid (external) en heeft dit consequenties voor het handelen. In de werkelijkheid zal het ook invloed hebben op de luchtwegen (inhalatie letsel), maar dat zit niet in het huidige model (zie hoofdstuk 5). Daarnaast zijn alle psychische aspecten, die een grote rol spelen op de mate van zelfredzaamheid momenteel verwaarloosd. De huidige letselmodellen geven dit namelijk niet als output. Er zou een functie in het model geïmplementeerd kunnen worden, waarbij deze aspecten meegenomen kunnen worden. Echter de onderbouwing voor zo'n functie mist momenteel.

Tabel 4.3: relatie letsel-vaardigheden-zelfredzaamheid

			Zelfredzaamheid		
			Zelfredzaam (+)	Beperkt (B)	Niet zelfredzaam (A)
	vaardigheden	LichaamsDeel	(AIS≤x)	(AIS=x)	(AIS≥x)
Waarnemen	Zicht	Head	2	3	4
		Face	1	2	3
		Thorax	3	4	5
		Abdomen & Pelvis	3	4	5
		Eye	0	1	2
	Gehoor	Head	2	3	4
		Face	1	2	3
		Thorax	3	4	5
		Abdomen & Pelvis	3	4	5
		Ear	0	1	2
Denken	Mentaal	Head	1	2-3	4
		Thorax	1	2-3	4
		Abdomen & Pelvis	1	2-3	4
Handelen	Fysiek	Head	2	3	4
		Arms	1	2	3
		Legs	1	2	3
		Spine	1	2	3
		Thorax	2	3	4
		Abdomen & Pelvis	2	3	4
		External	1	2-3	4
	Uithoudingsvermogen	Spine	0	1	2
		Thorax	0	1	2
		Abdomen & Pelvis	0	1	2
		External (=huid)	1	2-3	4

4.4 Toetsing

De gevolgde aanpak is voorgelegd aan experts tijdens de workshop, in de vorm van een presentatie en discussies rondom geponeerde stellingen. De stellingen alsook de uitkomsten zijn opgenomen in bijlage I. In deze paragraaf worden de belangrijkste bevindingen weergegeven.

De methode zoals opgezet voor explosie letsels wekt voldoende vertrouwen bij de deelnemers van de workshop. Men zou de methode ook willen toepassen in de toekomst, maar wel met de kanttekening dat er eerst nog een aantal pilot testen worden uitgevoerd. Op basis van deze uitkomsten zal besloten moeten worden of er nog wijzigingen noodzakelijk zijn, maar vooralsnog is hier niet direct behoefte aan. Verder ziet men ook graag dat de methode in de toekomst opgenomen gaat worden in verschillende modellen en eventueel ook in standaarden. En wellicht dat de modellen in de toekomst ook voor rampenbestrijdingsscenario's gebruikt kunnen worden.

Belangrijk is dat er een consistente aanpak is met betrekking tot het doen van uitspraken over gevolgen voor de mens bij externe veiligheidsscenario's.

Tijdens discussies in het projectteam, alsook op basis van de terugkoppeling tijdens de workshop is duidelijk dat met de keuze van de vaardigheden lijst, en de indeling voor zelfredzaamheid ook een aantal aspecten worden verwaarloosd. Zo zijn de vaardigheden vocaal (stemgebruik) en somatic senses (tast zin en spier- en gewrichtsgevoel) niet relevant voor het inschatten van zelfredzaamheid en de effectiviteit van maatregelen. Overigens is proprioceptie (spier- en gewrichtsgevoel) wel relevant om gecoördineerd te kunnen bewegen. Dit wordt echter niet gevangen in somatic senses, maar in de score voor fysiek (armen, benen, spine). Vocaal en somatic senses zullen in het vervolg van dit werk buiten beschouwing worden gelaten. In de huidige aanpak wordt onder waarnemen de vaardigheid reuk ook verwaarloosd. Echter, voor de toxische aanpak, is deze vaardigheid niet verwaarloosd.

Om de effectiviteit van maatregelen te kunnen kwantificeren is er een eenvoudige schaalverdeling (zelfredzaam, beperkt zelfredzaam of niet zelfredzaam) gemaakt voor zelfredzaamheid. De indeling is besproken tijdens de workshop, en iedereen realiseert zich dat er grijze gebieden zijn tussen volledig zelfredzaam, beperkt zelfredzaam of niet zelfredzaam. Daarnaast zullen in de praktijk mensen voor elkaar zorgen, volwassenen die kinderen dragen, en of andere volwassenen helpen. Deze vorm van hulp kan nu nog niet gemodelleerd worden. In de huidige modelaanpak wordt voorlopig gewerkt met een duidelijke scheidslijn tussen de drie fasen.

In de huidige aanpak wordt er aangenomen dat het volstaat om naar het meest ernstige letsel te kijken en wordt er aangenomen dat de gecombineerde en synergie effecten voor die toch al zeer ernstige letsels geen rol meer spelen. Deze aanpak is voor veel studies nog steeds aanvaardbaar, echter in detail studies moeten de gecombineerde en synergie effecten wel meegenomen worden.

4.5 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk beschrijft een methodiek voor het bepalen van de letselernst ten gevolge van explosies en een methodiek om de letselernst uitkomsten te vertalen naar triageklassen. Daarnaast is er een aanpak beschreven hoe de letselernst resultaten gebruikt kunnen worden om een uitspraak te doen over de mate van zelfredzaamheid (zelfredzaam, beperkt zelfredzaam of niet zelfredzaam).

De aanpak is getoetst bij experts middels een workshop. Op basis van deze workshop kan geconcludeerd worden dat de gevolgde aanpak geaccepteerd wordt, en men de modellen graag geïmplementeerd ziet. En voor de toekomst is er een wens dat er een gestandaardiseerde aanpak komt.

Het wordt aanbevolen om een aantal scenario's door te rekenen en resultaten van triageklassen en zelfredzaamheid te toetsen. Aangezien de mate van detail van werkelijke ongevallen nodig voor de toetsing van de modellen beperkt beschikbaar is, zal het toetsen van de modellen niet triviaal zijn. Een eerste stap kan zijn, de modellen te toetsen op orde grootte inschatting en door vergelijkende studies uit te voeren met eventueel beschikbare gegevens uit internationale studies. Toetsing kan ook met deelmodellen plaatsvinden. Zo is toetsing van het explosie letselmodel reeds uitgevoerd (zie bijlage E).

Eventuele wijzingen en aanpassingen aan de letsel, triage en zelfredzaamheidsmodellen zullen op basis van zo'n toetsing uitgevoerd kunnen worden.

De letselmodellen voor explosies richtten zich nu op de overdruk effecten op de mens. Echter door de overdruk effecten kan er ook schade aan gebouwen ontstaan, en kunnen rondvliegende brokstukken en (glas)fragmenten ook letsels veroorzaken. In dit project is daar geen aandacht aan besteed. Er zijn letselmodellen beschikbaar voor deze type belastingen [refs xx]. Deze modellen vereisen gedetailleerde input gegevens die niet altijd beschikbaar zijn. Om deze letselmodellen geschikt te maken voor de externe veiligheidsstudies dienen er een aantal vertaalslagen gemaakt te worden, zodat de juiste invoer aangeleverd wordt voor de letselmodellen. Daarnaast dient ook dan weer een toetsing met een volledig scenario uitgevoerd te worden.

5 Brand letselmodel

5.1 Inleiding

Zoals ook beschreven is in de inleiding van hoofdstuk 0 over explosies worden modellen gezocht waarbij met input vanuit effectmodellen, te gebruiken voor specifieke scenario's (bijvoorbeeld een "boiling liquid expanding vapour explosion" ofwel BLEVE of een plasbrand), een uitspraak gedaan kan worden over de letselernst (bijvoorbeeld gehoorletsel of brandwonden). En die letselernst dient daarna weer vertaald te kunnen worden naar Triage en zelfredzaamheid, zodat er een uitspraak gedaan kan worden over de effectiviteit van maatregelen voor dat specifieke scenario.

Met behulp van letselmodellen kan inzicht verkregen worden in de fysieke toestand van de mens (letselernst). Voor meer achtergrond over letselmodellen en de letselmodellenstructuur wordt verwezen naar bijlage C en D. Voor meer achtergrond met betrekking tot letselbiomechanica, van belang voor het opstellen van de letselmodellen wordt verwezen naar bijlage B. Daarnaast zijn verschillende definities die vaak gebruikt worden binnen de letselbiomechanica opgenomen in bijlage B.

5.1.1 Scenario Pentaan (plasbrand)

Een spoorketelwagon met pentaan faalt en de volledige inhoud komt instantaan vrij waarbij er een vloeistofplas gevormd wordt. Voor een QRA wordt er standaard uitgegaan van een plas met een oppervlakte van 600 m² voor het instantane scenario. Vervolgens kunnen er twee dingen gebeuren:

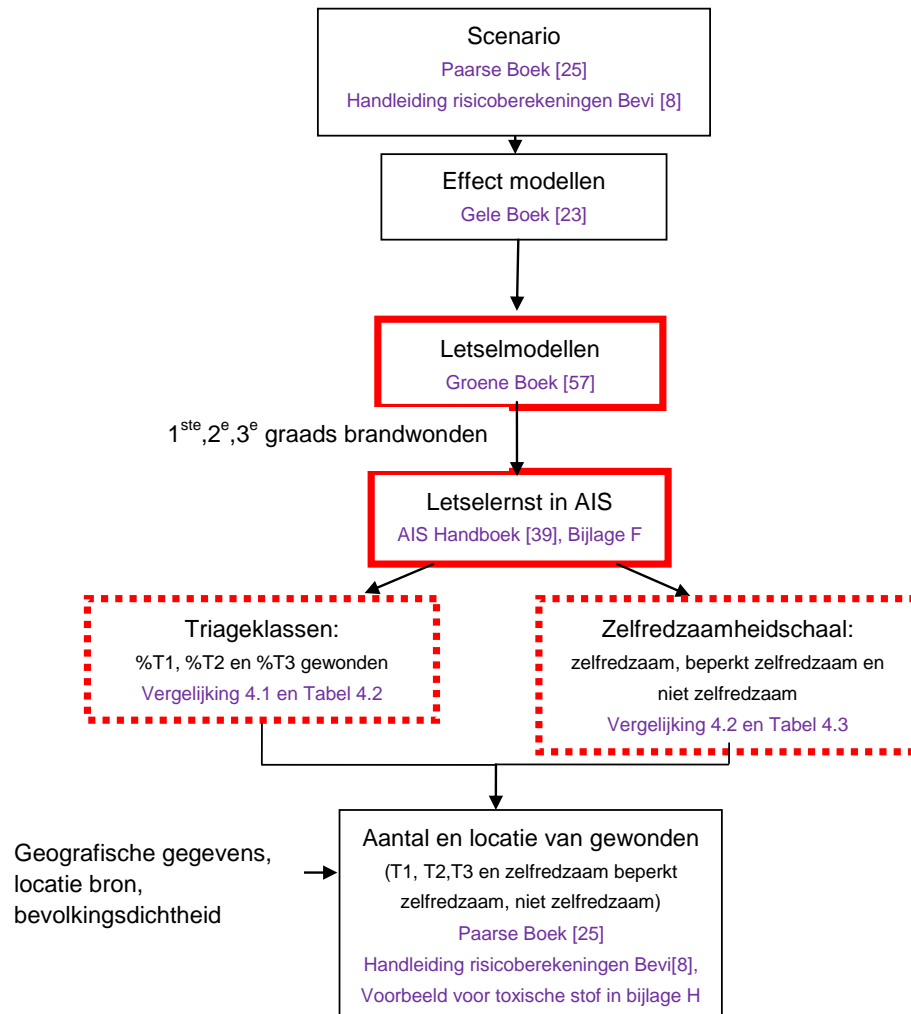
- de plas wordt meteen ontstoken, waardoor er een plasbrand ontstaat;
- de plas wordt niet meteen ontstoken waardoor de vloeistof gaat verdampen. Hierbij kan de gaswolk zich gaan verspreiden in de omgeving. Als deze gaswolk ontstoken wordt (vertraagde ontsteking) ontstaat een wolkbrand (warmtestralingseffecten) en mogelijk een gaswolkexplosie (overdruk effecten). De effecten van een wolkbrand als gevolg van het vrijkomen van pentaan worden in een QRA niet als relevant beschouwd voor de externe veiligheid en worden daarom hier niet verder uitgewerkt.

De warmtestralingseffecten worden in dit hoofdstuk besproken, de overdrukeffecten zijn besproken in hoofdstuk 4.

5.2 Modelbeschrijving

In onderstaand schema is weergegeven welke stappen nieuw zijn voor dit project. De kennis omtrent scenario's en de bijbehorende effectmodellen en modellen voor dodelijk letsel waren reeds beschikbaar. Enkele letselmodellen met output in brandwonden en de letselernst schaal AIS waren beschikbaar vanuit andere TNO projecten. Binnen dit project zijn deze modellen aangepast om het geheel geschikt te maken voor gebruik binnen externe veiligheidsscenario's. Hiervoor zijn vertaalslagen gemaakt vanuit de letselernst uitgedrukt in AIS, naar triageklassen en een zelfredzaamheidsschaal.

In deze paragraaf worden deze aspecten verder uitgewerkt voor warmtestraling.



In de literatuur is het nodige bekend over criteria voor warmtestraling [64]. Er zijn ook de nodige risicocurves beschikbaar om letsel ten gevolge van warmtestraling te kunnen voorspellen. Tot op heden wordt in externe veiligheidsberekeningen gebruik gemaakt van de brandletselmodellen zoals gedefinieerd in het Groene Boek [57]. Binnen dit project is gekozen dit model dat reeds gebruikt wordt in de huidige regelgeving te volgen. Het model geeft de letselernst weer in brandwonden. Deze letselernst kan worden vertaald naar een AIS score volgens het handboek [39]. De vertaling van de output naar een AIS schaal op basis van dit handboek is verder toegelicht in bijlage F. De vertaalslagen vanuit de letselernst uitgedrukt in AIS, naar triageklassen en een zelfredzaamheidsschaal worden op dezelfde wijze uitgevoerd als voor explosieletsel (zie paragrafen 4.3.3 en 4.3.4).

5.3 Toetsing

De gevolgde aanpak is voorgelegd aan experts tijdens de workshop in de vorm van een presentatie en discussies rondom geponeerde stellingen. De stellingen alsook de uitkomsten zijn opgenomen in bijlage I. In deze paragraaf worden de belangrijkste discussiepunten, bevindingen en toelichting op modelkeuzes weergegeven.

- Er is een algemene vertaalslag gemaakt van brandwonden naar AIS op basis van [39]. Hierbij is uitgegaan van de AIS indeling voor een volwassene. Hierbij worden dus de ophoging van letselernst voor kinderen en bejaarden verwaarloosd. Echter het groene boek model dat in het voorliggende project gebruikt wordt voor de brandwonden voorspelling, heeft impliciet al de spreiding voor de bevolkingsgroep die bestaat uit kinderen/volwassenen (inclusief bejaarden) in zich. In de toekomst zou er gekeken kunnen worden of er modellen voor specifieke scenario's (bijvoorbeeld een gebied met veel ouderen) beschikbaar zouden moeten komen, waarbij de letselernst dan heel specifiek aangepast kan worden aan een bevolkingsgroep.
- Er wordt uitgegaan van blootstelling aan de voorzijde van het lichaam. Dus maar dan 50% van het lichaam wordt blootgesteld aan de warmtestralingstraling. In werkelijkheid zal de persoon waarschijnlijk gaan vluchten en zich omdraaien, zodat eerst een korte blootstelling is van de voorzijde van het lichaam, en daarna achterzijde belast worden met warmtestraling. Dit is in het huidige model nog niet verdisconteerd, zodat huidige uitkomsten een hogere letselernst voorspellen dan in realiteit zou voorkomen.
- Het model heeft momenteel twee opties met betrekking tot kleding. Men is totaal onbeschermd, of het lichaam is beschermd met kleding, en alleen gelaat, nek en handen zijn onbeschermd. In de toekomst zal hier een update nodig zijn, waarbij zowel zomer- als winterkledingsets gekozen kunnen worden. Hierbij zijn de materiaaleigenschappen van de kleding van belang. Zo is bekend dat synthetische kleding de letselernst van brandwonden snel kan vergroten.
- Pijn kan een goede voorspeller zijn van de ernst van de brandwonden. Daarnaast zal pijn het denken en handelen beïnvloeden en op die manier ook de zelfredzaamheid beïnvloeden. Echter het huidige warmtestralingsletsel model heeft nog geen mogelijkheid om pijn te modelleren.
- Het warmtestralingsletselmodel richt zich op de brandwonden, en daarmee voorspelt het model letsel aan de huid.
- Inhalatie letsel wordt niet meegenomen in huidige letselmodel voor warmtestraling, ondanks dat bij brand en hitte ook inhalatieletsel een rol kan spelen. Echter, voor de scenario's die gekozen zijn, zal dit naar verwachting een kleine rol spelen, omdat deze brandscenario's zich buiten afspelen. Daardoor blijft de stijging van luchttemperatuur en concentratie van toxische stoffen beperkt en is letsel door warmtestraling bepalend.

Samengevat kan worden gesteld dat de methode voor warmtestralings letselmodellen voldoende vertrouwen wekt bij de deelnemers van de workshop. Men zou de methode ook willen toepassen in de toekomst, maar wel met de kanttekening dat er eerst nog een aantal pilot testen worden uitgevoerd.

Op basis van deze uitkomsten zal besloten moeten worden of er nog wijzigingen noodzakelijk zijn, maar vooralsnog is hier niet direct behoefte aan. Verder ziet men ook graag dat de methode in de toekomst opgenomen gaat worden in verschillende modellen en eventueel ook in standaarden. En wellicht dat de modellen in de toekomst ook voor rampenbestrijdingsscenario's gebruikt kunnen worden. Belangrijk is dat er een consistente aanpak is met betrekking tot het doen van uitspraken over gevolgen voor de mens bij externe veiligheidsscenario's.

5.4 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk beschrijft een methodiek voor het bepalen van de letselernst ten gevolge van warmtestraling. De aanpak hoe de letsel ernst resultaten gebruikt kunnen worden om een uitspraak te doen over de mate van zelfredzaamheid (zelfredzaam, beperkt zelfredzaam of niet zelfredzaam) en hoe een indeling te maken is naar triageklassen is beschreven in hoofdstuk 0.

Er dient opgemerkt te worden dat er een nieuw warmtestraling letselmodel beschikbaar is [64], wat echter nog niet in regelgeving is opgenomen. Dit model is een aantal jaren geleden ontwikkeld in het kader van een project voor het Ministerie van Defensie [64]. Door middel van een literatuuronderzoek is een overzicht gecreëerd van de beschikbare modellen en tolerantieniveaus voor de verschillende letselgradaties (pijn, eerste-, tweede- en derdegraads brandwonden). Daarnaast zijn risicomodellen voor dodelijk letsel verzameld. Al deze gegevens zijn gekoppeld om tot een methode te komen om een risicocurve voor niet-dodelijk letsel op te stellen [64][54]]. De letselkansmodellen kunnen ingezet worden in verschillende computermodellen waarbij de kwetsbaarheid voor een korte blootstellingsduur aan warmtestraling voorspeld dient te worden, bijvoorbeeld in een integrale beoordeling van alle optredende effecten bij een explosie waarbij warmtestralings-effecten een rol spelen. De letselkansmodellen kunnen specifiek gemaakt worden voor situaties naarmate meer gegevens beschikbaar zijn over bijvoorbeeld de mate van bescherming door kleding van de persoon, de schuilmogelijkheden en ook de leeftijd. De meerwaarde van dit warmtestralingsletsel model ten opzichte van het groene boek model is dat het ook geschikt is voor de korte duur blootstelling. Daarnaast zijn er expliciet mogelijkheden om kleding-, vlucht- en schuilmogelijkheden mee te nemen in de invoerparameters.

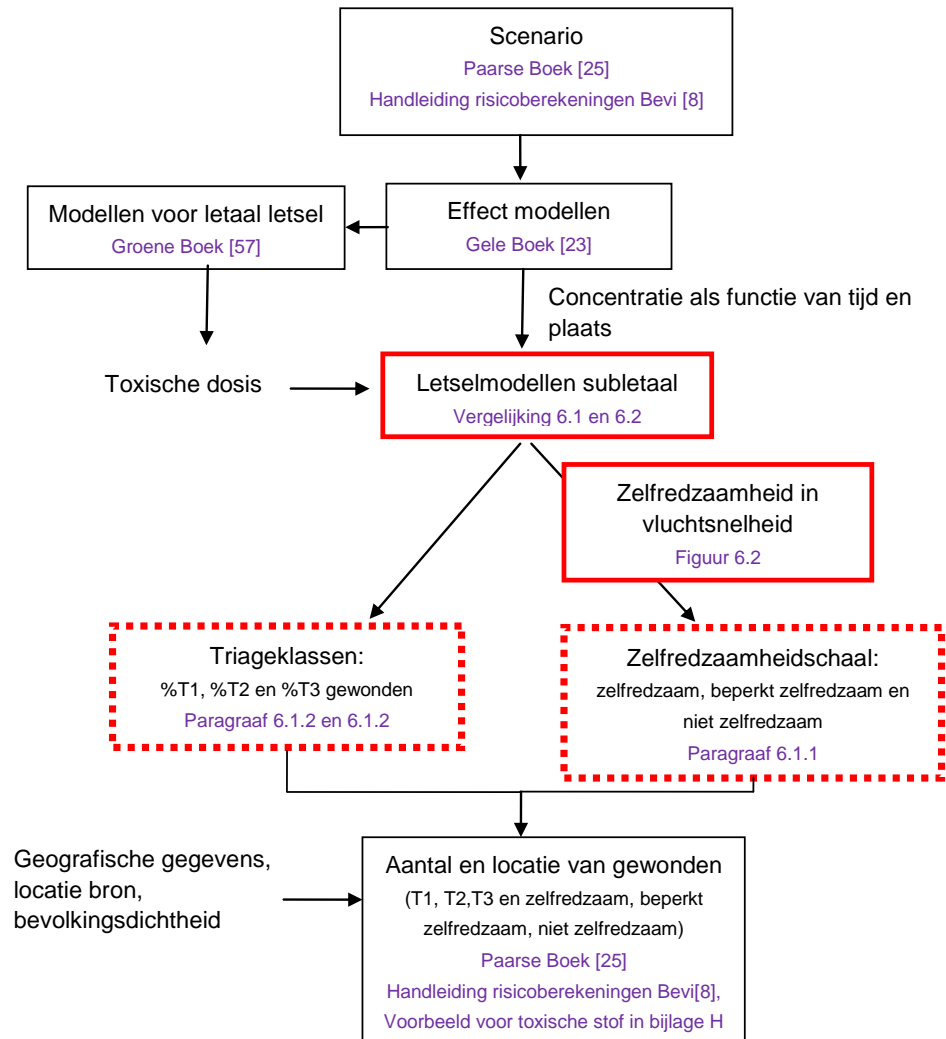
De aanpak is getoetst bij experts middels een workshop. Op basis van deze workshop kan geconcludeerd worden dat de gevolgde aanpak geaccepteerd wordt, en men de modellen graag geïmplementeerd ziet. En voor de toekomst is er een wens dat er een gestandaardiseerde aanpak komt.

6 Toxisch letselmodel

Dit hoofdstuk beschrijft het toxisch letselmodel. In paragraaf 0 wordt eerst het bestaande letselmodel voor zelfredzaamheid toegelicht. Dit letselmodel wordt aangevuld met een onderverdeling naar triageklassen, zodat de berekende letsels kunnen worden uitgedrukt in deze herkenbare en relevante maat voor de hulpverlening. De selectie van de voorbeeldstoffen ammoniak en acrylonitril wordt toegelicht in paragraaf 6.1.2, de scenario's worden beschreven in paragrafen 6.1.3 en 6.1.4. Paragraaf 6.2 vormt de kern van het hoofdstuk waarin het model wordt beschreven voor de vertaling naar triageklassen voor toxische stoffen. Een concept van het ontwikkelde letselmodel is voorgelegd aan experts tijdens de workshop, in de vorm van een presentatie en discussies rondom geponeerde stellingen, in paragraaf 6.3 worden de belangrijkste bevindingen weergegeven. Het hoofdstuk wordt afgesloten met discussie (paragraaf 6.4) gevolgd door conclusies en aanbevelingen (paragraaf 6.5).

6.1 Inleiding

In onderstaand schema is weergegeven welke stappen nieuw zijn voor dit project. De kennis omtrent scenario's en de bijbehorende effectmodellen en modellen voor dodelijk letsel waren reeds beschikbaar. Recent ontwikkelde letselmodellen, zoals het model voor zelfredzaamheid en vluchtsnelheid zijn gebruikt als bouwstenen voor de vertaling naar triageklassen en zelfredzaamheidsschaal.



Voor ammoniak en acrylonitril zijn vertalingen naar triageklassen gemaakt op basis van stofspectifieke gegevens. De uitwerking en onderbouwing hiervan zijn opgenomen in de bijlage K. Voor het opstellen van de methodiek is gebruik gemaakt van de AEGL grenswaarden, de AEGL achtergronddocumentatie voor de geselecteerde stoffen en de NVIC database.

Het toepassingsgebied van het letselmodel is:

- Externe veiligheidsscenario's in overeenstemming met de handleiding risicoberekeningen Bevi [8] of het Paarse Boek [25]
- Blootstellingstijd tot 30 minuten
- Overeenkomstig met de verantwoording van het groepsrisico wordt het aantal slachtoffers binnen het invloedsgebied tot 1% letaal letsel bepaald.

Het model is minder geschikt voor stoffen waarbij de AEGL-2 waarde niet is gerelateerd aan gezondheidkundige eindpunten die de zelfredzaamheid beïnvloeden, maar aan andere irreversibele of ernstige, chronische gezondheidkundige eindpunten, zoals reprotoxiciteit.

6.1.1 Letselmodel voor zelfredzaamheid

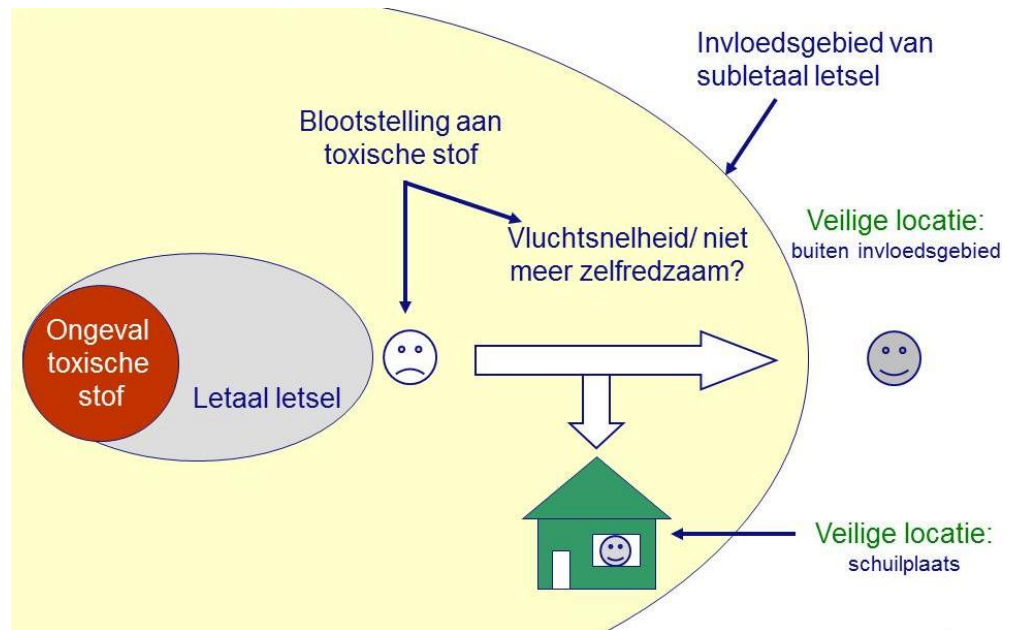
Op basis van literatuur heeft TNO een letselmodel ontwikkeld voor zelfredzaamheid bij blootstelling aan toxische stoffen [5], [6], [7]. Dit model wordt in deze paragraaf beschreven. In bijlage H wordt een voorbeeld uitgewerkt met de toxische vloeistof acrylonitril (een veelvoorkomende stof die in Nederland als voorbeeld stof in een QRA wordt gebruikt).

Het ontwikkelde letselmodel voor zelfredzaamheid bij blootstelling aan toxische stoffen werkt op basis van integratie van zelfredzaamheid in de risicoanalyse. In de huidige risicoanalyse methoden [8] wordt aangenomen dat een persoon, die wordt blootgesteld aan een toxische stof, gedurende maximaal 30 minuten wordt blootgesteld aan de concentratie op de plaats waar de persoon zich op dat moment bevindt. Er wordt geen rekening gehouden met zelfredzaamheid, personen vluchten in een risicoanalyse dus niet naar een veilige locatie. In werkelijkheid zal een persoon die een blootstelling als alarmerend ervaart, wèl actie ondernemen, tenzij de persoon daar niet meer toe in staat is. Met de huidige risicoanalyse is het effect van maatregelen voor de zelfredzaamheid niet te berekenen. Met het hieronder gepresenteerde letselmodel kan dit wel.

Het toxisch letselmodel houdt rekening met de volgende twee fasen van zelfredzaam gedrag (voor de definitie van zelfredzaamheid zie paragraaf 2.4):

- 1) Waarnemen: waarnemen van gevaar op basis van stoffeigenschappen (geur, irritatie) in combinatie met de vaardigheden zien, ruiken en voelen.
- 2) Handelen: vermogen om te vluchten na blootstelling aan de effecten van een ongeval met een toxische stof.

In de methode wordt allereerst bepaald of een blootgestelde persoon de gevaarlijke stof kan waarnemen: als de stof niet te zien, te ruiken of te voelen is, wordt aangenomen dat een persoon blijft staan (zoals in de huidige risicoanalyse). Figuur 6.1 geeft een schematische weergave van zelfredzaamheid in de methode voor gewondenberekeningen. Aan de hand van de blootstelling aan de toxische stof wordt bepaald of de persoon zelfredzaamheid is, beperkt zelfredzaam of niet zelfredzaam. Het is immers mogelijk dat de persoon door een hoge blootstelling direct wordt uitgeschakeld. Van de zelfredzame persoon wordt dan bepaald wat zijn vluchtsnelheid is, totdat de persoon alsnog uitgeschakeld wordt door de toxische blootstelling of totdat de persoon een veilige locatie heeft bereikt. De veilige locatie kan een locatie zijn waar de concentratie voldoende laag is (buiten het invloedsgebied voor subletaal letsel) of het kan een schuilplaats zijn: de persoon is naar binnen gegaan en kan eventueel ook nog ramen en deuren sluiten.



Figuur 6.1 Schematische weergave van zelfredzaamheid in de methode voor gewondenberekeningen. N.B. het invloedsgebied in deze figuur is het invloedsgebied voor subletaal letsel, dit is doorgaans een groter gebied dan het "normale" invloedsgebied van 1% letaal letsel

Zelfredzaamheid of niet?

Voor het bepalen of een persoon nog zelfredzaam is wordt gebruik gemaakt van de Acute Exposure Guideline Level 2 (AEGL-2) grenswaarde. De AEGL-2 is de concentratie van een stof in de lucht, waarboven verwacht wordt dat de algemene populatie, inclusief gevoelige individuen, irreversibele of andere ernstige, chronische gezondheidseffecten kunnen ondervinden of waarboven *het vluchtvermogen kan verminderen*. In een eerder onderzoek [7] zijn de definities van de grenswaarden ERPG, AEGL en IDLH getoetst op hun bruikbaarheid voor het doen van uitspraken over zelfredzaamheid. Uit dit onderzoek blijkt, dat van de onderzochte grenswaarden [7], de definitie van de AEGL-2 het beste aansluit bij de vraag of personen nog zelfredzaam kunnen zijn of hierin belemmerd worden, aangezien de AEGL-2 veelal de ondergrens aangeeft waarboven verminderd vluchtvermogen kan optreden. Voor dit project gaan we ervan uit dat bij overschrijden van de AEGL-2 een persoon niet meer zelfredzaam en dus gewond is. Dit uitgangspunt zal niet leiden tot een onderschatting van het aantal slachtoffers.

De AEGL-2 waarden zijn -volgens de definitie- niet voor iedere stof de gerelateerd aan gezondheidkundige eindpunten die de zelfredzaamheid beïnvloeden: in deze gevallen kan het vluchtvermogen alsnog verminderen op een hogere concentratie dan de AEGL-2. Ook hier zal het gebruik van de AEGL-2 niet leiden tot een onderschatting van het aantal slachtoffers.

De interventiewaarden [32] zijn niet gelijk aan de AEGL waarden, maar hebben doorgaans wel vergelijkbare uitgangspunten waarop deze gebaseerd zijn. De AEGL-1 waarden zijn in de uitgangspunten vergelijkbaar met de VoorlichtingsRichtWaarde (VRW), de AEGL-2 waarden zijn vergelijkbaar met de AlarmeringsGrensWaarde (AGW) en de AEGL-3 waarden zijn vergelijkbaar met de Levensbedrijvende Waarde. In principe kunnen grenswaarden in een methodiek niet zomaar vervangen worden door andere grenswaarden.

De interventiewaarden [32], die in Nederland gehanteerd worden door de hulpverlening, zijn ten tijde van het opstellen van dit rapport (medio 2011) alleen voor 1 uur vastgesteld. Dit is de belangrijkste reden dat de methodiek gebruik maakt van AEGL waarden (die ook voor 10 minuten en 30 minuten zijn gegeven).

Beperkte zelfredzaamheid

De methodiek die in deze paragraaf wordt beschreven is afkomstig uit Raben [7] en heeft als basis de “FIC en FID” relaties van Purser ([9], [10]) die zijn ontwikkeld voor toxische stoffen in rook afkomstig van brand. De FIC en FID relaties worden veel toegepast in de UK voor brandveiligheid en in de EU voor tunnel(brand)veiligheid.

Voor het bepalen van de vluchtsnelheid van een persoon wordt onderscheid gemaakt tussen twee typen toxische stoffen:

- 1) stoffen met concentratie-gerelateerd subleetaal letsel waarbij de blootstellingsduur minder van belang is, die bij geleidelijk toenemende concentratie (geleidelijk het vluchtvermogen doen afnemen (bijvoorbeeld irriterende stoffen) en
- 2) stoffen met dosis-gerelateerd subleetaal letsel, die de vluchtende persoon vrij plotseling uitschakelen bij het overschrijden van een bepaalde dosis ($C^{n \cdot t}$) (bijvoorbeeld verstikkende stoffen).

Voor concentratie-gerelateerde stoffen wordt de Fractional Irritant Concentration (FIC) berekend met:

$$FIC = \frac{C}{C_{AEGL2}} \quad (6.1)$$

Waarin C de concentratie toxische stof is in parts per million (ppm) en C_{AEGL2} de AEGL-2 waarde in ppm van de toxische stof.

Voor dosis-gerelateerde stoffen, die het vluchtvermogen vrij plotseling aantasten, wordt de Fractional Incapacitation Dose (FID) berekend met:

$$FID = \int_0^t \frac{C^n(t)}{D_{AEGL2_{30min}}^n} dt \quad (6.2)$$

Waarin n een dimensieloze constante is, die doorgaans gelijk is aan de n waarde uit de probit relatie voor leetaal letsel [8]. $D_{AEGL2_{30min}}$ is de dosis ($C^{n \cdot t}$) berekend op basis van de AEGL-2 concentratie behorend bij 30 minuten blootstelling.

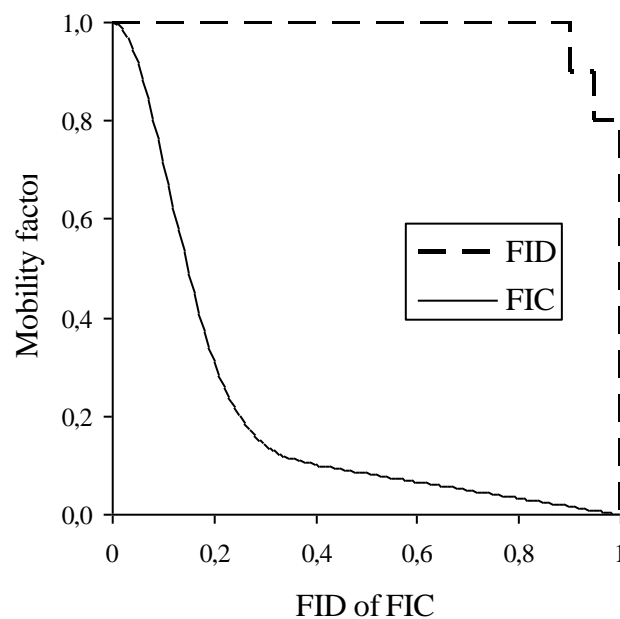
De FIC en FID hebben een waarde tussen 0 als er geen blootstelling is en 1 als de blootstelling zodanig is dat de persoon niet meer zelfredzaam is.

