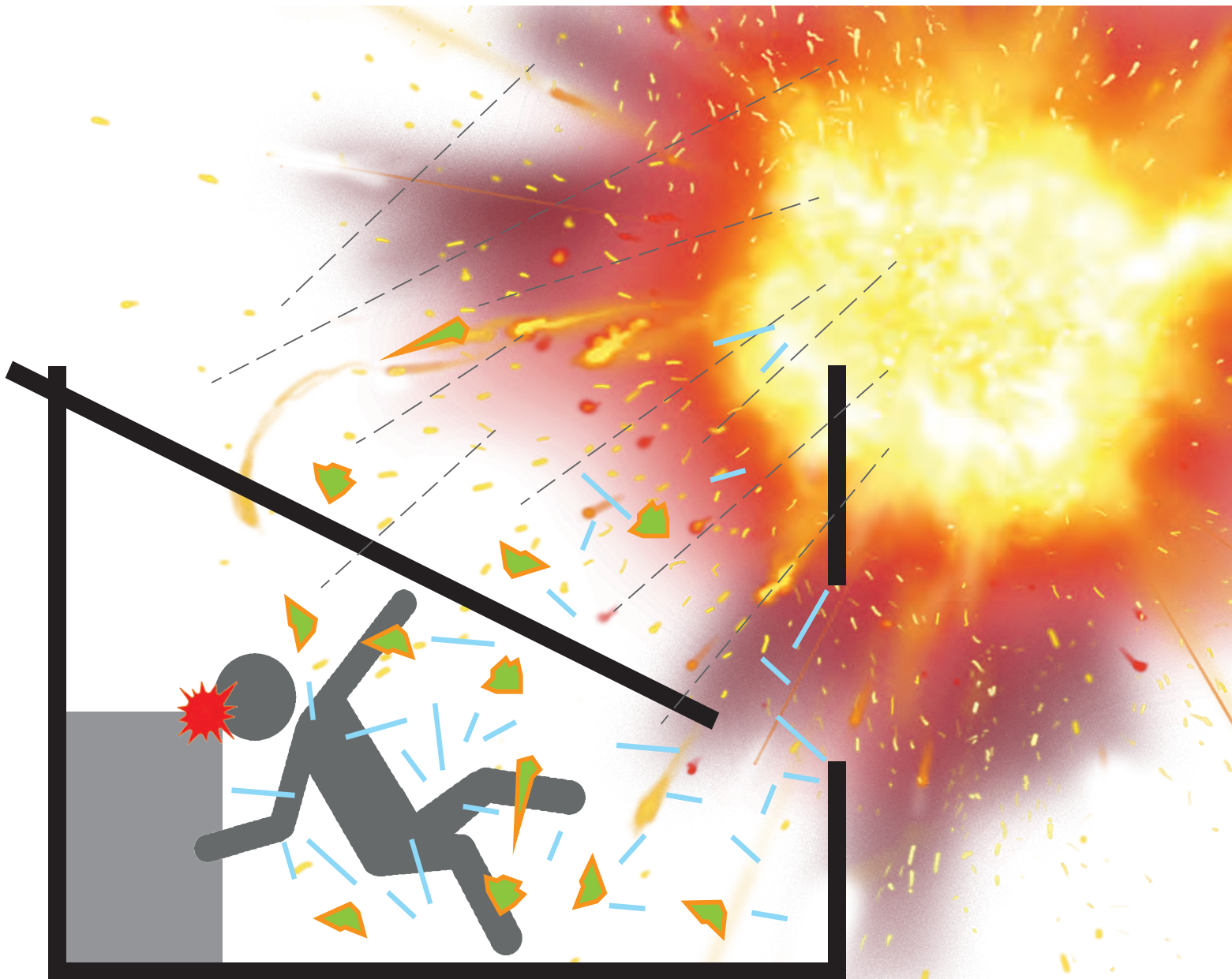


Onderbouwing van de slachtofferinschatting van www.scenarioboek.nl



Instituut Fysieke Veiligheid
Kennisonwikkeling en onderwijs
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Instituut Fysieke Veiligheid (2020). *Onderbouwing van de slachtofferinschatting van www.scenarioboek.nl*. Arnhem: IFV

Opdrachtgever:	Brandweer Amsterdam-Amstelland, namens het LEV
Contactpersoon:	Koen Wiering
Titel:	Onderbouwing van de slachtofferinschatting van www.scenarioboek.nl
Datum:	20 februari 2020
Status:	Definitief
Versie:	1.0
Auteurs:	ir. drs. Inge Trijssenaar MTD
Projectleider:	ir. drs. Inge Trijssenaar MTD
Review:	dr.ir. Nils Rosmuller
Eindverantwoordelijk:	dr.ir. Nils Rosmuller

Inhoud

	Inleiding	4
1	Slachtofferinschattingen bij een brand	5
1.1	Stappenplan	5
1.2	Scenariobeschrijving en effecten	7
1.3	Slachtoffers hittestraling buiten	7
1.4	Slachtoffers hittestraling binnen	8
1.5	Voorbeeld van slachtofferinschattingen bij een brand	10
2	Slachtofferinschattingen bij een fakkel van hogedrukbuisleidingen	12
2.1	Stappenplan	12
2.2	Slachtoffers van hittestraling buiten	14
2.3	Slachtoffers van hittestraling binnen	14
2.4	Voorbeeld van slachtofferinschattingen bij een fakkel	14
3	Slachtofferinschattingen bij een explosie (overdruk)	17
3.1	Stappenplan	18
3.2	Scenariobeschrijving en effecten	19
3.3	Slachtoffers overdruk buiten	19
3.4	Slachtoffers overdruk binnen	20
3.5	Voorbeeld van slachtofferinschattingen bij overdruk	23
4	Slachtofferinschattingen bij een warme BLEVE	25
4.1	Stappenplan	25
4.2	Scenariobeschrijving en effecten	27
4.3	Slachtoffers hittestraling buiten	27
4.4	Slachtoffers binnen	27
4.5	Voorbeeld van slachtofferinschatting bij een warme BLEVE	28
5	Referenties	30
	Bijlage Triageklassen hittestraling	31

Inleiding

Op de website van het scenarioboek (www.scenarioboek.nl) staan in de scenariokaart slachtofferpercentages genoemd bij de informatie over “effecten”. Deze slachtofferinschattingen zijn bepaald met behulp van verschillende rekenmodellen die in het verleden door TNO zijn ontwikkeld. De modellen zijn grotendeels gebaseerd op het Groene Boek (2003) en het Paarse Boek (2005). In deze modellen worden – geautomatiseerd – verschillende stappen doorlopen om tot de slachtofferpercentages te komen. Dit rapport geeft een beknopte onderbouwing van de slachtofferinschattingen met een toelichting op de gemaakte stappen.

