



Delft University of Technology

Assessing traffic safety of Dutch weaving sections

Validation of the Surrogate Safety Assessment Model combined with VISSIM

Oude Vrielink, Ilse; Broeren, Patrick; Farah, Haneen; Hoogendoorn, Serge

Publication date

2017

Document Version

Final published version

Published in

Nationaal verkeerskundecongres 2017

Citation (APA)

Oude Vrielink, I., Broeren, P., Farah, H., & Hoogendoorn, S. (2017). Assessing traffic safety of Dutch weaving sections: Validation of the Surrogate Safety Assessment Model combined with VISSIM. In *Nationaal verkeerskundecongres 2017*

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Nationaal verkeerskundecongres 2017

Assessing traffic safety of Dutch weaving sections Validation of the Surrogate Safety Assessment Model combined with VISSIM

Ilse Oude Vrielink
Arcadis Nederland

Patrick Broeren
Arcadis Nederland

Haneen Farah en Serge Hoogendoorn
TU Delft

Samenvatting

Nederlandse wegontwerpers en veiligheidsexperts zoeken naar meer kwantitatieve methodes om de veiligheid van een (voorgenomen) weefvak te bepalen dan de traditionele methodes die gebruik maken van expert judgement en ongevalsregistraties. Een alternatieve methode is om de veiligheid te bepalen met behulp van VISSIM micro-simulatiemodellen in combinatie met het Surrogate Safety Assessment Model (SSAM).

SSAM berekent het aantal conflicten in een micro-simulatiemodel met behulp van surrogate veiligheidsmaten (surrogate safety measures). Deze studie evalueert deze methode voor Nederlandse weefvakken door het aantal conflicten geobserveerd in VISSIM-simulaties middels SSAM te vergelijken met de ongevalsratio en andere criteria.

Negen weefvakken zijn geselecteerd en gerangschikt op basis van vier criteria: (I) ongevalsratio, (II) conflictratio berekend middels SSAM uit VISSIM-simulaties, (III) aantal ongevallen gebaseerd op een crash prediction model voor Nederlandse weefvakken, en (IV) beoordeling door verkeersveiligheidsexperts.

Het Spearman Rang Correlatiecoëfficiënt was berekend tussen elke rangschikking om de relatie tussen de verschillende rangschikkingen te bepalen. De correlatie van .567 ($p_s=0.112$) tussen de rangschikking op ongevalsratio en gesimuleerde conflicten suggereert een redelijke maar insignificant correlatie.

Trefwoorden

Weefvakken, SSAM, conflicten, surrogate veiligheidswaarden, veiligheid

ORGANISATIE 2017



Introductie

Weefvakken worden toegepast op snelwegen wanneer het convergentiepunt en divergentiepunt van twee samenvoegende en splitsende verkeersstromen dicht bij elkaar liggen. Op deze weefvakken wisselen veel voertuigen dicht bij elkaar van rijstrook, wat resulteert in een complexere rijtaak, verstoringen en conflicten (2). Het aantal ongevallen blijkt hoger te zijn op weefvakken dan op doorsnee trajecten op snelwegen (3).

Rijkswaterstaat heeft richtlijnen over hoe weefvakken vormgegeven moeten worden (4,5). Echter zijn er variaties in vormgeving, aantal rijstroken, (a)symmetrie en lengte. Ook beïnvloeden verkeerseigenschappen zoals de intensiteit en voertuigsamenstelling de verkeersstroom (5). Door de hoge dichtheid van het Nederlandse wegennet worden weefvakken relatief vaak toegepast in Nederland, maar door gebrek aan ruimte is het vaak moeilijk om het ontwerp te laten voldoen aan de richtlijnen. Daarom is het belangrijk om in te kunnen schatten wat de gevolgen zijn van het afwijken van de richtlijnen.