De vluchtsnelheid van een persoon wordt beïnvloed door de blootstelling aan de toxische stof. Aangezien de ongehinderde vluchtsnelheid van persoon tot persoon verschilt (range ligt ongeveer tussen 0.3 en 1.7 m/s), wordt doorgaans een mobiliteitsfactor gebruikt om de belemmerde vluchtsnelheid mee aan te duiden. De belemmerde vluchtsnelheid is gelijk aan de mobiliteitsfactor (waarde tussen 0 en 1) vermenigvuldigd met de ongehinderde vluchtsnelheid (in m/s).

De relatie tussen de FIC en FID en de vluchtsnelheid is weergegeven in Figuur 6.2. Figuur 6.2 laat zien dat dosis-gerelateerde (FID) stoffen doorgaans een vrij abrupte overgang laten zien tussen al dan niet zelfredzaam zijn. De concentratie-gerelateerde stoffen (FIC) vertonen een geleidelijk verloop.

Met deze relaties kan nu –afhankelijk van de stof, concentratie en blootstellingsduur- bepaald worden of een persoon nog zelfredzaam is en zo ja wat zijn vluchtsnelheid is.

De FIC en FID definities en de relaties tussen de FIC en FID en de vluchtsnelheid zijn afkomstig van Purser ([9],[10]). De toepassing op overige toxische stoffen (anders dan toxische verbrandingsproducten) is afkomstig van Raben [7] en besproken met Purser, waarbij hij eveneens voorstelde de AEGL waarden te gebruiken in combinatie met de FIC en FID relaties.



Figuur 6.2 Mobiliteitsfactor als functie van FID en FIC, de mobiliteitsfactor is de fractie van de ongehinderde vluchtsnelheid van een persoon

6.1.2 Scenarioselectie en toxidromen

Het werkingsmechanisme waarin toxische stoffen hun effect uitoefenen valt onder te verdelen in een aantal hoofdcategorieën, toxidromen. Een toxidroom is een toxisch syndroom, d.w.z. een verzameling klachten en symptomen die vergiftiging met een bepaalde klasse toxische stoffen karakteriseert (AHLS [29]). Door voor het ontwikkelen van de methodiek stoffen met verschillende werkingsmechanismen te gebruiken, is onderzocht wat de invloed is van een verschillend werkingsmechanisme op de methodiek en of het mogelijk is stoffen op basis van werkingsmechanisme te categoriseren m.b.t. slachtoffervoorspellingen.

Er zijn vijf belangrijke toxidromen te onderscheiden AHLS³] [29]:

- Irriterende gassen;
- Asphyxiantia / verstikkende stoffen;
- Cholinerg toxidroom;
- Corrosiva;
- Koolwaterstoffen en gehalogeneerde koolwaterstoffen.

Per toxidroom zijn verschillende voorbeeldstoffen benoemd die in deze klasse vallen. Er bestaan ook stoffen die niet in één klasse vallen en een ander, of een gecombineerd werkingsmechanisme hebben. Een aantal stoffen is geselecteerd voor de uitwerking van de methodiek en voor de (voorbeeld) ongevalsscenario's op basis van de volgende criteria:

- relevantie voor externe veiligheid:
 - ongevalsscenario wordt "standaard" in de QRA's meegenomen [8], [25]
 - er kunnen slachtoffers vallen buiten het terrein van een chemische instelling of
 - de stof wordt vervoerd (bijvoorbeeld per spoor of weg) en vrijkomen van de stof geeft aanzienlijke risico's rond het (spoor)wegtracé (een aantal van de genoemde voorbeeldstoffen zijn niet vluchtig genoeg om tot grote effectafstanden te leiden).
 - Niet-terroristische scenario's
- De toxische effecten zijn voor de betreffende stoffen maatgevend voor het bepalen van de risico's van deze stof (d.w.z. de toxische effecten zijn maatgevend t.o.v. andere effecten, zoals brand en explosie).

De stoffen uit Tabel 6.1 die niet als voorbeeldstof zijn geselecteerd, worden gebruikt ter toetsing van de methodiek danwel ter illustratie van stoffen per toxidroom.

³ De AHLS is een belangrijke referentie voor toxicologische informatie, het originele document is echter niet openbaar. De toelichting van toxidromen is ook te vinden in openbare literatuur [handreiking CBRN 2009: [30]

Tabel 6.1: Indeling stoffen in toxidroom

Toxidroom	Stoffen in dit toxidroom [AHLIS]	Geselecteerde voorbeeldstof	Toelichting keuze
Irriterende gassen	Ammoniak, chloor, fosgeen waterstofchloride	Ammoniak	Spoorscenario voor ammoniak is een standaard QRA scenario
Asphyxiantia / verstikkende stoffen	Zuurstofverdringende stoffen CO Methemoglobine vormende stoffen (zoals aniline en nitrobenzeen) Cyanide-achtigen (zoals HCN en acrylonitril) Sulfiden (zoals H ₂ S) Aziden	Acrylonitril (Reservestoffen: methylmercaptaan en H ₂ S)	Spoorscenario voor acrylonitril is een standaard QRA scenario, aniline en nitrobenzeen zijn niet vluchtig genoeg voor grote effectafstanden
Cholinerg toxidroom	Organofosfaten (bijv. dichloorvos, parathion) Carbamaten	Geen	Niet voldoende vluchtig
Corrosiva	Zuren en basen: Zoutzuur Salpeterzuur Zwavelzuur natronloog	Geen (Geschikte stof voor toekomstig onderzoek: salpeterzuur)	Geen externe veiligheidsscenario's voor zoutzuur. Salpeterzuur: geen probit bekend
Bedwelmende stoffen	Propaan Gasolie Tolueen Freon-achtige stoffen Chloroform	Geen (Geschikte stof voor toekomstig onderzoek: chloroform)	Andere scenario's (brand en explosie) vormen meestal een groter risico bij deze categorie stoffen dan toxiciteit. Chloroform is niet zo heel erg toxisch

6.1.3 Ammoniak (toxisch gas)

Voor het toxisch gas scenario is gekozen voor het ammoniak scenario zoals beschreven is in het verkennende RIVM rapport [26]. Dit maakt het mogelijk om het ontwikkelde letselmodel te vergelijken met het RIVM onderzoek, waarin twee scenario's kwantitatief zijn uitgewerkt.

Een tankauto met ammoniak, een toxisch gas, heeft een gat van 25 mm waaruit ammoniak vrijkomt. Toxische gassen worden net als brandbare gassen vervoerd als tot vloeistof verdicht gas.

De eigenschappen van het "RIVM" scenario met ammoniak staan in de volgende tabel weergegeven[26].

Tabel 6.2: Eigenschappen tankauto ammoniak- RIVM scenario [26]

Parameter	Waarde
Stof	Ammoniak
Inhoud (kg)	16 000
Percentage van inhoud dat vrijkomt (%)	75
Lekgrootte (mm)	25
Bronsterkte (kg/s)	7.5
Uitstroomduur (s)	1600
Stabiliteitsklasse	D
Windsnelheid (m/s)	5
Ruwheidslengte (cm)	25 (= high crops in EFFECTS)
Omgevingstemperatuur (°C)	10

6.1.4 Acrylonitril (toxische vloeistof)

Een spoorwaggon met acrylonitril faalt en de volledige inhoud komt instantaan vrij waarbij er een vloeistofplas gevormd wordt. Voor een QRA wordt er standaard uitgegaan van een plas met een oppervlakte van 600 m². Voor acrylonitril wordt voor de directe effecten van vrijkomen alleen uitgegaan van de toxische eigenschappen (acrylonitril is ook brandbaar).

6.2 Modelbeschrijving

6.2.1 Generieke vertaling naar triageklassen voor toxische stoffen

Voor ammoniak en acrylonitril zijn vertalingen naar triageklassen gemaakt op basis van stofspecifieke gegevens. De uitwerking en onderbouwing hiervan zijn opgenomen in de bijlage K. Theoretisch zou voor iedere stof m.b.v. beschikbare toxische datasets uitgewerkt kunnen worden wat de concentraties en blootstellingstijden zijn, waarboven verwacht wordt dat een bepaalde triageklasse bereikt wordt. Dit valt echter buiten de reikwijdte van voorliggende studie. Er is daarom vooralsnog een extrapolatiemethode nodig om vanuit de kennis die opgedaan is bij het uitwerken van deze concentraties voor ammoniak en acrylonitril de concentratie-blootstellingsduurrelaties voor andere stoffen te schatten. Voor stoffen met een andere werking is daarom een generieke indeling voor de vertaling triageklassen gemaakt voortbouwend op de ervaring opgedaan bij de vertaling voor ammoniak en acrylonitril.

De generieke indeling bouwt voort op uitgangspunten afkomstig uit de vertaling naar triageklassen voor ammoniak en acrylonitril:

- 1) de AEGL-2 een conservatieve ondergrens vormt voor triageklasse 2 en
- 2) de AEGL-3 een conservatieve ondergrens vormt voor triageklasse 3 en
- 3) het werken met intraspecies factoren

Hieronder wordt de generieke vertaling voor triageklassen uitgewerkt.

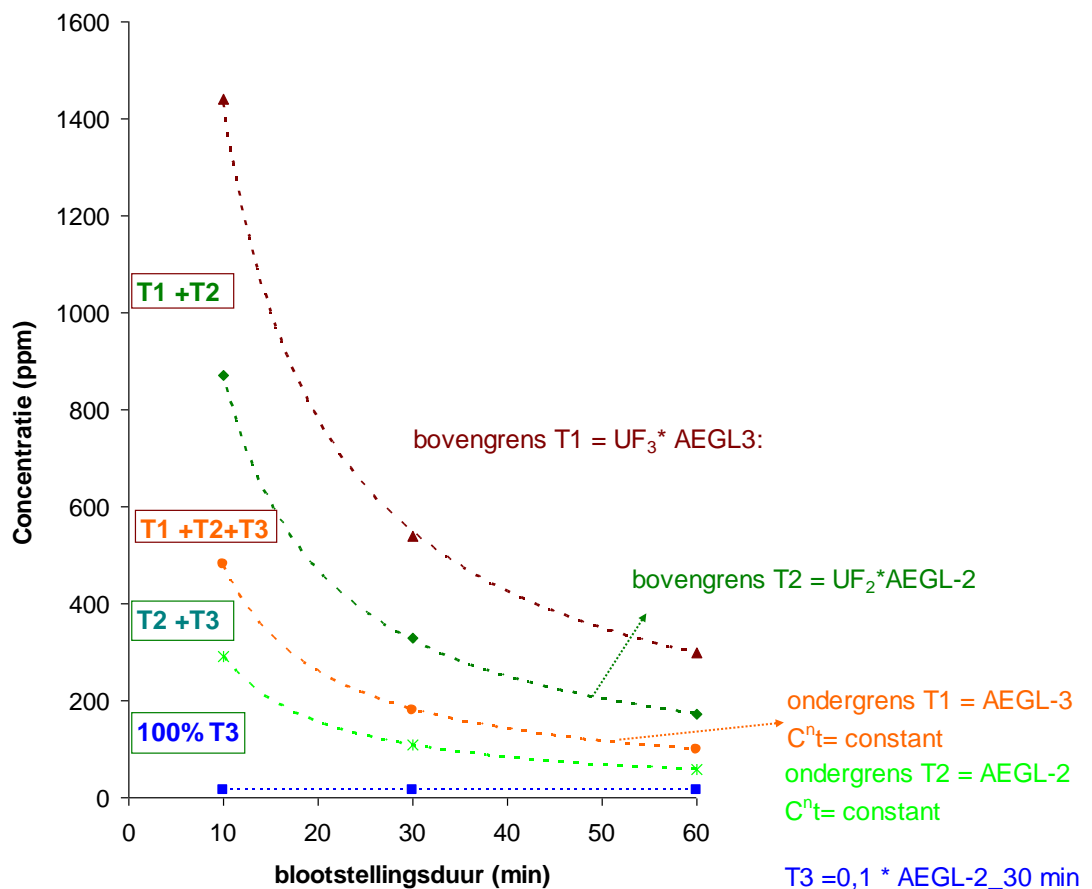
De generieke methode heeft als aanvullende uitgangspunten dat er een dosisrelatie is tussen de AEGL-3 concentraties bij blootstellingstijden van 10, 30 en 60 minuten en dat er een dosisrelatie is tussen de AEGL-2 concentraties bij blootstellingstijden van 10, 30 en 60 minuten. Voor stoffen waarbij de AEGL-2 meer concentratiegerelateerd is dan dosisgerelateerd is een aangepaste methodiek voor beschreven in paragraaf 6.2.2.

Inputgegevens

De inputgegevens voor de methodiek zijn de AEGL-2 en AEGL-3 waarden van de toxische stof voor blootstellingstijden van 10, 30 en 60 minuten, de intraspecies factoren behorend bij de respectievelijk AEGL-2 en AEGL-3 en de n waarde van de dosisrelatie van de toxische stof. Tabel 6.3 geeft het overzicht van de concentratiegrenzen en het bijbehorende letsel. Figuur 6.3 laat de data in een grafiek zien, de stippellijnen laten de tijdsafhankelijkheid van de dosisrelatie ($C^{n \cdot t} = \text{constant}$) zien die gehanteerd wordt bij het opstellen van AEGL waarden. Hieronder wordt verder toegelicht hoe het % letsel van triageklasse 1, 2 en 3 kan worden berekend voor een scenario waarbij een toxische stof vrijkomt.

Tabel 6.3: Concentratiegrenzen voor indeling in triageklassen bij verschillende blootstellingstijden

Grens voor letsel	blootstellingstijd		
	10 min	30 min	60 min
99% T1	$UF_3 * C_{AEGL3_{10min}}$	$UF_3 * C_{AEGL3_{30min}}$	$UF_3 * C_{AEGL3_{60min}}$
1% T1	$C_{AEGL3_{10min}}$	$C_{AEGL3_{30min}}$	$C_{AEGL3_{60min}}$
99% T2	$UF_2 * C_{AEGL2_{10min}}$	$UF_2 * C_{AEGL2_{30min}}$	$UF_2 * C_{AEGL2_{60min}}$
1% T2	$C_{AEGL2_{10min}}$	$C_{AEGL2_{30min}}$	$C_{AEGL2_{60min}}$
t3	$10\% * C_{AEGL2_{30min}}$	$10\% * C_{AEGL2_{30min}}$	$10\% * C_{AEGL2_{30min}}$
Zelfredzaamheid	$C_{AEGL2_{10min}}$	$C_{AEGL2_{30min}}$	$C_{AEGL2_{60min}}$



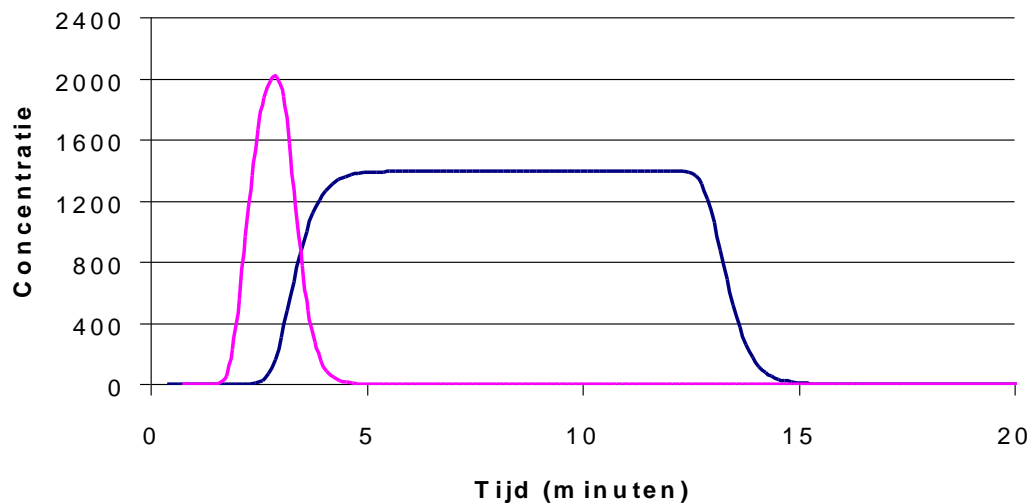
Figuur 6.3 Generieke indeling voor triageklassen van toxische stoffen

Dosis berekening

De concentraties in Tabel 6.3 en Figuur 6.3 zijn vastgesteld voor drie blootstellingstijden, namelijk 10, 30 en 60 minuten. In een externe veiligheidsscenario waarbij een toxische stof vrijkomt, is er sprake van een concentratie, die in de tijd varieert (zie Figuur 6.4). De dosis wordt bepaald door de concentratie over de tijd te integreren:

$$D = \int_0^t C^n(t) dt \quad (6.3)$$

Het is voor de modellering noodzakelijk om de triageklassenindeling van Tabel 6.3 te kunnen vertalen naar dosisrelaties, zodat de toxische dosis van het scenario kan worden vergeleken met de letselgrenzen.



Figuur 6.4 Voorbeelden van concentraties, die in de tijd variëren tijdens een blootstelling aan ammoniak als gevolg van een ongeval

Triageklasse 1 slachtoffers

In het model worden de AEGL-3 waarden als ondergrens voor triageklasse 1 slachtoffers gebruikt, waarbij de ondergrens betekent dat 1% van de slachtoffers triageklasse 1 letsel heeft.

De gedefinieerde ondergrens van triageklasse 1 letsel ziet er in formulevorm als volgt uit:

$$D_{1\%T1} = C_{AEGL3-30min}^n * 30min \quad (6.4)$$

Waarin

$D_{1\%T1}$ dosis in ppmⁿmin, waarbij 1% van de slachtoffers triageklasse 1 letsel heeft

$C_{AEGL3-30min}$ AEGL-3 waarde van de toxische stof in ppm voor 30 minuten
n uit probitrelatie voor letaal letsel van de toxische stof

De bovengrens voor triageklasse 1 wordt bepaald met behulp van de AEGL-3 waarden van de toxische stof en de bijbehorende intraspecies waarde. De bovengrens betekent dat 99% van de slachtoffers triageklasse 1 letsel heeft.

De gedefinieerde bovengrens van triageklasse 1 letsel ziet er in formulevorm als volgt uit:

$$D_{99\%T1_} = (UF_3 * C_{AEGL3-30min})^n * 30min \quad (6.5)$$

Waarin

$D_{99\%T1}$ dosis in ppmⁿmin, waarbij 99% van de slachtoffers triageklasse 1 letsel heeft

UF_3 intraspeciesfactor behorend bij de AEGL-3 waarde van de stof

$C_{AEGL3-30min}$ AEGL-3 waarde van de toxische stof in ppm voor 30 minuten

n uit probitrelatie voor letaal letsel van de toxische stof

Bepaling percentage triageklasse 1 m.b.v. Gauss interpolatie

Het percentage van het aantal slachtoffers met triageklasse 1 letsel wordt bepaald door middel van Gauss interpolatie tussen de onder en bovengrens van triageklasse 1 (respectievelijk $D_{1\%T1}$ en $D_{99\%T1}$).

$$P = 0.5 * \left[1 + erf \left(\frac{Pr-5}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (6.6)$$

Waarin

P kans op letsel (-)

$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (6.7)$$

$$Pr = a + b \ln(D) \quad (6.8)$$

Waarin

Pr probit behorende bij de letsel kans (-)

a, b constanten behorende bij de probit relatie voor eht betreffende letsel (hier $T1$)

D toxische dosis [ppm min]

Met de uitgangspunten voor 1% en 99% letsel kunnen de constanten a en b worden bepaald. De probit, Pr , behorend bij 1% letsel ($P=0.01$) is gelijk aan 2.67, de probit, Pr , behorend bij 99% letsel ($P=0.99$) is 7.33. Hiermee kunnen twee vergelijkingen worden opgesteld met twee onbekenden a en b :

$$\begin{aligned} 2.67 &= a + b \ln(D_{1\%T1}) \\ 7.33 &= a + b \ln(D_{99\%T1}) \end{aligned} \quad (6.9)$$

Triageklasse 2 slachtoffers

Voor de meeste stoffen is het letsel waarop de AEGL-2 is bepaald dosisgerelateerd, voor deze stoffen worden de triageklasse 2 slachtoffers berekend op vergelijkbare wijze als de triageklasse 1 slachtoffers:

$$D_{1\%T2_} = C_{AEGL2-30min}^n * 30min \quad (6.10)$$

Waarin

$D_{1\%T_2}$ dosis in ppmⁿmin, waarbij 1% van de slachtoffers triageklasse 2 letsel heeft

$C_{AEGL2-30min}$ AEGL-2 waarde van de toxische stof in ppm voor 30 minuten
n uit probitrelatie voor letaal letsel van de toxische stof

De bovengrens voor triageklasse 2 wordt bepaald met behulp van de AEGL-2 waarden van de toxische stof en de bijbehorende intraspecies waarde. De bovengrens betekent dat 99% van de slachtoffers triageklasse 2 letsel heeft. De gedefinieerde bovengrens van triageklasse 2 letsel ziet er in formulevorm als volgt uit:

$$D_{99\%T_2} = (UF_2 * C_{AEGL2-30min})^n * 30min \quad (6.11)$$

Waarin

$D_{99\%T_2}$ dosis in ppmⁿmin, waarbij 99% van de slachtoffers triageklasse 2 letsel heeft

UF_2 intraspeciesfactor behorend bij de AEGL-2 waarde van de stof

Bepaling percentage triageklasse 2 m.b.v. Gauss interpolatie

Het percentage van het aantal slachtoffers met triageklasse 2 letsel wordt bepaald door middel van Gauss interpolatie tussen de onder en bovengrens van triageklasse 2 (respectievelijk $D_{1\%T_2}$ en $D_{99\%T_2}$).

$$P = 0.5 * \left[1 + erf \left(\frac{Pr-5}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (6.12)$$

Waarin

$$Pr = a + b \ln(D) \quad (6.13)$$

Pr probit behorende bij de letsel kans (-)

a, b constanten behorende bij de probit relatie voor eht betreffende letsel (hier T1)

D toxische dosis [ppm min]

Met de uitgangspunten voor 1% en 99% letsel kunnen de constanten a en b worden bepaald. De probit, Pr, behorend bij 1% letsel (P=0.01) is gelijk aan 2.67, de probit, Pr, behorend bij 99% letsel (P=0.99) is 7.33. Hiermee kunnen twee vergelijkingen worden opgesteld met twee onbekenden a en b:

$$2.67 = a + b \ln(D_{1\%T_2})$$

$$7.33 = a + b \ln(D_{99\%T_2})$$

Triageklasse 3 slachtoffers

Als grens tussen het al dan niet optreden van triageklasse 3 slachtoffers wordt een constante concentratiegrens gehanteerd die gerelateerd is aan de AEGL-2 waarde van 30 minuten:

$$C_{T3} = 0.1 * C_{AEGL2-30min} \quad (6.14)$$

De grens is gebaseerd op de laagste verhouding t.o.v. de AEGL-2 concentratie van de gevonden waarden voor acrylonitril en ammoniak (15/110 ppm voor acrylonitril, zie bijlage K voor de uitwerking). Om de grens niet alleen voor acrylonitril, maar ook voor andere stoffen toepasbaar te maken wordt de grens uitgedrukt in relatie tot de AEGL-2 grenswaarde:

$C_{T3_acrylonitril} = 0.1 * C_{AEGL2-30min_acrylonitril} = 0.1 * 110 \text{ ppm} = 11 \text{ ppm}$ voor acrylonitril.

6.2.2 Vertaling naar triageklassen voor stoffen met een irriterende werking op de hogere luchtwegen

De generieke methode heeft als uitgangspunten dat er een dosisrelatie is tussen de AEGL-2 concentraties bij blootstellingstijden van 10, 30 en 60 minuten en dat er een dosisrelatie is tussen de AEGL-3 concentraties bij blootstellingstijden van 10, 30 en 60 minuten.

Voor veel stoffen met een irriterende werking op de hogere luchtwegen wijkt de relatie tussen de AEGL-2 concentraties sterk af van een dosisrelatie: het letsel is voor deze stoffen meer gerelateerd aan de concentratie dan aan een dosis. In bijlage K is voor ammoniak (een stof met een irriterende werking op de hogere luchtwegen) een vertaling van concentratie en/of dosis naar triageklassen gemaakt. De gezondheidseffecten van ammoniak zijn voor ernstig letsel (triageklasse 1 en letaal letsel) dosisgerelateerd, voor triageklasse 2 wordt de concentratie belangrijker vergeleken met triageklasse 1 en voor triageklasse 3 is met name de concentratie van belang.

Triageklasse 1 slachtoffers

Voor de onder en bovengrens van het optreden van triageklasse 1 slachtoffers worden dezelfde vergelijkingen toegepast als bij de generieke methodiek (vergelijking 4.2 t/m 4.7).

Triageklasse 2 slachtoffers

Als grens tussen het al dan niet optreden van triageklasse 3 slachtoffers wordt een constante concentratiegrens gehanteerd die gelijk is aan de AEGL-2 waarde van 30 minuten:

$$C_{T2} = C_{AEGL2-30min} \quad (6.15)$$

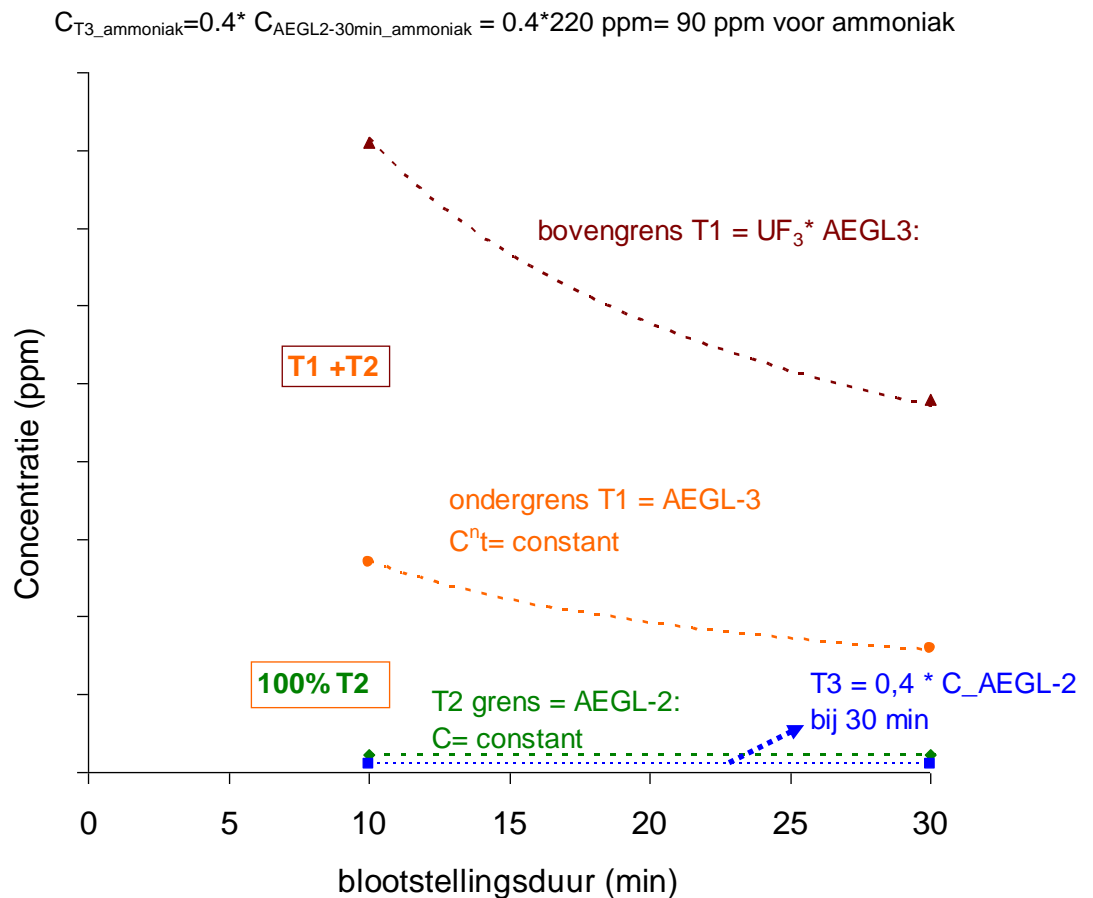
Waarbij C_{T2} = concentratiegrens voor triageklasse 2 letsel

Triageklasse 3 slachtoffers

Als grens tussen het al dan niet optreden van triageklasse 3 slachtoffers wordt een constante concentratiegrens gehanteerd die gerelateerd is aan de AEGL-2 waarde van 30 minuten:

$$C_{T3} = 0.4 * C_{AEGL2-30min} \quad (6.16)$$

De grens voor stoffen met een irriterende werking op de hogere luchtwegen is gebaseerd op de gevonden waarde voor ammoniak (100 ppm, zie bijlage K voor de uitwerking van ammoniak). Om de grens niet alleen voor ammoniak maar ook voor andere stoffen met hetzelfde werkingsmechanisme toepasbaar te maken wordt de grens uitgedrukt in relatie tot de AEGL-1 of de AEGL-2 grenswaarde:



Figuur 6.5 Indeling in triageklassen voor stoffen met een irriterende werking op de hogere luchtwegen

6.2.3 Aanpassingen methodiek voor tijdsafhankelijke interventiewaarden

De interventiewaarden [32] zijn niet gelijk aan de AEGL waarden, maar hebben doorgaans wel vergelijkbare uitgangspunten waarop deze gebaseerd zijn. De AEGL-1 waarden zijn in de uitgangspunten vergelijkbaar met de VoorlichtingsRichtWaarde (VRW), de AEGL-2 waarden zijn vergelijkbaar met de AlarmeringsGrensWaarde (AGW) en de AEGL-3 waarden zijn vergelijkbaar met de Levensbedrijgende Waarde. In principe kunnen grenswaarden in een methodiek niet zomaar vervangen worden door andere grenswaarden.

De interventiewaarden [32], die in Nederland gehanteerd worden door de hulpverlening, zijn ten tijde van het opstellen van dit rapport (medio 2011) alleen voor 1 uur vastgesteld. Dit is de belangrijkste reden dat de methodiek voor vertaling van toxisch letsel naar triageklassen (zie paragraaf 6.2) gebruik maakt van AEGL waarden (die ook voor 10 minuten en 30 minuten zijn gegeven). Het RIVM werkt aan het opstellen van tijdsafhankelijke interventiewaarden [33]. Voor het genereren van deze interventiewaarden worden AEGL waarden overgenomen (indien beschikbaar) [37]. Aangezien de AEGL waarden in sommige gevallen geruime tijd geleden zijn vastgesteld worden waar nodig de interventiewaarden vervolgens aangepast met de huidige stand van de wetenschap [37].

Ten behoeve van dit project zijn de (voorlopige) tijdsafhankelijke interventiewaarden van ammoniak en acrylonitril beschikbaar gesteld (zie Tabel 6.4 en Tabel 6.5). Figuur 6.6 en Figuur 6.7 laten zien dat de verschillen met de AEGL-waarden relatief klein zijn. Ammoniak heeft bijgestelde alarmeringsgrenswaarden en acrylonitril heeft bijgestelde levensbedreigende waarden ten opzichte van de bijbehorende AEGL-waarden.

Zodra de tijdsafhankelijke interventiewaarden zijn vrijgegeven, kunnen de AEGL waarden in de methodiek voor indeling in triageklassen vervangen worden door interventiewaarden van dezelfde blootstellingsduur.

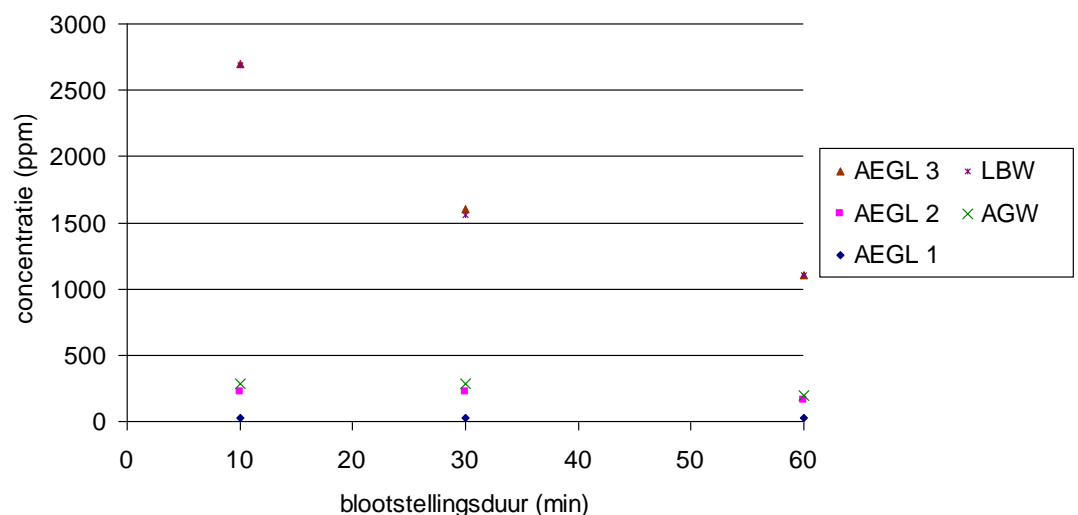
Tabel 6.4: Tijdsafhankelijke interventiewaarden voor ammoniak in ppm⁴[32]

Ammoniak						
ppm ⁴						
	10 min	30 min	60 min	2 uur	4 uur	8 uur
VRW	30	30	30	30	30	30
AGW	283	283	198	140	140	140
LBW	2687	1556	1103	778	552	396

Tabel 6.5: Tijdsafhankelijke interventiewaarden voor acrylonitril in ppm⁵[32]

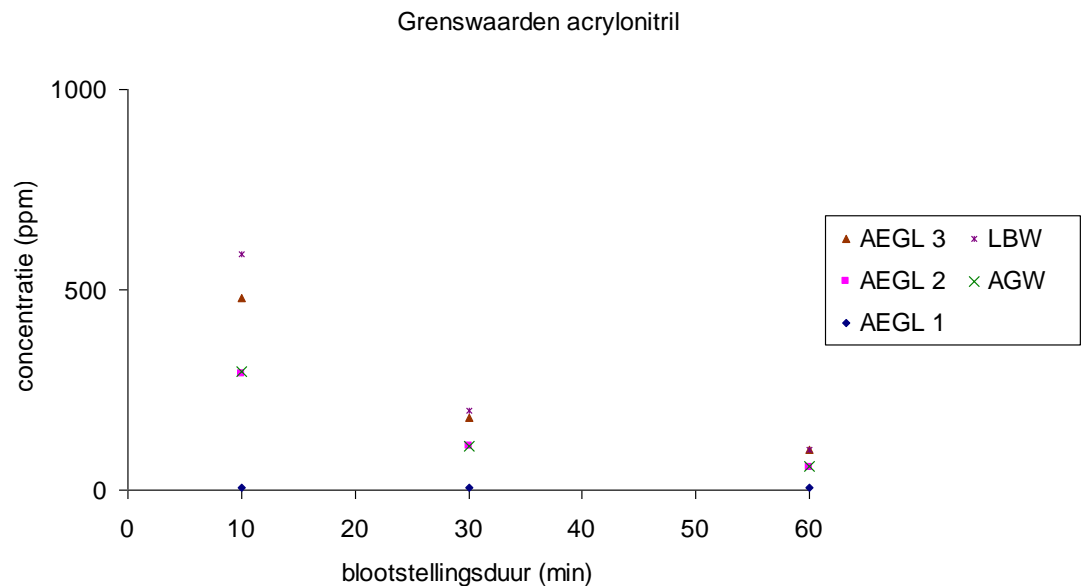
Acrylonitril						
ppm ⁵						
	10 min	30 min	60 min	2 uur	4 uur	8 uur
VRW	5	5	5	5	5	5
AGW	294	109	59	30	16	9
LBW	589	199	100	50	26	14

Grenswaarden ammoniak



⁴ De interventiewaarden worden normaal weergegeven in de eenheid mg/m³, voor vergelijking met AEGL-waarden is worden ze hier weergegeven in ppm.

Figuur 6.6 Vergelijking van AEGL-waarden met –voorlopige- tijdsafhankelijke interventiewaarden (in ppm)¹ voor ammoniak



Figuur 6.7 Vergelijking van AEGL-waarden met –voorlopige- tijdsafhankelijke interventiewaarden (in ppm)¹ voor acrylonitril

6.3 Toetsing

Een concept van het ontwikkelde letselmodel is voorgelegd aan experts tijdens de workshop, in de vorm van een presentatie en discussies rondom geponeerde stellingen. De stellingen alsook de uitkomsten zijn opgenomen in bijlage I. In deze paragraaf worden de belangrijkste bevindingen weergegeven.

Samengevat kan worden gesteld dat de deskundigen graag nader onderzoek zien met als doel om de methode eindpuntspecifieker te maken en de extrapolatiemogelijkheden naar verschillende toxische stoffen met vergelijkbare werking te verbeteren. Daarnaast ziet men graag aansluiting met bestaande methoden en grenswaarden (zoals de interventiewaarden).