Leeswijzer

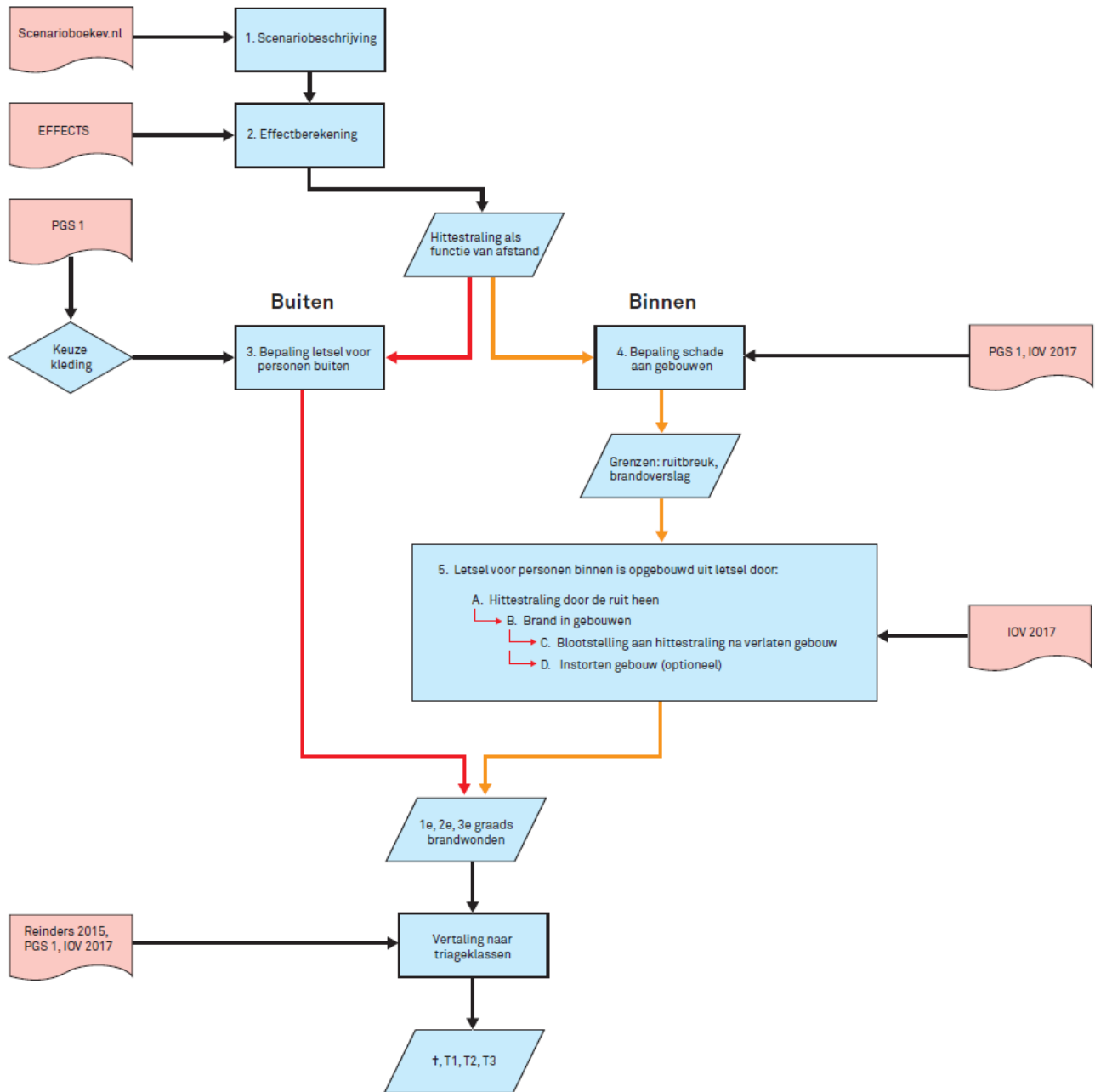
In het eerste hoofdstuk wordt uiteengezet hoe de slachtofferinschattingen bij branden tot stand komen. Het hoofdstuk start met een stappenplan, gevolgd door een toelichting op de verschillende stappen. Hierbij wordt de nadruk gelegd op het omschrijven van de gemaakte aannames en uitgangspunten met hun herkomst. Het tweede hoofdstuk gaat in op de slachtofferinschattingen bij een fakkel van hogedrukbuisleidingen; het toont met name de verschillen met de stappen bij brand en andere fakkels. In het derde hoofdstuk worden de slachtofferinschattingen bij een explosie besproken. Ook hier wordt gestart met een stappenplan, gevolgd door een toelichting en een beschrijving van aannames en uitgangspunten. Hier kijken we naar slachtofferberekeningen voor scenario's waarin overdruk de hoofdrol speelt. In het vierde hoofdstuk ten slotte worden de slachtofferinschattingen van een warme BLEVE besproken. Hierbij speelt de combinatie van hittestraling en overdruk een bijzondere rol.

1 Slachtofferinschattingen bij een brand

De hittestraling van plasbranden en fakkels van gevaarlijke stoffen kunnen zowel buiten als binnen gebouwen letsel tot gevolg hebben. De hittestraling van een plasbrand wordt veroorzaakt door een brandende vloeistofplas. De duur van de plasbrand kan variëren; de plasbrandscenario's van het scenarioboek scenarioboekv.nl en duren meestal tussen de 2 en 40 minuten (scenarioboekv.nl). De hittestraling van een fakkel wordt veroorzaakt door directe ontsteking van een brandbaar gas dat uit een gat in de tank stroomt.

1.1 Stappenplan

Het stappenplan voor slachtofferinschattingen voor brand kan toegepast worden bij plasbranden en de meeste fakkels. De slachtofferinschattingspercentages van het scenarioboek zijn gebaseerd op de stappen die zijn weergegeven in het schema op de volgende pagina.



Kleur van de pijlen: rood is voor slachtofferinschatting buiten, geel voor binnen, zwart voor beide

Figuur 1.1 Stappenplan voor slachtofferinschattingen bij hittestraling van een brand

In de volgende paragrafen wordt per stap uit figuur 1.1 een korte toelichting gegeven.

1.2 Scenariobeschrijving en effecten

Stap 1) scenariobeschrijving

Op www.scenarioboek.nl staat per scenario een korte beschrijving met relevante uitgangspunten voor de modellering.

Stap 2) effectberekening

De hittestraling als functie van de afstand is belangrijke input voor de slachtofferinschattingen van een (plas)brand. Deze resultaten zijn doorgaans afkomstig uit de EFFECTS-berekening die gebruikt is voor de scenariokaart en bijgevoegd is op www.scenarioboek.nl. Gebruik van een ander effectberekeningsmodel is ook mogelijk.

1.3 Slachtoffers hittestraling buiten

Stap 3) Bepaling letsel voor personen die zich buiten bevinden

Oorzaken van letsel voor personen buiten zijn: hittestraling en ontbranding van de kleding. De aard van het letsel uit zich in 1^e, 2^e en 3^e graads brandwonden.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen: geen bescherming door kleding, zomerkleding of winterkleding.

Tabel 1.2 Uitgangspunten voor kledingkeuzes in slachtofferberekeningen

Kledingkeuzes	Percentage van de huid dat beschermd wordt door kleding (%)	Dosis voor vlamvatten (kW/m ²) ² *s
Geen bescherming door kleding	0 ⁽¹⁾	n.v.t.
Zomerkleding	40% ⁽¹⁾	25000 ⁽¹⁾
Winterkleding	85% ⁽¹⁾	45000 ⁽¹⁾
Gemiddelde kleding	86% ⁽²⁾	25000 ⁽¹⁾

(1) Groene Boek, 2003, (2) Paarse Boek, 2005

Zomer- en winterkleding zijn de twee uitersten: zomerkleding gaat uit van weinig bescherming van de huid en een eenvoudige ontbranding (licht ontvlambaar). Winterkleding gaat uit van veel bescherming met een lastiger ontbranding. Let wel: ook bepaalde winterkleding kan relatief eenvoudig ontbranden vanwege het gebruikte materiaal; dit is niet meegenomen in de modellering.

Overige aannames en uitgangspunten bij de berekening zijn:

- > Default effectieve blootstellingsduur van de huid: 20 seconden (Paarse Boek, 2005).
- > Bij ontbranding van kleding: dodelijk letsel.

- > Berekening brandwonden (1^e, 2^e, 3^e graads): Probit relaties (bron: Groene Boek 2003, IOV 2017)
- > De triageklassen worden bepaald aan de hand van de graad van de brandwonden (1e, 2e, 3e graad in combinatie met het percentage onbeschermd lichaamsoppervlak). De vertaling van brandwonden naar triageklassen wordt gedaan volgens de tabellen in bijlage 1 (op basis van Reinders, Groene Boek 2003, IOV 2017).

1.4 Slachtoffers hittestraling binnen

Stap 4) Bepaling hittestralingsgrenzen voor schade aan gebouwen

Er zijn verschillende hittestralingsgrenzen voor schade aan gebouwen die relevant zijn voor letsel aan personen die zich binnen die gebouwen bevinden.

De incidentduur is bepalend voor de grenzen bij schade aan gebouwen ten gevolge van hittestraling. De relevante schadegrenzen zijn:

- ⇒ Grens dat enkel glas breekt
 - doorlatendheid van enkel glas 50%
 - ruitbreuk wordt beïnvloed door de tijdsduur en hittestraling van het scenario
 - zie verder methodiek als in (IOV 2017 hoofdstuk 2)
- ⇒ Grens dat dubbel glas breekt
- ⇒ Grenzen voor brandoverslag naar gebouwen door:
 - ontbranding van hout aan de buitenkant (exterieur) van het gebouw, zoals daklijsten
 - ontbranding van materialen aan de binnenkant (interieur) van het gebouw, waarbij ruitbreuk ten gevolge van hittestraling (of overdruk) een rol speelt.

De grens voor brandoverslag wordt bepaald door de minimaal benodigde hittestraling voor ontbranding van hout, bij de tijdsduur van de brand (IOV 2017: hoofdstuk 6).

