



Kennisnotitie

Onderzoek naar de verandering van risico's van giftige vloeistoffen tussen Safeti-NL versie 8.3 en versie 9.2

Aanleiding

AVIV heeft een consequentieonderzoek [1] uitgevoerd naar de invoering van Safeti-NL versie 9.2. Een van de conclusies van het consequentieonderzoek was dat de contour van het plaatsgebonden risico (PR-contour) toeneemt voor de (oude) voorbeeldstoffen voor de giftige vloeistoffen LT1, LT2 en LT3 (respectievelijk acrylonitril, allylamine en acroleïne). AVIV constateert dat deze toename onverwacht is in het licht van de beschreven modelveranderingen. Ook rapporteert AVIV onduidelijkheden in de uitvoer van Safeti-NL: de 1%-letaliteitsafstanden in de *Summary Maximum Effect Zones*- (SMEZ-) rapporten laten geen verschillen zien tussen Safeti-NL versie 8.3 en 8.8¹, terwijl de 1%-letaliteitsgrafieken wel verschillen laten zien. AVIV adviseert verder te onderzoeken hoe de verschillen bij de giftige vloeistoffen te verklaren zijn.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft vervolgens het RIVM gevraagd de verschillen in LT1-, LT2- en LT3-effecten tussen beide versies van Safeti-NL nader te onderzoeken. Deze Kennisnotitie beschrijft de resultaten van het onderzoek.

Leeswijzer

Deze Kennisnotitie is verdeeld in meerdere paragrafen. Allereerst wordt bij Methode ingegaan op de modellering die is uitgevoerd in Safeti-NL. Vervolgens wordt bij Resultaten ingegaan op de uitkomsten van de berekeningen met beide versies van Safeti-NL. In de Analyse wordt dieper in de resultaten gedoken en wordt gezocht naar een oorzaak voor deze verschillen door de resultaten voor de uitstroom en verspreiding te vergelijken. De belangrijkste conclusie en een samenvatting van de Kennisnotitie zijn gegeven in de Conclusie.

Methode

Om de verschillen in modellering van giftige vloeistoffen tussen de verschillende versies van Safeti-NL te onderzoeken zijn drie atmosferische opslagtanks met elk 50 ton van een giftige vloeistof zonder tankput gemodelleerd in Safeti-NL, versie 8.3:

- Acrylonitril (CAS-nummmer: 107-13-1);
- Allylamine (CAS-nummmer: 107-11-9);
- Acroleïne (CAS-nummmer: 107-02-8).

RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T 088 689 89 89

Auteurs:

Luc Smulders
Paul Uijt De Haag

Centrum:

Veiligheid (VLH)

Contact:

Luc Smulders

Kenmerk:

KN-2025-0117

DOI:

10.21945/RIVM-KN-2025-0117

Datum:

12-01-2026

¹ Het consequentieonderzoek is met versie 8.8 uitgevoerd omdat versie 9.2 nog niet beschikbaar was. Versie 8.8 en versie 9.2 zijn inhoudelijk (vrijwel) gelijk [2].

De toegepaste probitwaarden zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Overzicht van stoffen en gebruikte probitwaarden in beide versies van Safeti-NL.

Stof	a (ppm, min)	b	N
Acrylonitril	-7,52	1	1,3
Allylamine	-16,99	2,3	0,87
Acroleïne	-3,21	1	1

Voor iedere opslagtank zijn de standaard modelscenario's instantaan falen, 10 min uitstroming en 10 mm gat gemodelleerd en opgeslagen in het Safeti- (psux-) bestand. De 'Effect levels' staan hierbij automatisch op 'none'. Hetzelfde psux-bestand is vervolgens ingeladen in Safeti-NL versie 9.2. Voor elke tank zijn met beide versies van Safeti-NL de effecten en het plaatsgebonden risico (PR) berekend.

Resultaten

Om de resultaten uit de twee versies van Safeti-NL te vergelijken, is voor alle opslagtanks het PR als functie van de afstand geplot in Figuur 1.