Verschillende andere reacties betreffen het menselijk gedrag. Niet iedereen gaat bijvoorbeeld vluchten, sommige mensen zullen blijven waar ze zijn, anderen lopen naar de bron toe, weer anderen lopen haaks op de heersende windrichting. In de vertaling naar triageklassen is zuiver naar het letsel gekeken als gevolg van een blootstelling. Welk gedrag tot deze blootstelling leidt, is hierbij niet van belang. Het model voor zelfredzaamheid leent zich voor het toepassen van gevoeligheidsanalyses en het kunnen doorrekenen van verschillende menselijke reacties, waarmee een goed beeld gekregen wordt van het effect van menselijk gedrag op de uitkomsten.

De conclusies van de stellingen van toxisch letsel en de *aanbeveling voor de methode of vervolgonderzoek* zijn:

- Onder de AEGL-2 verwacht men geen triageklasse 2 slachtoffers en "ontbreken van zelfredzaamheid".
- Er zijn 2 suggesties voor betere grenswaarden dan de AEGL-2:

1) AGW: *de methodiek is hier eenvoudig op aan te passen zodra de tijdsafhankelijke interventiewaarden beschikbaar zijn (zie paragraaf 6.2.3)*

2) grenswaarde zoals gebruikt wordt in een model van het EPA, *het wordt aanbevolen om hier nader onderzoek naar te doen.*

- Onder de AEGL-3 verwacht men geen slachtoffers in triageklasse 1.
- De deskundigen zien graag een benadering die meer op gezondheidkundig eindpunt is gericht en een onderbouwing van de extrapolatie naar andere stoffen dan de gehanteerde voorbeeldstoffen.
- De deskundigen zien graag een vereenvoudiging van de methodiek voor zelfredzaamheid door de curve voor loopsnelheid te vervangen door bandbreedtes: waar begint zelfredzaamheid en waar houdt zelfredzaamheid op. *Een gevoeligheidsanalyse kan uitwijzen wat de invloed van deze vereenvoudiging is op de resultaten.*
- De wens is om de methodiek die is ontwikkeld aan de hand van ammoniak voor een bepaalde klasse stoffen toepasbaar te kunnen maken voor andere stoffen met hetzelfde werkingsmechanisme. Voor stoffen met een irriterende werking op de hogere luchtwegen (de goed wateroplosbare stoffen) lijkt dit volgens TNO en VRR-GHOR mogelijk, maar dit standpunt werd niet gedeeld door de experts. Nader onderzoek om de methode eindpuntspecifieker te maken kan leiden tot verbeterde extrapolatiemogelijkheden naar toxische stoffen met vergelijkbare werking (zie ook paragraaf 6.4).
- Ondanks de vele verbeterpunten werd tijdens de workshop ook aangegeven dat het model een basis biedt voor verdere ontwikkeling en detaillering.

6.4 Discussie

Extrapolatie naar andere irriterende stoffen

De vraag is of en hoe de methodiek die is opgesteld voor ammoniak kan worden geëxtrapoléerd naar andere irriterende stoffen. Verschillende stoffen met een irriterende werking kunnen op een verschillende manier inwerken op de luchtwegen. Ammoniak is een stof die zeer goed oplosbaar is in water en daardoor direct inwerkt op de hogere luchtwegen. Chloor is matig wateroplosbaar en werkt daardoor in op de gehele luchtwegen. Een stof als fosgeen is weinig wateroplosbaar en werkt daardoor vooral in op de lagere luchtwegen (longen). Blootstelling aan fosgeen kan ertoe leiden dat er gewonden zijn die pas na een klachtenvrije periode gezondheidseffecten (zoals longoedeem) ontwikkelen en daaraan kunnen overlijden, terwijl deze tot dan toe relatief weinig letsel leken te hebben.

Het gezondheidkundig eindpunt dat voor ammoniak gebruikt is bij de bepaling van de AEGL 2 grenswaarde is irritatie van de ogen en hogere luchtwegen, dat kan leiden tot een verminderd vluchtvermogen. Volgens de AEGL-2 achtergronddocumentatie [34], paragraaf 6.1:

“...Therefore, AEGL-2 levels for ammonia can be determined from studies reporting “unbearable” upper respiratory tract irritation, which could potentially impair the ability to escape, rather than the threshold for irreversible or long-term effects. The unbearable concentrations are much lower than those that would be associated with the threshold for irreversible damage to the respiratory tract.”

Voor ammoniak is het eindpunt van de AEGL-2 dus gerelateerd aan zelfredzaamheid, voor andere stoffen kan de AEGL-2 echter gebaseerd zijn op *blijvend letsel als gevolg van de acute blootstelling.*

Voor een aantal stoffen uit het toxidroom irriterend is in Tabel 6.6 weergegeven waarop de eindpunten van respectievelijk de AEGL-2 en AEGL-3 waarden zijn gebaseerd en wat de intraspecies factoren zijn die horen bij de AEGL-2 en AEGL-3. Voor al deze stoffen is de AEGL-2 waarde gerelateerd aan zelfredzaamheid, de intraspeciesfactoren zijn gelijk aan 1 of 3.

Voor het toepassen van de methodiek wordt de intraspeciesfactor van de betreffende stof gebruikt. Vooralsnog wordt aanbevolen om de aangepaste methodiek in paragraaf 6.2.2 toe te passen voor stoffen met een irriterende werking van de hogere luchtwegen. Nader onderzoek om de methode eindpuntspecifieker te maken kan leiden tot verbeterde extrapolatiemogelijkheden naar toxische stoffen met vergelijkbare werking.

Tabel 6.6: Eindpunten en intraspeciesfactoren voor verschillende stoffen uit het toxidroom "irriterend"

Irriterende stoffen [AHLS]	Eindpunt AEGL-2	Intraspecies (UF2) factor AEGL-2	(Eindpunt AEGL-3)	Intraspecies (UF3) factor AEGL-3
Ammonia	Zelfredzaamheid (disabling)	1	lethal	3
Chloor	Zelfredzaamheid (disabling)	1	lethal	3
Fosgeen	Zelfredzaamheid (disabling) Chemical Pneumonia rats (Gross et al. 1965)	3	Pulmonary edema is the cause of death after a clinical latency period of ≤ 24 hours (h)	3
Waterstofchloride	Zelfredzaamheid (disabling) Mouse RD50	3	Lethal	3
Formaldehyde	Zelfredzaamheid (disabling) Mild lacrimation with adaptation - humans	1	Lethal	3

Vergelijking generieke methodiek met literatuur

De "generieke methodiek" voor vertaling van letsel naar triageklassen voor toxische stoffen zoals beschreven is in paragraaf 6.2.2 (methodisch gezien) aan bij eerdere voorstellen voor letselmodellen voor gewonden [12], [26]:

In [12] wordt een methode beschreven waarin subletaal letsel (trageklasse 1 en 2 letsel samen) wordt berekend op basis van de AGW waarde (behorend op 1 uur blootstelling), waarbij n-waarde voor letaal letsel wordt gehanteerd voor het extrapoleren van de AGW waarde naar andere blootstellingstijdenrelatie. Een verschil is dat de in voorliggende studie ontwikkelde generieke methodiek een opsplitsing maakt tussen triageklasse 1 en triageklasse 2 letsel en een schatting maakt van triageklasse 3 letsel terwijl de methode beschreven in [12] triageklasse 1 en 2 letsel samen beschouwd.

In [26] wordt een voorbeeld van een procedure om het aantal T2-slachtoffers te kwantificeren. Hierbij is een uitgangspunt dat bij een blootstelling van meer dan 3 maal AGW iedereen een verminderd vluchtvermogen heeft, wordt geschat dat hiervan tweederde deel medische hulpverlening nodig heeft (T2). Van het aantal mensen dat wordt blootgesteld aan 2 tot 3 maal AGW wordt geschat dat een derde deel medische hulp nodig heeft (T2). Het deel dat wordt blootgesteld aan minder dan 2 maal AGW heeft waarschijnlijk wel een verminderd vluchtvermogen maar niet zodanig dat medisch ingrijpen noodzakelijk is.

6.5 Conclusies en aanbevelingen

Het ontwikkelde model vertaalt letsels die ontstaan door blootstelling aan toxische stoffen in triageklassen en (mate van) zelfredzaamheid.

De “generieke methodiek” voor vertaling van letsel naar triageklassen voor toxische stoffen zoals beschreven is in paragraaf 6.2 sluit (methodisch gezien) aan bij eerdere voorstellen voor letselmodellen voor gewonden [26], [12], die een uitspraak doen over ofwel triageklasse 2 ofwel de sommatie van triageklassen 1 en 2. Voor irriterende stoffen met een werking op de hogere luchtwegen is een aanpassing op de “generieke methodiek” opgesteld. Deskundigen hebben aanvullende vragen met betrekking tot de letselmodellen voor toxische stoffen: graag zien zij een benadering die meer op gezondheidkundig eindpunt is gericht en een onderbouwing van de extrapoleerbaarheid naar andere stoffen dan de gehanteerde voorbeeldstoffen. Daarnaast wenst men aansluiting met de interventiewaarden, een procedure hiertoe is toegevoegd in voorliggend rapport.

Het detailniveau van de ontwikkelde methode is voldoende voor het bepalen van de effectiviteit van maatregelen en sluit aan bij het detailniveau van methodieken voor risicoanalyses van externe veiligheid, conform het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (BEVI, [27]) en de circulaire Risiconormering Vervoer van gevaarlijke stoffen (RNVGS, [28]). Bij een risicoanalyse wordt een groot aantal scenario's met verschillende stoffen, windrichtingen en weersomstandigheden doorgerekend. Soms worden verschillende stoffen gemodelleerd met één voorbeeldstof. Met de ontwikkelde methode kan inzicht gegeven worden in de ordegrrootte van het aantal gewonden en de urgentie van de benodigde hulp en kan de mate zelfredzaamheid van de aanwezige personen worden geschat. Zelfredzaamheid bevorderende maatregelen grijpen in op de mate van de zelfredzaamheid, met de ontwikkelde methode kan nu inzichtelijk worden gemaakt in hoeverre de maatregelen effect hebben het aantal gewonden en doden van de scenario's in de risicoanalyse.

Het wordt aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren:

- Uitvoeren van nader onderzoek met als doel om de methode eindpuntspecifieker te maken en de extrapolatiemogelijkheden naar verschillende toxische stoffen met vergelijkbare werking te verbeteren.
- Uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse aan de hand van berekeningen met verschillende stoffen en scenario's, onder meer om de extrapoleerbaarheid van de methodiek te toetsen.
- Uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse van de resultaten om onzekerheidsmarges in beeld te brengen als gevolg van aannames.
- Nader beschouwen van belangrijke aannames.

- Pilot slachtofferberekeningen uit te voeren voor scenario's en/ of incidenten met bekende toxische stoffen.

7 Conclusies en aanbevelingen

De risicoanalysemethoden en methoden voor gewondenberekeningen hebben beperkingen: men kan niet verwachten dat een ongeluk met een gevaarlijke stof precies het aantal doden en gewonden zal geven als men vooraf berekend heeft⁶. De methoden maken het mogelijk om een ordegrootte te bepalen. Dit betekent dat het detailniveau past bij risicoanalyses voor externe veiligheid. Doordat in een risicoanalyse rekening wordt gehouden met de kans van optreden van verschillende ongevallen, wordt voorkomen dat men zich blindstaart op dat ene worst case scenario en dat men alleen maatregelen neemt die de gevolgen van dat scenario beperken. De ordegrootte van het aantal doden en gewonden en het effect van maatregelen op die ordegrootte geeft een beeld van de veiligheid van de bevolking en de benodigde hulpverleningscapaciteit.

Dit rapport beschrijft letselmodellen voor het bepalen van het aantal gewonden voor verschillende externe veiligheidsscenario's: explosie, brand en vrijkomen van toxische stoffen. In dit onderzoek zijn bestaande letselmodellen voor brand [12], explosie [55], [62] en toxische stoffen ([12],[5],[6],[7]) uitgebreid door middel van

- een methodiek voor het bepalen van de letselernst (bijv. gehoorletsel of brandwonden)
- een vertaling hiervan naar triageklassen (trageklassen 1, 2 en 3) en
- een indeling voor zelfredzaamheid (aanwezig, belemmerd of afwezig).

In de toekomst kan met behulp van deze uitbreidingen een kwantitatieve uitspraak gedaan worden over de effectiviteit van maatregelen voor ongevallen met gevaarlijke stoffen. Maatregelen, zoals (automatische) alarmering, betere vluchtroutes en voorlichting, hebben namelijk in eerste instantie effect op de zelfredzaamheid van personen: personen gaan eerder vluchten, kunnen sneller vluchten (vermogen om zichzelf te helpen) en weten bijvoorbeeld beter hoe te handelen om incidenten te beheersen. Afhankelijk van de aard en ontwikkelingssnelheid van het incident, kunnen personen in de loop van het incident subletaal letsel oplopen, hetgeen de zelfredzaamheid van personen kan verminderen. De aard en *mate van subletaal letsel* bepaalt de zelfredzaamheid van personen en daarmee de mogelijkheid van maatregelen om nog effect te kunnen hebben. Veel maatregelen zoals alarmeren en betere vluchtroutes hebben namelijk alleen effect op zelfredzame personen. Het effect van de maatregelen kan worden bepaald door de scenario's opnieuw te berekenen met de genomen maatregelen. Hiervoor moeten de maatregelen in de effectmodellen worden gemodelleerd. De veranderde gevolgen en kansen kunnen dan vervolgens opnieuw in een groepsrisicocurve worden weergegeven.

⁶ dit is overigens niet specifiek voor slachtofferbepaling, maar in het algemeen voor modellen die gedrag van mensen en andere onzekere gebeurtenissen kwantificeren

Conclusies

1. Er is een eerste aanzet gerealiseerd voor het koppelen van modellen aan letselyperingen en triageklassen v.w.b. explosie, brand en toxisch letsel.
2. Deze koppelingen hebben wel beperkingen en gaan gepaard met nader te verifiëren aannames.
3. Desondanks is er duidelijke support vanuit deskundigen voor de koppeling m.b.t. explosie- en brandletsel.
4. De “generieke methodiek” voor vertaling van letsel naar triageklassen voor toxische stoffen sluit methodisch aan bij eerdere voorstellen voor letselmodellen voor gewonden [26],[12], die een uitspraak doen over ofwel triageklasse 2 ofwel de sommatie van triageklassen 1 en 2. Voor irriterende stoffen met een werking op de hogere luchtwegen is een aanpassing op de “generieke methodiek” opgesteld.
Deskundigen hebben aanvullende vragen met betrekking tot de letselmodellen voor toxische stoffen: graag zien zij een benadering die meer op gezondheidskundig eindpunt is gericht en een onderbouwing van de extrapolatie naar andere stoffen dan de gehanteerde voorbeeldstoffen.
5. Een eerste aanzet tot software-implementatie van de methodieken voor explosie-, brand- en toxisch letsel is uitgevoerd in het softwarepakket EFFECTS. Dit vereenvoudigt het om - na een testfase en eventuele aanpassingen - een instrument te ontwikkelen, waarmee de methode breed kan worden toegepast. De methodieken zijn daarnaast geschikt voor integratie in andere softwarepakketten voor het berekenen van effecten en risico's van ongevallen met gevaarlijke stoffen, zoals PHAST, SAFETI of RBMII.
6. Het detailniveau van de ontwikkelde methodieken is voldoende voor het bepalen van de effectiviteit van maatregelen en sluit aan bij het detailniveau van methodieken voor risicoanalyses van externe veiligheid conform het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (BEVI, [27] en de circulaire Risiconormering Vervoer van gevaarlijke stoffen (RNVGS), [28]).

Aanbevelingen

Op basis van de conclusies van het onderzoek zijn de volgende aanbevelingen geformuleerd:

1. Uitwerken van de modellen tot een praktisch instrument in de vorm van software (bijvoorbeeld in EFFECTS) en procedures voor hulpverlening en adviseurs bij externe veiligheidsvraagstukken.
 - a. Dit traject uitvoeren in nauwe samenwerking met de toekomstige gebruikers en de koepelorganisaties van de hulpverlening (NVBR en GHOR-NL).
 - b. Uitvoeren van pilots met het ontwikkelde instrument.

Deze aanbeveling is gericht aan de ministeries van VenJ en IenM als stakeholders. De uitvoering valt buiten de voorziene werkzaamheden van het project “effectiviteit van maatregelen” [77].

2. Uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse van de resultaten om marges in beeld te brengen als gevolg van aannames.
 - a. Uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse aan de hand van berekeningen met verschillende stoffen en scenario's, onder meer om de extrapoleerbaarheid van de methodiek te toetsen.
 - b. Nader beschouwen van belangrijke aannames.Deze aanbeveling is gericht aan de ministeries van VenJ en IenM als stakeholders. De uitvoering valt deels (voor zover relevant voor de modellering van maatregelen) binnen de voorziene werkzaamheden van het project "effectiviteit van maatregelen".
3. Aanvullen van het explosieletselmodel met letsels als gevolg van schade aan gebouwen en rondvliegende brokstukken. Deze aanbeveling is gericht aan het ministerie van IenM als stakeholder. De uitvoering valt buiten de voorziene werkzaamheden van het project "effectiviteit van maatregelen".
4. Standaardiseren en formaliseren van de methoden voor explosie- en brandletsel, d.w.z. opname in relevante handreikingen, procedures en lesmateriaal. Hier valt te denken aan (updates van/ addendum voor) het regionaal risicoprofiel, Handreiking risicoanalyse transport en het Schadescenarioboek. M.b.t. tot lesmateriaal valt te denken aan de opleidingen specialisten risico en veiligheid en adviseurs gevaarlijke stoffen aan het NIFV. Deze aanbeveling is gericht aan het ministerie van VenJ als stakeholder. De uitvoering valt buiten de voorziene werkzaamheden van het project "effectiviteit van maatregelen".
5. Het uitvoeren van nader onderzoek voor toxisch letsel met als doel om de methode eindpuntspecifieker te maken en de extrapolatiemogelijkheden naar verschillende toxische stoffen met vergelijkbare werking te verbeteren. Onder meer in de volgende gevallen biedt dit meerwaarde: voor ongevalsonderzoek waarbij toxische stof is vrijgekomen en voor het inschatten van het aantal gewonden tijdens een (langdurig) incident. Deze aanbeveling is gericht aan GHOR Nederland als stakeholder. De uitvoering valt buiten de voorziene werkzaamheden van het project "effectiviteit van maatregelen".
6. Testen van de software-implementatie van de methodieken, zowel softwarematig als m.b.v. de eerder genoemde gevoeligheidsanalyses. Deze aanbeveling is gericht aan TNO en RIVM-CEV. De uitvoering valt buiten de voorziene werkzaamheden van het project "effectiviteit van maatregelen".
7. Het ontwikkelen van rekenregels, die het effect laten zien van zelfredzaamheid en bestrijdbaarheid bevorderende maatregelen, gebruik makend van de ontwikkelde letselmodellen. Deze aanbeveling is gericht aan de ministeries van VenJ en IenM als stakeholders. De uitvoering valt *binnen* de voorziene werkzaamheden van het project "effectiviteit van maatregelen".

8 Referenties

- [1] NVBR, VNG en IPO, 2010, Handreiking “Verantwoorde brandweer advisering externe veiligheid, een samenspel tussen veiligheid, ruimtelijke ordening en milieu”, NVBR, VNG en IPO, Eerste uitgave maart 2010.
- [2] Tweede Kamer, vergaderjaar 2008-2009, 29 517, nr. 35, brief van de minister van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer m.b.t. Advies “risicobeleid en rampenbestrijding, op weg naar meer samenhang” en Advies “Brandweeradviesing, in het kader van verantwoordingsplicht groepsrisico: stand van zaken”.
- [3] <http://www.malgroepsrisico.nl>
- [4] Kamperveen J.P., I.J.M. Trijssenaar-Buhre, S.J. Elbers, 2009, “Kwantificering van het aantal gewonden op basis van vuistregels, schademodelen en casuïstiek”, TNO report, TNO-034-UT-2009-01610_RPT-ML.
- [5] Trijssenaar-Buhre, I.J.M., R.P. Sterkenburg, 2009, “Self-rescue and safety measures in quantitative risk analysis, modeling and case studies for accidental toxic releases”, in Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications – Briš, Guedes Soares & Martorell (eds), pp1163-1169, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-55509-8.
- [6] Trijssenaar, I.J.M., N. Rosmuller, 2008, “Kwantificering van zelfredzaamheid in externe veiligheid”, Tijdschrift voor Veiligheid, 2008 (7) 2.
- [7] Raben, I., I.J.M. Trijssenaar, S.I. Wijnant, 2007, “Kwantificering zelfredzaamheid”, TNO-Rapport 2008-U-R0487/B.
- [8] Handleiding Risicoberekeningen Bevi, versie 3.2 RIVM, Juli 2009.
- [9] Purser, P.A., Toxicity assessment of combustion products, In: The SFPE handbook of fire protection engineering. Quincy, Massachusetts: NFPA, 2002.
- [10] Purser, D.A., the application of exposure concentration and dose to evaluation of effects of irritants as components of fire hazard, Interflam 2007 conference proceedings.
- [11] Leidraad Maatramp versie 1.3, Adviesbureau SAVE & Adviesbureau Van Dijke
- [12] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1 (PGS1), Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, “Groene Boek”, december 2003.
- [13] Ongevallendatabank FACTS, TNO, versie 2005.
- [14] Slachtofferberekeningen, December 2007, conceptversie 1.5, opgesteld door de werkgroep slachtofferberekeningen bestaande uit: Hans Lemmens en Dina Rezanova van DCMR, Leon Anink, VRR SRC, Arie van den Berg, VRR regionale brandweer, Rita Slob GGD Rotterdam en omstreken, Monique Scheunemann, VRR-GHOR.
- [15] Effecten van maatregelen ten behoeve van zelfredzaamheid, een onderzoek naar de kwantificeerbaarheid van zelfredzaamheid bevorderende maatregelen, D. Oude Spraaksté, I.J.M. Trijssenaar, TNO-rapport TNO-034-UT-2009-00317_RPT-ML, april 2009.
- [16] EFFECTS 8.1, softwarepakket voor effectberekeningen van ongevallen met gevaarlijke stoffen.
TNO.http://www.tno.nl/content.cfm?context=markten&content=product&laag1=186&laag2=267&item_id=739
- [17] Veld B.F.P. van het, Ham J.M., Steijger D.J.M., Jap A Joe K.E., “Risico en risicoanalyse nader toegelicht”, 2003.
- [18] “Groepsrisico op de kaart gezet”, RIVM, TNO

- [19] MIMMS, 2009
- [20] Basisleerstof GHOR, GHOR Academie/NIFV, oktober 2006
- [21] SlachtofferRegistratieKaart, uitgave oktober 2006
- [22] RBM II, v 13
- [23] PGS2, Methods for the calculation of physical effects, Committee for the Prevention of Disasters, "Yellow Book", third edition second revised print, Den Haag, The Netherlands, 2005.
- [24] AEGL, <http://www.epa.gov/opptintr/aegl/pubs/chemlist.htm>, EPA
- [25] PGS 3, Guidelines for quantitative risk assessment, "Purple Book", Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment (VROM), The Hague, 2005
- [26] "Een werkwijze voor slachtofferberekeningen voor incidenten met toxische stoffen", Verkenning voor gebruik in de preventieve fase. M.T.M. van Raaij, N.J.C. van Belle, P.M.J. Bos, A.B. Knol, G.M.H. Laheij, E. Schols, I. de Vries, RIVM rapport 609035002, 2009.
- [27] Besluit externe veiligheid inrichtingen, P.L.B.A. van Geel and Ministerie van Vrom, 27-5-2004
- [28] Circulaire risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 4-8-2004
- [29] Chemiekaarten, 26e editie, 2011
- [30] AHLS (Advanced HazMat Life Support), American Academy of Clinical Toxicology (AACT).
- [31] Boele P., Elst C., Vetter J.de, "Leidraad CBRN: Handreiking CBRN, OTO-plan voor CBRN, Oefenmethodiek voor CBRN", ZiRoP, ZonMW, 2009
- [32] Interventiewaarden gevaarlijke stoffen 2007, VROM, BZK, Inspectie.
- [33] Bos P.M.J., "tijdsafhankelijke interventiewaarden", 2011.
- [34] EPA, Technical Support Document for Ammonia "Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 6", , Committee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council, <http://www.nap.edu/catalog/12018.html> ,ISBN: 0-309-11214-1, 2007.
- [35] EPA, Technical Support Document, "Acute Exposure Guideline Levels (AEGs) for Acrylonitrile (CAS Reg. No. 107-13-1)", Interim, 11-2009.
- [36] EPA, Standing Operating Procedures for Developing Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Chemicals, Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission on Life Sciences, National Research Council, NATIONAL ACADEMY PRESS, ISBN 0-309-07553-X, 2001.
- [37] Persoonlijke communicatie met Peter (P.M.J.) Bos, RIVM, 2011.
- [38] Meulenbelt J., de Vries I., Joore J.C.A., " Behandeling van acute vergiftigingen, praktische richtlijnen", Bohn Stafleu Van Loghum.
- [39] AIS (2005): Association for the Advancement of Automotive Medicine, The Abbreviated Injury Scale, updated of revision 1998, AAAM Des Plaines (IL-USA)
- [40] Axelsson, H.; Yelverton, J.T. (1996). Chest Wall Velocity as a Predictor of Nonauditory Blast Injury in a Complex Wave Environment. The journal of trauma. Vol 40, no 3.
- [41] Bass, C.R.; Rafaels, K.; Salzar, R. (2006). Pulmonary Injury Risk Assessment for Short-duration Blasts. In Proceedings of Personal Armour Systems Symposium. United Kingdom, September 2006.
- [42] CPR16 (1989) Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen. Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen

- door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen: 'The Green Book', First edition, 1989.
- [43] Deursen, J.R. van, Horst, M.J. van der, Kastelee, R.M. van de, Weerheijm, J., Injury Assessment for Blast Overpressure Effects: Experimental Approach, 19th Symposium on Military Aspects of Blast and Shock, 2006, Calgary, Canada
- [44] Doormaal, J.C.A.M, Horst MJ, van der (2010) An approximation of the Axelsson model for quick injury predictions, 21th Symposium on Military Aspects of Blast and Shock, 2010, Jerusalem, Israel
- [45] Doormaal, J.C.A.M, (2011) V817 Quick approach for estimating direct blast injury TNO report DV2011 A141 (in progress), Rijswijk, the Netherlands.
- [46] Haber, J.M, Avanesian, H.D. (2000) Human vulnerability to inert debris, Explosives Safety Seminar, July 2000, New Orleans, LA.
- [47] Haber, J.M., Avanesian, H.D (1999) Human vulnerability to inert debris, Technical report no 99-400/14.1-02. ACTA. September 1999.
- [48] HFM090/TG25, 2007 NATO RTO report Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants against Anti-Vehicular Landmine Effects. Final report of HFM-090 Task Group 25. April 2007.
- [49] Horst, M.J. van der, Verhagen, Th., Leerdam, P.J., Bree, J. van, Klink, M. van (2004): Consistency in injury criteria: a database approach. In Proceedings of 2nd European Survivability Workshop, Noordwijkerhout, the Netherlands, 23-25 March 2004.
- [49b] Horst, M.J. van der, Leerdam, P.J.C., Bree, J.L.M.J. van, Verhagen, Th.L.A. Methoden om de fysieke toestand van een persoon te bepalen na blootstelling aan een dreiging. Fase 1: inventarisatie en aanpak voor de toekomst. Intern TNO rapport DV2 2005-IN002, Rijswijk.
- [49c] Dancer, A.L. (2004) Auditory effects of complex blast waves, several presentations at HFM090 TG25 NATO meetings in 2004.
- [49d] Chan, P.C., Ho, K.H., Kan, K.K., Stuhmiller, J.H. Mayorga, M.A. (2001) Evaluation of impulse noise criteria using human volunteer data. Journal of the Acoustical Society of America, 110 (4) October 2001
- [50] Horst, M.J. van der; Verhagen Th.L.A.; Deursen, J.R. van; Smit, C; Verolme, E.K.; Weerheijm, J. (2006b): Application of the human vulnerability approach to personnel within defence infrastructure. 32nd Explosive Safety Seminar, Philadelphia, USA.
- [51] Horst, M.J. van der, Verhagen, Th.L.A., Simons, M, Bokkers, W.Chr., Huisjes, H. (2009) Human effect taxonomy (HET) implementation of injury-capability relationship. TNO report DV2009 IN039, Rijswijk, the Netherlands.
- [52] Horst, M.J. van der, Verhagen, Th., Leerdam, P.J., Bree, J. van, Klink, M. van (2004): Consistency in injury criteria: a database approach. In Proceedings of 2nd European Survivability Workshop, Noordwijkerhout, the Netherlands, 23-25 March 2004.
- [53] Horst, M.J.; Deursen, J.R. van (2006a). Injury assessment for blast overpressure effects: experimental approach. DV2 2005 A239, TNO Defence, Security and Safety, Rijswijk, the Netherlands
- [54] Horst, M.J. van der; Verhagen Th.L.A.; Deursen, J.R. van; Smit, C; Verolme, E.K.; Weerheijm, J. (2006b): Application of the human vulnerability approach to personnel within defence infrastructure. 32nd Explosive Safety Seminar, Philadelphia, USA.
- [55] Horst, M.J. van der et al (2008) Safety of Personnel: Injury modeling TNO DV 2008 A462. TNO Rijswijk, The Netherlands.

- [56] Li, E., Yoshinaka, A., and Josey, T. 2008, *Weathervane: a single point model for blast injury approximations*, 20th Symposium on Military Aspects of Blast and Shock, 2008, Oslo, Norway.
- [57] PGS1 (2003) Publicatie reeks gevaarlijke stoffen 1. Deel 2a effecten op personen. Ministerie van VROM. December 2003; (update of Green Book CPR16, 1989)
- [58] PGS 2 (2005) Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 2, Methods for the calculation of physical effects 'Yellow Book', third edition second revised print, Ministerie van VROM, PGS 2, Den Haag, 2005.
- [59] Richmond, D.R.; Axelsson, H. (1990). Airblast and underwater blast studies with animals. *Journal of Trauma (China)*, 6(2) Supplement: 229-234; 1990
- [60] Verhagen, Th. Kemper, R, Huisjes, H. Knijnenburg, S, Pronk, S, van Klink, M. WitnessMan (2004): The software tool to design, analyse and assess a witness pack with respect to military and medical effects on an (un)protected (dis)mounted soldier”, International Symposium on Ballistics, 2004, Vancouver, Canada.
- [61] Wismans, J. et al (2000) Injury Biomechanics. College dictaat. Technical University Eindhoven. 4J610 WP pp3-4.3
- [62] Smit, G., Horst, M. van der, Ouellet, S, Koopman, B., Voort, M. van der (2008): Injury assessment for blast induced whole body displacement. In proceedings of 33rd DoD Explosives Safety Seminar 2008, Palm Springs, California, USA.
- [63] Smit G. (2008) Injury assessment for blast induced whole body displacement. TNO DenV 2008 S212. Masters Thesis Twente University July 2008.
- [64] Smit, C.S. (2006). Thermal radiation injury assessment. TNO report DenV 2006 A368. TNO Defence Security and Safety, Rijswijk, The Netherlands.
- [65] Teland J.A., van Doormaal, J.C.A.M., Horst, M.J. van der., Svinsås, 2010, A single point pressure approach as input for injury models with respect to complex blast loading conditions, 21th Symposium on Military Aspects of Blast and Shock, 2010, Jerusalem, Israel.
- [66] Hove, T.D. ten, Verhagen, Th.L.A. (1999), Kwetsbaarheid van personeel. Deel 1: inventarisatie, TNO-rapport PML 1999-A18.
- [67] Simoncelli, M. (1996),
Battlefield threats and hazards to the NATO dismounted soldier system, NATO army armaments group, Panel III on close combat infantry, AC/225 (Panel III) D/ 365, 26 February 1996.
- [68] Bowen, I.G. Fletcher, E.R., Richmond, D.R. (1968) Estimate of man's tolerance to the direct effects of air blast. Headquarters Defense Atomic Support Agency, Washington D.C.
- [69] J. Stuhmiller, K.H.H. Ho, M.J. Vandervorst, K.T. Dodd, T. Fitzpatrick, M. Mayorga, *A model of blast overpressure injury to the lung*, Biomechanics, volume 29, no. 2, 1996.
- [70] Jett, S. (2010) Combat-related blast-induced neurotrauma: a public health problem? *Nursing Forum*, vol 45, nr 4 pp 237-245.
- [71] VROM, “Handreiking Verantwoordingsplicht Groepsrisico”, Den Haag: Ministerie van VROM, in samenwerking met het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Interprovinciaal Overleg (IPO) en Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG). November 2007.
- [72] Iserief A.H., Boxman A.M.C., Kuppen I.G.W.M., “Evaluatie verantwoordingsplicht groepsrisico, eindrapportage”, Royal Haskoning in opdracht van Ministerie van VROM, definitief rapport, refnr 9V4200.01/R0004/902055/Nijm, 31 augustus 2010.

- [73] Kobes, M., Oberijé N., "analysemodel vluchtveiligheid. Systematische analyse van vluchtveiligheid van gebouwen", NIFV, 2010.
- [74] Wet veiligheidsregio's, Wet van 11 februari 2010, houdende bepalingen over de brandweezorg, de rampenbestrijding, de crisisbeheersing en de geneeskundige hulpverlening (Wet veiligheidsregio's), Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, jaargang 2010, 145.
- [75] Adviesraad Gevaarlijke Stoffen (AGS), "Brandweeradvisering, in het kader van verantwoordingsplicht groepsrisico: stand van zaken", oktober 2008.
- [76] Klijn, W., "kwantificeren effectiviteit maatregelen ongevallen gevaarlijke stoffen", opdrachtbrief, 18 november 2010.
- [77] NIFV, Projectvoorstel "Kwantificering van de effectiviteit van maatregelen voor ongevallen met gevaarlijke stoffen", Versie: 431N1022, vs. 1.1, 3 november 2010.

9 Ondertekening

Verantwoording
Ministerie van Veiligheid en Justitie
De heer W. Klijn

Ministerie van Infrastructuur en Milieu
De heer M. Timmer

Namen van de projectmedewerkers:

TNO:

Inge Trijssenaar
MARIKE van der Horst
Ries Simons
Reinier Sterkenburg
Ingrid Raben

Veiligheidsregio Rotterdam Rijnmond –GHOR:

Carolien Mommers

NIFV:

Margrethe Kobes, Ronald Heus

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:
Jan - sept 2011

Naam en paraaf tweede lezer:



Dr.ir. N. Rosmuller

Ondertekening:



Ir. drs. I.J.M. Trijssenaar MTD.
Auteur

Autorisatie vrijgave:



Drs. H.C. Borst
Research Manager

Bijlage A Ongevalsscenario's

Uitwerking voorbeeldscenario's

Uitgangspunten

Omgevingsparameters

Voor de scenario's van vrijkomen van gevaarlijke stoffen is de verspreiding van deze stoffen naar de omgeving van belang. Voor een verdampende plas zijn de ondergrond en de omgevingstemperatuur van belang. De verspreiding van een gaswolk is, onder andere, afhankelijk van de heersende stabiliteitsklasse, de windsnelheid en de windrichting. Voor dit project is over het algemeen uitgegaan van een weerklassse, F1.5. Dit is een zeer stabiele atmosfeer met een windsnelheid van 1.5 m/s. De eigenschappen voor de omgeving staan hieronder vermeld. Als afwijkende parameters gebruikt zijn, zijn deze bij het desbetreffende scenario aangegeven.

Tabel A.1: Eigenschappen van de omgeving

Parameter	Waarde
Omgevingstemperatuur (°C)	9
Luchtvochtigheid (%)	83
Temperatuur ondergrond (°C)	9
Stabiliteitsklasse	F
Windsnelheid (m/s)	1.5
Ruwheidslengte omgeving	Open flat terrain; grass, few isolated objects
Ruwheid ondergrond	Relatively flat sandy soil, gravel
Type ondergrond	Average subsoil
Zoneinstraling (kW/m ²)	0.25
Fractie van de wolk omsloten (-)	0.08
Curve nummer	10

Rekenpakket

De berekeningen zijn uitgevoerd met EFFECTS 8.1.4.

LPG (BLEVE en gaswolkexplosie)

Scenario beschrijving

Een spoorketelwagon met LPG, een brandbaar gas, faalt en de volledige inhoud komt instantaan vrij. Brandbare gassen worden als vloeistof verdichte gassen vervoerd: een gas dat door overdruk vloeibaar gemaakt is. Wanneer de inhoud instantaan vrijkomt valt de overdruk weg en zal de vloeistof gaan koken en explosief verdampen. Dit wordt een BLEVE genoemd: boiling liquid expanding vapour explosion. In een QRA wordt onderscheid gemaakt tussen een "koude" BLEVE en een "warme" BLEVE. Bij een koude BLEVE faalt de tank bij opslagdruk als gevolg van bijvoorbeeld het mechanisch falen van de tank.