Stap 5) Bepaling letsel voor personen die zich binnen bevinden

Het letsel voor personen binnen wordt bepaald in een aantal deelstappen die relateren aan verschillende mechanismen van letseloorzaken (zie figuur 1):

⇒ tijd, ↓ type letsel

A. Letsel door hittestraling door de ruit heen

↳ B. Letsel door brand in gebouwen

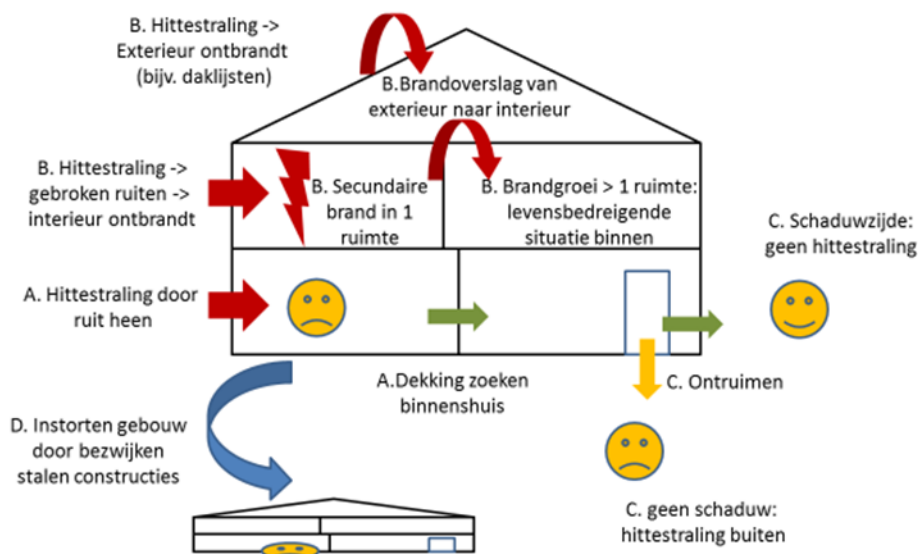
↳ C. Letsel door blootstelling aan hittestraling na verlaten gebouw

↳ D. Letsel door instorten gebouw¹

De modelresultaten zijn de percentages 1e, 2e en 3e graads brandwonden, die vervolgens vertaald worden naar triageklassen en letaal letsel.

Hieronder worden alleen de belangrijkste aannames voor deze vertaling genoemd. Meer achtergrondinformatie over de opzet van het model en de gebruikte formules is gegeven in (IOV 2017).

¹ Dit mechanisme is wel onderzocht, maar wordt niet meegenomen in de berekeningen voor het scenarioboek. Stalen constructies zonder isolerende bekleding komen in moderne gebouwen weinig voor; bovendien treedt het bezwijken van stalen constructies doorgaans pas op bij een zeer hoge hittestraling.



De aard van het letsel uit zich in 1^e, 2^e en 3^e graads brandwonden, en letsel door blootstelling aan hete rook met toxische verbrandingsproducten.

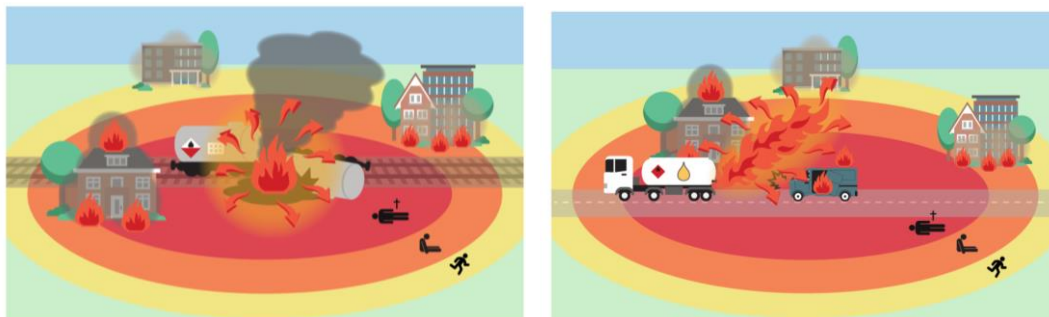
Figuur 1.3 Mechanismen van letseloorzaken voor personen die binnen zijn tijdens een (plas)brand

Aannames die gemaakt zijn voor het bepalen van het letsel (zie IOV 2017 voor een toelichting):

- A. Hittestraling door de ruit heen:
 - 1) Effectieve blootstellingstijd (maximaal) 10 seconden. N.B.: personen die zich binnen bevinden, kunnen zich sneller in veiligheid brengen (bijvoorbeeld in de schaduw van een muur) dan personen die zich buiten bevinden. Vandaar de keuze voor 10 seconden effectieve blootstellingstijd in plaats van 20 seconden.
 - 2) Verder is de berekening van brandwonden en triageklassen gelijk aan die voor slachtoffers buiten.
- B. Brandoverslag naar gebouwen: letsel door brand in gebouwen
 - 3) Kans op brandoverslag van buiten naar binnen: 50% (Ashe 2003)
 - 4) Kans op brandgroei: 19% (Ashe 2003)
- C. Ontruimen: letsel door blootstelling aan hittestraling na verlaten gebouw
 - 5) Kans dat personen gebouw verlaten bij brand: 90% (Ashe 2003)
 - 6) Kans op succesvolle evacuatie: 91% (Ashe 2003)
 - 7) Minimale totale evacuatiетijd = 3,6 min (Ashe 2003, IOV 2017)
 - 8) Kans op blootstelling aan hittestraling na ontruiming:
 - Als de duur van de brand langer is dan de minimale evacuatiетijd: 16% (IOV 2017)
 - Anders: 0% (bijvoorbeeld bij een BLEVE)
 - Letsel indien blootgesteld aan hittestraling na ontruiming: zie berekening slachtoffers hittestraling buiten, met een effectieve blootstellingstijd van 20 seconden
- D. Instorten gebouw door bezwijken stalen constructies.

1.5 Voorbeeld van slachtofferinschattingen bij een brand

Deze paragraaf toont de weergave van www.scenarioboekje.nl van slachtofferinschattingen bij een brandscenario. Twee voorbeelden van brandscenario's zijn de plasbrand van een ketelwagen met benzine en een fakkelbrand van een LPG-tankwagen.



Figuur 1.4 Voorbeelden brandscenario's: Ketelwagen benzineplasbrand en Tankwagen LPG-fakkelbrand (scenarioboekje.nl)

De tabellen hieronder tonen de slachtofferpercentages voor de plasbrand van een ketelwagen met benzine.

Tabel 1.5 Effectafstanden en slachtoffers buiten (zie: www.scenarioboekje.nl)

	Effect-afstand (meter)	Hitte-straling (kW/m ²)	Slachtoffers buiten (0 % bescherming)				Slachtoffers buiten zomerkleding (40 % bescherming)				Slachtoffers buiten winterkleding (85 % bescherming)			
			+	T1	T2	T3	+	T1	T2	T3	+	T1	T2	T3
1e ring	≤ 20	≥ 35	100	0	0	0	100	0	0	0	86	13	0	0
Grens 1e ring: 99% letaal	20	35	99	1	0	0	100	0	0	0	15	84	1	0
2e ring	20 tot 40	35 tot 10	32	12	0	54	19	24	0	54	5	27	12	54
Grens 2e ring: 1% letaal	40	10	1	1	0	88	1	1	0	88	0	1	1	88
3e ring	40 tot 60	10 tot 4	0	0	0	31	0	0	0	31	0	0	0	31
Grens 3e ring: 1% 1e grd brw	60	4	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1

Tabel 1.6 Effecten personen binnen en schade aan objecten (zie: www.scenarioboek.nl)

	Effect-afstand (meter)	Hitte-straling (kW/m ²)	Schade aan objecten	Slachtoffers binnen (0% bescherming)			
				†	T1	T2	T3
1e ring	≤ 20	≥ 35	<u>Onherstelbare schade</u> Alle brandbare materialen gaan branden	42	3	0	11
Grens 1e ring	20	35		10	1	0	45
2e ring	20 tot 40	35 tot 10	<u>Gemiddelde schade</u> Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Breuk dubbelglas tot 40 meter.	3	1	0	9
Grens 2e ring	40	10		0	0	0	0
3e ring	40 tot 60	10 tot 4	<u>Lichte schade</u> Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot 55 meter.	0	0	0	0
Grens 3e ring	60	4		0	0	0	0