In grote lijnen overlappen de plaatsgebonden risico's uit versie 8.3 en die uit versie 9.2 voor alle drie de stoffen. Voor alle drie de voorbeeldstoffen is de afstand die hoort bij een PR 10^{-6} per jaar in versie 8.3 gelijk aan die uit versie 9.2. Pas bij een PR in de orde van 10^{-8} tot 10^{-10} per jaar en kleiner beginnen de plots meer uit elkaar te lopen. Voor de opslagtank met allylamine, gebeurt dit ook al bij hogere PR-waarden (vanaf ongeveer 10^{-7} per jaar)².

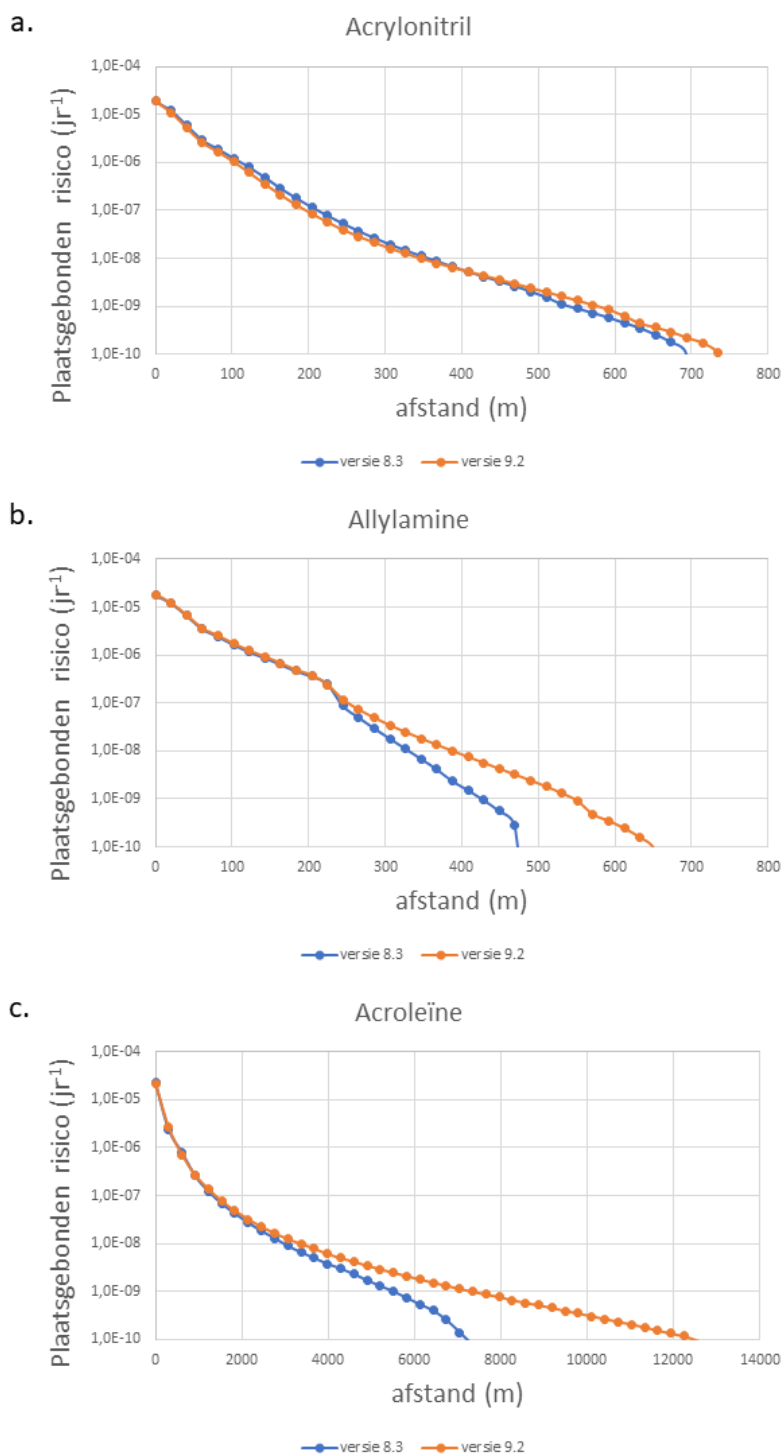
Vervolgens wordt ingegaan op de verschillen door een uitsplitsing te maken in de afzonderlijke scenario's en weerklassen. Er is gekozen voor een uitsplitsing in de weerklassen D 5 m/s en F 1,5 m/s omdat D 5 m/s een gemiddeld weer representeert en F 1,5 m/s de grootste effectafstanden geeft.