Bij een warme BLEVE wordt de tank aangestraald door een brand. Hierdoor neemt de druk in de tank toe en faalt de tank bij een hogere druk. Een warme BLEVE heeft daardoor grotere effecten dan een koude BLEVE.

Wanneer het vrijgekomen gas direct ontstoken wordt ontstaat een vuurbal. Is er echter sprake van vertraagde ontsteking, dan zal de gaswolk zich in de omgeving gaan verspreiden. Vervolgens kan de gaswolk alsnog ontstoken worden. Als de gaswolk omsloten is, kunnen er bovendien overdruk effecten ontstaan. De warmtestraling is echter bepalend voor het letsel.

De eigenschappen van een propaan rail tanker staan in de volgende tabel weergegeven [1].

Tabel A.2: Eigenschappen rail tanker propaan

Parameter	Waarde
Stof	Propaan
Volume rail tanker (m ³)	108
Vulgraad (%)	90
Opgeslagen hoeveelheid (kg)	50 000
Opslag temperatuur (°C)	9
Opslag druk (bara)	6.3
Faaldruk (bara)	20.5

Berekeningen en resultaten

In de volgende tabel staan de invoerparameters en resultaten voor de warmtestraling als gevolg van een warme BLEVE.

Tabel A.3: Invoerparameters en resultaten- propaan- BLEVE- warmtestraling

Parameter	Waarde
Model	EFFECTS- dynamic BLEVE
Stof	Propaan
Massa (kg)	50 000
Temperatuur (°C)	9
Faaldruk (bara)	20.5
Resultaten	
Duur vuurbal (s)	13.5
Max. diameter vuurbal (m)	214
Afstand tot	
35 kW/m ² (m)	265
90% letaliteit (m)	160
50% letaliteit (m)	210
10% letaliteit (m)	265
1% letaliteit (m)	315

De grafische resultaten staan in bijlage A. Het dynamische BLEVE model houdt rekening met de ontwikkeling van de vuurbal: de vuurbal begint klein op grondniveau en stijgt vervolgens op, waarbij de diameter toeneemt.

De 35 kW/m² afstand is de maximale afstand waarbij 35 kW/m² bereikt wordt. Deze afstand is groter dan de letaliteitsafstanden. Bij het vaststellen van de letaliteit wordt rekening gehouden met de blootstellingsduur en het stijgen van de vuurbal. De vuurbal begint op grondniveau en stijgt op. Bovendien heeft de vuurbal een korte levensduur. Daardoor is de afstand tot de 35 kW/m² groter dan sommige letaliteitsafstanden.

Gaswolkexplosie

Bij het instantaan vrijkomen van propaan gaat er niet alleen een deel van de inhoud de lucht in die een (zware) wolk vormt, maar er wordt ook een plas op de grond gevormd. Deze gaat vervolgens verdampen. Voor de bepaling van de explosieve massa in de gaswolk dienen beide bronnen (de "instantane" zware wolk en de dampende plas) meegenomen te worden. Via de gekoppelde modellen in EFFECTS gebeurt de optelling van de instantane wolk en de verdampende plas automatisch.

Tabel A.4: Invoerparameters en resultaten- propaan- gaswolkexplosie

Parameter	Waarde
Model	EFFECTS- Liquefied gas LOC scenario instantaneous release
Stof	Propaan
Volume (m ³)	108
Vulgraad (%)	90
Temperatuur (°C) (opslag)	9
Druk (bara)	6.3
Maximaal plasoppervlak (m ²)	600
Tussenresultaten	
Massa in de wolk (kg)	39 428
Samenstelling wolk (% druppels)	63
Massa in de plas (kg)	10 824
Representatief verdampingsdebiet (kg/s)	8.9
Representatieve verdampingsduur (s)	780
Representatieve plasdiameter (m)	28
Explosieve massa op t _{mac}	18 269
Resultaten	
Lengte LEL contour (m)	595
Breedte LEL contour (m)	580
Afstand tussen uitstroomblocatie en centrum LEL (m)	105
Afstand tot 100 mbar (m)	260 (vanaf centrum wolk)
Afstand tot 300 mbar (m)	120 (vanaf centrum wolk)

Pentaaan (plasbrand)

Scenario beschrijving

Een spoorketelwagon met pentaan faalt en de volledige inhoud komt instantaan vrij waarbij er een vloeistofplas gevormd wordt. Voor een QRA wordt er standaard uitgegaan van een plas met een oppervlakte van 600 m² voor het instantane scenario. Vervolgens kunnen er twee dingen gebeuren:

- de plas wordt meteen ontstoken, waardoor er een plasbrand ontstaat;
- de plas wordt niet meteen ontstoken waardoor de vloeistof gaat verdampen. Hierbij kan de gaswolk zich gaan verspreiden in de omgeving. Als deze gaswolk ontstoken wordt (vertraagde ontsteking) ontstaat een wolkbrand (warmtestralings effecten) en mogelijk een gaswolkexplosie (overdruk effecten). De effecten van een wolkbrand als gevolg van het vrijkomen van pentaan worden in een QRA niet als relevant beschouwd voor de externe veiligheid en worden daarom hier verder niet uitgewerkt.

De eigenschappen van een rail tanker met brandbare vloeistof staan in de volgende tabel weergegeven [1].

Tabel A.5: Eigenschappen brandbare vloeistof rail tanker

Parameter	Waarde
Stof	Pentaaan
Opslag temperatuur (°C)	9
Opslag druk (bara)	atmosferisch

Berekeningen en resultaten

De invoergegevens en de resultaten van een plasbrand van pentaan staan in A.6 gerapporteerd. De afstanden zijn gegeven vanaf het centrum van de plas (straal 14 m).

Tabel A.6: Invoerparameters en resultaten- pentaan- warmtestraling

Parameter	Waarde
Model	EFFECTS- pool fire
Stof	Pentaaan
Max. plas oppervlak (m ²)	600
Resultaten- Afstand tot	
35 kW/m ² (m)	20
90% letaliteit (m)	25
50% letaliteit (m)	35
10% letaliteit (m)	45
1% letaliteit (m)	50

De grafische resultaten staan in bijlage C.

Ammoniak- RIVM scenario (irriterend)

In dit hoofdstuk wordt het ammoniak scenario zoals dat door het RIVM is doorgerekend voor het rapport [26] doorgerekend met EFFECTS.

Scenario beschrijving

Een tankauto met ammoniak, een toxisch gas, heeft een gat van 25 mm waaruit ammoniak vrijkomt. Toxische gassen worden net als brandbare gassen vervoerd als tot vloeistof verdicht gas.

De eigenschappen van het RIVM scenario met ammoniak staan in de volgende tabel weergegeven [5].

Tabel A.7: Eigenschappen tank auto ammoniak- RIVM scenario

Parameter	Waarde
Stof	Ammoniak
Inhoud (kg)	16 000
Percentage van inhoud dat vrijkomt (%)	75
Lekgrootte (mm)	25
Bronsterkte (kg/s)	7.5
Uitstroomduur (s)	1600
Stabiliteitsklasse	D
Windsnelheid (m/s)	5
Ruwheidslengte (cm)	25 (= high crops in EFFECTS)
Omgevingstemperatuur (°C)	10

Uit de beschrijving kan niet duidelijk opgemaakt worden of het scenario betrekking heeft op een gat in de wand van de tank of een gat in de verlaadslang. Aangenomen is dat het gaat om een gat in de tankwand.

Berekeningen en resultaten

Tabel A.8 toont de invoerparameters en (tussen)resultaten voor het continu vrijkomen van ammoniak. De afstand tot de AEGL-2 van ammoniak voor een blootstellingsduur van 30 minuten (220 ppm, [3]) is gegeven. Niet alle benodigde parameters staan in het RIVM rapport vermeld. Voor de EFFECTS berekeningen zijn aannames gedaan. Deze parameters staan in cursief weergegeven. Deze aannames zijn zo veel mogelijk gebaseerd op de uitgangspunten van [1].

Tabel A.8: Invoerparameters en resultaten- ammoniak- toxische wolk- RIVM scenario

Parameter	Waarde
Model	EFFECTS- TPDIS pool evaporation, dense gas dispersion, concentration
Stof	Ammoniak
Volume (m ³)	29
Vulgraad (%)	90
Temperatuur (°C)	9
Druk (bara)	dampdruk
Lengte tankauto (m)	10
Ruwheidslengte omgeving	High crops
Tussenresultaten	
Representatief uitstroomdebiet (kg/s)	7.5
Debiet jet (kg/s)	7.5
Samenstelling jet (% druppels)	83
Diameter jet (m)	0.18
Plasvorming	nee
Resultaten- Afstand tot (m)	
AEGL-2 (30 min)- 220 ppm (155 mg/m ³)	1 090

De grafische resultaten staan in bijlage B.

Acrylonitril (verstikkend)

Scenario beschrijving

Een spoorketelwagon met acrylonitril faalt en de volledige inhoud komt instantaan vrij waarbij er een vloeistofplas gevormd wordt. Voor een QRA wordt er standaard uitgegaan van een plas met een oppervlakte van 600 m² voor het instantane scenario. Voor acrylonitril wordt voor de directe effecten van vrijkomen alleen uitgegaan van de toxische eigenschappen (acrylonitril is ook brandbaar).

De eigenschappen van een acrylonitril rail tanker staan in de volgende tabel weergegeven [1].

Tabel A.9: Eigenschappen rail tanker acrylonitril

Parameter	Waarde
Stof	Acrylonitril
Opslag temperatuur (°C)	9
Opslag druk (bara)	atmosferisch

Berekeningen en resultaten

Tabel A.10 toont de invoerparameters en (tussen)resultaten voor het instantaan vrijkomen van een toxische vloeistof. De afstand tot de AEGL-2 voor een blootstellingsduur van 30 minuten (110 ppm, [3]) is gegeven.

Tabel A.10 Invoerparameters en resultaten- acrylonitril- toxische wolk

Parameter	Waarde
Model	EFECTS- pool evaporation, neutral gas dispersion, concentration
Stof	Acrylonitril
Maximaal plas oppervlak (m ²)	600
Tussenresultaten	
Representatief verdampingsdebiet (kg/s)	0.4
Representatieve verdampingsduur (s)	1 724
Resultaten- Afstand tot (m)	
AEGL-2 (30 min)- 110 ppm (243 mg/m ³)	1 025

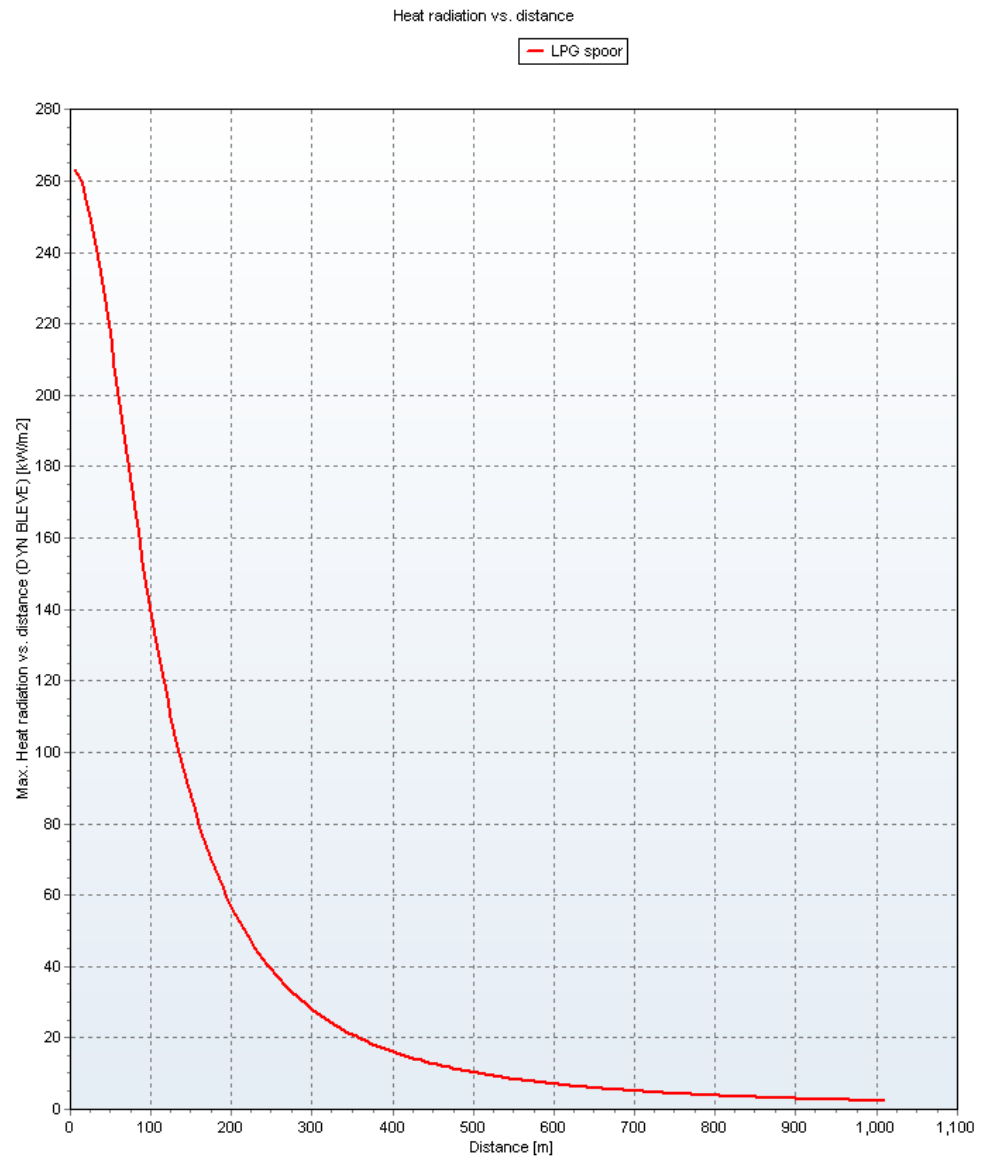
De grafische resultaten staan in bijlage D gepresenteerd.

Referenties

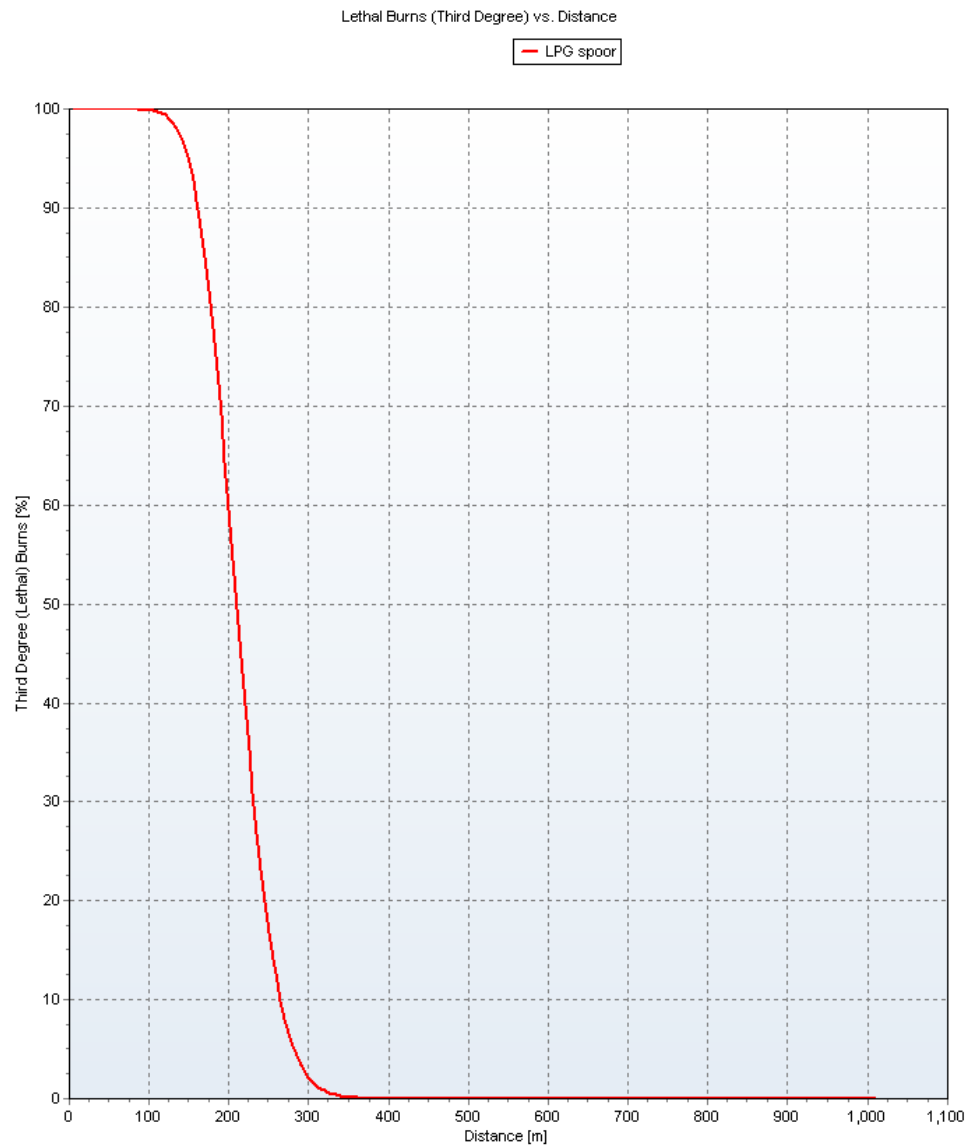
- [1] RBM II v 13
- [2] Yellow Book, Methods for the calculation of physical effects, Committee for the Prevention of Disasters, PGS2, The Hague, The Netherlands, 1997
- [3] AEGL, <http://www.epa.gov/opptintr/aegl/pubs/chemlist.htm>, EPA
- [4] Guidelines for quantitative risk assessment, (Purple Book), PGS 3, Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment (VROM), The Hague, 2005
- [5] RIVM rapport 609035002
- [6] Chemiekaarten, 26e editie, 2011

A.1 Propan

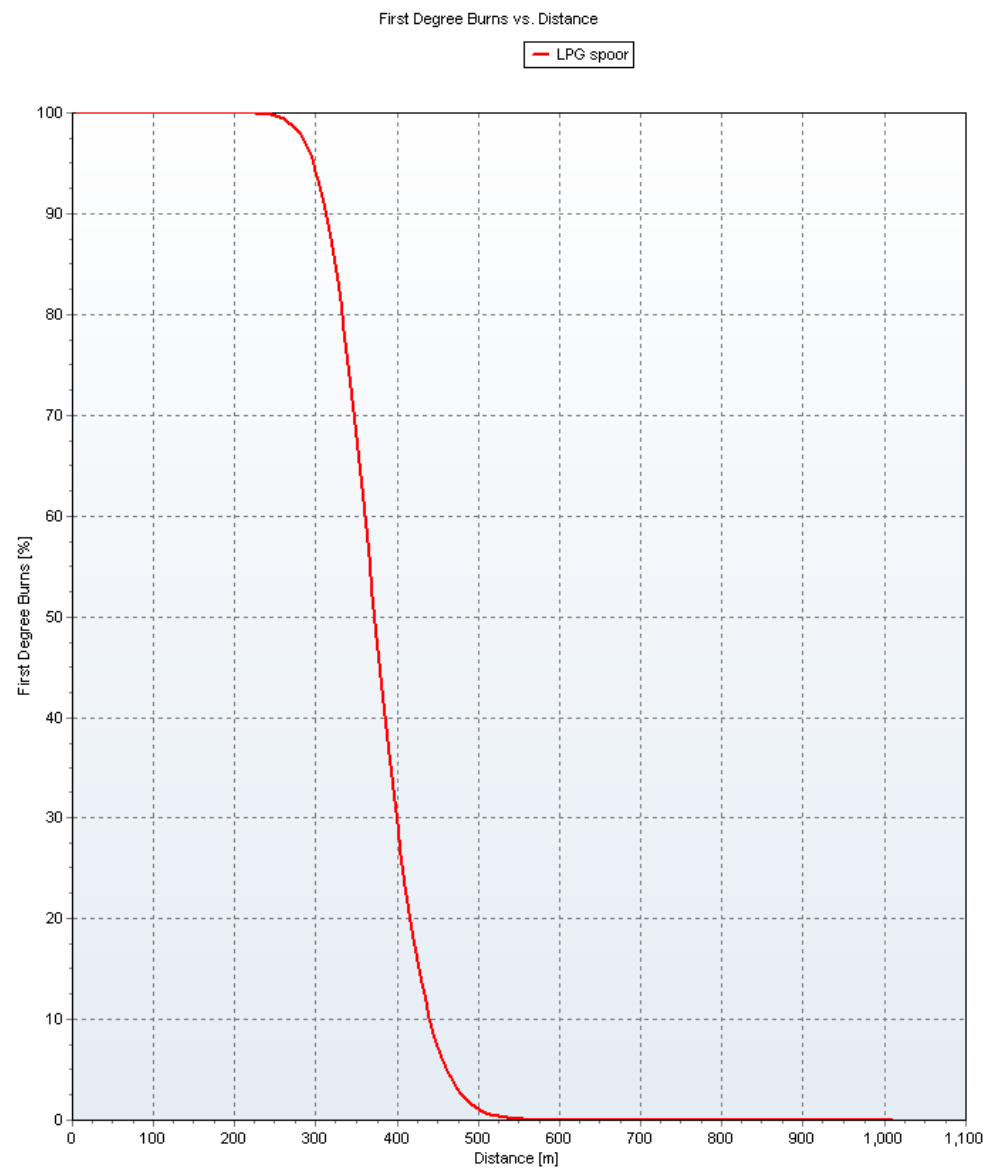
A.1.1 Bleve- warmtestraling



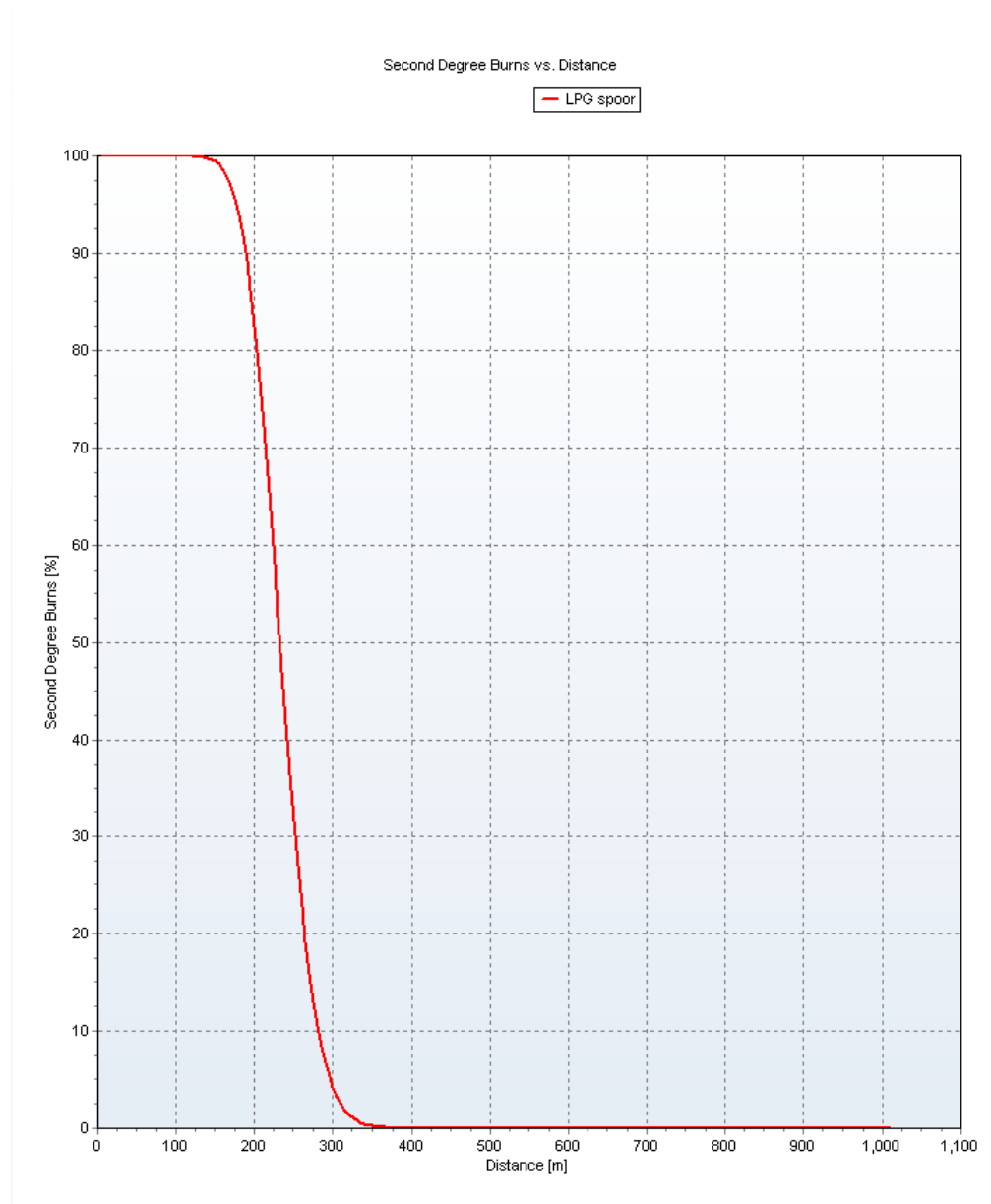
Figuur A.1 BLEVE- warmte straling vs afstand