2 Slachtofferinschattingen bij een fakkel van hogedrukbuisleidingen

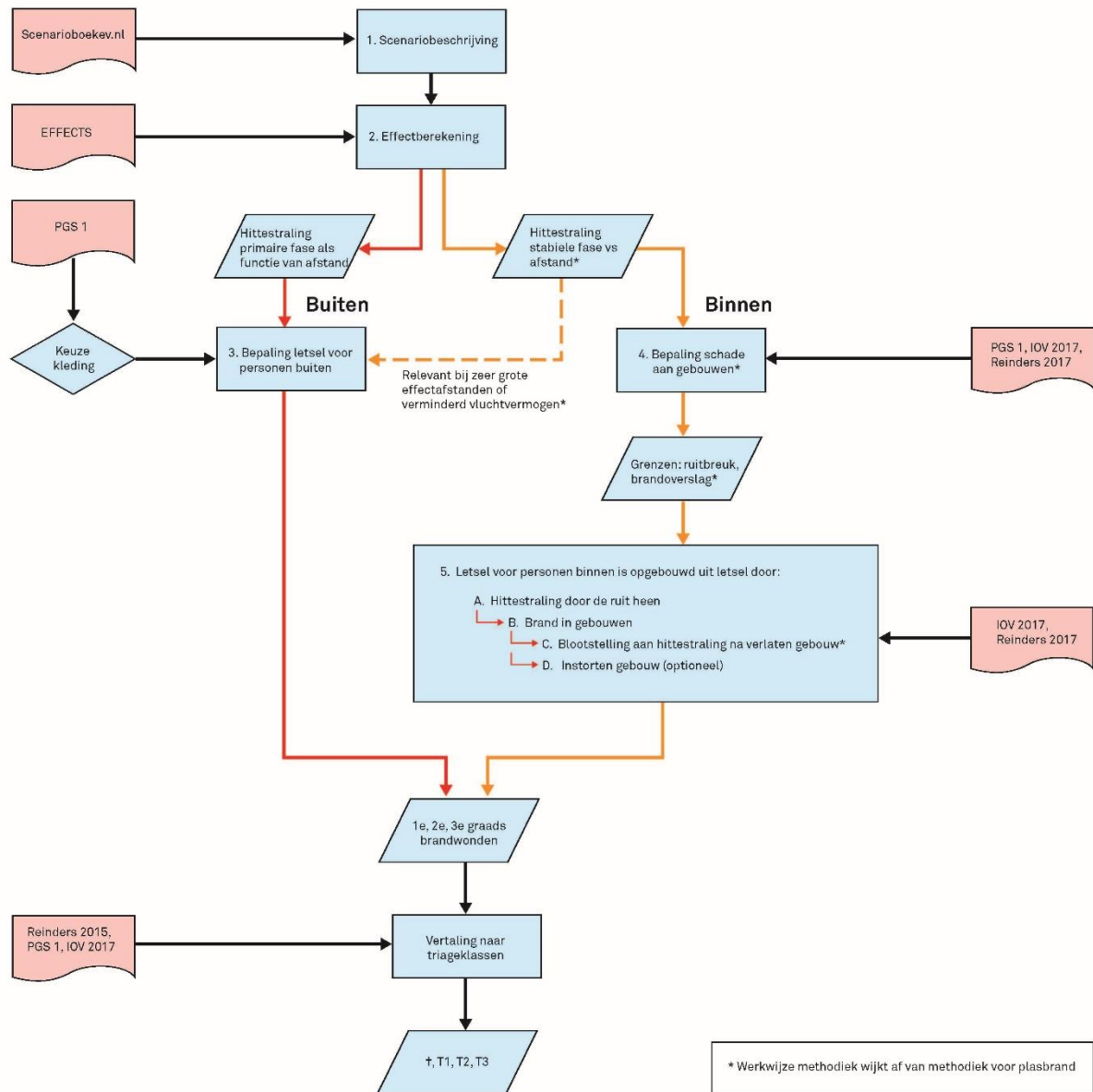
Voor de meeste fakkels worden dezelfde berekeningen toegepast als voor brand (zie hoofdstuk 1). De berekeningen voor hogedrukfakkels van bijvoorbeeld aardgasbuisleidingen worden doorgaans opgesplitst in:

- > een primaire fase van 20 seconden met een hoge hittestraling
- > een stabiele fase van 30 minuten met een lagere hittestraling.

De slachtoffers buiten worden bepaald door de primaire fase van 20 seconden. Voor slachtoffers binnen is de stabiele fase ook van invloed. De rol die de twee fases spelen voor schade en slachtoffers wordt hieronder aan de hand van het stappenplan toegelicht. Hierin wordt alleen beschreven waar de stappen afwijken van de berekeningen voor brand, zoals hierboven reeds uitgewerkt.

2.1 Stappenplan

De slachtofferinschattingpercentages van het scenarioboek zijn gebaseerd op de volgende stappen:



Kleur van de pijlen: rood is voor slachtofferinschatting buiten, geel voor binnen, zwart voor beide. Gestippeld: wordt niet kwantitatief gemaakt in de slachtofferpercentages.

Figuur 2.1 Stappenplan slachtofferinschattingen voor hittestraling van een fakkel van een hogedrukbuisleiding

De methodiek voor een fakkel van een hogedrukbuisleiding van wijkt (deels) af van de methodiek voor een brand. De afwijkingen worden hieronder toegelicht (tot en met paragraaf 2.3).

Stap 2) effectberekening

De resultaten voor hittestraling als functie van de afstand worden onderverdeeld in resultaten voor de primaire fase en de stabiele fase.

2.2 Slachtoffers van hittestraling buiten

Stap 3) Bepaling letsel voor personen die zich buiten bevinden

Als de default 'twintig seconden blootstelling' wordt gehanteerd, wordt het letsel opgebouwd tijdens de primaire fase en heeft de stabiele fase geen directe invloed op slachtoffers buiten. Indien personen vluchten met een bepaalde snelheid (0,9 of 4 m/s) zal expliciet gekeken worden of men tijdens de stabiele fase al veilig is. Bij langzamer vluchten kan de blootstelling aan de hittestraling veel langer zijn dan (effectief) 20 seconden. Ook bij 4 m/s vluchten kan bij de grote fakkels (met een grote effectafstand) aanvullend letsel ontstaan tijdens de stabiele fase.

2.3 Slachtoffers van hittestraling binnen

Stap 4) Bepaling van hittestralingsgrenzen voor schade aan gebouwen

De slachtoffers binnen zijn deels afhankelijk van ruitbreuk en de ontbranding van hout. Voor de ontbranding van hout en ruitbreuk van glas is de hittestralingsdosis van belang. Hierin speelt tijd een belangrijke rol. De primaire fase zorgt voor een hoge hittestraling bij een korte blootstellingstijd waarin hout en glas worden voorverwarmd en op korte afstand ook ontbranden, respectievelijk breken. De aanhoudende stabiele fase zorgt voor ruitbreuk en ontbranding van gebouwen tot op grotere afstand van de bron.

Stap 5) Bepaling van letsel aan personen die zich binnen bevinden

Na het verlaten van een gebouw zal een persoon blootgesteld worden aan de hittestraling van de stabiele fase. Daarmee zal de stabiele fase extra slachtoffers opleveren onder de personen die zich binnen bevonden.

2.4 Voorbeeld van slachtofferinschattingen bij een fakkel

Deze paragraaf toont de weergave van www.scenarioboekje.nl van slachtofferinschattingen bij een fakkelscenario van een hogedrukbuisleiding.



Figuur 2.2 Voorbeeld fakkelbrand bij hogedrukbuisleiding: hogedrukaardgasleiding

Het hier getoonde voorbeeld is de fakkel van hogedrukaardgasleidingen met diameters tussen 8 en 48 inch.

Tabel 2.3 Effectafstanden en slachtoffers buiten (zie: www.scenarioboek.nl)

	Effect-afstand (meter)	Hitte-straling (kW/m ²)	Slachtoffers buiten (0 % bescherming)				Slachtoffers buiten zomerkleding (40 % bescherming)				Slachtoffers buiten winterkleding (85 % bescherming)			
			†	T1	T2	T3	†	T1	T2	T3	†	T1	T2	T3
1e ring	Zie ring-grenzen onderstaande tabel	≥35	100	0	0	0	100	0	0	0	≤75	≥25	0	0
Grens 1e ring: 99% letaal		35	99	1	0	0	100	0	0	0	15	84	1	0
2e ring		35 tot 10	40	10	0	50	25	25	0	50	5	35	10	50
Grens 2e ring: 1% letaal		10	1	1	0	90	1	1	0	90	0	1	1	90
3e ring		10 tot 4	0	0	0	30	0	0	0	30	0	0	0	30
Grens 3e ring: 1% 1e grd brw		4	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1

Tabel 2.4 Schade aan objecten en slachtoffers binnen (zie: www.scenarioboek.nl)