Bij het ontwerpen van weefvakken zijn er vaak verschillende ontwerpen mogelijk voor één locatie, en momenteel wordt in de meeste gevallen een keuze gemaakt op basis van *expert judgement*. Het zou van toegevoegde waarde zijn wanneer de mate van verkeersveiligheid bepaald kan worden middels een microscopisch simulatiemodel, al tijdens het ontwerpproces. Pogingen zijn gedaan om ongevalsvoorspellingsmodellen (crash prediction models, CPMs) te ontwikkelen. Iliadi et al. (1) heeft bijvoorbeeld de effecten van verschillende ontwerp-elementen en verkeerskenmerken op de veiligheid van symmetrische weefvakken in Nederland onderzocht door zo'n CPM te ontwikkelen. Echter is het ontwikkelen van zulke modellen complex en kunnen niet alle relevante factoren meegenomen worden. Daarnaast kunnen zulke modellen geen rekening houden met interactie tussen voertuigen.

Een andere optie is om de veiligheid van een weefvak te bepalen middels een micro-simulatie model en surrogate veiligheidsmaten. Deze surrogate maten kunnen een vervanging (of toevoeging) zijn van ongevallen bij het beoordelen van de veiligheid van een weefvak. De US Federal Highway Administration heeft het Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) ontwikkeld. SSAM kan surrogate veiligheidsmaten berekenen uit micro-simulaties. Daarmee zouden micro-simulaties een alternatief kunnen zijn wanneer voor een weefvak geen ongevalsdata beschikbaar is, in het bijzonder voor een nieuw aan te leggen weefvak.

Echter zijn micro-simulatiemodellen ontwikkeld om de verkeersprestatie te analyseren, en niet voor veiligheid waarvoor een meer gedetailleerd model voor interactie tussen voertuigen en gedrag van bestuurders nodig is. Het is dus onbekend of SSAM bruikbaar is om de veiligheid van Nederlandse weefvakken te bepalen, en hoe nauwkeuring de uitkomsten van SSAM in combinatie met VISSIM zijn. Daarom was het doel van dit onderzoek om te bepalen of de combinatie van VISSIM en SSAM een betrouwbare methode is om de veiligheid van weefvakken in Nederland te voorspellen.

Literatuur

Over het algemeen is de kans om betrokken te raken in een ongeval op de snelweg hoger op weefvakken dan op standard wegvakken (3). Het hogere aantal rijstrookwisselingen op een weefvak met hoge intensiteiten en variatie in snelheden resulteert vaak in gevaarlijke situaties (3). Het wevende verkeer zorgt voor meer conflicten tussen voertuigen, wat resulteert in een complexere rijtaak (6).

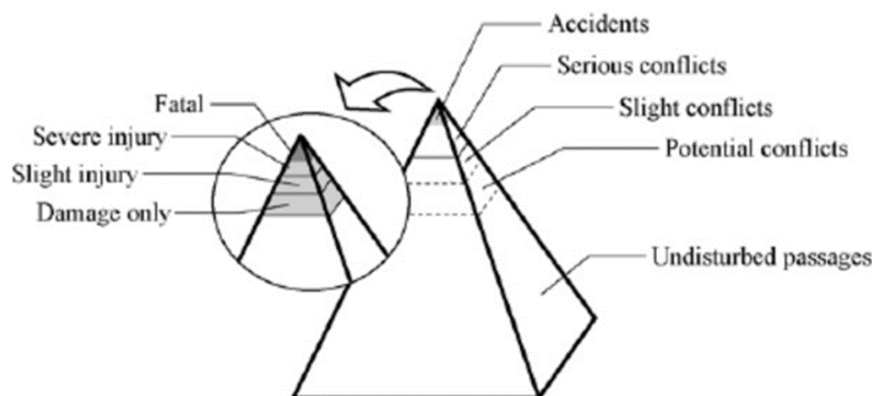
Er zijn twee manieren om de veiligheid van weefvakken te bepalen. De meest-gebruikte methode is het analyseren van historische ongevalsdata. Echter is het een bekend probleem dat ongevalsdata niet compleet is (7). Niet alle ongevallen worden gemeld aan de politie, en als ze wel gemeld worden is de data vaak niet compleet. Naast ongevalsdata kan ook het aantal conflicten gebruikt worden om veiligheid te bepalen. Het aantal conflicten kan bepaald worden middels surrogate veiligheidswaarden.