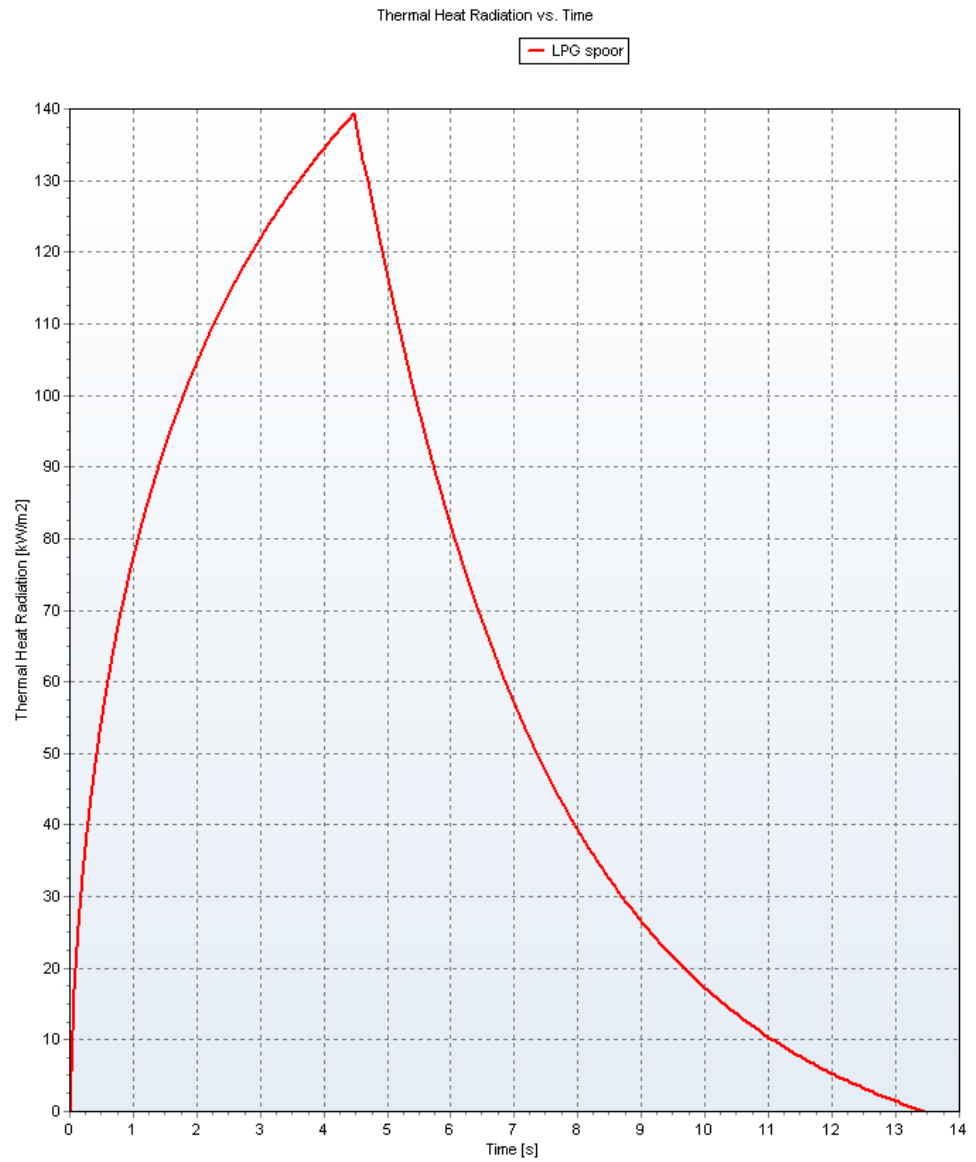
Figuur A.2 BLEVE- letaliteit vs afstand



Figuur A.3 BLEVE- eerstegraads brandwonden vs afstand

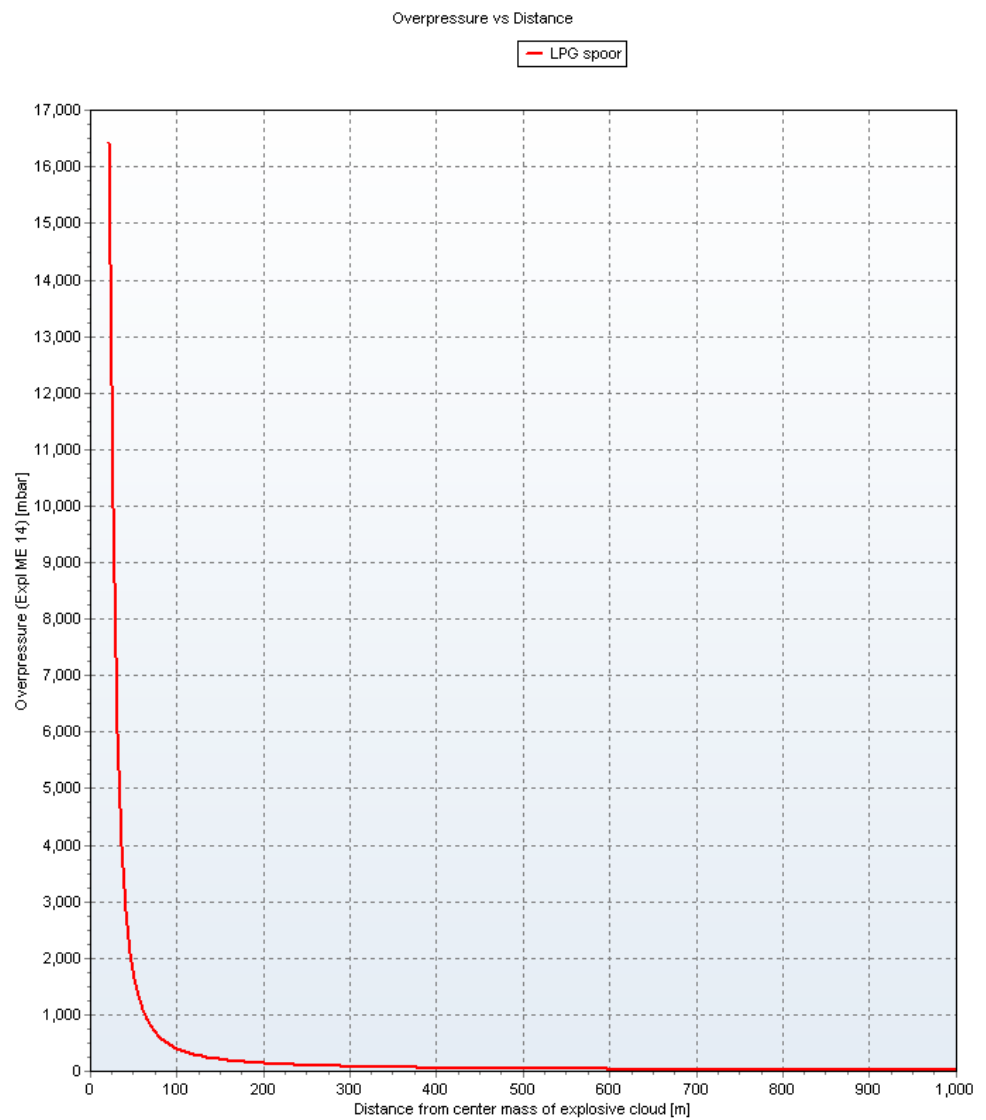


Figuur A.4 BLEVE- tweedegraads brandwonden vs afstand



Figuur A.5 BLEVE- warmtestraling vs tijd op 100 m

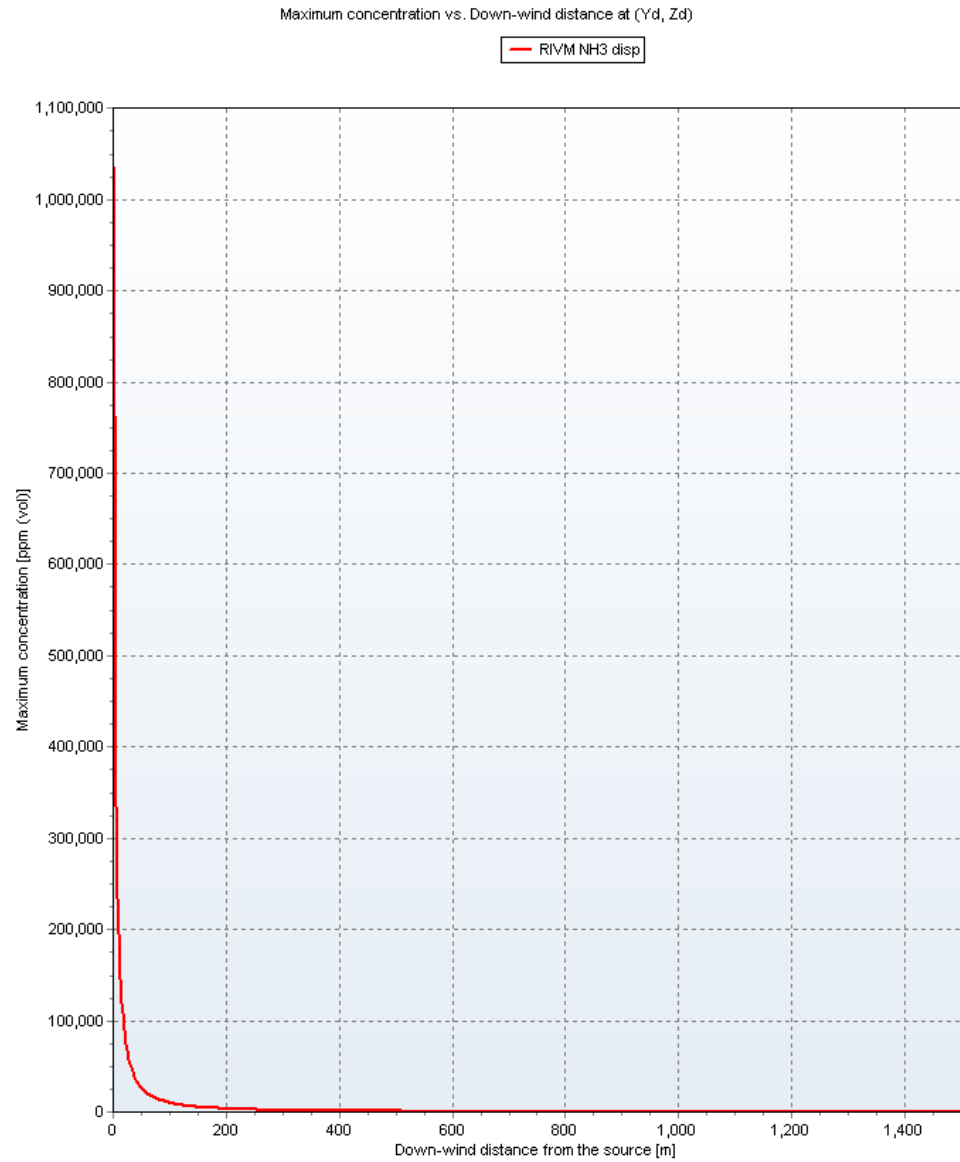
A.2.2 Gaswolkexplosie



Figuur A.6 Gaswolkexplosie- overdruk

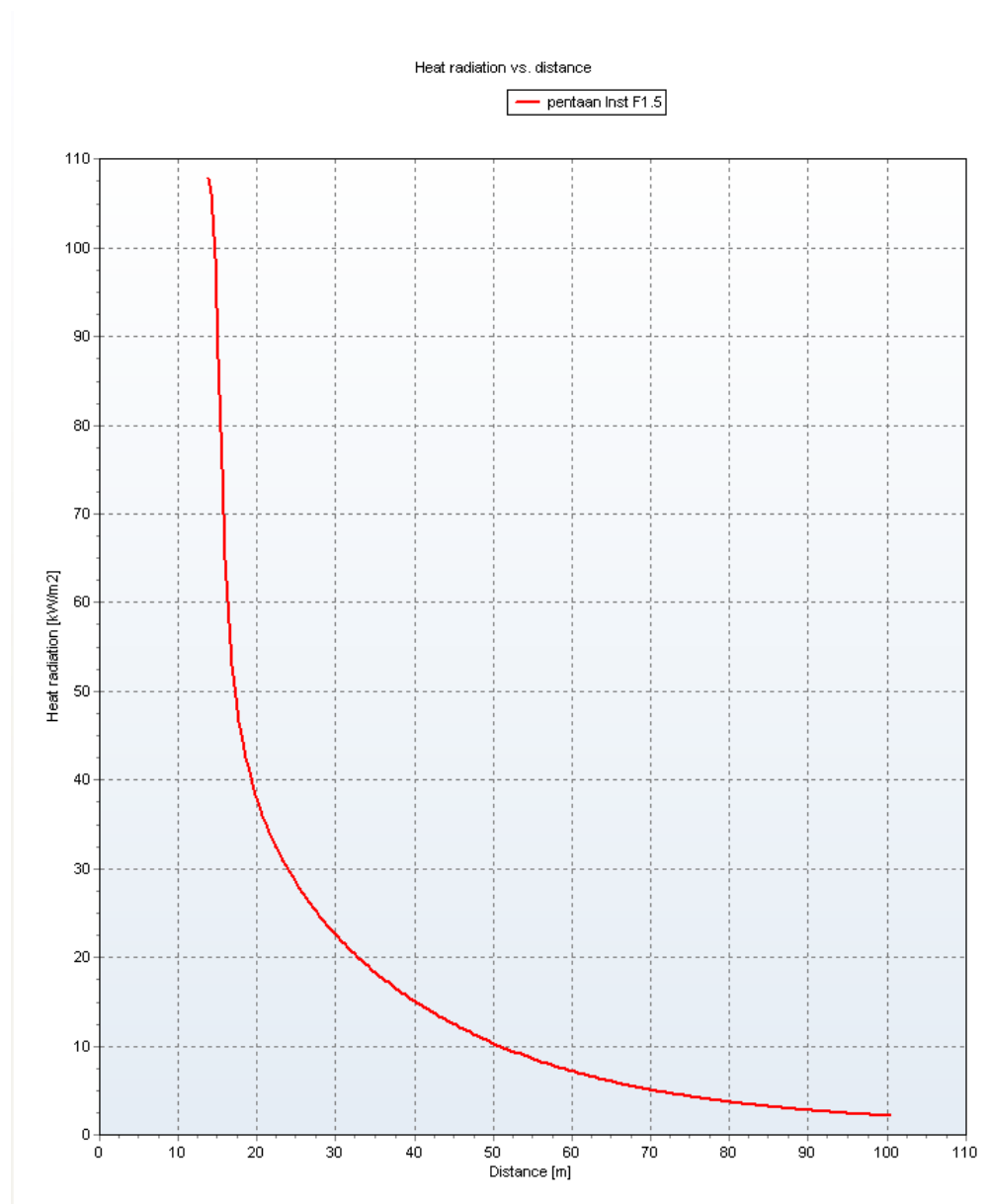
A.2 Ammoniak

A.2.2 RIVM scenario

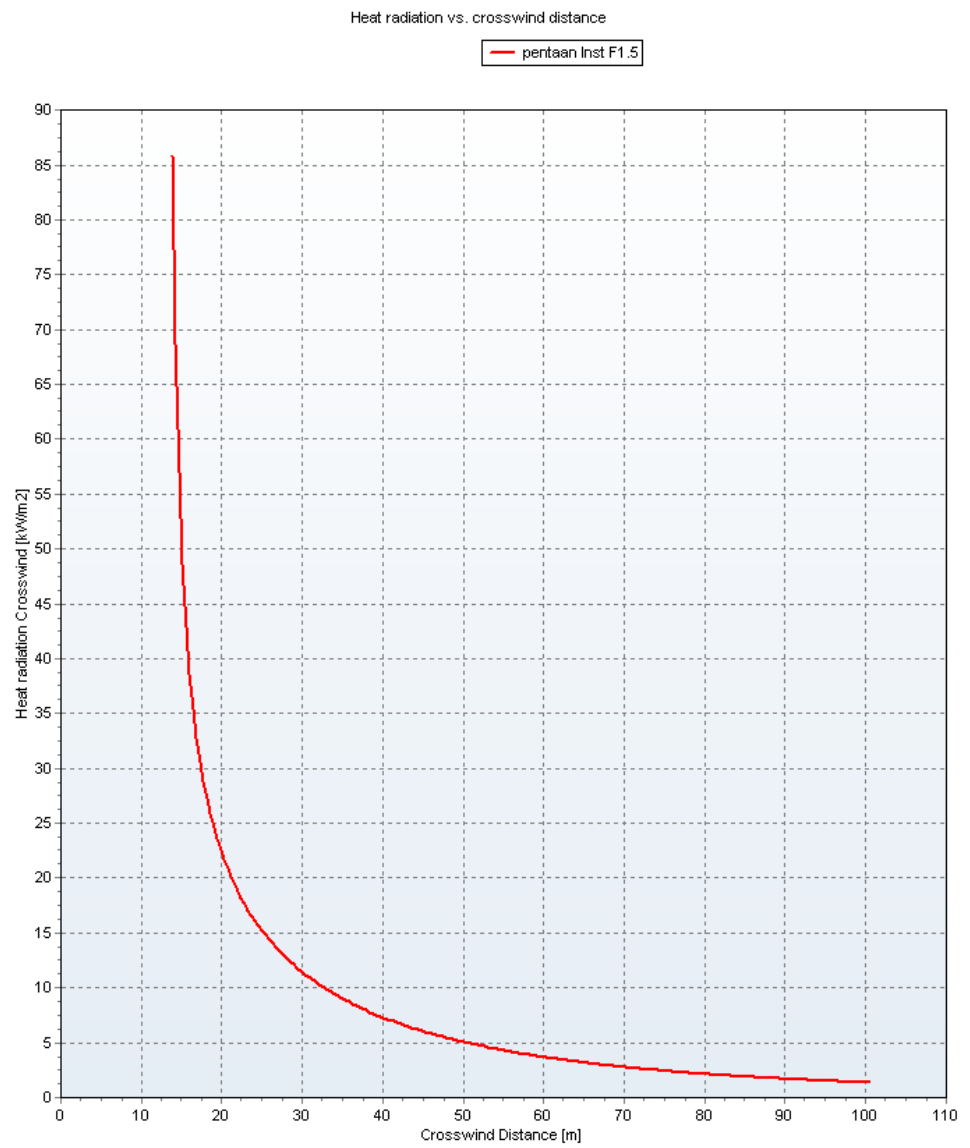


Figuur A.7 Ammoniak- maximale concentratie vs afstand- RIVM scenario

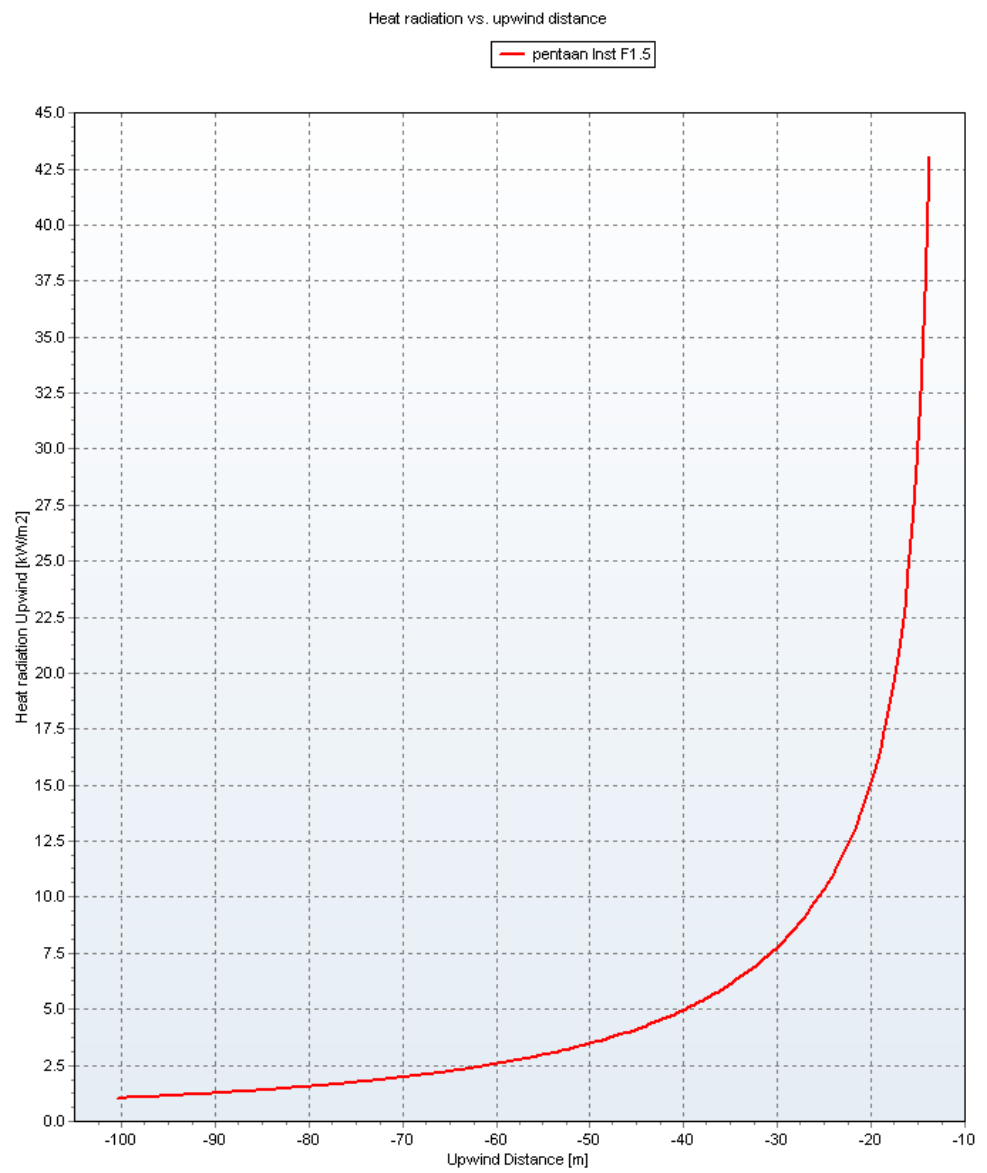
A.3 Pentaan



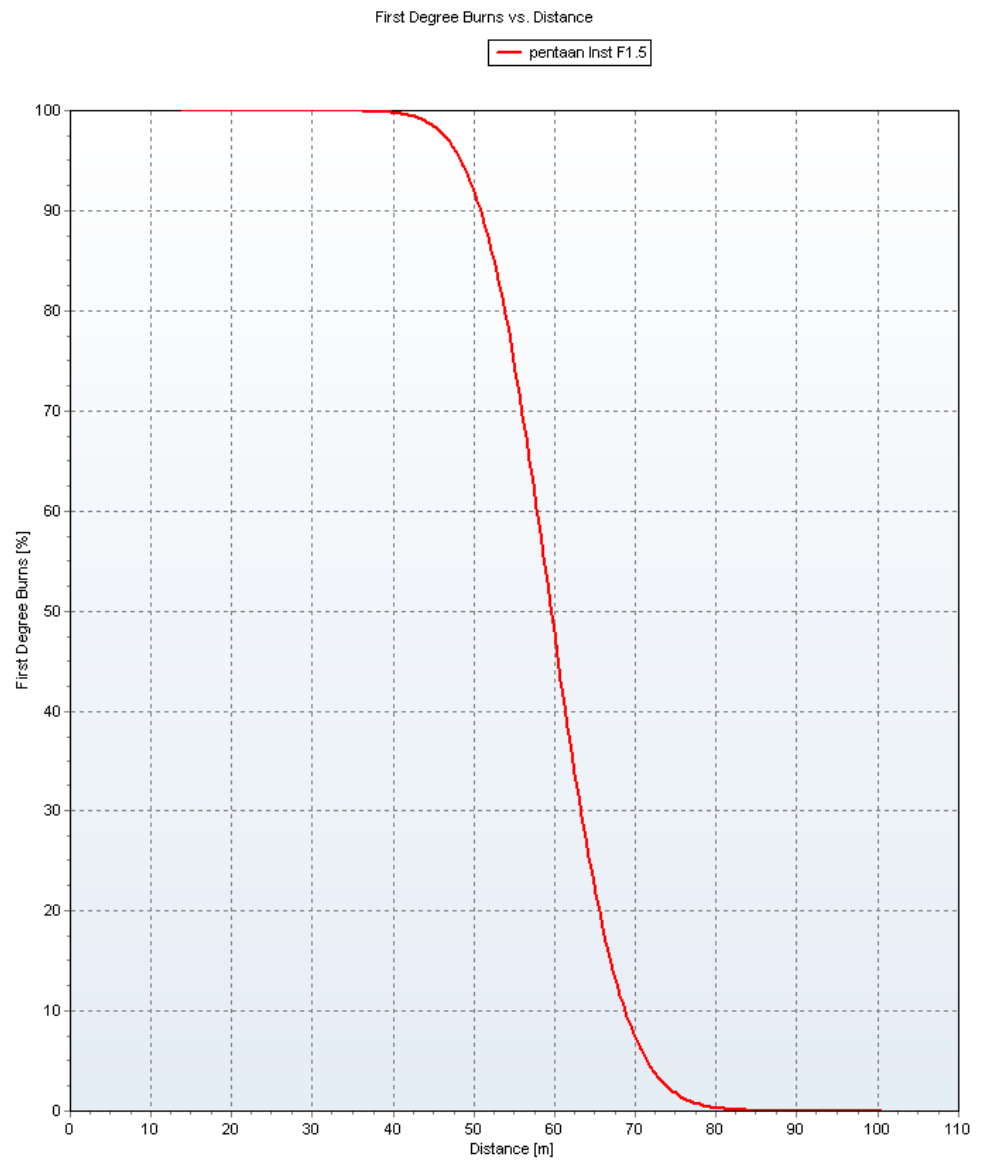
Figuur A.8 Pentaan- warmtestraling vs afstand



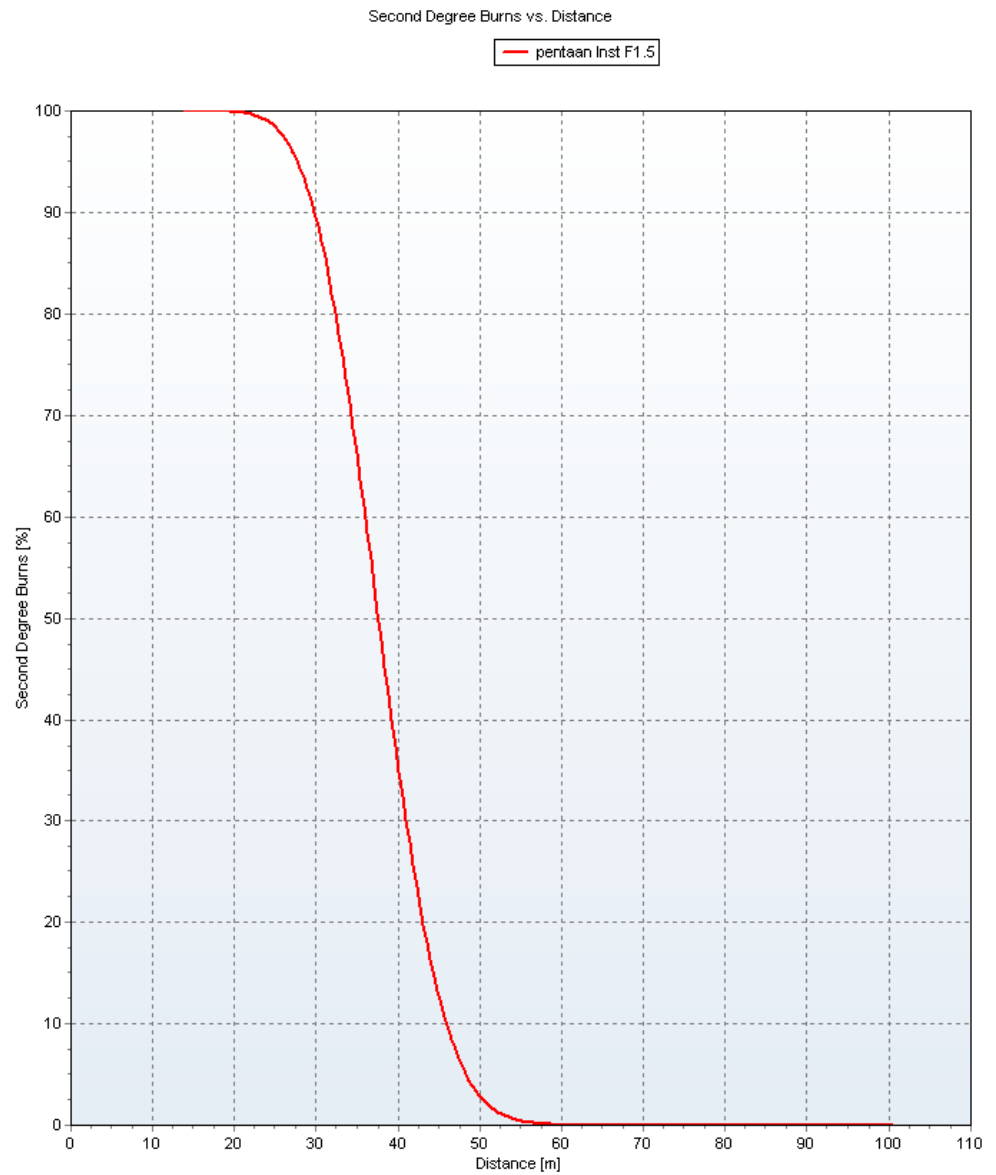
Figuur A.9 Pentaan- warmtestraling vs zijwindse afstand



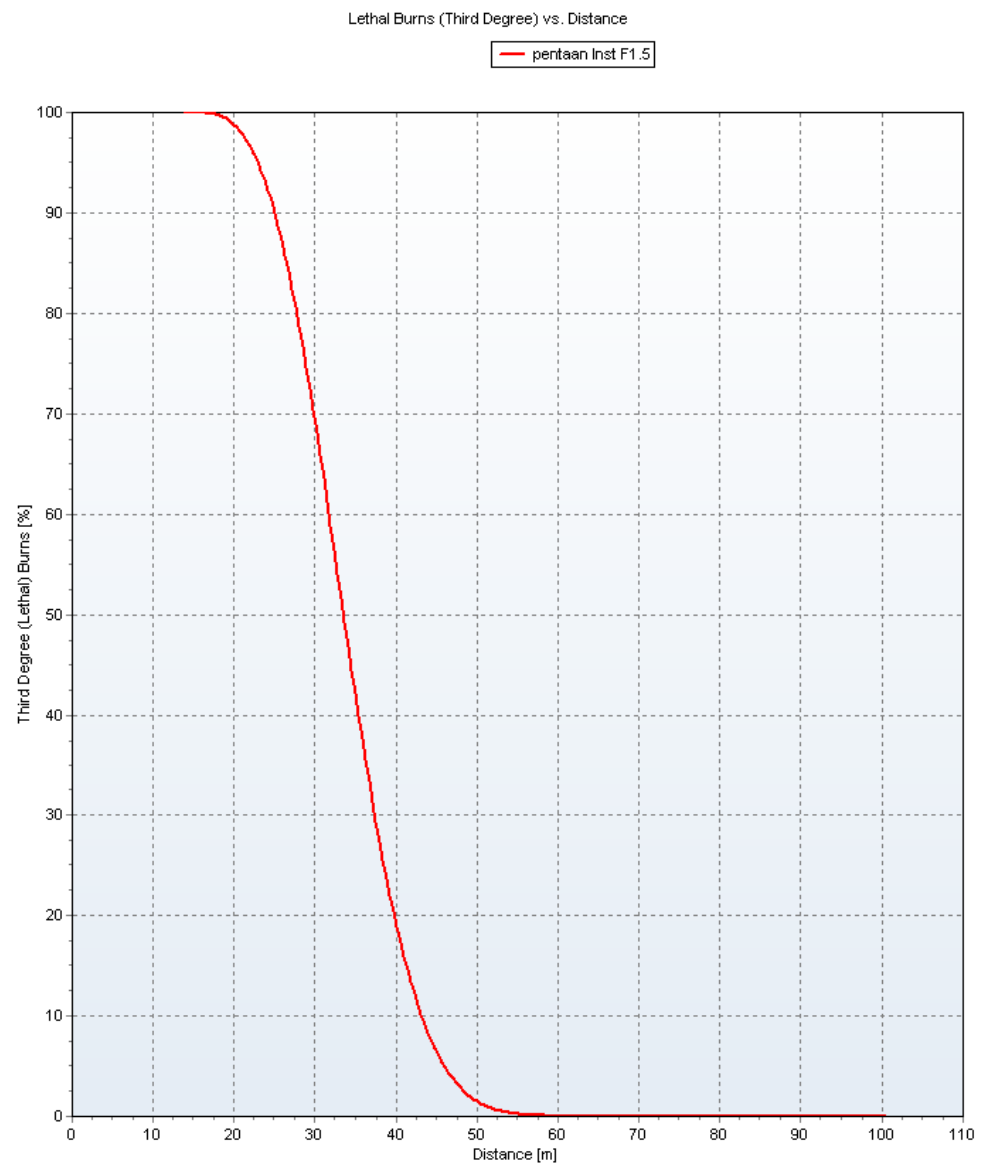
Figuur A.10 Pentaan- warmtestraling vs bovenwindse afstand



Figuur A.11 Pentaan- eerstegraads brandwonden vs afstand

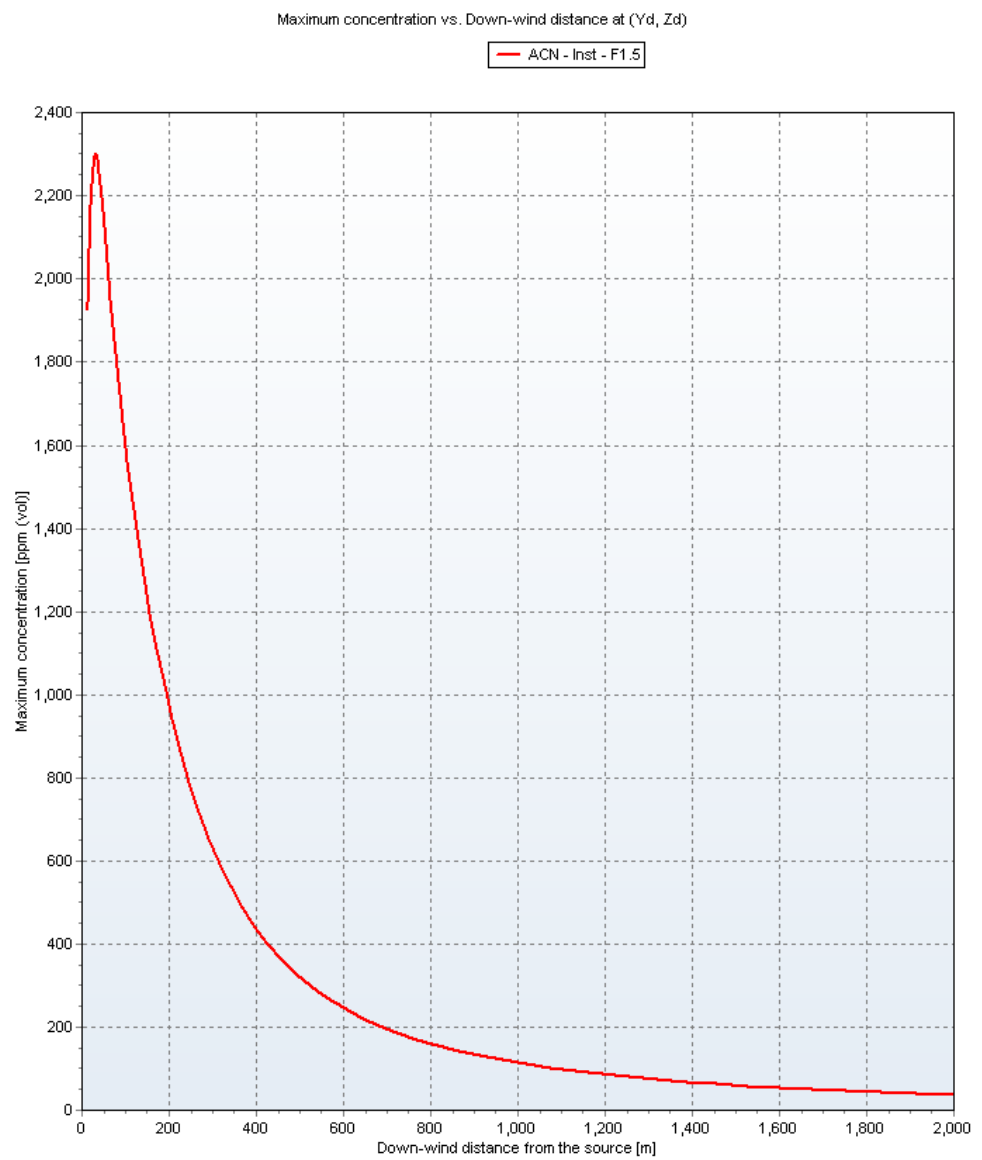


Figuur A.12 Pentaan- tweedegraads brandwonden vs afstand



Figuur A.13 Pentaan- letaal letsel (derdegraads brandwonden) vs afstand

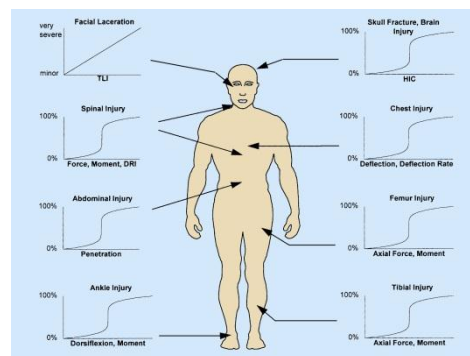
A.4 Acrylonitril



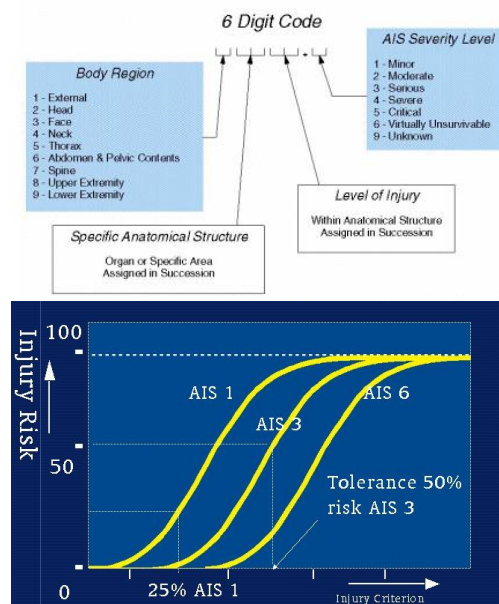
Figuur A.14 Maximum concentratie vs afstand- toxische vloeistof- acrylonitril

Bijlage B Letselbiomechica

Lichamelijke conditie, geslacht en antropometrie bepalen evenals de belasting of een fysieke repons van het menselijk lichaam tot letsel leidt. Vaak wordt gebruik gemaakt van letselrisico curves om een uitspraak te doen op de kans op letsel ten gevolge van een bepaalde belasting. Letselrisico curves worden opgesteld met behulp van gegevens uit experimenten met dieren en mensen alsook met behulp van gegevens uit case studies. Ze worden meestal opgesteld voor specifieke letsels voor verschillende lichaamsdelen/organen. Soms wordt er bij het opstellen van de risico curves ook rekening gehouden met leeftijd en/of geslacht, echter in de meeste gevallen is de dataset zo beperkt dat dit onderscheid niet mogelijk is. Een kwantitatieve indeling van de zwaarte van letsels kan uitgevoerd worden per lichaamsdeel met behulp van de Abbreviated Injury Scale (AIS) [39]. De AIS score loopt van 1-6, waarbij 1 staat voor zeer lichte letsels en 6 staat voor letsels die zeer kritiek zijn en meestal de dood tot gevolg hebben.



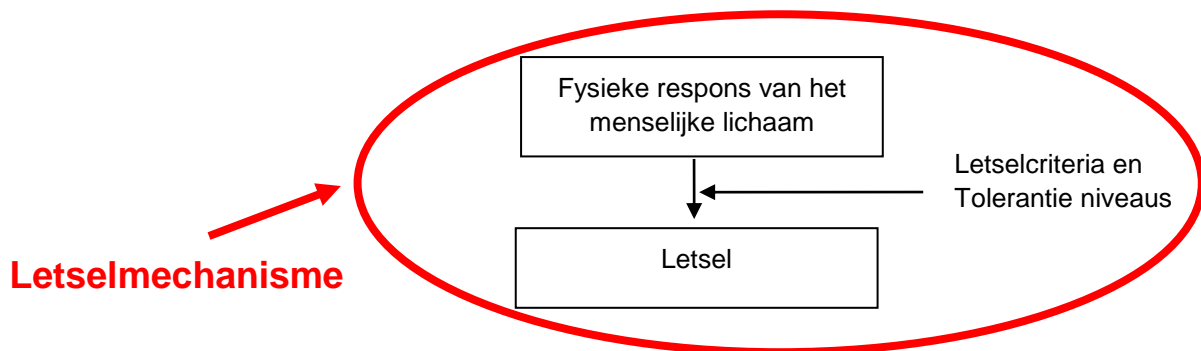
Abbreviated Injury Scale



Figuur B.1 Voorbeelden van letselrisico curves voor verschillende lichaamsdelen

In figuur B.1 zijn voorbeelden van letselrisico curves weergegeven. Langs de verticale as staat de kans dat het letsel optreedt, terwijl langs de horizontale as het letselcriterium is weergegeven. Een letselcriterium is een fysieke parameter of een samenstelling van deze parameters dat bij overschrijding van een tolerantie waarde een relatie vertoont met letsel. Zo is bijvoorbeeld uit onderzoek gebleken dat de axiale krachten in het onderbeen gerelateerd zijn aan botbreuken en kan men met behulp van beschikbare testdata letselrisico curves opstellen. Op basis van deze curves kan men voorspellen dat bij een kracht van x N er een kans is van $y\%$ op botbreuk. De terminologie die veel gebruikt wordt binnen het letselonderzoek is in Bijlage A toegelicht. Voor een uitgebreidere beschrijving van het opstellen van deze letselrisico curves wordt verwezen naar [61].

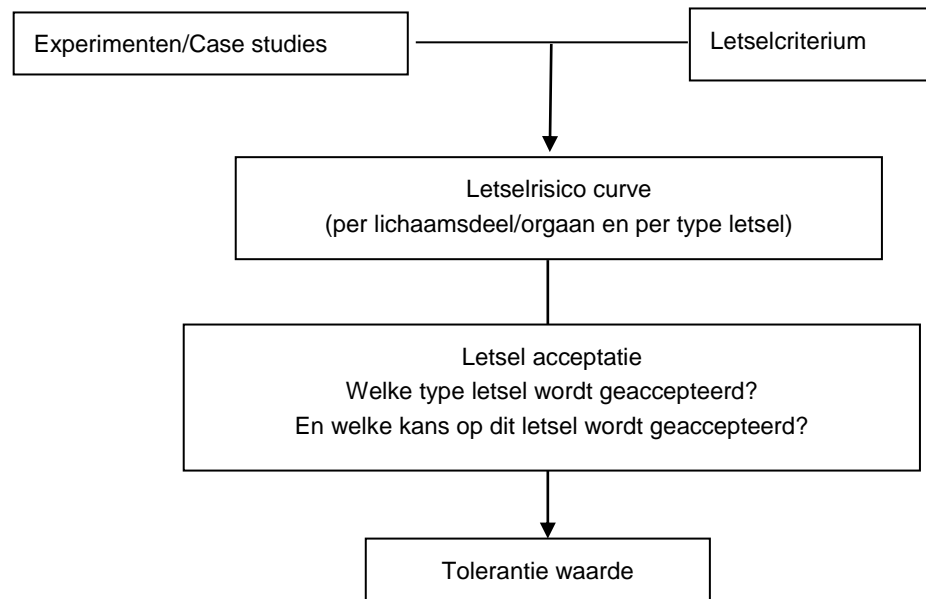
In het letselbiomechanica onderzoek spreekt men van letsel wanneer de fysieke respons van het menselijk lichaam een tolerantie niveau voor een bepaald letselcriterium overschrijdt (zie figuur B.1 en B.2).



Figuur B.2 Letselmechanisme

In het geval dat de letselrisico curves beschikbaar zijn, kunnen ze worden gebruikt om op basis van gegevens over de fysieke respons uitspraken te doen over de kans op letsel bij die bepaalde belasting (voor overzicht belastingen, zie figuur 2).

Daarnaast worden de letselrisico curves ook gebruikt om de tolerantiewaardes behorend bij een bepaald criterium vast te stellen. Deze tolerantie waardes kunnen dan opgenomen worden in een plan van eisen of in een test protocol om een pass/fail limiet aan te geven. Om deze tolerantiewaardes te bepalen moeten een paar vragen beantwoord worden: 'welk letsel wordt geaccepteerd' en 'welke kans op dat letsel wordt geaccepteerd?'. Een antwoord hierop kan bijvoorbeeld zijn: 1) geen acceptatie van letsel of 2) acceptatie van botbreuken en/of ligamentscheuring. En per letsel kan dan weer een kans gegeven worden die men accepteert voor dat specifieke scenario. Bijvoorbeeld 50% kans dat er geen letsel optreedt of 10% kans op botbreuken. De antwoorden op deze vragen verschillen per scenario en resulteren dus ook in andere tolerantiewaardes. Het proces behorend bij het bepalen van tolerantiewaardes is weergegeven in figuur B.3.



Figuur B.3 Flow schema voor bepalen van tolerantie waardes voor letsels

Een van de beperkingen van de letselrisico curves is dat ze opgesteld worden voor vrij specifieke situaties met een bepaalde belastingsamplitude met bijbehorende tijdsduur voor een bepaald type letsel voor een bepaalde bevolkingsgroep (leeftijd, geslacht, gezondheid, ras). Daarnaast is het van belang om de randvoorwaarden van de experimentele data te kennen om een waarde oordeel te kunnen geven over de te gebruiken letselrisico curves.

Hierboven is alleen de situatie geschetst dat er gekeken wordt naar de grens waarboven kans is op letsel. Bij het inzetten van niet letale wapens, afhankelijk van de te gebruiken techniek wil men echter meer weten met betrekking tot kans op letsel. Men is geïnteresseerd in een minimum waarde voor een criterium waarboven er een bepaald percentage kans is dat er bepaald type letsel optreedt en een maximum waarde voor een criterium waarboven er een bepaald percentage kans is op een ander (meestal ernstiger) type letsel. Voor deze beide tolerantiewaardes tezamen wordt de term bandbreedte gebruikt. Voor zover bekend is er tot op heden nauwelijks studie gedaan naar bandbreedtes en zijn er alleen kwalitatieve gegevens beschikbaar.

De gebruikte definities in dit rapport zijn deels gebaseerd op een inventarisatie studie op het gebied van personele kwetsbaarheid [66] en zijn hieronder weergegeven.

Dreiging = Threat and Hazard

Een natuurlijke omstandigheid of technologische handeling die het potentieel heeft om personen (tijdelijk of permanent) te onderdrukken of uit te schakelen door (tijdelijk of permanent) letsel toe te brengen.

Dit is gebaseerd op [67]

A threat or hazard is a natural or technology induced action that has the potential to suppress or incapacitate the dismounted soldier system.

Dreigingsmechanisme

Het mechanisme dat ontstaat ten gevolge van bijvoorbeeld een explosie van een granaat, mijn of afvuren van een kogel. Voorbeelden van dreigingsmechanismen zijn: perforatie (bijvoorbeeld scherf, projectiel), impact, druk, schok.

Biomechanische respons

De mechanische en fysiologische respons van het menselijke lichaam ten gevolge van de belasting.

Letselmechanisme

Het mechanisme dat zich in het menselijke lichaam afspeelt en letsel veroorzaakt. Vergelijkbaar met het schadeproces in de kwetsbaarheid letaliteitstudies van platformen.

Bescherming

Hieronder worden de beschermende onderdelen van een persoonlijke uitrusting bedoeld. Zoals bijvoorbeeld helm, bril, vest etc.

Letselcriteria

Fysieke parameters, of een samenstelling van deze parameters die bij overschrijding van een tolerantie waarde een relatie vertonen met letsel.

Tolerantiewaardes/niveaus

Een waarde (drempelwaarde) voor een criterium waarboven er een bepaald percentage kans is op een bepaald type letsel.