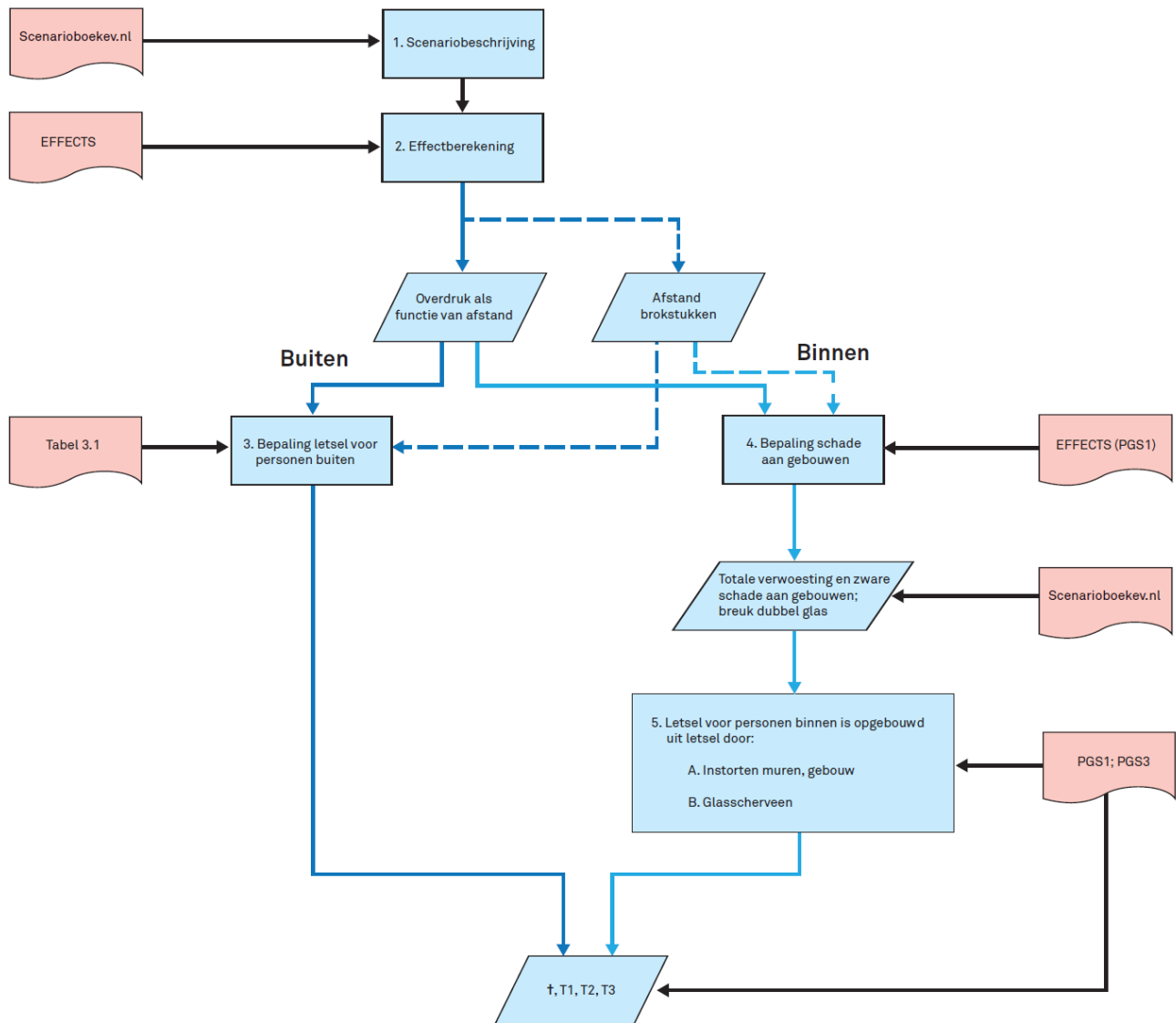
Diameter		Afstand bij 40 bar (m)			Afstand bij 66 bar (m)			Afstand bij 80 bar (m)		
Inch	mm	1e ring	2e ring	3e ring	1e ring	2e ring	3e ring	1e ring	2e ring	3e ring
8	203	50	100	150	nvt					
12	324	70	140	210						
16	406	80	190	280						
30	762	nvt			140	380	590	150	410	640
36	914				170	450	700	170	480	750
48	1219				210	580	900	220	620	980

3 Slachtofferinschattingen bij een explosie (overdruk)

De overdruk van een explosie wordt doorgaans veroorzaakt door een explosieve uitzetting van gas door het vrijkomen van dit gas bij grote drukverschillen tussen opslag en atmosfeer, en/of ten gevolge van uitzetting door verbranding van een (deels) opgesloten gaswolk. Een BLEVE van onbrandbaar (tot vloeistof verdicht) gas valt hier ook onder. De BLEVE met vuurbal wordt besproken in hoofdstuk 4. Dit hoofdstuk richt zich op slachtofferinschattingen voor scenario's waarin overdruk bepalend is voor het letsel.

3.1 Stappenplan

De slachtofferinschattingspercentages van het scenarioboek zijn hierop gebaseerd:



Kleur van de pijlen: donkerblauw is voor buiten, lichtblauw voor binnen, zwart voor beide. Gestippeld: het letsel door brokstukken wordt wel beschouwd, maar wordt niet kwantitatief gemaakt.

Figuur 3.1 Stappenplan voor slachtofferinschattingen bij overdruk tijdens een explosie.

3.2 Scenariobeschrijving en effecten

Stap 1) scenariobeschrijving

Op www.scenarioboekje.nl staat per scenario een korte beschrijving met relevante uitgangspunten voor de modellering.

Stap 2) effectberekening

De overdruk als functie van de afstand is belangrijke input voor het maken van slachtofferinschattingen van een explosie. De overdrukresultaten zijn doorgaans afkomstig uit de EFFECTS-berekening die gebruikt is voor de scenariokaart en bijgevoegd is op www.scenarioboekje.nl. Gebruik van een ander effectmodel is ook mogelijk.

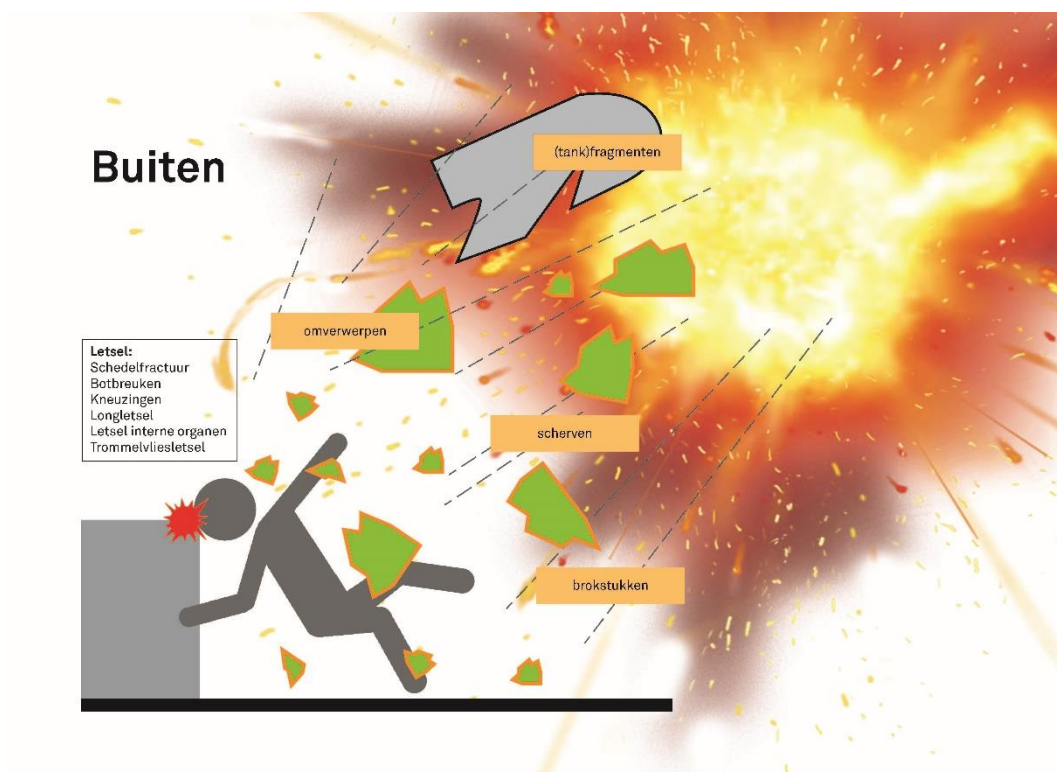
3.3 Slachtoffers overdruk buiten

Stap 3) Bepaling letsel voor personen die zich buiten bevinden

Letsel aan personen buiten wordt veroorzaakt door de overdruk zelf (gehoor, interne organen of longen worden ingedrukt) of door indirecte effecten, zoals:

- > overdruk die een persoon meesleurt of omverwerpt, waarna de betreffende persoon letsel oploopt, bijvoorbeeld door het raken van een hard voorwerp
- > rondvliegende brokstukken, scherven en (tank)fragmenten.

De aard van het letsel is zeer divers en kan bestaan uit een schedelfractuur, botbreuken, kneuzingen, longletsel, letsel aan interne organen en trommelvliesschade. Figuur 3.2 toont de verschillende oorzaken en aard van letsel aan personen die zich buiten bevinden:



Figuur 3.2 Letsel door overdruk aan personen buiten

Bepaling triageklassen voor overdruk

Tabel 3.3 toont de vertaling van overdruk naar triageklassen, zoals die binnen de systematiek van het scenarioboek gehanteerd wordt. Voor de aannames voor het letaal letsel ten gevolge van overdruk sluiten we aan bij de overdrukgrenzen die in de risicoberekeningsmethodieken voor Bevi en transport van gevaarlijke stoffen worden gehanteerd (Handleiding risicoanalyse BEVI 2015; Handleiding Risicoanalyse Transport 2017). Met name personen die zich buiten bevinden, kunnen te maken krijgen met rondvliegende brokstukken en fragmenten. Indien een persoon geraakt wordt is de kans op overlijden zeer groot, zoals berekend kan worden op basis van het Groene Boek (2003). Deze rondvliegende brokstukken en fragmenten kunnen daardoor een belangrijke rol spelen.² Het letsel door brokstukken komt nog bovenop het letsel dat is weergegeven in tabel 3.3. Het percentage 'T3 letsel' in de tabel is gebaseerd op trommelvliesletsel en wordt eveneens bepaald op basis van het Groene Boek (2003).