In Tabel 2 zijn de 1%-letaliteitsafstanden per scenario en per weerklassen uit de SMEZ-rapporten gegeven. De veranderingen in afstand tot 1% letaliteit tussen beide versies variëren tussen -13% en +12% voor weertype D 5 m/s. Voor allylamine en acroleïne lijken de verschillen met name in het instantaan falen te zitten, maar voor acrylonitril zijn de verschillen eerder toe te wijzen aan het 10 minuten scenario. De verschillen zijn voor weertype D 5 m/s echter klein.

Voor het weertype F 1,5 m/s zijn de veranderingen in 1%-letaliteitsafstand van versie 8.3 naar versie 9.2 veel groter. De verandering varieert van -5% tot +95% en is voor acroleïne het grootst.

² De vergelijking is hier uitgevoerd voor één enkele opslagtank. Hierbij is de afwijking pas zichtbaar vanaf ongeveer 10^{-7} per jaar. Bij een bedrijf kunnen er meerdere tanks aanwezig zijn met bijbehorende leidingen en verlading, waardoor het plaatsgebonden risico van het bedrijf groter is dan voor één enkele opslagtank. Hierdoor zal de afwijking zichtbaar zijn bij een hoger plaatsgebonden risico en ook van invloed zijn op de ligging van de PR 10^{-6} per jaar.

Figuur 1 Plaatsgebonden risico als functie van de afstand voor elk van de drie stoffen, acrylonitril (a), allylamine (b), en acroleïne (c), zoals uitgerekend met Safeti-NL versie 8.3 en versie 9.2.



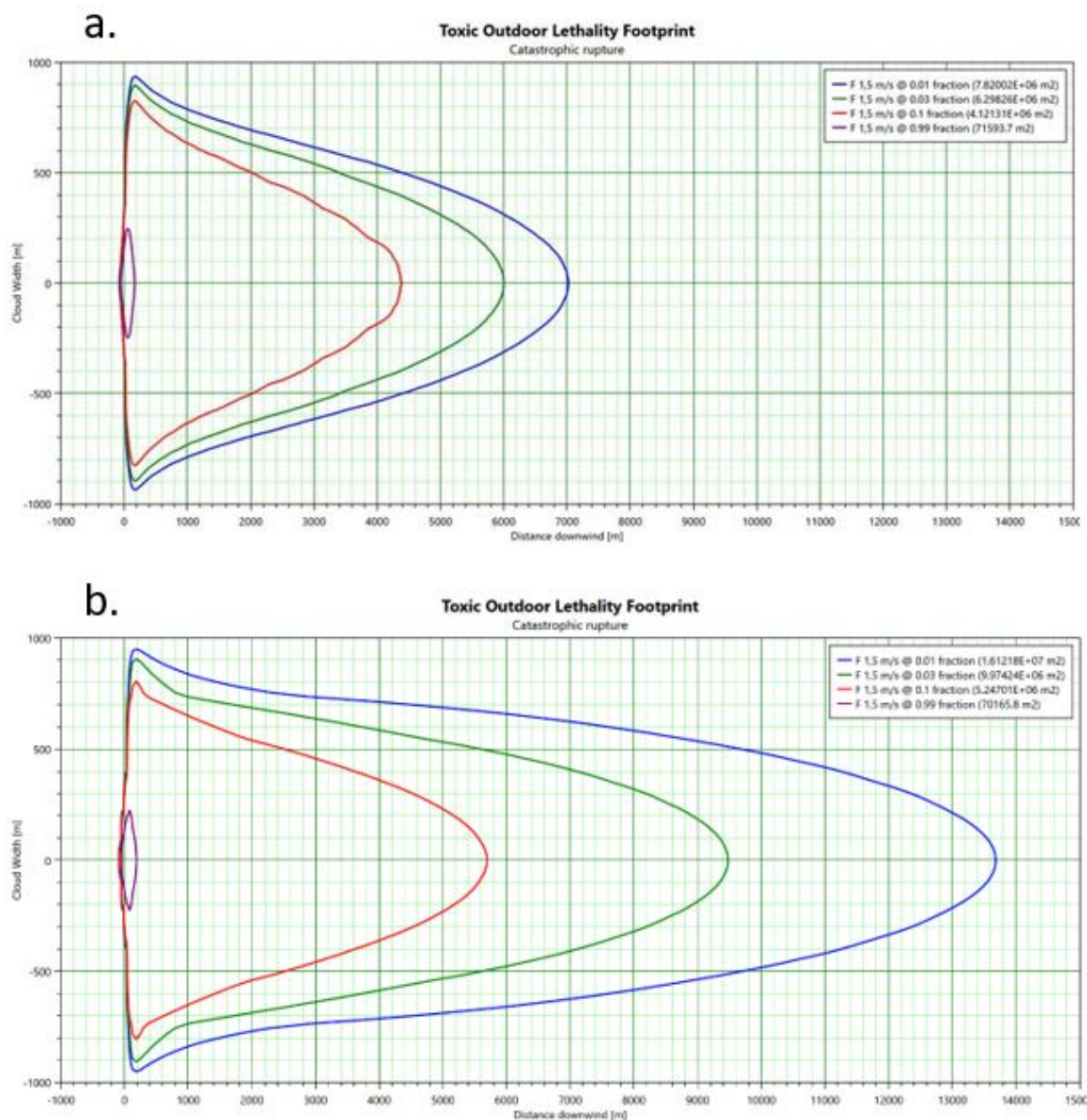
Tabel 2 Afstand tot 1% letaliteit per giftige vloeistof, weertype en scenario uit het SMEZ-rapport, zoals berekend met Safeti-NL versie 8.3 en versie 9.2 voor weertypen D 5 m/s en F 1,5 m/s.