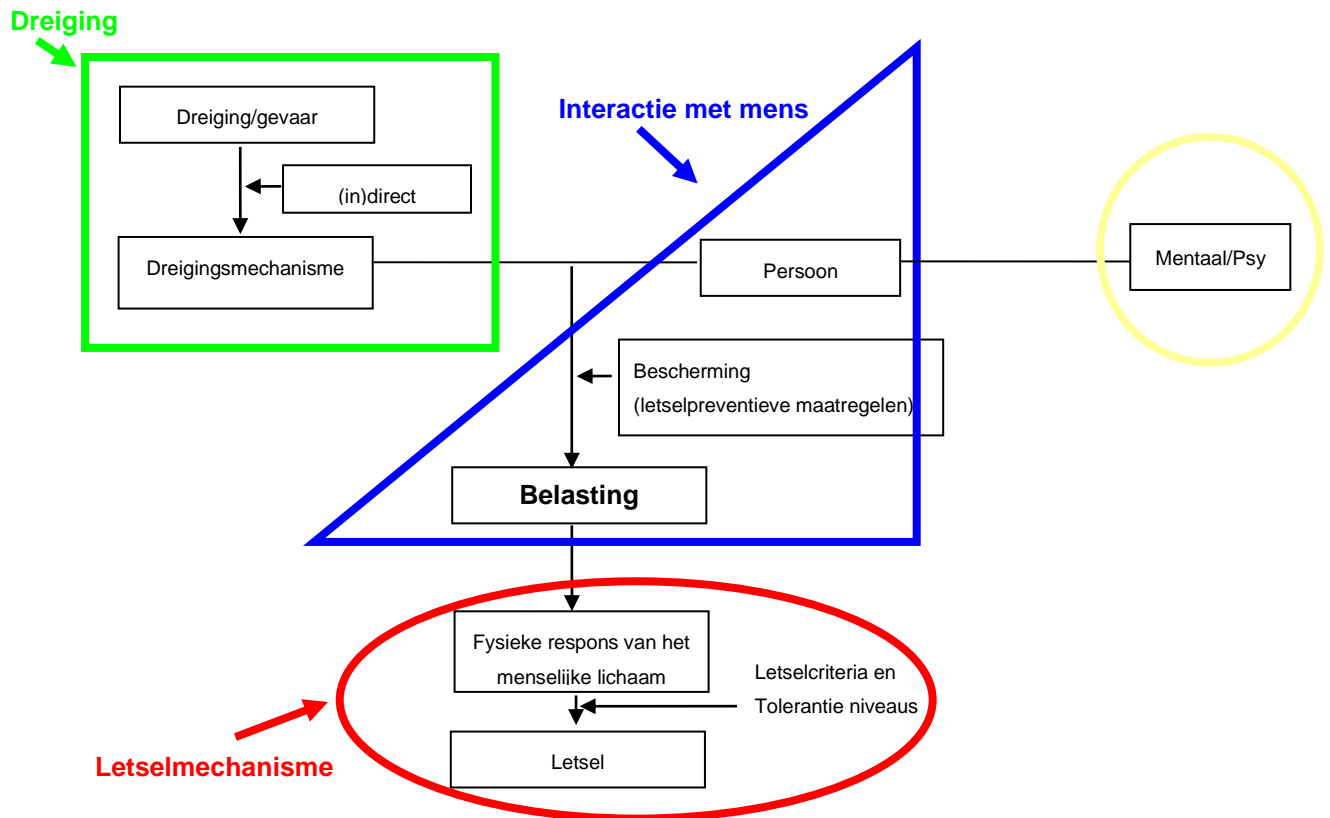
Bandbreedte

Een minimum waarde voor een criterium waarboven er een bepaald percentage kans is dat er bepaald type letsel optreedt en een maximum waarde voor een criterium waarboven er een bepaald percentage kans is op een ander (meestal ernstiger) type letsel. De terminologie bandbreedte wordt nu alleen gebruikt in de NLW studies, en dan alleen nog maar kwalitatief.

Bijlage C Methoden Bepaling Fysieke Toestand Mens

In figuur C.1 is een schema weergegeven van de relaties tussen dreiging, belasting en letsel [49b]. Dit schema noemen we het Threat-Load-Injury Model (TLI model). Er wordt verwezen naar bijlage B voor de definities van de gebruikte terminologie.

Ondanks dat men voor het veld van de externe veiligheid eerder spreekt in termen van gevaar dan van dreiging, is voor deze uitleg over de letselbiomechanica de term dreiging hier gehandhaafd. Dit is bewust gedaan, om consistent te blijven met de aanpak zoals in het verleden is opgezet voor de explosie en munitie-uitwerking op de mens [49].



Figuur C.1 Threat-Load-Injury Model (TLI model) [49b]

Één dreiging kan leiden tot verschillende vormen van dreigingsmechanismen, die weer kunnen resulteren in verschillende belastingen op het lichaam. Deze verschillende belastingen kunnen weer resulteren in verschillende letselmechanismen. Ook kunnen verschillende dreigingsmechanismen resulteren in vergelijkbare belastingen op het menselijk lichaam. Eén dreigingsmechanisme kan resulteren in verschillende belastingen op het lichaam, dit is onder andere afhankelijk van het type bescherming dat men draagt.

Zo zullen fragmenten zorgen voor penetrerend contact op het onbeschermd lichaam, terwijl bij een beschermd lichaam er een stompe impact kan ontstaan. Ook kunnen de belastingen zorgen voor verschillende typen letsel. Uit het dreigingsmechanisme blast komt de belasting overdruk voort dat letsel aan het gehoor kan veroorzaken, maar ook andere type letsels aan de gas gevulde organen.

In Tabel C.1 is ter illustratie een globaal overzicht gegeven van het dreigingsmechanisme en wat dit voor belasting geeft op het menselijk lichaam.

Tabel C.1 Dreigingsmechanisme versus belasting op het menselijke lichaam. Deze tabel is illustratief en dan ook niet volledig. Het grijze vlak van de tabel ligt buiten de scope van het project

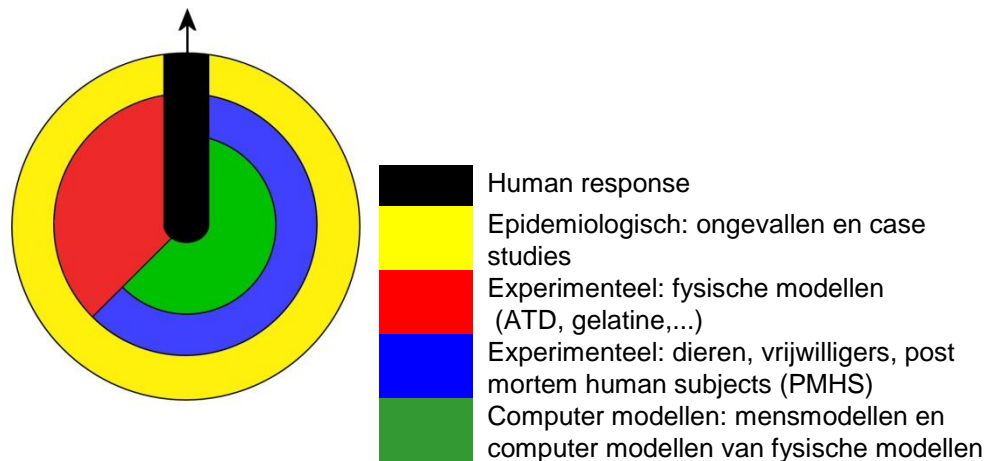
Dreigingsmechanisme	Belasting op het menselijke lichaam						
	Biomechanisch				Overig		
	Penetrerend contact	Niet penetrerend contact	Versnelling menselijk lichaam	Overdruk/Schok/druk	Brand/ Temperatuur /Warmtestraling	Microgolven	Infrarood/laser/zichtbaar licht
Penetrerend projectiel	x	x					
Niet penetrerend projectiel		x					
Niet penetrerende brokstukken		x	x				
Versnelling		x	x				
Slag/stoot/duw		x					
Blast		x	x	x			
Steek/prik/snijden	x	x					
Temp/Vuur					x		
Electromagnetische straling					x	x	
Laser							x
Lichtflits							x
Geluid				x			
...							

In figuur C.1 is er van uitgegaan dat er één soort belasting tegelijkertijd op het lichaam uitgeoefend wordt. Echter in de praktijk zal dit zelden het geval zijn. Zoals hierboven aangegeven is, kan één dreiging leiden tot meerdere dreigingsmechanismen en ook tot meerdere belastingen op het menselijke lichaam. Deze belastingen kunnen tegelijkertijd optreden als ook achtereenvolgend. Dit betekent dat er rekening gehouden dient te worden met gecombineerde- en synergie-effecten. Het is namelijk mogelijk dat door een bepaalde belasting een daling van het tolerantie niveau op kan treden voor bepaalde type letsels, zodat er een grotere kans bestaat op andere letsels dan men zou verwachten in het geval van een enkele belasting.

Met behulp van modellen kan er inzicht verkregen worden in de personele kwetsbaarheid, de fysieke toestand van de mens. Er zijn verschillende typen modellen.

- Numeriek: modellen van de mens, numerieke modellen van de experimentele modellen.
- Experimenteel: dieren, menselijke vrijwilligers en kadavers, experimentele modellen.
- Epidemiologisch: Ongevallen, case studies.

De epidemiologische modellen benaderen het beste de werkelijkheid. Deze echte ongevallen zijn per stuk onderzocht, of samengenomen voor statistisch onderzoek. Ondanks het goed kunnen definiëren van het ontstane letsel is het vaak niet mogelijk om de precieze toedracht, de oorzaak van het letsel te achterhalen. De dreiging is soms deels bekend, maar welke belastingen in welke mate opgetreden zijn op het lichaam en wat voor gevolgen dit heeft voor het inwendige van het lichaam, is vaak niet te achterhalen. Met behulp van computer modellen is het mogelijk de randvoorwaarden te definiëren en te variëren en de uitgangsparameters te bepalen. Echter de uitkomst is afhankelijk van de geldigheid van het model. Zo zijn er experimenten nodig om de computer modellen op te bouwen en van de juiste eigenschappen te voorzien. Ook zijn er experimenten nodig om de computermodellen te toetsen voor het specifieke belastingsgebied waarvoor ze gebruikt worden. Daarnaast is het dan met de computer modellen weer mogelijk parameters te bestuderen die experimenteel niet te bepalen zijn. Bijvoorbeeld de spanningen en rekken die in de hersenen voorkomen zijn experimenteel zeer moeilijk te meten. Door een computermodel te maken dat globaal gevalideerd is, is het daarna mogelijk om met het computermodel de spanningen en rekken te bepalen. Deze spanningen en rekken kunnen weer aan letsel gerelateerd worden.



Figuur C.2 Samenhang verschillende modellen.

In figuur C.2 is de samenhang tussen de verschillende modellen weergegeven. De zwarte taartpunt is de respons van het menselijk lichaam op een bepaalde belasting. Dit kan dus bepaald worden met verschillende modellen. De buitenste schil zijn de epidemiologische studies die een basis vormen voor de experimentele studies met de experimentele modellen (rood) en de experimenten met dier en mens (blauw). De experimenten met dier en mens vormen overigens een basis voor de experimentele modellen, want de experimentele modellen voorspellen de respons van de mens. Ditzelfde geldt voor de numerieke modellen. Er bestaan computermodellen die de respons van het experimentele model voorspellen, maar er bestaan ook modellen die rechtstreeks gebaseerd zijn op mens of dier en dus rechtstreeks die respons voorspellen.

Een combinatie van de uitkomsten van al deze modellen draagt bij aan de kennis van de menselijk respons op een bepaalde belasting. Uiteraard moet in de situatie van het voorspellen van de beschermde mens, het beschermingsconcept ook meegenomen worden in het model (dan wel experimenteel, dan wel gemodelleerd in de computer).

Bijlage D Letselmodel structuur

Onderstaande is een kopie uit rapport TNO report DV2009 IN039 Horst, M.J. van der, Verhagen, Th.L.A., Simons, M, Bokkers, W.Chr., Huisjes, H. (2009) Human effect taxonomy (HET) implementation of injury-capability relationship. TNO report DV2009 IN039, Rijswijk, the Netherlands.

In the past, models were developed to predict the lethality of a threat or the vulnerability of a human in case of a variety of threats. These models are used to predict the probability to incapacitate the enemy, whereas for the own troops the focus is on vulnerability and protection. This results in conservative methods: for the incapacitation of the enemy one has to be sure that the incapacitation is sufficient whereas for the own troops: i.e. take the worst scenario has to be used to be sure that the protection is sufficient.

The required level of detail, aggregation of results and metrics to be used of a model depends on the questions to be answered. For example the operational staff is dealing with other questions than the ammunition procurement department, or the medical support.

The HET layer approach can be used to show the different types of complexity of the models to predict lethality and vulnerability. Three types of models are distinguishable (Figure D.1):

A type models focus on the biomechanical response of the human body;
B type models focus on the injury probability of the human being;
C type models focus on the incapacitation probability.

The models that predict the human biomechanical response caused by the ammunition impact (model A) are the most detailed models. To predict the injury probability the human response needs to be compared with injury criteria and tolerance levels (model A/B). The B type models predict the injury probability immediately, based on experiences and statistical studies. In this case the exact human response remains unclear. To predict the incapacitation (model B/C and model A/B/C) criteria and tolerance levels are needed. The C type models are more general and predict directly the incapacitation of the human. The model developers used general knowledge on injury probability and statistical studies of real injuries to derive incapacitation criteria. However, the C type models do not give insight in the human response or the specific injury probability anymore, only incapacitation results are presented to the users.

The C types models give insight in the incapacitation probability, and therefore can be used when attention is focused on 'military force' and exact information on the human response and typical wounds to be expected is not needed. B type models are needed to predict the injury probability. The most detailed method to predict the incapacitation is following the A type models A, A/B and A/B/C. These models give an idea of the human response and the type of injury to be expected. This information can be used to develop better protection for the human body. The A type models can also be used for the medical aid. The last step is the prediction of the incapacitation which gives information to predict the 'military force'.

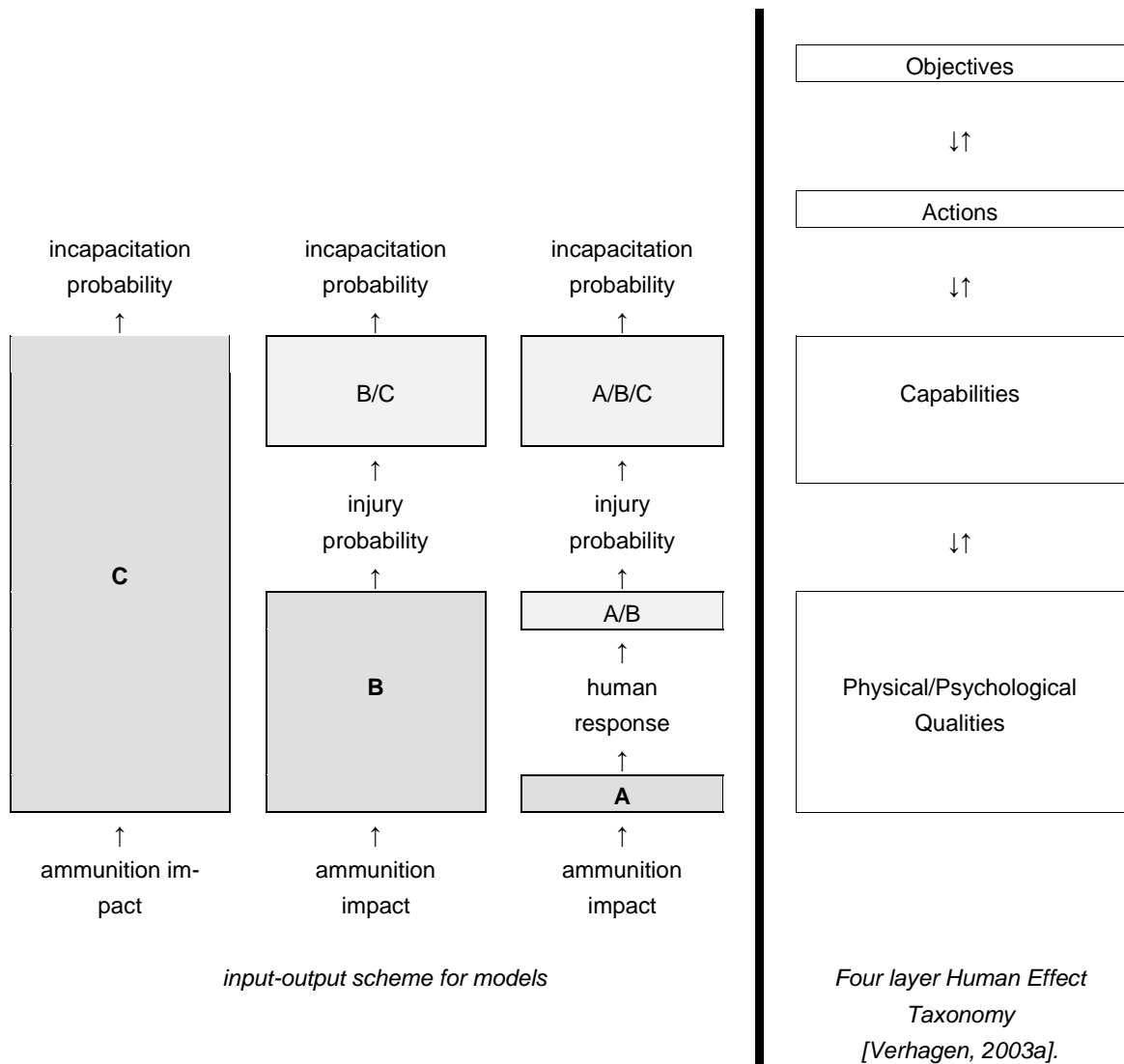


Figure D.1 Lethality and vulnerability model types

Table D.1 gives an overview of the available computer models for the different threats that can be used for the development of physical layer of HET. So far only the penetration module is implemented in HET (see next section).

Table D.1 : Overview of available injury models which can be used in the future for HET

Threats		Body part/tissue	Model type ^a	References
Overpressure	Primary blast effects	Auditory organs	B	Meijer, 2008 Horst, 2008
		Non auditory internal organs	A/B	
Thermal	Burn injuries	Skin	B	Smit, 2006, Horst, 2008
Blunt impact	Debris (secondary blast effects)	Head, abdomen	B	Horst, 2008
	Whole body displacement (tertiary blast effects)	Head	A, A/B	Smit, 2008, Horst, 2008
	KE-NLW projectiles ^b	Head, thorax, abdomen	A, A/B	Horst, 2009 Philippens, 2010a,b Meijer, 2009b
Penetration	Metal fragments ^c	Entire body	A, A/B, C	Verhagen, 2001
	Glass	Entire body	A, A/B	Horst, 2008
	Bullets	Entire body	A, A/B	Verhagen, 2009
	KE-NLW projectiles ^b	skin	A, A/B	Meijer, 2009b
Acceleration effects	for occupants in crash or IED/mine attack ^b	Entire body	A, A/B	Horst, 2002, NATO HFM 2007

^a refers to model type as shown in Figure above

^b the available models focus on experimental work, or on detailed computer models, which cannot be used directly for HET at the moment

^c output automatically implemented in HET

The injury models as mentioned in Table D.1 give their output on an AIS level. Although originally intended for impact injuries in motor vehicle accidents, the revised AIS allows its application now also for other injuries like burns, blast and (non) penetration injuries [39]. Depending on the detail of the injury models, the AIS will be available on tissue level, or on body part level. The AIS code ranges from 0 to 6, corresponding to an increase in seriousness of the injurious effect from minor to maximum severity (currently untreatable) (see Table D.2).

Table D.2: The Abbreviated Injury Scale [39].

AIS	Injury Description
1	Minor
2	Moderate
3	Serious
4	Severe
5	Critical
6	Maximum (currently untreatable)
9	Unknown

Bijlage E Simplified single point injury model

Onderstaande tekst is gekopieerd uit Doormaal, J.C.A.M, Horst MJ, van der (2010)
An approximation of the Axelsson model for quick injury predictions, 21th
Symposium on Military Aspects of Blast and Shock, 2010, Jerusalem, Israel.

Short description of Axelsson Model

The Axelsson model is a single degree of freedom system in which chest wall response (displacement, velocity and acceleration) and intrathoracic pressure can be calculated for different blast loads (see Figure E.1).

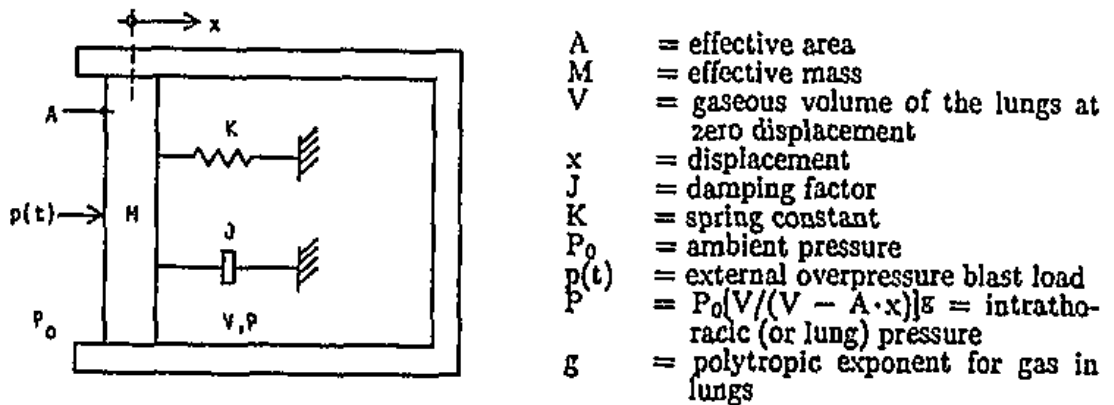


Figure E.1: Mathematical model of the thorax according to Axelsson [40]

The mathematical formula for the model is expressed by

$$M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + J \cdot \frac{dx}{dt} + K \cdot x = A \cdot \left[p(t) + P_0 - \left(\frac{V}{V - A \cdot x} \right)^g \cdot P_0 \right] \quad (1)$$

The model parameters are given by Table 1.

Table E.1: Model parameters for a 70-kg body and mass (m) scaling factors

Parameter	Units	70-kg body	Scaling Factor
M	kg	2.03	(m/70)
J	Ns/m	696	(m/70) ^{2/3}
K	N/m	989	(m/70) ^{1/3}
A	m ²	0.082	(m/70) ^{2/3}
V	m ³	1.82 x 10 ⁻³	(m/70)
g		1.2	

The way the model must be used is the following:

- Determine the four blast loads according to or in correspondence with the BTD-method (i.e. Blast Test Device, a cylinder representing the human body with four pressure gauges at front, rear and both sides, see Figure E.2 and e.g. [48]). The full pressure-time curves are needed.
- Apply the mathematical model of Axelsson (Equation 1) for each of the four blast loads and determine the maximum velocity, here named the Axelsson velocity (v_{Axelsson}) for each load.
- Calculate the average of the four velocities. This average is called the Chest Wall Velocity Predictor (CWVP).
- Translate the CWVP into an injury level with use of Equation 2.

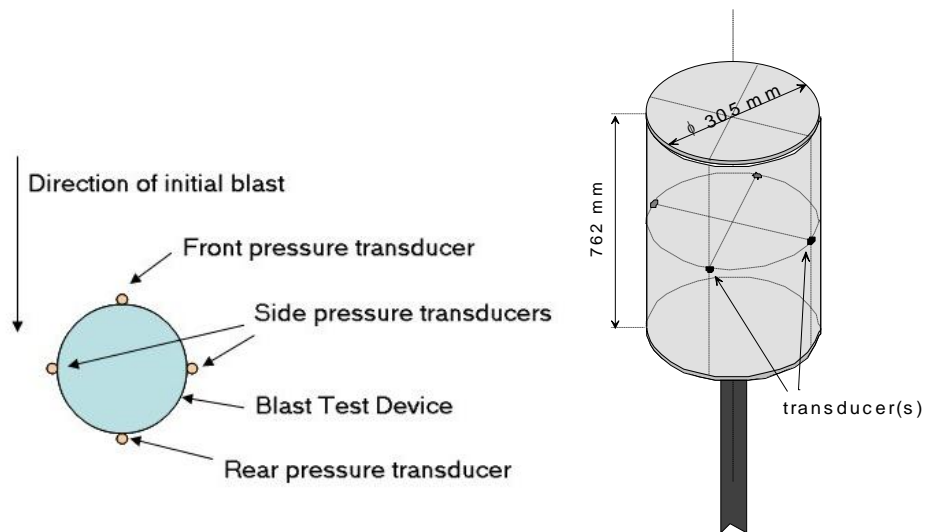


Figure E.2: Blast Test Device [48]

The Axelsson model has been developed for free field Friedlander blast waves. The chest wall velocity predictor (CWVP) was chosen as a measure for the degree of injury as this parameter appeared to have the best correlation with the lethality levels from the Bowen iso-injury curves for a human with the long axis of the body parallel to the blast wind [6]. These levels are shown in the first two columns of Table E.2. The equation to translate the CWVP to an ASII-level (Adjusted Severity of Injury Index) is based on a few tests with complex blast from small charges (0.114-1.361 kg) in a closed environment with sheep as witnesses for the injury level (see [2]). The equation is given by:

$$ASII = (0.124 + 0.117 \cdot CWVP)^{2.63} \quad (2)$$

Figure E.3 illustrates the large scatter of the test results around this fit. Table E.2 shows that the fit complies with the original levels based on the Bowen curves.

Table E.2: Injury levels, comparison of free field fit based on Bowen [Bass, 2006] and ASII-fit based on sheep tests

Bowen Lethality level	CWVP (m/s)	ASII-fit from sheep tests		
		Injury level	ASII	CWVP (m/s)
TLD (Threshold)	3-4.5	No injury	0.0-0.2	0.0-3.6
		Trace to slight	0.2-1.0	3.6-7.5
		Slight to moderate	0.3-1.9	4.3-9.8
LD1 (1% lethality)	8-12	Moderate to extensive	1.0-7.1	7.5-16.9
LD50 (50% lethality)	12-17	> 50% lethality	> 3.6	> 12.8

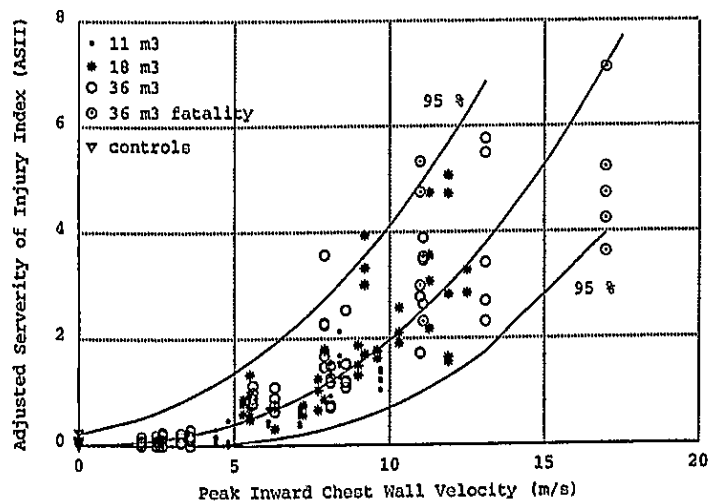


Figure E.3: Fit for the Adjusted Severity of Injury Index by Axelsson [2]

Discussion Regarding The Axelsson Model

From the description in the previous section, it can be observed that the Axelsson model has been built on the following concepts, which include simplifications and deviations from the real physical process and therefore can introduce errors:

- The human body can be represented by the BTD. However, the BTD is a cylinder, of which all sides can be freely loaded, whereas the human body is curved and has arms which shield the side of the body.
- The overall load can be represented by the load at four specified points, namely front, rear, and both sides. For free field blast waves, this is a logical choice. It also has been observed in tests by TNO [43] that a 45 degrees rotation of the BTD does not give significant differences in the predicted CWVP. However for complex blast fields, where blast can reflect back from any angle, maybe another angle would be a better choice for finding a representative set of loads. In two of the tests by TNO [43], the configuration was not exactly free field, but still close to free field. In these tests, differences of 5 to 10% in CWVP's have been observed. It is not sure whether this is an indication that the BTD-orientation becomes even more relevant for more complex blast fields.

- The response of the lungs or the gas filled organs is represented by the average of the four velocities, predicted by the defined SDOF-system under the four separate blast loads. This step contains three simplifications or assumptions:
 - The SDOF-system itself is of course a simplification of the real chest wall. As SDOF-approaches are standard practice in blast response prediction this simplification is not further discussed, although particularly the values for the SDOF-characteristics could be subject to discussion.
 - A major discrepancy with the real physical process is the separate treatment of the four load signals on the front, the two sides and the rear of the human body or the BTM. Each of the loads is applied to an undisturbed system. In reality the loads act more or less simultaneously on one system, and therefore they influence each others response, as the system is nonlinear.
 - Another aspect of the approach which has no physical basis is the use of the chest wall velocity predictor as measure for the degree of injury. It has been chosen as it appeared the most convenient parameter, considering the correlation with the Bowen iso-injury curves. Indeed, velocity is thought to be a relevant parameter for damage of the air-filled organs. Under rapid motion, the air in the organs cannot flow out fast enough, and thus damage is caused to the organs. Therefore, in many cases the velocity might be a good indicator for the injury level. However, it is believed that the velocity is not the single relevant parameter. Deformation is thought relevant as well. With only the velocity not all situations are thought to be predicted well. For instance, a possible cumulative effect is not properly handled. Neither is collapse of the organs under a relatively slow load, from e.g a deflagration.

These critical remarks concerning the Axelsson model are no reason to disqualify the model, but they certainly are a warning for application of the Axelsson model beyond its validated regime. As far as the authors know, the Axelsson model has not been verified for other load cases than those mentioned before (i.e. Bowen's injury curves, and sheep tests with small charges in an enclosed environment).

Approximation procedure for shock load with single PEAK

As solving a differential equation, such as the Axelsson model, is often not an option in quick calculation tools, a simplified mathematical procedure has been developed, similar to the DLF-method for structural response. This procedure is an approximation of the real Axelsson model.

The approximation procedure for a shock load with single peak is presented below. The approximation procedure for a shock load with more peaks which represents the most simple situation of complex blast, is still under development [45].

The approximation procedure for a shock load with single peak is presented below procedure is based on the assumption that a shock load can be approximated by a triangular shape with an instantaneous rise, as is common practice in shock load theory. Then there exists a unique relation between the Axelsson velocity $v_{Axelsson}$ and the load characteristics (peak overpressure p_{peak} and impulse i), as given by Equation 3 and Equation 4 and shown by Figure E.4. These correlations have been found by curve fitting.

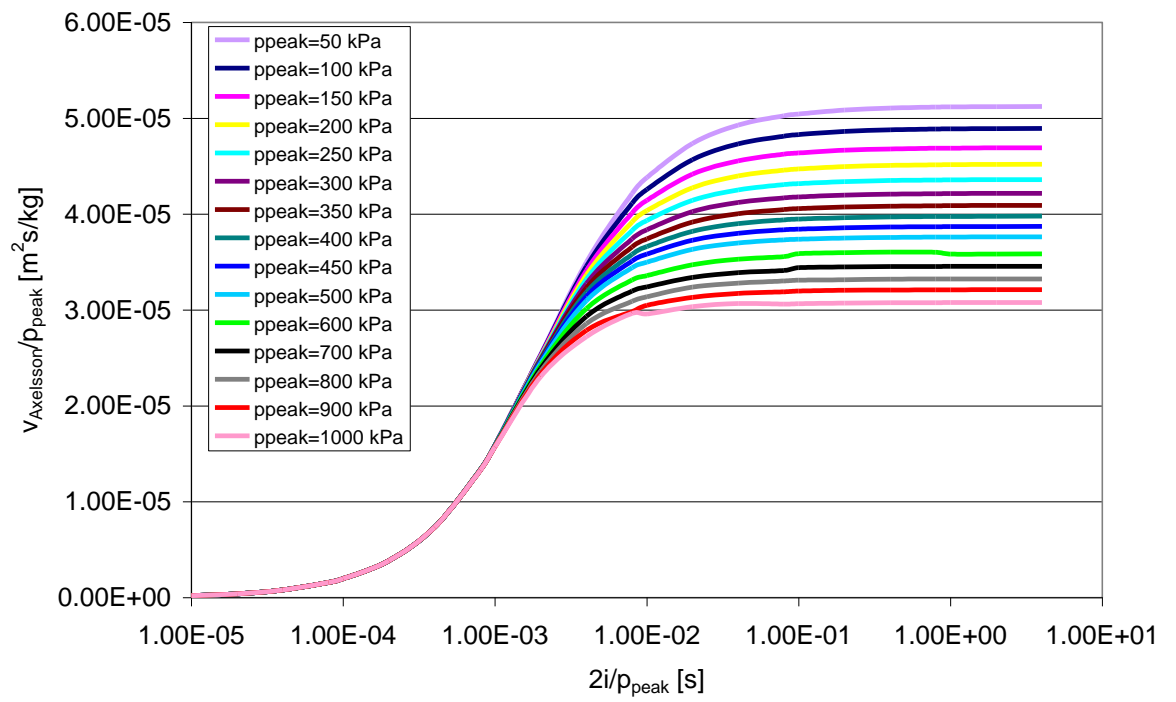
$$\frac{v_{Axelsson}}{p_{peak}} = \begin{cases} -4.1863 \cdot \left(\frac{2 \cdot i}{p_{peak}}\right)^2 + 2.003 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2 \cdot i}{p_{peak}} + 7.982 \cdot 10^{-9} & \text{if } \frac{2 \cdot i}{p_{peak}} \leq 0.001 \text{ s} \\ \left(\frac{4.5 \cdot 10^{-5}}{1 + e^{\frac{-6.806 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot i}{p_{peak}}\right)}{0.845}}} - 2.1147 \cdot 10^{-5} \right) \cdot f(p_{peak}) + 1.589 \cdot 10^{-5} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

With

$$f(p_{peak}) = -7.3786 \cdot 10^{-19} \cdot p_{peak}^3 + 1.8576 \cdot 10^{-12} \cdot p_{peak}^2 - 2.0727 \cdot 10^{-6} \cdot p_{peak} + 1.579 \quad (4)$$

and with i in Pa·s, p_{peak} in Pa and $v_{Axelsson}$ in m/s.

So, with this approximation procedure it is sufficient to know only the peak overpressure and the impulse of the loading in order to estimate the Axelsson velocity $v_{Axelsson}$.



Bijlage F Blast letsel in AIS schaal

De output van het Axelsson model voor overdruk effecten is in CWVP dat weer gerelateerd is aan de ASII letselschaal (zie tabel F.1) [Axelsson, 1996]. Het model voorspelt letsel aan longen en ingewanden.

Tabel F.1: relatie output model en letselschaal

Injury level	Output Axelsson model in ASII (-)	Output Axelsson model CWVP in (m/s)
No injury	0.0 – 0.2	0.0 – 3.6
Trace to slight	0.2 – 1.0	3.6 – 7.5
Slight to moderate	0.3 – 1.9	4.3 – 9.8
Moderate to extensive	1.0 – 7.1	7.5 -16.9
> 50% lethality	> 3.6	> 12.8

In internationaal verband zijn de letsels voor longen en ingewanden ook gescoord volgens de AIS [HFM090/TG25, 2007]. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in tabel F.2.

Tabel F.2 letsel niveaus en bijbehorende AIS scores voor de longen [48]

Level	Injury description	AIS level
Negative	No injury.	0
Trace	Scattered surface petechiation or minimal ecchymoses involving less than 10% of the organ.	3
Slight	Areas of extensive petechiation to scattered parenchymal hepatization involving less than 30% of the organ.	3-4
Moderate	Areas of hemorrhage ranging from isolated parenchymal contusions to confluent hepatization involving less than 30% of the lungs.	3-4
Extensive	Isolated parenchymal contusions and confluent hepatized regions encompassing areas equal to or greater than 30% of the organ.	4-5

Zoals zichtbaar in tabel F.1 en F.2 zijn er qua output van het model gebieden die elkaar overlappen. Voor de modellen binnen dit project is het gewenst om harde scheidslijnen te definiëren. Op basis van discussies met medici (nationaal en internationaal) zijn we tot de volgende indeling gekomen (zie tabel F.3 en F.4). Er is gekozen om een model voor de borstkas en een model voor de buik te maken. Voor beide modellen is gekozen dat de maximale AIS score van de organen die behoren bij dat lichaamsdeel de letselernst bepalen. Dit is een conservatieve aanname, en kan daarom resulteren in hogere letselernst dan er in de realiteit zou kunnen optreden.

Zoals zichtbaar in tabel F.3 en F.4 is er voor de huidige buik en borstkas modellen geen onderscheid in de output. Het aanhouden van een los buik en los borstkas model maakt het echter in de toekomst mogelijk om eenvoudig veranderingen per lichaamsdeel door te voeren.