Tabel 3.3 Bepaling triageklassen voor overdruk letsel buiten

Overdruk (barg)	Letsel buiten		
	Letaal	T1 + T2	T3
> 0,3	100%	0%	0%
0,3	100% -> 0 % + letsel door brokstukken en fragmenten	0 % + letsel door brokstukken en fragmenten	3% + letsel door brokstukken en fragmenten
0,2	0% + letsel door brokstukken en fragmenten	0 % + letsel door brokstukken en fragmenten	1% + letsel door brokstukken en fragmenten

3.4 Slachtoffers overdruk binnen

Stap 4) Bepaling van schade aan gebouwen

De schade die overdruk aan gebouwen kan aanrichten, heeft grote invloed op het letsel van de personen die zich binnen die gebouwen bevinden. Totale verwoesting en zware schade aan gebouwen en rondvliegende glasscherven door ruitbreuk zijn belangrijke oorzaken voor letaal letsel. De ondergrens (van 1%) voor ruitbreuk ten gevolge van overdruk, ligt op 0,02 barg voor dubbel glas en op 0,01 barg voor enkel glas. Bij deze ondergrens zullen er geen directe slachtoffers meer vallen, maar wel kan het wegvallen van de ruit invloed hebben als

² Het inschatten van slachtofferpercentages ten gevolge van brokstukken en fragmenten wordt voornamelijk buiten beschouwing gelaten, omdat het sterk afhankelijk is van de inrichting van de omgeving en van het aantal brokstukken dat door de explosie rondvliegt. Het aantal brokstukken is echter lastig te schatten. Een nuttige eerste uitbreiding op de resultaten zou een inschatting kunnen zijn van de afstand die de brokstukken kunnen overbruggen. De uiterste afstand die zij kunnen bereiken, kan geschat worden aan de hand van de totale massa van brokstukken en fragmenten, waarbij de fragmenten van de tank meestal het grootste deel van de massa vormen.

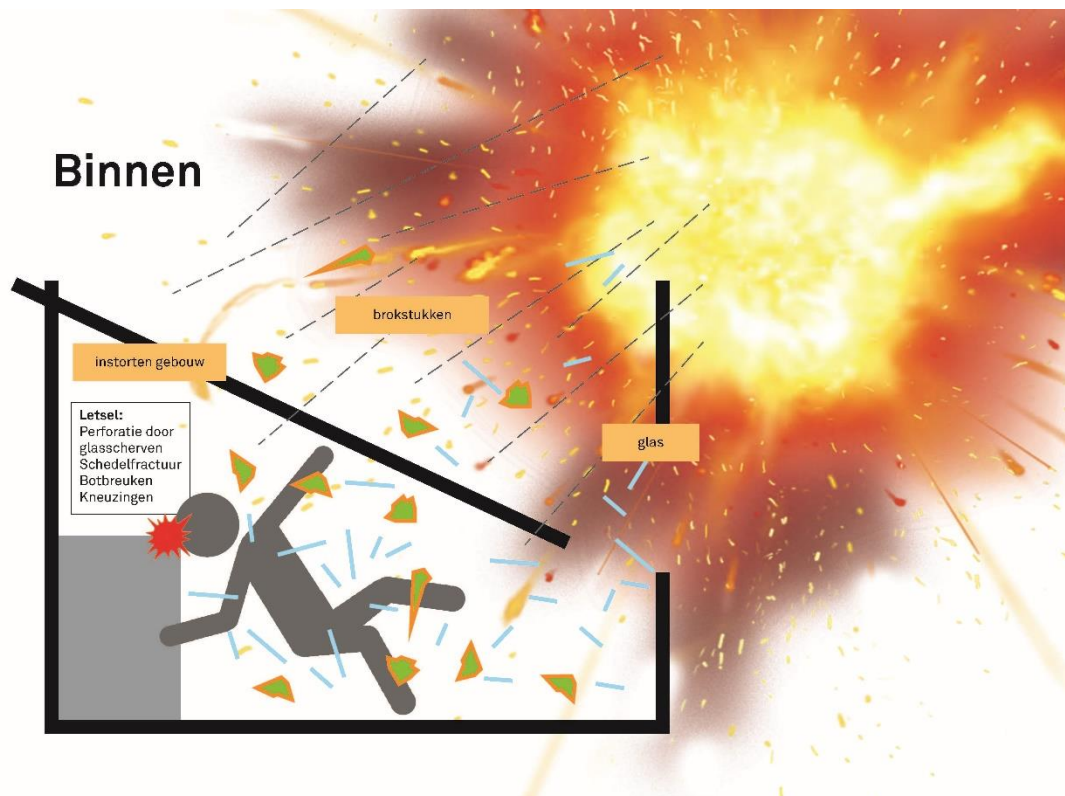
er naast overdruk ook hittestraling of direct vlamcontact een rol spelen bij het scenario, zoals bij de BLEVE (zie het volgende hoofdstuk).

Stap 5) Bepaling van letsel aan personen die zich binnen bevinden

Overdruk geeft een divers letselbeeld (zie figuur 3.4), dat voor personen binnen gebouwen onderverdeeld kan worden in:

- 1) letsel door het (gedeeltelijk) instorten van het gebouw
- 2) letsel door rondvliegende (glas)scherven
- 3) letsel door rondvliegende brokstukken en (tank) fragmenten (buiten en binnen)
- 4) gehoorschade.

Binnen gebouwen bepalen rondvliegende glasscherven doorgaans het letsel. De scherven zijn vaak afkomstig van brekende ruiten. Het instorten van gebouwen speelt alleen op korte afstand van de bron een rol.



Figuur 3.4 Mogelijk letsel ten gevolge van overdruk (Trijsenaar, 2011)

Bepaling triageklassen voor overdruk

Voor het letaal letsel aan personen binnen gebouwen wordt – net als voor personen buiten – aangesloten bij de overdruk grenzen uit de risicoberekeningsmethodieken Bevi en Transport van gevaarlijke stoffen (zie Tabel 3.5). Daarnaast wordt de verhouding van T1 en T2-slachtoffers samen tot letale slachtoffers bepaald aan de hand de volgende relatie uit het Groene Boek (2003), deel 2A, paragraaf 6.2:

$$IR = 0,27 * e^{-\left(\frac{1}{3,5} * \left(\ln\left(\frac{LR}{1-LR}\right) + 2\right)\right)^2}$$

Waarin:

IR: fractie mensen die gewond raken [-]

LR: fractie doden [-]

Het T3-letsel binnen (onder andere door gehoorschade) wordt minimaal gelijk verondersteld aan het T3-letsel buiten.

Tabel 3.5 Bepaling triageklassen voor overdruk (RIVM, 2015 & RIVM 2017)

Overdruk (barg)	Letaal		
	Letaal	T1 + T2	T3
> 0,3	100%	0%	0%
0,3	100% -> 2,5 %	0 % -> 21,5 %	3%
0,2	2,5 %	21,5 %	1%
0,1	2,5 % -> 0 %	21,5 % -> 0 %	

3.5 Voorbeeld van slachtofferinschattingen bij overdruk



Figuur 3.6 Voorbeeld explosie: tubetrailer waterstof

Tabel 3.7 Effectafstanden, schade aan objecten en slachtoffers (zie: www.scenarioboek.nl)

	Effectafstand (meter)	Overdruk (bar)	Schade aan objecten	Indicatie slachtoffers(%)	
				Binnen	Buiten
1e ring	≤ 20	> 0,3	<u>Totale verwoesting</u> >0,8 bar Volledige instorting van gebouwen. Meer dan 75% van alle buitenmuren zijn ingestort. <u>Zware schade</u> Onherstelbare schade 50-70% van de buitenmuren zijn zwaar beschadigd. De overige muren zijn onbetrouwbaar geworden.	100% letaal	100% letaal
Grens 1e ring	20	0,3			
2e ring	20 tot 25	0,3 tot 0,2	<u>Gemiddelde schade</u> Beschadigde daken. Ernstige beschadigingen aan draagconstructies, ontzette muren, scheuren in gevels	2,5% letaal 21,5% T1/T2 1% T3	1% T3
Grens 2e ring	25	0,2			

3e ring	25 tot 40	0,2 tot 0,1	<u>Lichte schade</u> Schade aan deurposten (tot 0,15 bar). Bewoonbaar na kleine reparaties. Herstelbare schade.	2,5% letaal 21,5% T1+T2 1% T3	1% T3
Grens 3e ring	40	0,1		0%	0%
Ruitbreuk gebied	40 tot 140	0,1 tot 0,02	Tot op 140 m (0,02 bar) treedt 1% Ruitbreuk dubbel glas op.		