Opslagtank	Scenario	Afstand tot 1% letaliteit versie 8.3 [m]	Afstand tot 1% letaliteit versie 9.2 [m]	Verandering ³ [%]
Acrylonitril, D 5 m/s	Instantaan falen	216	210	-3
	10 min lek	314	274	-13
	10 mm lek	53	49	-9
Acrylonitril, F 1,5 m/s	Instantaan falen	522	622	19
	10 min lek	705	760	8
	10 mm lek	132	125	-5
Allylamine, D 5 m/s	Instantaan falen	148	164	11
	10 min lek	241	233	-3
	10 mm lek	37	37	-2
Allylamine, F 1,5 m/s	Instantaan falen	381	568	49
	10 min lek	483	666	38
	10 mm lek	97	104	7
Acroleïne, D 5 m/s	Instantaan falen	2384	2680	12
	10 min lek	2881	2933	2
	10 mm lek	353	351	-1
Acroleïne, F 1,5 m/s	Instantaan falen	7008	13683	95
	10 min lek	7804	14092	81
	10 mm lek	1359	1640	21

In Figuur 2 wordt verder gekeken naar de letaliteitsafstanden van acroleïne en zijn de *Toxic Outdoor Lethality Footprints* zoals berekend met versie 8.3 en versie 9.2 van Safeti-NL gegeven.

³ Berekend met $(\text{Nieuw} - \text{Oud}) / \text{Oud} * 100\%$, of in dit geval $((\text{Afstand versie 9.2} - \text{Afstand versie 8.3}) / \text{Afstand versie 8.3}) * 100\%$.

Figuur 2 Toxic Outdoor Lethality Footprint voor het instantaan falen van een atmosferische tank met acroleïne bij weertype F 1,5 m/s zoals berekend met Safeti-NL versie 8.3 (a) en versie 9.2 (b). De afstanden voor 1%, 3%, 10% en 99% letaliteit zijn weergegeven in respectievelijk blauw, groen, rood en paars.



Net als uit Tabel 2, blijkt uit Figuur 2 dat de letaliteitsafstanden voor acroleïne (LT3) inderdaad verschillen tussen Safeti-NL versie 8.3 en versie 9.2. Met de nieuwe versie zijn de letaliteitsafstanden een stuk groter geworden: de 1%-letaliteitsafstand verandert van 7000 m benedenwinds (versie 8.3) naar 13.700 m benedenwinds (versie 9.2).