Tabel F.3: letselernst tgv overdruk voor de borstkas uitgedrukt in AIS

Output Axelsson model voor letsels aan longen en ingewanden (m/s)	Letsel niveaus (AIS levels)			Letsel indeling volgens Axelsson
	Longen	Luchtwegen	TNO Borstkas model maximale AIS waarde van Longen en Luchtwegen)	
CWVP < 3.6	0	0	0	No injury
$3.6 \leq \text{CWVP} < 4.3$	3	2	3	Trace
$4.3 \leq \text{CWVP} < 7.5$	4	3	4	Slight
$7.5 \leq \text{CWVP} < 16.9$	4	4	4	Moderate
$\text{CWVP} \geq 16.9$	5	5	5	Extensive
$\text{CWVP} \geq 12.8$	50% lethality (so 50% = AIS 6)			

Tabel F.4: letselernst tgv overdruk voor de buik uitgedrukt in AIS

Output Axelsson model voor letsels aan maag darm kanaal en solid organen (m/s)	Letsel niveaus (AIS levels)			Letsel indeling volgens Axelsson
	Maag darm kanaal	Solid organen in buikregio	TNO Buik model maximale AIS waarde van maag/darm en buik organen	
CWVP < 3.6	0	0	0	No injury
$3.6 \leq \text{CWVP} < 4.3$	3	1	3	Trace
$4.3 \leq \text{CWVP} < 7.5$	4	2	4	Slight
$7.5 \leq \text{CWVP} < 16.9$	4	4	4	Moderate
$\text{CWVP} \geq 16.9$	5	5	5	Extensive
$\text{CWVP} \geq 12.8$	50% lethality (so 50% = AIS 6)			

Bijlage G Warmtestraling letsel in AIS schaal

De output van het warmtestralings letselmodel is in brandwonden graden (1°, 2° en 3°). In onderstaande tabel staat de relatie van brandwonden naar AIS score volgens [39].

AIS level	Degree	Total body surface
1	1° > 1 yr old	any
1	1° ≤ 1 yr old	≤ 50%
2	1° ≤ 1 yr old	> 50%
1	2°	< 10%
1	3°	≤ 100 cm ² (face ≤ 25 cm ²)
2	3°	> 100 cm ² (face > 25 cm ²) up to 10%
2*)	2° or 3°	10-19%
3*)	2° or 3°	20-29%
4*)	2° or 3°	30-39%
5	2° or 3°	40-89%
6	2° or 3° including incineration	≥ 90%

*) ophoging van AIS indien gelaat, handen of edele delen verbrand zijn, of indien jonger dan 5 jaar

Voor de modellering zijn aannames gedaan die verwoord zijn in de hoofdtekst (zie paragraaf xx).

Dit resulteert in onderstaande tabel, waarin de output van het warmtestralingsletselmodel (brandwonden) weergegeven wordt in AIS.

Tabel G.1 output warmtestralingsmodel: letselernst in AIS levels

Degree	Total Body Surface burned (TBS)	AIS level
1	any	1
2	1 – 9 %	1
3	1 – 2 %	1
only 3	3 – 9 %	2
2 and 3 together	10 – 19 % no face or hands	2
2 and 3 together	10 – 19 % including face or hands	3
2 and 3 together	20 – 29 % no face or hands	3
2 and 3 together	20 – 29 % including face or hands	4
2 and 3 together	30 – 39 % no face or hands	4
2 and 3 together	30 – 39 % including face or hands	5

Degree	Total Body Surface burned (TBS)	AIS level
2 and 3 together	40 – 89 %	5
2 and 3 together	90 – 100 %	6
remaining	remaining	0

Bijlage H Voorbeeldberekening zelfredzaamheidsmodel: vrijkomen acrylonitril tijdens railtransport

Om de methode te illustreren bekijken we een voorbeeld van het vrijkomen van een toxische vloeistof tijdens railtransport. Het scenario is het instantaan vrijkomen van de inhoud van een wagon met acrylonitril, dit is een standaard ongeval binnen de risicoanalyse voor railtransport [8]. De acrylonitril vormt een plas van 600 m², waaruit toxische dampen verdampen. De toxische dampen vormen een wolk. Voor de weerscondities is aangenomen dat er weinig verticale menging optreedt (stabiel weer) en de windsnelheid is laag: 1,5 m/s. Acrylonitril is een waarneembare stof: het heeft een kenmerkende geur en werkt prikkelend op ogen en luchtwegen. Het subletaal letsel is dosisafhankelijk, we gebruiken dus de FID formule voor het bepalen van de vluchtsnelheid.

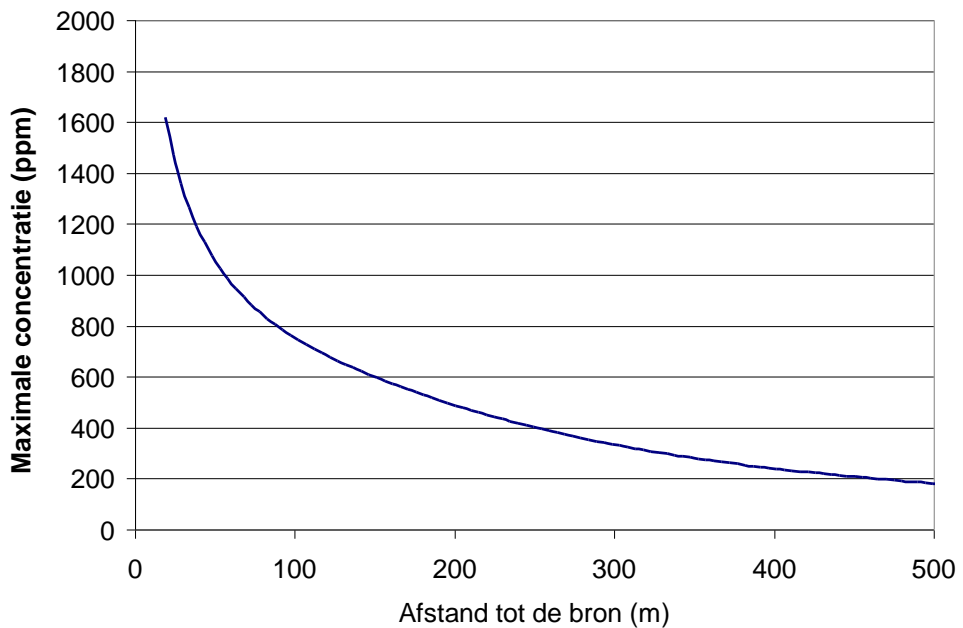
De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd voor het menselijk gedrag in relatie tot de zelfredzaamheid:

- nadat een persoon de stof waarneemt, blijft de persoon nog 100 seconden op dezelfde locatie, ook indien deze persoon aanzienlijke prikkeling of stank ervaart. (zie [15]);
- de persoon loopt van de bron af in de richting van de wind (benedenwindse richting): dit is een relatief conservatieve aanname. Dwars op de wind levert doorgaans de laagste blootstelling;
- De ongehinderde vluchtsnelheid is 1,2 m/s.
- de blootstelling wordt dynamisch bepaald: met tijdstappen wordt de volgende locatie van de persoon bepaald en met de concentratie op die tijd en plaats wordt de volgende dosis berekend.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van een prototype van het model binnen het TNO softwarepakket EFFECTS [16]. EFFECTS is een softwarepakket om effecten en schade mee te berekenen voor ongevallen met gevaarlijke stoffen en wordt door brandweer in Nederland hiertoe gebruikt. Het zelfredzaamheidsmodel kan ook –in vereenvoudigde vorm- worden toegepast in een spreadsheetmodel op basis van de maximale concentratie als functie van de afstand uit EFFECTS.

Voorbeeldberekening spreadsheetmodel

Voor het uitvoeren van een spreadsheetberekening van het zelfredzaamheidsmodel hebben we de maximale concentratie als functie van de afstand nodig, bijvoorbeeld berekend in EFFECTS (zie figuur H.1).



Figuur H.1 maximale concentratie als functie van de afstand ten opzichte van het ongeval

Voor het berekenen van de FID gebruiken we een vereenvoudigde vorm van de FID vergelijking:

$$FID = \int_0^t \frac{C^n(t)}{D_{AEGL2_30mi} \cdot n} dt \approx \frac{C_{max}^n \cdot \Delta t}{C_{AEGL2_30min}^n \cdot 1800 \cdot s} \quad \text{vergelijking 3}$$

De AEGL-2 grenswaarde voor acrylonitrile bij een blootstelling van 30 minuten (=1800 seconden) is 110 ppm. De waarde van n is gelijk aan 1.3. D_{AEGL2_30min} is dan gelijk aan $(110 \text{ ppm})^{1.3} \cdot 1800 \text{ s} = 8.1 \cdot 10^5 \text{ ppm}^{1.3} \cdot \text{s}$. We volgen nu een persoon die zich aanvankelijk op een afstand van 100 meter van de bron bevindt. De invoergegevens van ons voorbeeld staan in tabel H.1.

Tabel H.1: invoer gegevens voorbeeldberekening

Startafstand t.o.v het ongeval (m)	100
Reactietijd na waarneming (s)	100
Ongehinderde vluchtsnelheid (m/s)	$U_{max}=1.2$
Tijdstap voor berekening (s)	10

De persoon blijft gedurende zijn reactietijd op zijn oorspronkelijke startafstand staan en loopt daar een toxische dosis en een bijbehorende FID waarde op van:

$$FID (t = 100 \text{ s}) \approx \frac{C_{max}^n \cdot 100}{D_{AEGL2_30mi} \cdot n} \quad \text{vergelijking 4}$$

Uit Figuur H.1 kunnen we nu aflezen wat zijn mobiliteitsfactor is en zijn nieuwe vluchtsnelheid berekenen met: $u_{\text{nieuw}} = u_{\text{max}} \cdot \text{mobiliteitsfactor}$.

Daarna start de persoon met vluchten van de bron af met de wind mee, waarbij de concentratie afneemt. Per tijdstap wordt de gemiddelde maximale concentratie berekend waaraan de persoon onder weg wordt blootgesteld.

$$C_{\text{gem}} = 0.5 \cdot (C_{\text{max}}(x(t)) + C_{\text{max}}(x(t + \Delta t))) \quad \text{vergelijking 5}$$

Met deze gemiddelde concentratie kunnen we de toename van de FID tijdens deze tijdstap uitrekenen en optellen bij de waarde van de vorige FID.

$$FID(t + \Delta t) \approx FID(t) + \frac{C_{\text{gem}}^n \cdot \Delta t}{D_{\text{AEGL2}_{30\text{min}}}} \quad \text{vergelijking 6}$$

Na berekenen van de nieuwe vluchtsnelheid en nieuwe locatie kunnen we de volgende tijdstap invoeren, totdat de persoon –op een afstand van 159 m van het ongeval - niet meer zelfredzaam is. De zelfredzaamheidsafstand van deze persoon is de afgelegde afstand van 59 m vanaf zijn startlocatie (op 100 m) tot de locatie dat de persoon niet meer zelfredzaam is (op 159 m).

De gehele berekening kunnen we herhalen voor verschillende personen die zich op verschillende startlocaties ten opzichte van de bron bevinden. Daarmee kunnen we uiteindelijk ook de maximale afstand vinden waarop gewonden vallen, in de spreadsheet is dat ongeveer 270 m. Tot slot nog een “experiment” met ons eenvoudige model: als we te maken hebben met personen die niet zelfredzaam en/of niet reageren op de acrylonitril dampen dan is de maximale afstand waarop gewonden vallen gelijk aan 725 m.

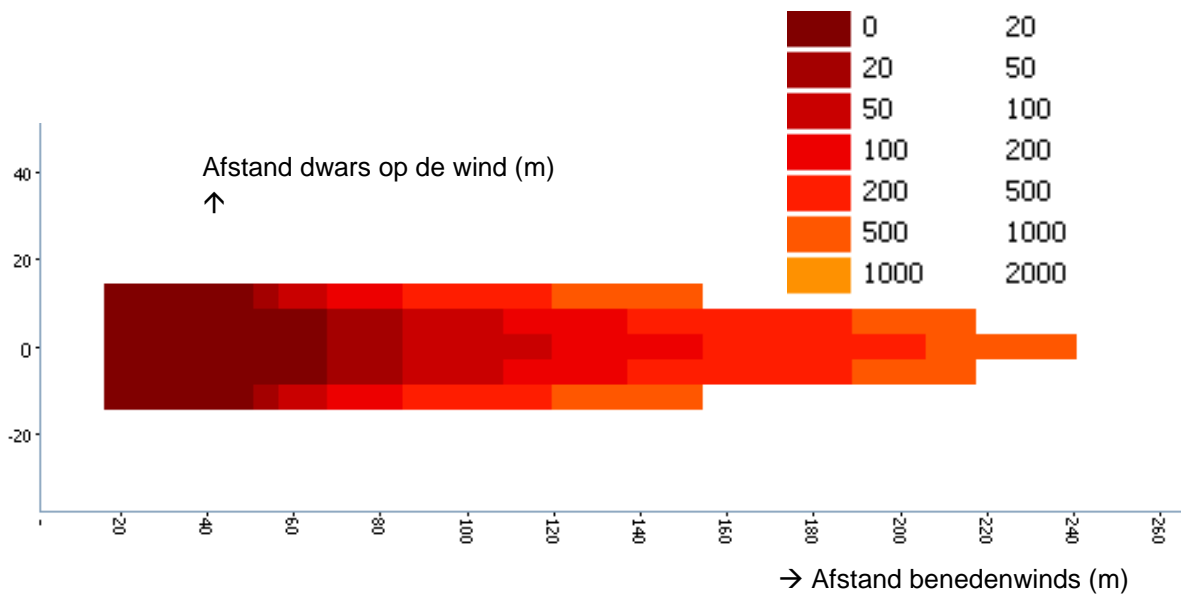
Tabel H.2: resultaten voorbeeld berekening

tijdstip (s)	Locatie (m)	Maximale concentratie waaraan persoon wordt blootgesteld (ppm)	FID	mobiliteitsfactor	vluchtsnelheid (m/s)
Situatie op tijdstip start vluchten					
Tstart= reactietijd	Locatie (m)	Maximale concentratie op startlocatie van persoon (ppm)	Verg. 4	Mobiliteitsfactor [-] Aflazen uit figuur 2: FID = 0.68 ⇒ mobiliteitsfactor 1	Vluchtsnelheid (m/s): $U_{nieuw} = U_{max} * mobiliteitsfactor$
100	100	763	0,69 $= \frac{763^{1.3} \cdot 100}{8.1 \cdot 10^5}$	1	1,2
	Locatie (m)	Gemiddelde maximale concentratie (verg. 5)	FID (Verg 6)	Figuur 2	Vluchtsnelheid (m/s): $U_{nieuw} = U_{max} * mobiliteitsfactor$
110	112	745	0,76	1	1,2
120	124	711	0,82	1	1,2
130	136	680	0,89	1	1,2
140	148	644	0,95	0,9	1,08
150	159	614	1,00	0	0

Van spreadsheet naar contouren

Het verschil van de EFFECTS modelberekening met een spreadsheet berekening is dat het EFFECTS model de concentratie ook als functie van de tijd volgt. De persoon ondervindt namelijk eerst een (soms langzaam) toenemende concentratie, bij de spreadsheetberekening gaan we voor het rekengemak uit van alleen een maximale concentratie.

De resultaten van de EFFECTS modelberekening zijn onder meer de zelfredzaamheidsafstand, dat is de afstand die een persoon heeft kunnen afleggen, tot het moment dat de persoon niet meer zelfredzaam is. Figuur H.2 toont in een bovenaanzicht een contour van de zelfredzaamheidsafstand. Met de gekleurde vlakken worden de startposities t.o.v. het ongeval weergegeven waar personen zich bevonden aan het begin van het ongeval en die tijdens het verloop van het ongeval gewond raken (=niet meer zelfredzaam raken). Hoe lichter de kleur hoe verder de personen zijn gekomen alvorens gewond (niet zelfredzaam) te raken: bij diep donker rood kunnen de personen slechts 0 tot 20 meter vluchten, bij oranje kan een persoon minimaal 500 meter en maximaal 1000 meter vluchten en bij geel is dat minimaal 1000 meter en maximaal 2000 meter. Onze proefpersoon (zie voorbeeld) is op de as van de pluim gestart op een afstand van 100 m van de bron en heeft 59 m kunnen afleggen, de kleur komt dan ook overeen met een zelfredzaamheidsafstand tussen 50 en 100 m. De personen die zich buiten de gekleurde vlakken zijn en blijven zelfredzaam gedurende het ongeval, hoewel hun vluchtsnelheid wel belemmerd kan zijn (hun mobiliteitsfactor is groter dan 0).



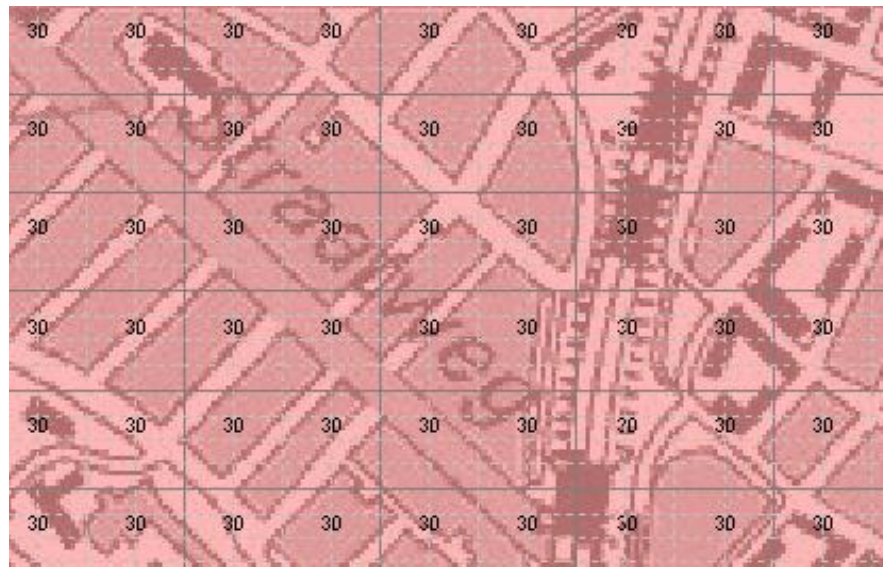
Figuur H.2: de contour van de zelfredzaamheidsafstand in een bovenaanzicht van een ongeval met acrylonitril

Door de zelfredzaamheidscontour te projecteren op een kaart met bevolkingsgegevens wordt het totaal aantal personen verkregen dat niet-zelfredzaam is. In figuur H.3 is een voorbeeldkaart met bevolkingsgegevens weergegeven. Voor het gemak nemen we een uniforme bevolkingsdichtheid van 120 personen per hectare (10000 m²).

De gridcellen van het bevolkingsgrid (figuur H.3) hebben een grootte van 50*50 m (2500 m²)⁷, dus per gridcel bevinden zich 30 personen. Projecteren we nu de contour van de zelfredzaamheidsafstanden van figuur H.2 (met lengte 240 m en gemiddelde breedte 21,5 m⁸) op de kaart met bevolkingsgegevens van figuur H.3, dan vinden we $240 * 21,5 * 30 / 2500 = 62$ gewonden in deze berekening. Onder deze gewonden zijn ook nog doden, de door EFFECTS berekende doden (11) worden tot slot afgetrokken van het aantal gewonden om het aantal niet-letale slachtoffers te bepalen (51).

⁷ N.B. dit is niet de rekenresolutie van het zelfredzaamheidsmodel, maar slechts de grootte van de gridcellen, waarbinnen veranderingen in het bevolkingsdichtheid kunnen worden weergegeven. De rekenstap van waarmee de blootstelling van de zelfredzame persoon wordt gevolgd is aanzienlijk kleiner

⁸ In het spreadsheetmodel kunnen we de breedte van de wolk bepalen door met EFFECTS een concentratiecontour te berekenen, die gelijk is aan de maximale afstand waarop gewonden vallen (270 m in het voorbeeld)



Figuur H.3 voorbeeldkaart met bevolkingsgegevens van 30 personen per 2500 m² buiten

In het voorbeeld hebben we tot nu toe gekeken naar de personen die zich buiten bevinden. Voor personen die zich tijdens het ongeval binnen bevinden, nemen we aan dat ze binnen blijven, maar geen ramen en deuren sluiten. Op basis van het ventilatievoud (gemiddeld 1 luchtverversing per uur) kan de concentratie binnen worden bepaald [12], [16]. Of een persoon gewond is of niet, wordt berekend met de zelfde FIC en FID formules (uit de paragraaf over vluchtsnelheid). Met behulp van bevolkingsgegevens en de fractie van het aantal personen dat zich binnen bevindt kan op dezelfde wijze als voor de slachtoffers buiten worden berekend hoeveel slachtoffers er binnen vallen.

De brandweer heeft nu inzicht in het aantal gewonden dat kan vallen, zowel buiten als binnen. Met de zelfredzaamheidscontour en afstanden uit figuur H.2 kan men globaal inschatten waar de gewonden zich kunnen bevinden. Doet men dit voor meerdere scenario's uit de risicoanalyse dan kan men een inschatting maken van de benodigde hulpverleningscapaciteit en/of beoordelen voor welke scenario's voldoende capaciteit beschikbaar is en voor welke niet.

Bijlage I Workshop 14 juni 2011

Stellingen explosie

nr	Stellingen mbt explosie															
		eens	oneens	geen mening												
1	maximale AIS score nemen is conservatieve aanpak, hiermee overschatten we maximaal 10% van aantal letsels	6	2	3												
2	Letselmodel output noodzakelijk op lichaamsdeel niveau om uitspraak te kunnen doen over zelfredzaamheid	10	0	2												
3	Voor model aanpak is onderstaande vertaling acceptabel IF Letsel ernst \leq AIS 1 THEN Triage = T3 IF Letsel ernst \geq AIS 4 THEN Triage = T1	4	3	3												
4	Er is geen eenduidige vertaling van AIS2-3 naar Triage	6	0	4												
5	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>T1</th> <th>T2</th> <th>T3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AIS 2</td> <td></td> <td>Hoofd Buik Thorax Bekken Huid wervelkolom</td> <td>Extremiteiten</td> </tr> <tr> <td>AIS 3</td> <td>Hoofd Thorax Wervelkolom Extremiteiten</td> <td>Bekken buik huid</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Bovenstaande indeling is acceptabel</p>		T1	T2	T3	AIS 2		Hoofd Buik Thorax Bekken Huid wervelkolom	Extremiteiten	AIS 3	Hoofd Thorax Wervelkolom Extremiteiten	Bekken buik huid		4	1	3
	T1	T2	T3													
AIS 2		Hoofd Buik Thorax Bekken Huid wervelkolom	Extremiteiten													
AIS 3	Hoofd Thorax Wervelkolom Extremiteiten	Bekken buik huid														
6	Aspecten met bijbehorende vaardigheden (uit basis lijst) Waarnemen (met name zien) (zicht, gehoor) Denken (interpreteren & besluiten) (mentaal) Handelen (fysiek en uithoudingsvermogen) Voor zelfredzaamheid is bovenstaande lijst met aspecten compleet.	6	3	2												
7	Zelfredzaamheid kan uitgedrukt worden met de vaardigheden: zicht, gehoor, mentaal, fysiek en uithoudingsvermogen	7	0	0												
8	Voor kwantificeren van effectiviteit maatregelen voldoende om zelfredzaamheid uit te drukken in 3 stadia: aanwezig, belemmerd, afwezig	7	2	1												

Algemene vragen mbt explosiemodel (vijf respondenten)

- Wekt de methode vertrouwen? Ja (5x). Mits opgenomen in software, vuistregels en geaccordeerd door bijv. NVBT, GHOR-NL, veiligheidsraad, schadescenarioboek etc.
- Zou u de methode toepassen? Ja (3x), (2x) Eerst testen en nadere uitwerkingen zien voordat het toegepast kan worden
- Zou u de methode willen wijzigen? Dat is nu nog niet te zeggen, eerst een proef afwachten.
- Waarvoor zou de methode nog meer bruikbaar kunnen zijn? Voorbereiding rampenbestrijding en tijdens rampenbestrijding zelf

Stellingen brand

nr	Stellingen mbt brandmodellen	eens	oneens	Geen mening
1	Het brandmodel richt zich alleen op letsel ten gevolge van warmtestraling. Met het verwaarlozen van de inhalatieletsels voor externe veiligheidsscenario's (personen in buitenlucht) verwaarlozen we maximaal 10% van de te verwachten letsels door brand.	4	5	5
2	Voor letselvoorspelling bij warmtestraling is het voldoende om twee type kledingsets te modelleren, namelijk een zomer en een winter outfit.	12	1	1
3	Er is maximaal 10% fout in letselschatting door de volgende aannames: Aannames: Uitgaande van volwassene We houden geen rekening met ophoging AIS bij verbranding specifieke lichaamsdelen Alleen de voorkant van het lichaam wordt blootgesteld, dus de 'exposed area' van het totale lichaam wordt door 2 gedeeld. Kleding heeft invloed op brandwonden	4	6	4
4	IF Letsel ernst \leq AIS 1 THEN Triage = T3 IF Letsel ernst \geq AIS 4 THEN Triage = T1 IF Letsel ernst AIS2 or AIS 3 THEN Triage = T2 Voor model aanpak mbt warmtestralingsletsel is deze vertaling acceptabel	8	3	3
5	Aspecten met bijbehorende vaardigheden (uit basis lijst) <ul style="list-style-type: none"> • Waarnemen (met name zien) (zicht, gehoor) • Denken (interpreteren & besluiten) (mentaal) • Handelen (fysiek en uithoudingsvermogen) Letsel tgv warmtestraling (brandwond) heeft effect op het aspect handelen: fysiek en uithoudingsvermogen	4	5	3
6	We verwaarlozen 5% van de zelfredzaamheid door verwaarlozing van letsels op de andere vaardigheden	4	4	5

Algemene vragen mbt brandmodel (twee respondenten)

- Wekt de methode vertrouwen? Ja (2x)
- Zou u de methode toepassen? Ja (2x), als onderdeel van de totale beoordeling van de zelfredzaamheid
- Zou u de methode willen wijzigen? 1) Dat is nu nog niet te zeggen. 2) Geen wijzigingen nodig indien de uitgangspunten goed gedefinieerd worden.
- Waarvoor zou de methode nog meer bruikbaar kunnen zijn? 1) Voorbereiding rampenbestrijding, inschatten hulpverlenerscapaciteit. 2) voor bepalen van aantal gewonden en doden. En uiteindelijk voor beoordelen van zelfredzaamheid van personen binnen het effect gebied van LOC van een stof.

Stellingen toxisch

nr	Stellingen mbt toxisch	eens	oneens	geen mening
1	Onder de AEGL-3 grenswaarde zullen doorgaans geen T1 slachtoffers vallen	5	3	0
2	Onder de AEGL-2 grenswaarde zullen doorgaans geen T2 slachtoffers optreden	5	0	2
3	De aanname dat de AEGL-2 de ondergrens is voor afwezigheid van zelfredzaamheid is conservatief	4	2	1
4	er is (momenteel) geen betere ondergrens voor afwezigheid van zelfredzaamheid die wetenschappelijk kan worden onderbouwd dan de AEGL-2	4	2	1
5	De AEGL-2 grenswaarde is eveneens een goede grens voor triageklasse 2 voor verstikkende stoffen	2	3	2
6	De methode voor ammoniak op basis van AEGL-grenswaarden is extrapoleerbaar naar andere stoffen met een irriterende werking	1	5	1
7	De methode voor acrylonitril op basis van AEGL-grenswaarden is extrapoleerbaar naar andere stoffen met een verstikkende werking	0	6	1
8	De aanpak voor zelfredzaamheid is acceptabel	1	5	1

Vraag: indien noodzakelijk: hoe kunnen we het model generieker toepasbaar (beter extrapoleerbaar) maken?

De vraag leverde de volgende concrete suggesties op:

- Eerst vergelijken met andere methoden, nogmaals evalueren
- Eindpuntspecifieker, schaalfactoren gebruiken
- Curve voor loopsnelheid vervangen door bandbreedtes: waar begint zelfredding en waar houdt zelfredding op
- gebruik HOT/WARM/COLD zone i.p.v veilig gebied /onveilig gebied

Algemene vragen mbt toxisch model (5 respondenten)

- Wekt de methode vertrouwen? Ja (1x), nee (4x)
- Zou u de methode toepassen? Nee (2x), geen mening (1x)
- Zou u de methode willen wijzigen? Ja (2x), geen mening (2x)

Bijlage J Toelichting keuzes AIS en triage

In onderstaande lijst worden de beweegredenen van de keuzes toegelicht mbt AIS en triage

- Zoals beschreven in paragraaf 4.3 is de modeloutput in AIS. Hierbij gaat het om de letselernst op een gedefinieerd moment (< 1 uur vanaf impact).
- Alle AIS2 letsels aan de extremiteiten (fracturen en dislocaties van kleinere botten) worden in het model met een T3 gescoord. Echter indien er amputatie/crush is van hand of voet, dislocatie van grote gewrichten, dan wel open fracturen van extremiteiten (met uitzondering van vingers en tenen) zal in plaats van een T3 een T2 gescoord worden. Echter de huidige letselmodellen missen de mate van detail om deze nuancering in de letselvoorspelling mee te nemen. Daarom is gekozen om deze AIS2 letsels allemaal onder T3 te scoren. Er zou een percentage in T3 en een percentage in T2 ondergebracht kunnen worden. Echter, op dit moment missen we gegevens waarop we die onderverdeling kunnen maken.
- Alle AIS 3 letsels aan de extremiteiten vallen direct in de categorie T1. Dit is wellicht een conservatieve schatting. Echter bij een AIS3 letsel aan de extremiteiten is er meestal zo'n fors letsel en beschadiging, dat de kans op verbloeding aanzienlijk is, en een snelle ziekenhuis opname noodzakelijk is. Vandaar de keuze voor T1, en niet T2. Er zou een percentage in T1 en een percentage in T2 ondergebracht kunnen worden. Echter, op dit moment missen we gegevens waarop we die onderverdeling kunnen maken.
- Indien er schade is aan de hersenzenuwen zal er een T3 gescoord worden voor hoofdletsel. Echter de computer modellen, met uitzondering van het gedetailleerde penetratie letselmodel, kunnen niet in die mate van detail voorspellen wat het hoofdletsel is. Daarom wordt ervoor gekozen om alle AIS2 hoofdletsels onder T2 te laten vallen. Daarmee hebben we een conservatieve aanpak. Indien bekend is dat er x% is die echt onder T3 valt, dan zouden we dat ook in het model kunnen inbouwen. Voorlopig missen we hiervoor een onderbouwing.
- AIS 1 oog zou gescoord worden onder T2, echter uit de meeste letselmodellen die we gebruiken komt mate van detail m.b.t. oog niet meer naar voren (uitzondering, gedetailleerd model m.b.t. penetratie). Kortom, op basis van uitkomsten modellen is geen onderscheid te maken in oog letsel. Dus al deze letsels vallen onder T3, onder het hoofd.
- Zelfde redenering als voor het oog geldt voor avulsie meerdere pezen van 1 hand. Ook deze worden gescoord onder T3.
- De thorax letsels laten we onder T2 vallen, echter als er 2 ribben gebroken zijn zonder flail (dus geen ernstige ventilatiebelemmering) zou dit onder T3 vallen. Maar ook hier geldt dat de gebruikte modellen deze mate van detail niet hebben. We werken nu dus met een conservatieve schatting

- AIS 3 aan het hoofd valt onder T1. Echter specifieke hoofd letsels als Schedelbasisfractuur, Cerebrum contusie, of infarct, Sinus thrombose/occlusie, Hersenzenuwen, Oogzenuw bilat. scheur/avulsie, Oog Eucleatie bilat., Maxillafractuur Le Fort III, Zygoma en Panfaciale fracturen) zouden onder T2 vallen. Echter de gebruikte letselmodellen (met uitzondering van penetratiemodel) zal deze mate van detail niet kunnen voorspellen, vandaar dat al deze letsels nu onder T1 zullen vallen.
- AIS3 voor de thorax valt onder T1, echter specifieke thorax letsel als slokdarm perforatie, <20% bloedverlies uit thoracale vaten, laceratie van het hart, hemopericard zonder tamponade, longcontusie of laceratie, hemothorax, hemopneumothorax, Ribfracturen ≥ 3 ribben, met unilaterale flail, zouden juist onder T2 vallen. Echter de gebruikte letselmodellen (met uitzondering van penetratiemodel) zullen deze mate van detail niet kunnen voorspellen, vandaar dat al deze letsels nu onder T1 zullen vallen.
- De AIS 3 buikletsels vallen onder T2. Echter indien er meer dan 20% bloedverlies uit vaten, lever, etc. is, zou dat een T1 classificatie opleveren. Echter de gebruikte letselmodellen kunnen geen bloedverlies voorspellen. Voorlopig is ervoor gekozen om alle AIS3 buikletsels onder T2 te laten vallen.
- De warmtestralingsletsels worden uitgedrukt voor het lichaamsdeel huid. Volgens bovenstaande tabel betekent dit dat brandwonden die resulteren in AIS 2 en AIS 3 uiteindelijk vallen in categorie T2.
- De letsels worden nu per lichaamsdeel gescoord, en ingedeeld. Echter in de praktijk zullen er combinaties van letsels optreden, en kan men behoefte hebben aan een uitspraak over de letselernst voor het totale lichaam. Voor het scoren van multi-letsel gevallen wordt o.a. gebruikt gemaakt van ISS (Injury Severity Score), NISS (New ISS) en de maximale AIS (AISmax). Voor ons model maken we gebruik van AISmax; dit is de meest conservatieve aanpak momenteel [55].

Bijlage K Toxisch letsel

Vertaling naar triageklassen voor ammoniak

Ammoniak is een stof met een irriterende werking. Van ammoniak zijn AEGL grenswaarden en de toekomstige tijdsafhankelijke interventiewaarden beschikbaar. De NVIC database bevat momenteel geen gegevens voor ammoniak, deze wordt binnenkort geactualiseerd.

Daarom is voor het model gebruik gemaakt van oudere NVIC tabellen [26],[36] en met name als aanvullende informatiebron gebruikt om de AEGL waarden in een breder perspectief neer te kunnen zetten.

De AEGL geven goed gedocumenteerde grenswaarden, waarvan de AEGL- 2 de concentratie aangeeft, waarboven irreversibele of andere ernstige, langdurige gezondheidseffecten kunnen optreden of waarboven het vluchtvermogen kan verminderen. De AEGL waarden zijn beschikbaar voor korte blootstellingstijden (10 min en 30 min), die belangrijk zijn voor de zelfredzaamheidsfase van een ramp en daarmee voor ons model belangrijk zijn.

De interventiewaarden [32] die in Nederland gehanteerd worden door de hulpverlening, zijn momenteel alleen voor 1 uur vastgesteld. Het RIVM werkt momenteel aan tijdsafhankelijke interventiewaarden [33]. Ten behoeve van dit project zijn de tijdsafhankelijke interventiewaarden van ammoniak en acrylonitril beschikbaar gesteld. Er is geïnventariseerd wat de nieuwe tijdsafhankelijke interventiewaarden zouden veranderen ten opzichte van de AEGL waarden [24]. De informatie van de TIK (Toxicologische Informatie- en Kennisbank) database van het Nederlands Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC), beschrijft medische symptomen bij blootstelling aan bepaalde concentraties gedurende verschillende blootstellingstijden (dosis-effect relaties). De NVIC-TIK database is ontwikkeld als leidraad voor geneeskundige hulpverleners om bij acute intoxicaties een risicobeoordeling te kunnen maken, de ernst van de intoxicatie te beoordelen en een medisch handelperspectief te kunnen bieden voor het slachtoffer.

Tabel K.1: AEGL waarden voor ammoniak [34]

Ammoniak 7664-41-7 (Final)					
ppm					
	10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
AEGL 1	30	30	30	30	30
AEGL 2	220	220	160	110	110
AEGL 3	2700	1600	1100	550	390

Tabel K.2: NVIC data [26],[36]

Concentratie (ppm)	Effecten [26]	Effecten [36]
100	Milde irritatie ogen en neus (uren)	Gewoonlijk verdraagbaar, milde irritatie ogen en neus
140		Irritatie ogen en slijmvliezen van de luchtwegen
100-300	Bij blootstelling gedurende circa 1 uur: irritatieklachten ogen, neus, keel, luchtwegen	Verdraagbaar gedurende circa 1 uur
300-500	Bij blootstelling gedurende circa 30 minuten: irritatieklachten ogen, neus, keel, luchtwegen	Verdraagbaar gedurende ½-1 uur
400-700	Onmiddellijke irritatie van ogen, neus, keel en luchtwegen	
1000	Idem plus zwelling conjunctivae en andere slijmvliezen, dyspnoe, cyanose	zwellingslippen en conjunctivae, tijdelijke blindheid, toename slijmproductie, dyspnoe en cyanose
1700	Idem met laryngospasmen, binnen enkele uren glottisoedeem	Hoesten, laryngospasmen, binnen enkele uren glottisoedeem
2500-4000	Potentieel letaal binnen 30 minuten	
5000-10.000	Binnen zeer korte tijd letaal, meestal acute ademstilstand	

Tabel K.3 Tijdsafhankelijke interventiewaarden in ppm⁹[32]

Ammoniak						
ppm ⁹						
	10 min	30 min	60 min	2hr	4 hr	8 hr
VRW	30	30	30	30	30	30
AGW	283	283	198	140	140	140
LBW	2687	1556	1103	778	552	396

In staan de data van en gesorteerd op toenemende concentratie. De blootstellingsduur is alleen voor de AEGL waarden kwantitatief gegeven. In de beschikbare NVIC-TIK tabel voor ammoniak staat een kwalitatieve beschrijving van de blootstellingsduur, in is deze kwalitatieve beschrijving op basis van eigen inschatting vertaald naar een kwantitatieve waarde. In is verder de voorgestelde indeling in triageklassen toegevoegd, deze wordt in de onderstaande paragraaf toegelicht.