Conflicten en surrogate veiligheidswaarden

Surrogate veiligheidswaarden zijn andere waarden dan de werkelijke ongevalsfrequentie, die wel de mate van veiligheid representeren (8). De meeste surrogate veiligheidswaarden gebruiken hiervoor conflicten. Een conflict is gedefinieerd als (9):

“Een observeerbare situatie waarin twee of meer weggebruikers elkaar naderen in tijd en ruimte op zodanige wijze dat er een ongevalsrisico is wanneer de bewegingen onveranderd blijven”

Zoals weergegeven in de piramide van verkeersgebeurtenissen (10) in figuur 1 bevatten conflicten ook gebeurtenissen die niet tot een daadwerkelijk ongeval leiden. De oppervlakte van de laag beschrijft de frequentie, en de afstand van de laag tot de boden beschrijft de impact van de gebeurtenis (10). Het voordeel van het observeren van conflicten is dat ze vaker geobserveerd worden dan ongevallen. Het nadeel echter is dat conflicten niet direct een ongevalsaantal geven. Er zijn echter welk pogingen gedaan om het aantal conflicten en ongevallen aan elkaar te relateren (11).



Figuur 1: Piramide van verkeersgebeurtenissen (10)

Conflictaantallen kunnen worden bepaald uit gesimuleerde voertuigtrajecten door surrogate veiligheidswaarden te berekenen en te bekijken of deze een drempelwaarde overschrijden of niet. Er zijn veel surrogate veiligheidswaarden beschikbaar. Twee veel gebruikte surrogate waarden zijn de Time-To-Collision (TTC) en Post Encroachment Time (PET). De TTC geeft de tijd weer tot botsing, als niemand actie onderneemt. De PET representeert het tijdsverschil tussen passeren van twee weggebruikers over een gemeenschappelijke conflictruimte (12).

Veiligheid van weefvakken

Er is onderzoek beschikbaar dat focust op de veiligheid van weefvakken in Nederland. Al in 1975 concludeerde Brouwer (13) dat de waarschijnlijkheid van een ongeval sterk toeneemt voor korte weefvakken en weefvakken met een hoge verkeersintensiteit. Dit laatste is niet verwonderlijk omdat meer voertuigen resulteren in meer conflicten en dus meer ongevallen.

Iliadi et al. (1) gebruikte een groep van 110 symmetrische weefvakken verdeeld over het snelwegennetwerk van Nederland om een crash prediction model (CPM) te ontwikkelen. Verschillende factoren werden onderzocht. Factoren die significant bevonden werden en dus werden meegenomen in de CPM zijn: de lengte van het weefvak, de gemiddelde werkdagintensiteit, het aantal rijstroken op de hoofdrijbaan, het percentage wevende voertuigen en de locatie van het weefvak in relatie tot het knooppunt. Factoren die niet significant bevonden werden zijn het aandeel vrachtauto's, het aandeel wevende vrachtauto's, het type knooppunt en de symmetrie.

Een groter deel van de literatuur focust op data-analyse en het vergelijken van verschillende types weefvakken, of op het ontwikkelen van *crash modification factors* en formules om het aantal ongevallen te voorspellen op basis van wegontwerp en verkeerseigenschappen. Daarnaast werden ook simulatiemodellen genoemd voor het bepalen van de veiligheid.

Bared (11) benadrukt dat een voordeel van het gebruiken van simulatiemodellen is dat het beschikken over een voldoende grote ongevalsdatabase niet nodig is. Daarnaast is het analyseren van ongevalsdata een langdurend proces en worden resultaten beïnvloed door de zeldzame en willekeurige aard van ongevallen. Bared (11) vond een relatie tussen conflicten per uur en ongevallen per jaar. Echter is er meer onderzoek nodig naar de interpretatie en vergelijking van surrogate veiligheidswaarden.

Yang et al. (14) benadrukte ook het voordeel van het gebruik van micro-simulaties boven andere methodes, welke gelimiteerd worden door de beschikbaarheid van data.

Gettman et al. (8) deed een evaluatiestudie van SSAM voor de FHWA, door theoretische toetsen die gesimuleerde ontwerpalternatieven vergeleken en een validatie welke resultaten uit het veld vergeleek met gesimuleerde resultaten. De vergelijking van ontwerpalternatieven leed niet altijd tot een duidelijk voorkeursontwerp, maar meer tot een afweging van surrogate veiligheidswaarden. De gesimuleerde conflicten correleerden matig maar significant met de veld data ($\rho_s = 0.463$). Na een gevoeligheidsanalyse werd geconcludeerd dat voorspellingsmodellen gebaseerd op verkeersintensiteiten een betere correlatie met veld data hebben.