De verandering is dus zowel zichtbaar in de 1%-letaliteitsgrafieken als in de SMEZ-rapporten. De bevinding van AVIV dat de 1%-letaliteitsafstanden in de SMEZ-rapporten in Safeti-NL versie 8.3 en 8.8 overeenkomen, is dus niet waargenomen met versie 9.2.

Analyse

Om de verschillen in scenario's te analyseren, is voor de opslagtank met acroleïne een aantal tussenresultaten van de berekening vergeleken. Eerst zijn de plasgrootte, verdampingssnelheid en de hoeveelheid uitgeregende vloeistof berekend en vergeleken (Tabel 3).

Tabel 3 Maximale waarden voor de plasgrootte, verdampingssnelheid en hoeveelheid uitgeregende vloeistof voor acroleïne, zoals uitgerekend met Safeti-NL versie 8.3 en 9.2 voor ieder scenario afzonderlijk, uitgaande van weertypen D 5 m/s (Nacht) en F 1,5 m/s.

Opslagtank	Scenario	Plasgrootte, straal [m]	Verdampings-snelheid [kg/s]	Uitgeregende Vloeistof [kg] of [kg/s] ⁴
Acroleïne, D 5 m/s (Nacht), Versie 8.3	Instantaan falen	59,2	27	49842
	10 min lek	55,3	19	80,0
	10 mm lek	7,1	0,29	0,56
Acroleïne, D 5 m/s (Nacht), Versie 9.2	Instantaan falen	59,2	28	49835
	10 min lek	55,2	20	80,1
	10 mm lek	7,0	0,30	0,57
Acroleïne, F 1,5 m/s, Versie 8.3	Instantaan falen	60,2	13	49886
	10 min lek	57,8	10	80,7
	10 mm lek	7,8	0,19	0,56
Acroleïne, F 1,5 m/s, Versie 9.2	Instantaan falen	60,2	14	49873
	10 min lek	57,8	11	80,8
	10 mm lek	7,8	0,19	0,56

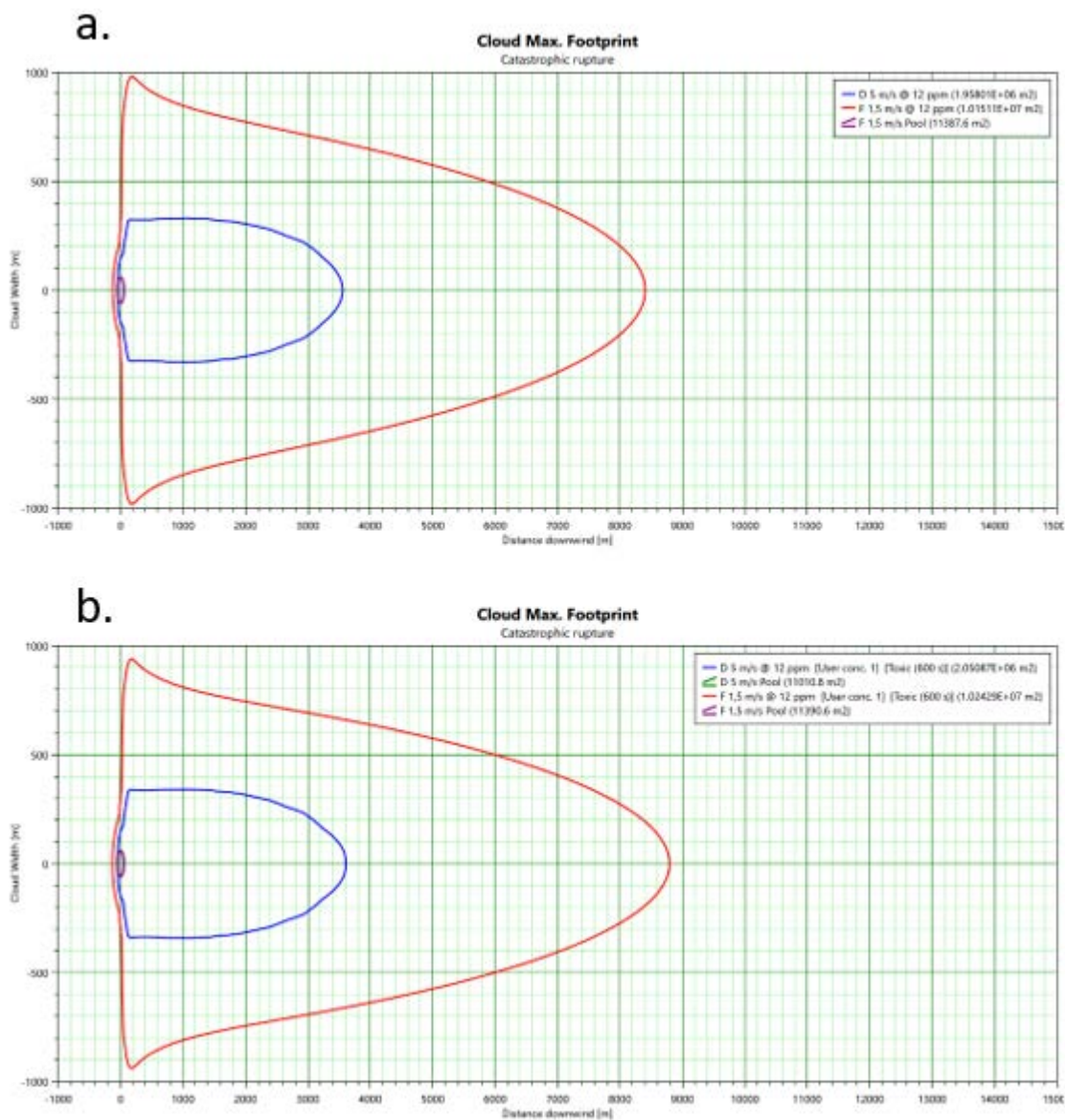
Voor de plasgrootte, verdampingssnelheid en de hoeveelheid uitgeregende vloeistof zijn de verschillen tussen de twee versies voor beide weertypen beperkt. De verschillen in risico tussen versie 8.3 en 9.2 zijn dus niet toe te wijzen aan verschillen hierin.