Tabel K.4 Data voor ammoniak met indeling in triage, gesorteerd op concentratie

Punt	Concentratie (ppm)	Blootstellingsduur (min)	Omschrijving	Bron	Indeling in triage bij de aangegeven blootstellingsduur
a	> 5		geurgrens	AEGL	Detectie mogelijk
b	30	10 min tot 8 uur	AEGL-1 Lichte irritatie	AEGL	
c	100	120	Milde irritatie ogen en neus (uren)	NVIC [26],[36]	T3
d	100-300	60	Bij blootstelling gedurende circa 1 uur: irritatieklachten ogen, neus, keel, luchtwegen Verdraagbaar gedurende circa 1 uur	NVIC [26],[36]	T3
e	160	60	AEGL-2 hevige oog- en keel-irritatie, hoesten en algemeen discomfort	AEGL	T3, ondergrens T2, AEGL-2: intraspecies factor 1
f	220	10-30min	AEGL 2, 10 min en 30 min, hevige oog- en keel-irritatie, hoesten en algemeen discomfort	AEGL	T3, ondergrens T2, AEGL-2: intraspecies factor 1
g	300-500	30	irritatieklachten ogen, neus, keel, luchtwegen [26]	NVIC	T3

⁹ De interventiewaarden worden normaal weergegeven in de eenheid mg/m³.

Punt	Concentratie (ppm)	Blootstellings duur (min)	Omschrijving	Bron	Indeling in triage bij de aangegeven blootstellingsduur
			Verdraagbaar gedurende 0,5 -1 uur [36]		
h	400-700	0	Onmiddellijke irritatie van ogen, neus, keel en luchtwegen [[26] en [36]	NVIC	T2
i	1000	-	Idem plus zwelling conjunctivae en andere slijmvliezen, dyspnoe, cyanose	NVIC	T2, T1 waarschijnlijk ook T1's, helaas is de blootstellingsduur niet gespecificeerd
j	1100	60	AEGL-3, ernstige tracheobronchiale and pulmonaire effecten	AEGL	Ondergrens T1, intraspecies factor 3
k	1600	30	AEGL-3	AEGL	Ondergrens T1, intraspecies factor 3
l	1700	120	Idem met laryngospasmen, binnen enkele uren glottisoedeem	NVIC	T1
m	2700	10	AEGL-3	AEGL	Ondergrens T1, intraspecies factor 3
n	2500-4000	30	Potentieel letaal binnen 30 minuten	NVIC	Letaal, T1
o	5000-10.000	1	Binnen zeer korte tijd letaal, meestal acute ademstilstand	NVIC	letaal, T1

Hieronder wordt per **punt** (a t/m o) c.q. concentratie besproken hoe en of deze waarde voor het letselmodel wordt gebruikt.

- a) De geur van ammoniak is door mensen te ruiken bij concentraties boven 5 ppm [33].
- b) de AEGL-1 waarde is bepaald m.b.v. blootstelling van mensen aan 30 ppm gedurende 10 min tracheo [34], MacEwen et al. 1970]. De personen ondervonden een lichte irritatie. Bij stoffen met een irriterend effect zoals ammoniak trekken milde symptomen doorgaans snel weg nadat de blootstelling is afgelopen. De letselkenmerken die volgens de definitie bij concentraties boven de AEGL-1 horen, zijn "discomfort, irritation, or certain asymptomatic nonsensory effects". De verwachting is dat dit letsel niet zo ernstig is, dat de blootgestelde persoon in de triagecategorie T3 valt.

- c) 100 ppm gedurende enkele uren (ca. 120 minuten) lijkt voor ammoniak een redelijke ondergrens voor T3 slachtoffers, waarboven het kan voorkomen dat blootgestelde personen gezien moeten worden door een huisarts, als gevolg van de blootstelling.
- d) de NVIC database noemt hier een range van 100 tot 300 ppm, waarbij irritatieklachten optreden bij blootstelling gedurende circa 1 uur. Deze omschrijving wordt door ons geïnterpreteerd als hooguit T3 letsel, terwijl de AEGL-2 waarde van 60 minuten 160 ppm bedraagt, waarboven de zelfredzaamheid belemmerd kan zijn. In dit geval gaan we uit van de AEGL grenswaarde, waarvan de achtergronddocumentatie publiek beschikbaar is.
- e) Het gezondheidkundig eindpunt (ofwel het kritische effect van een toxische stof op basis waarvan een grenswaarde is bepaald) dat voor ammoniak gebruikt is bij bepaling van de AEGL-2 grenswaarde is irritatie van de ogen en hogere luchtwegen. De verwachting is dat boven deze concentratie het vluchtvermogen verminderd kan zijn. Het gezondheidkundig eindpunt van de AEGL-2 waarden heeft daarmee een relatie met zelfredzaamheid en niet met evt. blijvend letsel. Onder de AEGL-2 waarde worden geen T2 slachtoffers verwacht die binnen 6 uur medische hulp nodig hebben. Bij gebrek aan goed onderbouwde grenswaarden voor volledig verlies van zelfredzaamheid (incapacitation), wordt voor het model aangenomen dat de AEGL-2 de ondergrens is voor afwezigheid van zelfredzaamheid. In het model wordt daarmee aangenomen dat sommige mensen, na een blootstelling aan een concentratie boven de AEGL-2, door "offensieve oog en keel irritatie, hoesten en algemeen discomfort" [33] niet meer in staat zijn (geweest) om te vluchten. Hoewel een afwezige zelfredzaamheid niet noodzakelijk gerelateerd is aan een hoge urgentie van de medische hulpbehoefte, is het aannemelijk dat voor deze personen medische hulp niet langer dan 6 uur uitgesteld kan worden na een blootstelling aan een concentratie boven de AEGL-2 grenswaarde met bijbehorende blootstellingsduur. Een zeer vergelijkbare relatie tussen triageklasse 2 aan de AGW waarde (vergelijkbaar met de AEGL-2 waarde) wordt ook voorgesteld in de verkenning door het RIVM [26]. De variatie in gevoeligheid tussen diverse individuen wordt in de AEGL achtergronddocumentatie [33] gekwantificeerd met een zogenaamde "intraspecies factor", voor ammoniak is deze intraspecies factor bij de AEGL-2 gelijk aan 1, door de irriterende werking van ammoniak op het bovenste deel van de luchtwegen (direct werkingsmechanisme). De meest gevoelige persoon reageert dus vergelijkbaar als de minst gevoelige persoon.
- f) Zie e)
- g) Op basis van de beschrijving in de NVIC database en "behandeling van acute vergiftigingen" [36] wordt hieraan T3 letsel toegekend. De concentraties zijn echter ruim boven de AEGL-2 waarden. Dit lijkt op het eerste gezicht een mismatch, echter dit is een gevolg van de verschillende doeleinden van de AEGL waarden en de NVIC-TIK database en bieden daarmee beide een toegevoegde waarde voor de vertaling naar triageklassen:
 - de aegl-2 waarden zijn ontwikkeld als veilige waarde ter bescherming van de bevolking inclusief gevoelige personen, terwijl

- de NVIC-TIK database is ontwikkeld als leidraad voor geneeskundige hulpverleners om bij acute intoxicaties een risicobeoordeling te kunnen maken, de ernst van de intoxicatie te beoordelen en een medisch handelperspectief te kunnen bieden voor het slachtoffer. Het uitgaan van gaan AEGL grenswaarden verdient de voorkeur, aangezien grenswaarden geschikter zijn voor extrapolatie naar andere stoffen dan stofspecifieke concentraties.
- h) Onmiddellijke irritatie van ogen, neus, keel en luchtwegen zal bij zeer korte blootstellingstijd (<1 minuut) wellicht slechts een T3 slachtoffer betekenen, maar bij langere blootstelling zal dit snel T2 worden.
 - i) De blootstellingstijd behorend bij de concentratie van 1000 ppm wordt niet expliciet vermeld, door de verwijzing naar punt h, nemen we aan dat dit onmiddellijk optreedt. De genoemde symptomen zijn ernstiger dan alleen irritatieklachten. De zwelling kan leiden tot vernauwing van en bij hogere concentraties zelfs tot obstructie van de ademweg. In deze categorie zitten minimaal triageklasse 2 en mogelijk triageklasse-slachtoffers. Gezien de mogelijke korte blootstellingsduur lijkt deze waarde niet overeen te komen met de AEGL-3 waarde, die pas na 60 minuten bij 1100 ppm een levensbedreigende situatie (triageklasse) kan opleveren.
 - j) de definitie van de AEGL-3 geeft aan dat er boven deze concentratie levensbedreigende gezondheidseffecten en dodelijk letsel kunnen optreden. We zien dit als de ondergrens voor triageklasse 1 slachtoffers, die onmiddellijke medische hulp nodig hebben. Onder de AEGL-3 verwachten we dus geen triageklasse 1 slachtoffers. De AEGL achtergronddocumentatie gaat uit van een intraspecies factor van 3 bij de AEGL-3. D.w.z. dat de meest gevoelige slachtoffers levensbedreigend gewond raken (triageklasse 1 slachtoffer worden) bij een concentratie van 1100 ppm in combinatie met blootstellingsduur van 1 uur en de minst gevoelige slachtoffers triageklasse 1 slachtoffer worden bij een concentratie van 3300 ppm in combinatie met een blootstellingsduur van 1 uur.
 - k) Zie j) voor blootstellingduur van 30 minuten.
 - l) Deze waarde is vastgesteld voor enkele uren blootstelling en valt daarmee buiten de relevante blootstellingsduur voor het letselmodel.
 - m) Zie j) voor blootstellingsduur 10 minuten.
 - n) Komt goed overeen met de triage-indeling op basis van AEGL-3: voor blootstellingstijden tot 30 minuten zijn triageklasse 1 letsel en letaal letsel aannemelijk.
 - o) Komt goed overeen met de trend in de AEGL-3 waarden. Op basis van de dosisrelatie $C^n \cdot t = \text{constant}$, met $n=2$, die is gehanteerd bij het opstellen van de AEGL-3 waarden, zou de blootstellingsduur bij 5000 ppm ca 3 minuten en bij 10000 ppm iets minder dan 1 minuut zijn.

Van grenswaarden en toxische gegevens naar een indeling in triageklassen

Op basis van kan voor ammoniak een indeling in triageklassen op verschillende wijzen gemaakt worden: een conservatieve wijze en een meer realistische wijze.

De conservatieve wijze werkt met:

- AEGL-1 als grens voor triageklasse 3
- AEGL-2 als grens voor triageklasse 2
- AEGL-3 als ondergrens voor triageklasse 1

De meer realistische wijze werkt met:

- 100 ppm als grens voor triageklasse 3 (op basis van punt c en d in)
- 400 ppm als grens voor triageklasse 2 (op basis van punt h in)
- AEGL-3 waarden voor 10, 30 en 60 minuten als ondergrens voor triageklasse 1

Het is echter lastig om de waarden voor triageklasse 2 en 3 te extrapoleren naar andere stoffen, zelfs als ze hetzelfde toxidroom hebben.

De AEGL grenswaarden zijn stofafhankelijk en worden per stof bepaald. Voor iedere stof geeft de grenswaarde aan waarboven bepaald letsel mogelijk is: dus beneden deze grenswaarde is er geen sprake van reversibele gezondheidseffecten/ blijvend letsel/letaal letsel. De ernst van het letsel (in de vorm van triageklassen) wordt aan deze grenswaarden gerelateerd, waardoor de methodiek (enigszins) stofs specifiek is, zonder dat de methodiek per stof een database van concentraties en bijbehorende effecten hoeft te bevatten.

Voor de vertaling naar triageklassen wordt hier daarom voor een conservatieve wijze gekozen.

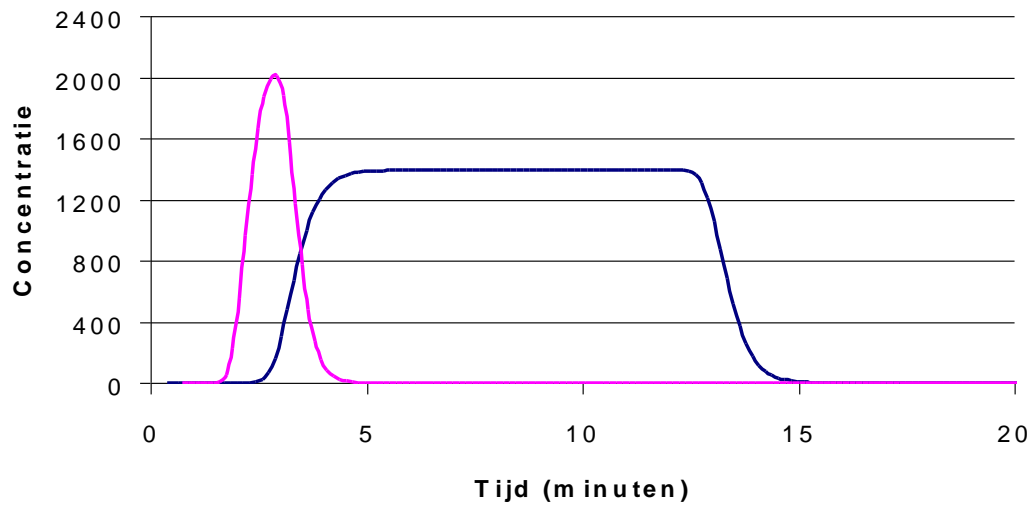
geeft een samenvatting van de (conservatieve) triageklassenindeling die uit voortkomt. In de modellering verdwijnen de nuances die in nog wel staan (grijs wordt zwart-wit): in de praktijk zal bij blootstelling aan een AEGL-3 dosis een verdeling optreden van T3's, T2's en een verdwaalde T1, in wordt uitgegaan van 100% triageklasse 2. Ander voorbeeld: bij blootstelling aan een AEGL-2 waarde zal in praktijk een verdeling van niet-gewonden, T3's en een enkele T2 optreden in de tabel is 100% triageklasse 2. Voor T3 letsel wordt in een iets minder conservatieve aanname gedaan door uit te gaan van een grens op basis van de NVIC data, een logisch conservatiever alternatief – uitgaan van de AEGL-1 grenswaarde- kan namelijk leiden tot een enorme overschatting van het aantal T3 slachtoffers.

Tabel K.5: Indeling in triageklassen voor ammoniak

	10 min	30 min	60 min	bron
Bovengrens T1 =99% T1	8100	4800	3300	AEGL-3 * intraspecies factor 3
Ondergrens T1 =1% T1, 100% t2	2700	1600	1100	AEGL-3
t2 (100%)	220	220	160	AEGL-2
t3	100	100	100	NVIC
zelfredzaamheid	220	220	160	AEGL-2

Modellering triageklassen voor ammoniak

De concentraties van zijn nu vastgesteld voor 3 blootstellingstijden, namelijk 10, 30 en 60 minuten. In een externe veiligheidsscenario waarbij ammoniak vrijkomt, is er sprake van een concentratie, die in de tijd varieert (zie). De gezondheidseffecten van ammoniak zijn voor ernstig letsel (triageklasse 1 en letaal letsel) dosisgerelateerd, voor triageklasse 2 wordt de concentratie belangrijker vergeleken met triageklasse 1 en voor triageklasse 3 is met name de concentratie van belang. Het is voor de modellering noodzakelijk om de triageklassenindeling van te kunnen vertalen naar dosisrelaties.



Figuur K.1 voorbeelden van concentraties, die in de tijd variëren tijdens een blootstelling aan ammoniak tijdens een ongeval

Triageklasse 1 slachtoffers

Het uitgangspunt in voorliggende studie is dat de AEGL-3 waarde de ondergrens is voor T1 slachtoffers, en 3* de AEGL-3 waarde de bovengrens is voor T1 slachtoffers.

- Tijdsafhankelijkheid m.b.v. $C^n \cdot t = \text{constant}$ met een n gelijk aan 2
- De intraspecies factor 3 wordt toegepast met een Gaussische verdeling, ofwel de ondergrens voor (T1 letsel) wordt gelijk gesteld aan 1% T1 slachtoffers, de bovengrens wordt gelijk gesteld aan 99% T1 slachtoffers, daarbinnen wordt geïnterpoleerd met een Gauss kromme.

Voorbeeld van de Gaussische probit verdeling voor letaal letsel:

De sterftekans, P_{leetaal} , wordt berekend met behulp van een probit, Pr, als

$$P_{\text{leetaal}} = 0,5 \times \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\operatorname{Pr} - 5}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

waarbij

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

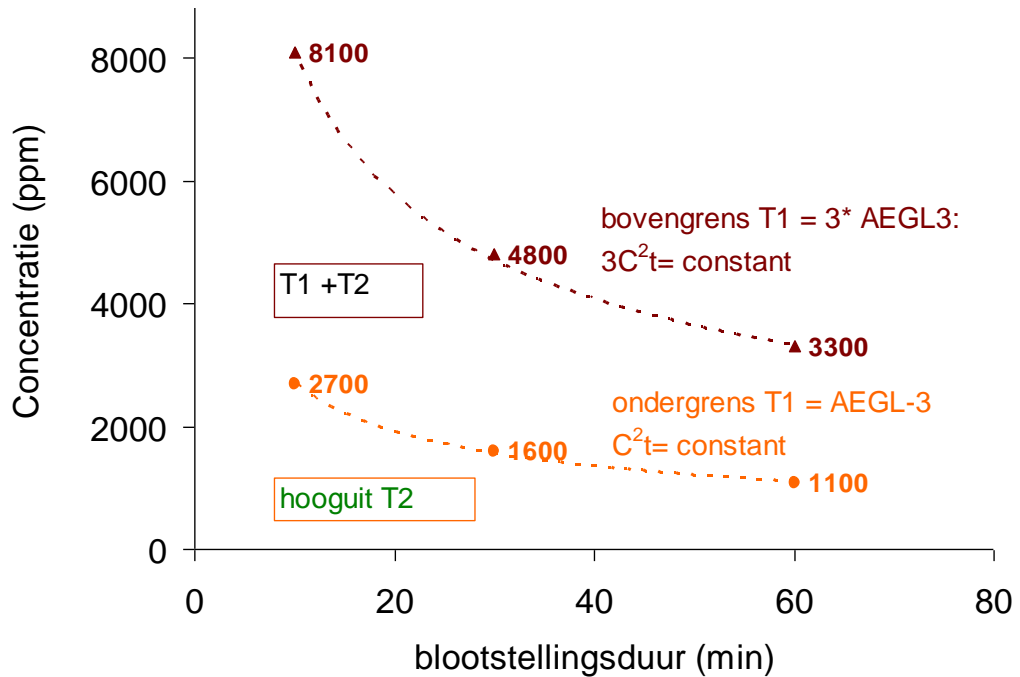
3.4.9.1 Blootstelling aan toxische stoffen

De probit wordt voor de blootstelling aan toxische stoffen gegeven door de relatie:

$$\operatorname{Pr} = a + b \ln \left(\int C^n dt \right)$$

met

Pr	probit behorende bij de overlijdenskans	(-)
a, b, n	constanten voor de toxiciteit van een stof	(-)
C	concentratie op tijdstip t	(mg m^{-3})
t	blootstellingstijd	(minuten)



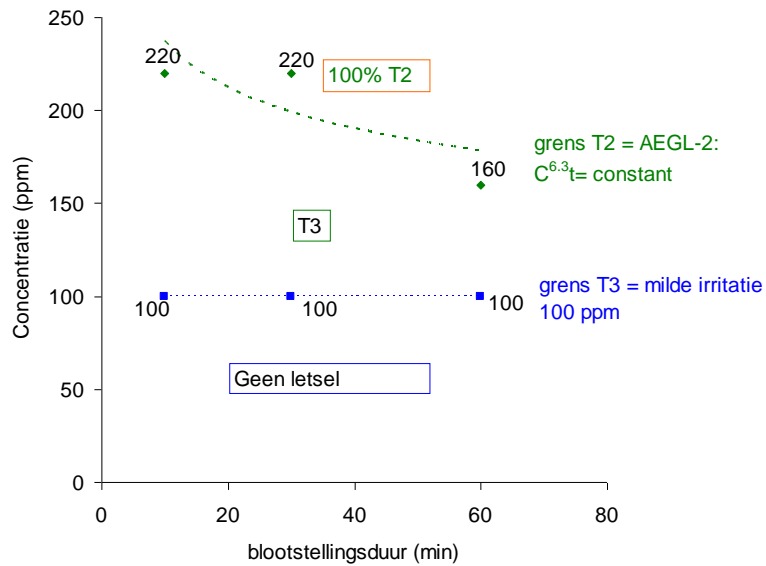
Figuur K.2 indeling van triageklasse 1 (T1) slachtoffers voor ammoniak

Triageklasse 2 slachtoffers

Voor dit project is het uitgangspunt gebruikt dat de AEGL-2 waarde de ondergrens is voor T2 slachtoffers en dat de AEGL-2 waarde tevens het eindpunt is voor zelfredzaamheid. De tijdsafhankelijkheid bij een blootstellingsduur tussen de 30 en 60 minuten is bepaald met de dosisrelatie $C^n \cdot t$ met een n gelijk aan 2 [33] de concentratie bij 10 minuten is echter gelijk gesteld aan de concentratie van 30 minuten, omdat anders een concentratie verkregen zou worden die reeds de zelfredzaamheid weg kan nemen [33]. De AEGL-waarden in combinatie met hun blootstellingstijden kunnen niet eenvoudig in het letselmodel worden geïmplementeerd, aangezien er geen continue functie is die alle punten verbindt. Er zijn wiskundig gezien drie mogelijkheden voor interpolatie tussen de AEGL-waarden in het letselmodel:

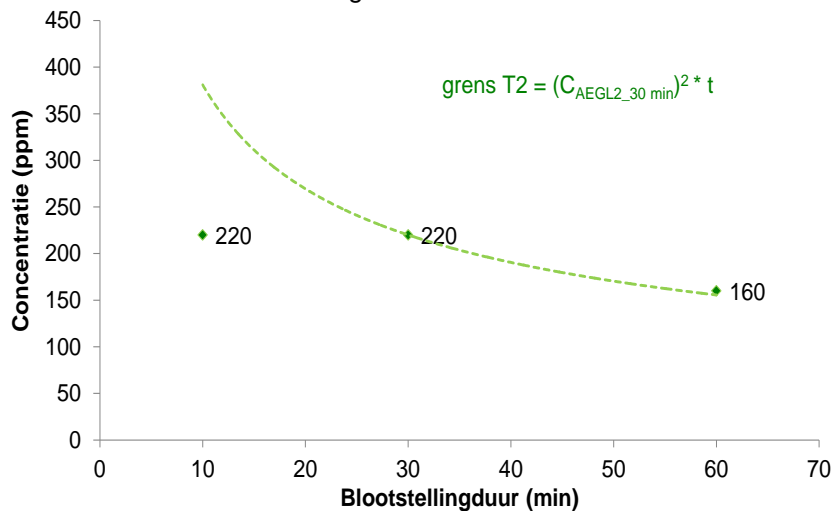
- 1) Neem een constante concentratie aan van 220 ppm, waarboven T2 slachtoffers vallen en personen niet meer zelfredzaam zijn (zie figuur K.4). Dit heeft als voordeel dat de nadruk op de eerste 30 minuten wordt gelegd. Nadeel is dat de resultaten van een scenario aanzienlijk kunnen veranderen als gevolg van kleine wijzigingen in de scenariodefinitie, door het ingrijpen van deze harde grenswaarde op de zelfredzaamheid. door een constante concentratie als grens te nemen loop je het risico om bij blootstellingstijden langer dan 30 minuten onvoldoende conservatief te zijn. Bij blootstellingstijden tot 30 minuten is dit juist de meest conservatieve optie.
- 2) Leidt een nieuwe n waarde af voor de dosisrelatie ($C^n \cdot t = \text{constant}$) op basis van deze 3 punten (zie figuur K.3: $n=6.3$ voor ammoniak), voordeel: een robuuster model met geleidelijke verandering bij kleine wijzigingen in de scenariodefinitie. Nadeel: AEGL-2 grenswaarden niet direct terug te vinden bij interpretatie van berekeningen. Toxicologisch gezien is dit niet

correct. Het zou eleganter zijn om de vastgestelde AEGL-2 waarden exact te volgen.



Figuur K.3 indeling triageklassen 2 (T2) en 3 (T3) voor ammoniak met fit

- 3) Pas een dosisrelatie toe met de n waarde van de probit voor letaal letsel (zie onderstaande figuur). Nadeel: bij het gebruik van de n waarde voor letaal letsel wordt geen rekening gehouden met het feit dat irriterende stoffen met name concentratie gerelateerd subletaal letsel vertonen.

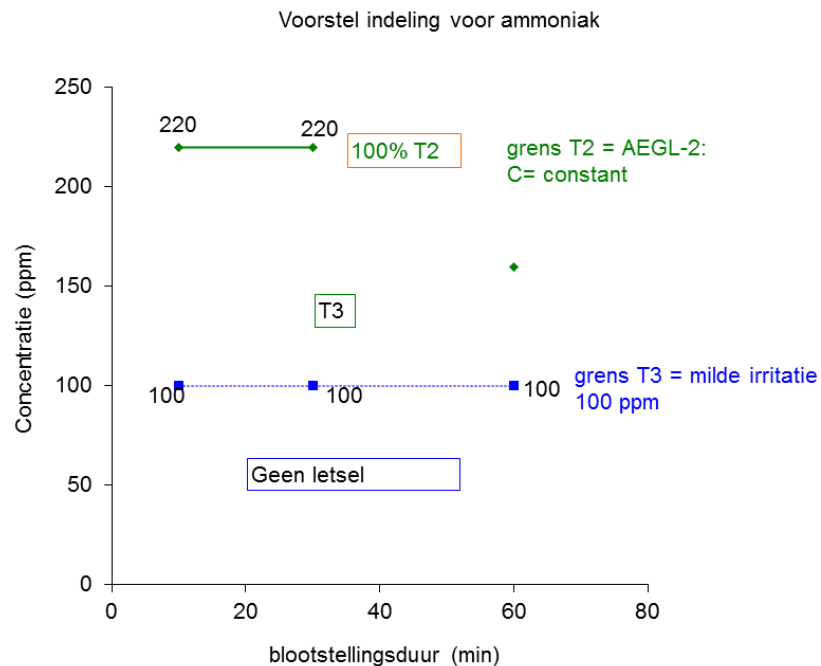


In voorliggende studie wordt gekozen voor de meest conservatieve optie door een constante concentratie aan te nemen (punt 1) en de toepasbaarheid van het model te beperken tot een blootstelling van 30 minuten. Na een eerste software-implementatie van de letselmodellen, kan door middel van een gevoeligheidsanalyse met meerdere stoffen worden getoetst hoe belangrijk bovenstaande aanname is. Indien de gevoeligheidsanalyse uitwijst dat dit een belangrijke aanname is, dan wordt aanbevolen om de interpolatie methode te verbeteren, zodat de AEGL waarden exacter gevolgd kunnen worden.

Triageklasse 3 slachtoffers

Het behandelen van triageklasse 3 slachtoffers is minder intensief dan triageklasse 1 of 2 slachtoffers, maar het zal naar verwachting wel de grootste groep vormen bij een grootschalig incident, waarbij ook doden en zwaargewonden (trialogeassen 1 en 2) vallen. Een te conservatieve inschatting van de grens voor triageklasse 3 slachtoffers kan dan ook gemakkelijk tot een enorme overschatting van het aantal slachtoffers leiden.

Een constante concentratiegrens van 100 ppm wordt voor ammoniak gebruikt als de scheidslijn tussen het al dan niet optreden van T3 slachtoffers.



Figuur K.4 indeling triageklassen 2 (T2) en 3 (T3) voor ammoniak

Vertaling naar triageklassen voor acrylonitril

Voor acrylonitril is gebruik gemaakt van de AEGL waarden en bijbehorende achtergronddocumentatie [35]. Voor acrylonitril zijn geen data van de NVIC database beschikbaar. In onderstaande tabel staan de data gesorteerd op toenemende concentratie. De blootstellingsduur is voor de AEGL waarden kwantitatief gegeven. In is de voorgestelde indeling in triageklassen toegevoegd, deze wordt in de onderstaande paragraaf toegelicht.

Tabel K.6 Data voor acrylonitril met indeling in triage

punt	Concentratie (ppm)	Blootstellings duur (min)	Omschrijving	bron	Indeling in triage
a	4.6	10 min tot 8 uur	AEGL-1	AEGL	
b	12-15	10 min tot ca. 8 uur ¹⁰	Ocular irritation and headaches regardless of exposure duration	AEGL-background	
c	10-20	Occupational exposure (tot 8 uur)	Headache, fatigue, nausea, insomnia (reversible effects)	AEGL-background	Dit hoeft nog geen T3 te zijn, wellicht T3's bij langere blootstelling
d	57	60	AEGL-2, lichte initiële verandering van de ademhalingsnelheid, lichte irritatie van neus en ogen. Effecten trekken weg in 12 uur na blootstelling	AEGL	T3, ondergrens ¹¹ T2, AEGL-2: intraspecies factor 3
e	100	60	AEGL-3	AEGL	T2, ondergrens ¹² T1, intraspecies factor 3
f	110	30	AEGL-2	AEGL	T3, ondergrens T2, AEGL-2: intraspecies factor 3
g	180	30	AEGL-3	AEGL	T2, ondergrens T1, intraspecies factor 3
h	290	10	AEGL-2	AEGL	T3, ondergrens T2, AEGL-2: intraspecies factor 3
i	480	10	AEGL-3	AEGL	T2, ondergrens T1, intraspecies factor 3

¹⁰ 8 uur eigen interpretatie van "regardless of exposure duration"

¹¹ M.a.w.: in praktijk misschien enkele T2's maar niet waarschijnlijk

¹² M.a.w.: in praktijk misschien enkele T1's maar niet waarschijnlijk

Tabel K.7: Indeling in triageklassen voor acrylonitril

	10 min	30 min	60 min	bron
99 % t1 (of letaal)	1440	540	300	AEGL-3 * intraspecies factor 3
1% t1	480	180	100	AEGL-3
99%t2	870	330	171	AEGL-2 * intraspecies factor 3
t2 (1%)	290	110	57	AEGL-2
t3	15	15	15	AEGL-2 achtergrond- document
zelfredzaamheid				AEGL-2

Triageklasse 1 slachtoffers

Voor dit project gebruiken we als uitgangspunt de AEGL-3 waarde als ondergrens voor T1 slachtoffers, en 3* de AEGL-3 waarde als de bovengrens.

- Tijdsafhankelijkheid m.b.v. $C^n \cdot t = \text{constant}$ met een n gelijk aan de probit voor letaal letsel
- De intraspecies factor 3 wordt toegepast met een Gaussische verdeling, ofwel de ondergrens voor (T1 letsel) wordt gelijk gesteld aan 1% T1 slachtoffers, de bovengrens wordt gelijk gesteld aan 99% T1 slachtoffers, daarbinnen wordt geïnterpoleerd met een Gauss kromme.

Triageklasse 2 slachtoffers

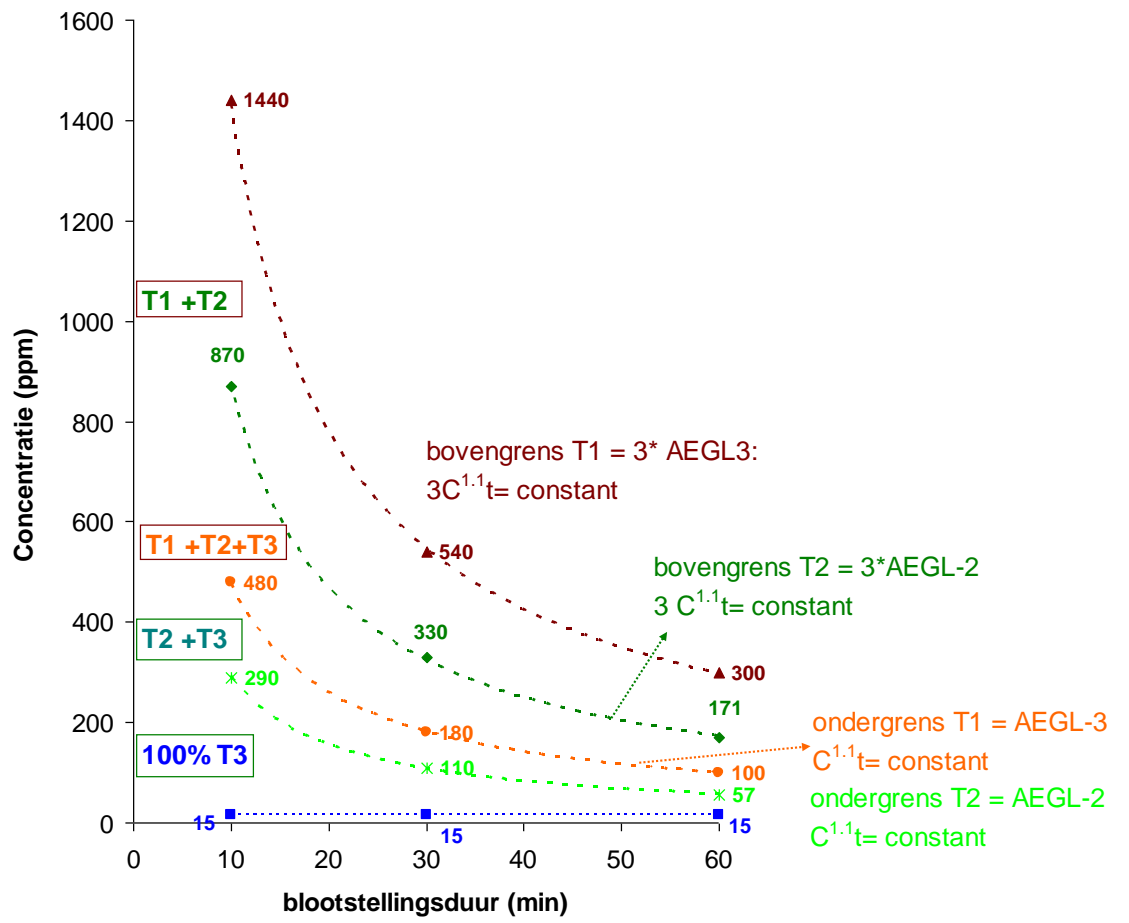
Voor acrylonitril is het letsel waarop de AEGL-2 is bepaald duidelijk dosisgerelateerd. Daarom worden de triageklasse 2 slachtoffers berekend op vergelijkbare wijze als de triageklasse 1 slachtoffers:

- Tijdsafhankelijkheid m.b.v. $C^n \cdot t = \text{constant}$ met een n gelijk aan de probit voor letaal letsel, ondergrens = AEGL-2. De bovengrens is gelijk aan de intraspecies factor ($UF_2 = 3$): bovengrens = $3 \cdot \text{AEGL-2}$
- De intraspecies factor 3 wordt toegepast met een Gaussische verdeling, ofwel de ondergrens voor triageklasse 1 letsel wordt gelijk gesteld aan 1% triageklasse 1 slachtoffers, de bovengrens wordt gelijk gesteld aan 99% triageklasse 1 slachtoffers, daarbinnen wordt geïnterpoleerd met een Gauss kromme.

Triageklasse 3 slachtoffers

Het behandelen van triageklasse 3 slachtoffers is minder intensief dan triageklasse 1 of 2 slachtoffers, maar het zal naar verwachting wel de grootste groep vormen bij een grootschalig incident, waarbij ook doden en zwaargewonden (trageklassen 1 en 2) vallen. Een te conservatieve inschatting van de grens voor triageklasse 3 slachtoffers kan dan ook gemakkelijk tot een enorme overschatting van het aantal slachtoffers leiden.

Een constante concentratiegrens van 15 ppm wordt voor acrylonitril gebruikt als de scheidslijn tussen het al dan niet optreden van triageklasse 3 slachtoffers. Dit is een waarde, waarmee het aantal triageklasse 3 slachtoffers naar verwachting niet zal worden onderschat.



Figuur K.5 indeling naar triageklassen voor acrylonitril