- De in deze tabel gegeven percentages bij slachtoffers zijn secundair. Direct slachtoffer worden van overdruk, zoals door longschade, is niet bepalend voor het letsel. Binnen wordt het letsel m.n. veroorzaakt door scherfwerking en het instorten van gebouwen en muren. Buiten wordt het letsel m.n. veroorzaakt door een combi van brokstukken, fragmenten en omverwerpen met hersenletsel als gevolg. Brokstukken en fragmenten kunnen tot op grotere afstand letsel veroorzaken dan in de slachtofferpercentages is meegenomen.
- Vanwege de leesbaarheid van de tabel zijn de grenswaarden voor materiële en persoonlijke schade gelijkgeschakeld. Voor de indeling van schade aan objecten worden eigenlijk net andere grenswaarden gebruikt. De waarden 0,3 = 0,35 bar en 0,2 = 0,17 bar.

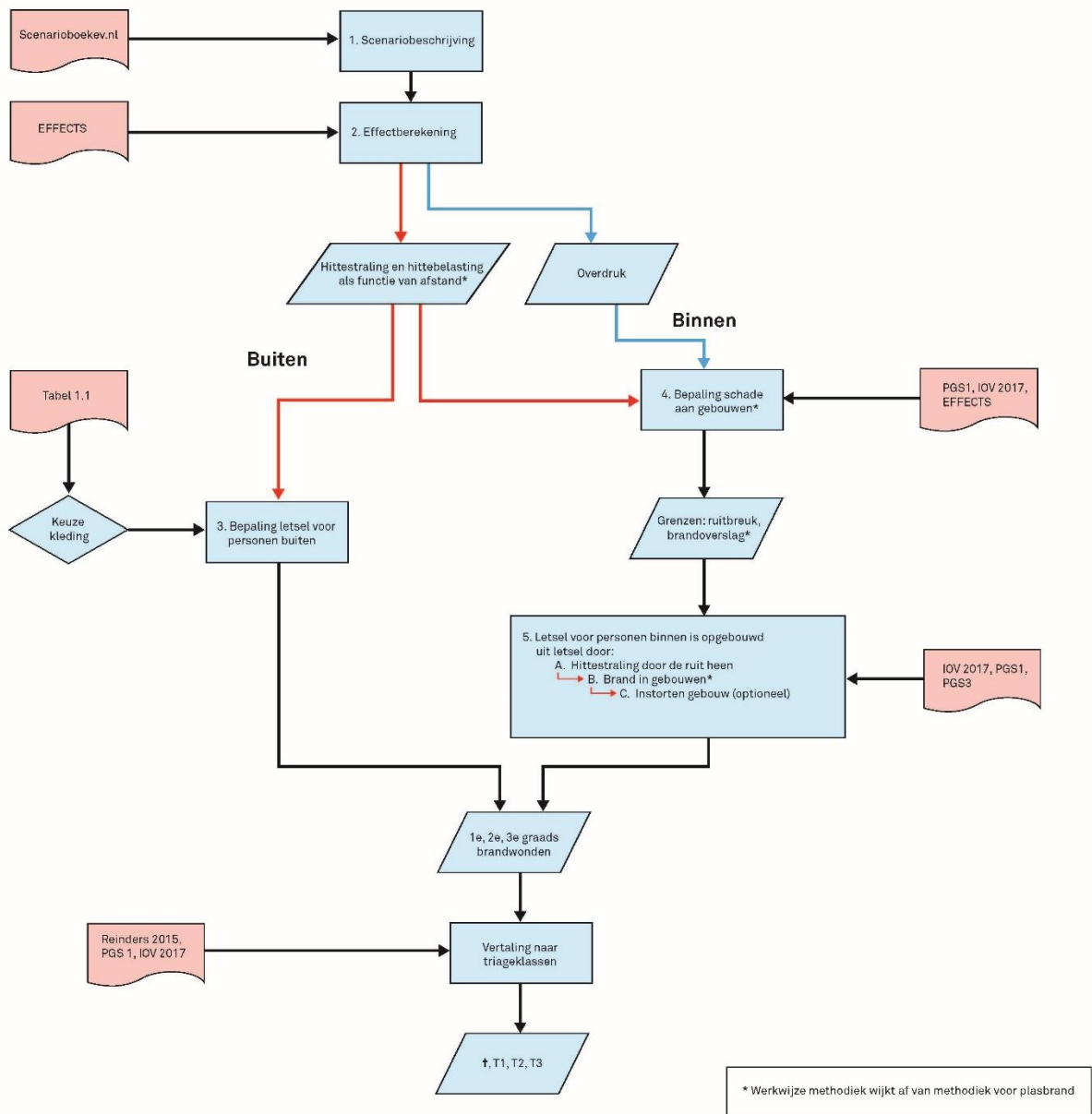
4 Slachtofferinschattingen bij een warme BLEVE

Bij de BLEVE spelen hittestraling en overdruk samen een rol bij letsel aan personen. De overdruk heeft invloed op ruitbreuk en daarmee op brandoverslag. Uit de effectafstanden van verschillende BLEVE-scenario's blijkt dat de hittestraling van een BLEVE bepalend voor letsel en schade, met uitzondering van ruitbreuk, waarvoor de overdruk bepalend is.

De hittestraling van een BLEVE wordt veroorzaakt door een opstijgende en onderweg groeiende vuurbal. De overdruk van een BLEVE wordt veroorzaakt door de uitzetting van onder druk vloeibaar gemaakt gas naar de gasfase. De overdruk treedt direct op bij het ontstaan van de BLEVE; de duur van de vuurbal is circa 10 tot 15 seconden.

4.1 Stappenplan

De slachtofferinschattingpercentages van het scenarioboek zijn gebaseerd op de stappen in het schema op de volgende pagina.



Kleur van de pijlen: rood is voor buiten (m.n. letsel door hittestraling, blauw voor binnen (m.n. letsel door overdruk), zwart voor beide

Figuur 4.1. Stappenplan slachtofferinschattingen voor overdruk van een explosie

Het stappenplan voor het bepalen van het letsel is in de basis gelijk aan dat voor een plasbrand, met een aantal belangrijke verschillen bij de BLEVE als gevolg van het opstijgen van de vuurbal en de combinatie met overdruk.

4.2 Scenariobeschrijving en effecten

Stap 2) Effectberekening

Voor het scenarioboek wordt bij de uitwerking van de effecten van BLEVE's uitgegaan van het dynamische BLEVE-model. In dit model wordt rekening gehouden met het opstijgen van de vuurbal. Voor de slachtofferinschattingen zijn de hittestraling, hittebelasting en overdruk als functie van de afstand van belang. Deze resultaten zijn afkomstig uit de EFFECTS-berekening die gebruikt is voor de scenariokaart.

4.3 Slachtoffers hittestraling buiten

Stap 3) Bepaling van letsel aan personen die zich buiten bevinden

De oorzaken van letsel aan personen buiten zijn: hittestraling, ontbranding van kleding gecombineerd met overdruk, rondvliegende brokstukken en fragmenten. Hierbij is de hittestraling doorgaans bepalend voor het letsel. De aard van het letsel bestaat uit 1^e, 2^e en 3^e graads brandwonden en diverse andere vormen door overdruk.

De effectieve duur voor blootstelling van de huid wordt voor de BLEVE berekend uit de hittebelasting en hittestraling. De effectieve blootstellingsduur is maximaal gelijk aan de default van 20 seconden.

Het letsel door overdruk wordt niet getoond in de resultaten van de slachtofferinschattingen voor de BLEVE, aangezien hittestraling bepalend is voor het letsel.

4.4 Slachtoffers binnen

Stap 4) Bepaling van grenzen voor schade aan gebouwen

De combinatie van overdruk en hittestraling heeft gevolgen voor de schade aan gebouwen. De overdruk zorgt voor een grotere afstand waarop ruitbreuk optreedt. Bij het ontbreken van een ruit, is de kans op brandoverslag groter op dan bij aanwezigheid van de ruit. Door de korte duur van de vuurbal liggen de grenzen voor brandoverslag naar gebouwen (kW/m^2) relatief hoog (c.q. effectafstanden zijn relatief klein) vergeleken bij een plasbrand.