Een mogelijke oorzaak voor de verschillen tussen de twee versies van Safeti-NL is een verandering in de verspreidingsmodellering waarbij een verbetering heeft plaatsgevonden in het modelleren van de verspreiding van zware gassen. Daarom is de verspreiding voor acroleïne geplot in de diagrammen van Figuur 3. De geplotte concentratie, 12 ppm, komt overeen met 1% letaliteit bij een half uur blootstelling⁵.

⁴ Voor het instantaan falen van een vat is het de eenheid voor uitgeregende vloeistof [kg], voor de continue scenario's 10 min uitstroming en 10 mm gat is de eenheid voor de uitgeregende vloeistof [kg/s].

⁵ De probitrelatie van acroleïne heeft $a = -3,21$, $b = 1$ en $N = 1$ (concentratie [ppm], tijd [minuten]).

Figuur 3 'Voetafdrukken' van 12 ppm acroleïne, zoals berekend voor het scenario instantaan falen met versie 8.3 (a) en versie 9.2 (b). De resultaten met weertype D 5 m/s zijn weergegeven in het blauw, en de resultaten met weertype F 1,5 m/s in het rood.



Uit Figuur 3 blijkt dat voor de opslagtank met acroleïne de afstanden tot een concentratie van 12 ppm in beide versies vergelijkbaar zijn, namelijk 8400 m voor F 1,5 m/s in versie 8.3 en 8800 m in versie 9.2. Dit betekent dat de grotere 1%-letaliteitsafstanden in versie 9.2 niet verklaard kunnen worden door verschillen in de verspreiding en verklaard moeten worden door verschillen in de berekening van de letaliteit.

Tussen versie 8.3 en versie 8.5 is een *bug fix*⁶ uitgevoerd die invloed heeft op de letaliteitsberekeningen [3]. Deze fix is uitgevoerd nadat werd gevonden dat in versie 8.3

⁶ Dit is beschreven in de Release notes van Safeti-NL versie 8.5 onder *issue* 267363.

van Safeti-NL de 1%-letaliteitsafstand afhangt van het modelleren met de *Effect levels* uitgeschakeld ('none') of ingeschakeld ('all' of 'standard').