Stap 5) Bepaling van letsel aan personen die zich binnen bevinden

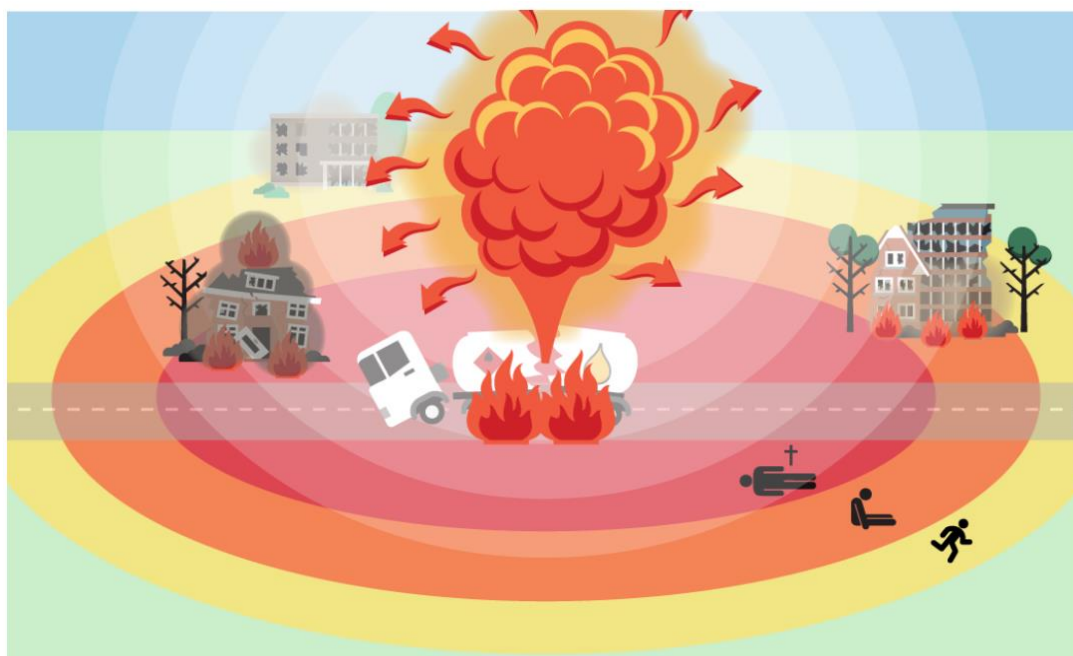
De aard van het letsel voor personen die zich binnen bevinden, wordt gekenmerkt door letsel dat door hittestraling en brand binnen gebouwen wordt veroorzaakt. De overdruk heeft met name invloed op de afstand waarop brand binnen gebouwen op kan treden.

Bijzonderheden bij de inschatting van slachtoffers van de BLEVE die zich binnen bevinden, zijn:

- > Hittestraling door de ruit heen : maximaal 10 seconden blootstelling. In enkele gevallen is de duur van de vuurbal korter dan 10 seconden.
- > Door de korte duur van de vuurbal speelt blootstelling aan hittestraling na het verlaten van het gebouw geen rol bij de BLEVE.

4.5 Voorbeeld van slachtofferinschatting bij een warme BLEVE

Deze paragraaf toont de weergave van www.scenarioboekje.nl van slachtofferinschattingen bij een warme BLEVE-scenario.



Figuur 4.2 Voorbeeld warme BLEVE van een tankwagen LPG

Het hier getoonde voorbeeld is de warme BLEVE van een LPG-tankwagen.

Tabel 4.3 Effectafstanden en slachtoffers buiten (zie: www.scenarioboekje.nl)

	Effect-afstand (meter)	Hitte-straling (kW/m ²)	Slachtoffers buiten (0 % bescherming)				Slachtoffers buiten zomerkleding (40 % bescherming)				Slachtoffers buiten winterkleding (85 % bescherming)			
			+	T1	T2	T3	+	T1	T2	T3	+	T1	T2	T3
1e ring	≤ 100	≥ 130	100	0	0	0	100	0	0	0	90	10	0	0
Grens 1e ring: 99% letaal	100	130	99	1	0	0	100	0	0	0	15	84	1	0

2e ring	100 tot 245	130 tot 25	34	11	0	53	24	21	0	53	5	29	11	53
Grens 2e ring: 1% letaal	245	25	1	1	0	86	1	1	0	86	0	1	1	86
3e ring	245 tot 380	25 tot 10	0	0	0	27	0	0	0	27	0	0	0	27
Grens 3e ring: 1% 1e grd brw	380	10	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1

Tabel 4.4 Schade aan objecten en slachtoffers binnen (zie: www.scenarioboek.nl)

	Effect-afstand (meter)	Hitte-straling (kW/m ²)	Schade aan objecten	Slachtoffers binnen (0% bescherming)			
				+	T1	T2	T3
1e ring	≤ 100	≥ 130	<u>Onherstelbare schade</u> Alle brandbare materialen gaan branden.	40	6	0	5
Grens 1e ring	100	130		22	12	0	18
2e ring	100 tot 245	130 tot 25	<u>Gemiddelde schade</u> Brandhaarden, vervorming van hout en kunststof. Breuk dubbelglas tot 220 meter.	3	1	0	22
Grens 2e ring	245	25		0	0	0	1
3e ring	245 tot 380	25 tot 10	<u>Lichte schade</u> Geen branden, afbladderen verf en ernstige verkleuringen. Breuk enkel glas tot 220 meter.	0	0	0	0
Grens 3e ring	380	10		0	0	0	0

5 Referenties

- Groene Boek (2003) *Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen PGS1, 'Groene Boek'. Ministerie van VROM.*
- IOV (2017) *Methodieken voor bepalen handelingsperspectieven en schade bij ongevallen met gevaarlijke stoffen, Inge Trijssenaar, Johan Reinders, TNO R10527, IOV project t.b.v. het scenarioboek.*
- Paarse Boek (2005) *Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 3. Richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyse. PGS3, 'Paarse boek'. Ministerie van VROM.*
- Reinders (2015) *Van letselmodellering naar triageklassen voor warmtestraling Reinders, J., & Trijssenaar, I., TNO 2015 R10091.*
- Reinders (2017) *Betekenis van aandachtsgebieden rondom hogedruk aardgasleidingen voor de hulpverlening - Technisch rapport. Reinders, J., Trijssenaar, I., & Raben, I., TNO 2017 R10514-v2.*
- RIVM (2015) *Handleiding Risicoberekeningen Bevi. Versie 3.3. RIVM. <https://www.rivm.nl/documenten/handleiding-risicoberekeningen-bevi-v33>*
- RIVM (2017) *Handleiding Risicoanalyse Transport-bijlagen (HART). Versie 1.2. RIVM. <https://www.rivm.nl/handleiding-risicoanalyse-transport-hart>*
- Trijssenaar (2011) *Kwantificering van de effectiviteit van maatregelen voor ongevallen met gevaarlijke stoffen, Fase 1: kwantificeren van aantallen gewonden. Inge Trijssenaar; Marike van der Horst; Ries Simons; Reinier Sterkenburg; Ingrid Raben. TNO-060-UT-2011-01712, TNO.*
- Trijssenaar (2019) *Effecten van spoorongevallen met gevaarlijke stoffen op het traject Meteren-Boxtel, Inge Trijssenaar, Ingrid Raben, Johan Reinders, TNO rapport R10434.*

Bijlage Triageklassen hittestraling

De vertaling van brandwonden naar triageklassen wordt gedaan volgens onderstaande drie tabellen voor respectievelijk winterkleding, zomerkleding en “geen beschermende werking van kleding” (op basis van Reinders, Groene Boek (2003), IOV 2017).

Tabel B.1 Winterkleding: minder dan 20% onbeschermd lichaamsoppervlak

Aard van de verbranding	Letaal	Triageklassen		
		T1	T2	T3
Vlam vattende kleren	100%	0%	0%	0%
3e graad - letaal	100%	0%	0%	0%
3e graad brandwonden - subletaal	0%	100%	0%	0%
2e graad brandwonden	0%	0%	100%	0%
1e graad brandwonden	0%	0%	0%	100%

Tabel B.2 Zomerkleding: 20 tot 60% onbeschermd lichaamsoppervlak

Aard van de verbranding	Letaal	Triageklassen		
		T1	T2	T3
Vlam vattende kleren	100%	0%	0%	0%
3e graad - letaal	100%	0%	0%	0%
3e graad brandwonden - subletaal	0%	100%	0%	0%
2e graad brandwonden	0%	100%	0%	0%
1e graad brandwonden	0%	0%	0%	100%

Tabel B.3 Geen beschermende werking van kleding: meer dan 60% onbeschermd lichaamsoppervlak

Aard van de verbranding	Letaal	Triageklassen		
		T1	T2	T3
Vlam vattende kleren	100%	0%	0%	0%
3e graad - letaal	100%	0%	0%	0%
3e graad brandwonden - subletaal	0%	n.v.t.	0%	0%
2e graad brandwonden	0%	100%	0%	0%
1e graad brandwonden	0%	0%	0%	100%