In Safeti-NL versie 6.54 werd geen rekening gehouden met *along wind* diffusie (diffusie langs de windrichting), waardoor een bronterm van 1800 s overeenkomt met een blootstellingsduur van 1800 s, ongeacht de afstand tot de bron. In Safeti-NL wordt gerekend tot 1% letaliteit, en in versie 6.54 werden lage concentraties (concentraties lager dan c_{min} , waarbij c_{min} overeenkomt met 1% letaliteit bij 1800 s blootstelling) niet opgeslagen en ook niet meegenomen in de letaliteitsberekening. Sinds versie 8 wordt wel gerekend met *along wind* diffusie waardoor een bronterm van 1800 s kan leiden tot een blootstellingsduur van meer dan 1800 s, waarbij de blootstellingsduur toeneemt met de afstand tot de bron. Echter, ook in versie 8.3 werden concentraties kleiner dan de concentratie c_{min} niet opgeslagen en niet meegenomen in de letaliteitsberekening. Hierdoor werd de letaliteit onderschat. Dit speelt met name als de probit N-waarde ongeveer 1 of lager is, omdat dan de bijdrage van lagere concentraties dan c_{min} aan de letaliteit nog aanzienlijk kan zijn. Voor de giftige vloeistoffen acrylonitril, allylamine en acroleïne is de probit N-waarde gelijk aan respectievelijk 1,3, 0,87 en 1, waardoor voor deze giftige vloeistoffen het risico werd onderschat. In versie 8.5 en verder is deze bug gerepareerd, en worden ook lagere concentraties dan c_{min} meegenomen in de berekening van de letaliteit. Dit leidt tot de geconstateerde toename van het plaatsgebonden risico.

Tegenwoordig worden door het RIVM (deels) andere voorbeeldstoffen voorgeschreven. De huidige voorbeeldstoffen voor LT1, LT2 en LT3 zijn respectievelijk acrylonitril, fosfortrichloride en broom. Met de probitwaarden zoals vastgesteld door de Toetsgroep probitrelaties hebben deze voorbeeldstoffen een probit N-waarde van respectievelijk 1,19, 1,37 en 1,28. Omdat ook deze probit N-waarden nabij 1 liggen, zal naar verwachting ook voor deze voorbeeldstoffen versie 9.2 een hoger risico berekenen dan versie 8.3 van Safeti-NL.

Conclusie

Voor de verschillende (oude) voorbeeldstoffen voor LT1, LT2 en LT3 (te weten: acrylonitril, allylamine en acroleïne) zijn de scenario's instantaan falen, 10 min uitstroming en 10 mm gat van een atmosferische opslagtank gemodelleerd. Deze modellering is in versie 8.3 van Safeti-NL gedaan en vervolgens ook in versie 9.2 van Safeti-NL. Uit de berekeningen voor de effecten en risico's blijken verschillen in resultaten tussen deze versies met name te komen door verschillen die ontstaan bij weertype F 1,5 m/s. De 1%-letaliteitsafstanden van deze voorbeeldstoffen zijn significant toegenomen tussen versie 8.3 en versie 9.2. Verdere analyse van de tussenresultaten voor de plasgrootte, verdampingssnelheid en de hoeveelheid uitgeregende vloeistof voor de voorbeeldstof acroleïne geven vergelijkbare waarden in de twee versies van Safeti-NL. Ook de verschillen in de verspreiding zijn klein. De toename in 1%-letaliteitsafstand is niet toe te schrijven aan verschillen hierin. De implementatie van een *bug fix* tussen versie 8.3 en versie 8.5 heeft ervoor gezorgd dat vanaf Safeti-NL versie 8.5 ook lagere concentraties van de giftige vloeistoffen nog bijdragen aan de 1%-letaliteitsafstanden. Deze *bug fix* verklaart de verschillen in resultaten tussen de twee gebruikte versies (8.3 en 9.2).

Referenties

- [1] A.J.H. Schulenberg, A.M. op den Dries, L.M.A. Mentink, *NERI Consequentieonderzoek*, AVIV, 2024.
- [2] Y.G. Geertzema, C.E. Pompe, P.A.M. Uijt de Haag, *Safeti-NL versie 9.2 – nieuwe versie rekensoftware voor omgevingsveiligheid*, RIVM, 2025.
- [3] DNV. Release Notes Safeti-NL version 8.5, Juli 2022.