Ook de doelstelling van het onderzoek van Huang et al. (15) was om te onderzoeken of een combinatie van VISSIM-simulatie modellen met SSAM een redelijke inschatting van het aantal conflicten geeft. De focus hier was op VRI-kruispunten. De data-analyse liet een correlatie van $\rho = 0.916$ zien tussen veiligheidsrangordes gebaseerd op veld en gesimuleerde conflicten. Echter wordt geconcludeerd dat gesimuleerde conflicten geen goede indicator zijn voor veld-conflicten door onverwacht rijgedrag zoals niet-toegestaan rijgedrag.

El-Basyouny (16) heeft ook een veld-validatie van SSAM gedaan, door voorspellend vermogen van SSAM te vergelijken met werkelijke ongevalservaringen bij VRI-kruispunten in Canada. Er werd een zwakke correlatie gevonden, en er werd geconcludeerd dat verkeersintensiteiten beter geschikt zijn voor het voorspellen van ongevallen dan gesimuleerde conflicten berekend met SSAM. De zwakke relatie wordt verklaard door hoe een kruispunt was gemodelleerd in VISSIM omdat het wijzigen van model parameters resulteerde in noemenswaardige verandering in het aantal conflicten.

Essa en Sayed (17) onderzochten de overdraagbaarheid van gekalibreerde VISSIM-parameters naar andere locaties voor veiligheidsonderzoek. Zes parameters werden geïdentificeerd als belangrijk voor veiligheidsanalyses. Twee ervan (headway time en desired deceleration) zijn goed overdraagbaar. Drie (standstill distance, reduction factor for safety distance closed to stop line en start upstream of stop line) waren in mindere mate overdraagbaar, en één (negative en positive following thresholds) was niet overdraagbaar. Daarnaast wordt genoemd dat eerst kalibreren op vertragingstijd en daarna kalibreren op rijgedrag parameters resulteert in een sterkere correlatie tussen veld-conflicten en gesimuleerde conflicten. Door parameters over te nemen kan deze kalibratieprocedure worden verkort.

Dus het grootste deel van de studies gebruikt simulatiemodellen en surrogate veiligheidswaarden voor analyse van geregelde kruispunten, en niet voor snelwegen en weefvakken in het bijzonder. Een aantal studies laat een redelijke correlatie zien tussen gesimuleerde conflicten en geobserveerde ongevallen en conflicten, terwijl anderen aangeven dat de kwaliteit van het simulatiemodel erg belangrijk is en dat meer onderzoek nodig is

Onderzoeksmethode

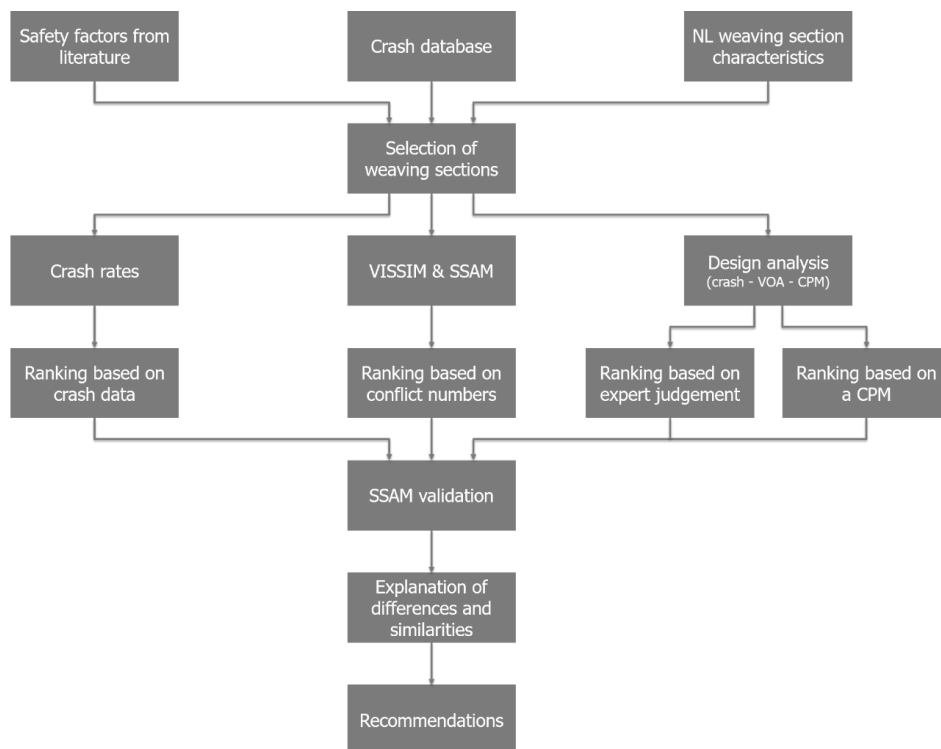
Uit literatuuronderzoek komt naar voren dat het gebruik van micro-simulaties in combinatie met het berekenen van aantal conflicten een goed alternatief kan zijn voor het gebruik van ongevalsdata, omdat het veel tijd kost om een voldoende grote en betrouwbare ongevalsdatabase te krijgen. SSAM is al toegepast in een aantal studies, maar er was nog geen focus op Nederland, en op weefvakken in Nederland in het bijzonder. Om te onderzoeken of SSAM in combinatie met VISSIM nauwkeurig genoeg is om de veiligheid van Nederlandse weefvakken te bepalen is de volgende onderzoeksvraag gedefinieerd:

Hoe representatief zijn surrogate veiligheidswaarden berekend uit VISSIM micro-simulaties met SSAM voor het voorspellen van de veiligheid van Nederlandse weefvakken?

De onderzoek aanpak is weergegeven in figuur 2 en wordt in de rest van dit hoofdstuk verder beschreven.

Allereerst zijn een aantal Nederlandse weefvakken geselecteerd voor verder onderzoek. Er zijn honderden weefvakken in Nederland. Een weekdatabase is gemaakt, welke kenmerken van de weefvakken bevat, zoals de configuratie en het ongevalsratio (gebaseerd op aantal ongevallen tussen 2012 en 2015).

Daarna is een selectie van weefvakken gemaakt. Hiervoor zijn factoren die het aantal ongevallen beïnvloeden bekeken. Deze factoren komen uit literatuuronderzoek. Iliadi et al. (1) nam de volgende factoren mee in het CPM voor de Nederlandse situatie: lengte van het weefvak, gemiddelde werkdagintensiteit, aantal rijstroken op de hoofdrijbaan, percentage wevend verkeer en locatie relatief tot het knooppunt. Deze factoren zijn ook meegenomen bij het selecteren van de weefvakken. Maar ook andere factoren zijn meegenomen. Allereerst was het belangrijk dat het weefvak niet veranderde tussen 2012 en 2015 omdat dan ongevallen toegeschreven zouden worden aan een niet-bestaand ontwerp. Een andere overweging is dat veiligheid alleen beïnvloed wordt door het weefvak zelf, en niet door andere omgevingsfactoren die niet gesimuleerd kunnen worden zoals de aanwezigheid van een brug of hoogteverschillen.



Figuur 2: De onderzoeksmethodiek

Vervolgens zijn de geselecteerde weefvakken gerangschikt op basis van vier methodes:

- (1) Op basis van ongevalsratio: de ongevalsratio is berekend als het aantal ongevallen dat gebeurde binnen het invloed gebied van het weefvak per hoeveelheid voertuigkilometers. Het invloed gebied van het weefvak is gedefinieerd als het weefvak zelf en de 150 meter stroomopwaarts en stroomafwaarts van de puntstukken (18). Alleen de ongevallen die geregistreerd werden in de BRON-ongevalsdatabase tussen 2012 en 2015 werden meegenomen. Het aantal voertuigkilometers is berekend door de lengte van het weefvak zoals geregistreerd in de WEGGEG-database te vermenigvuldigen met de werkdagintensiteit volgens INWEVA 2015;
- (2) Op basis van het aantal conflicten bepaald uit simulaties middels surrogate veiligheidswaarden: om de ongevalsratio te bepalen zijn eerst VISSIM-modellen gemaakt van de weefvakken.

Corresponderende lengte en vorm van de wegen zijn verkregen door de modellen te bouwen op tekeningen van de weefvakken. Het weefvak zelf is gesimuleerd, inclusief een traject ervoor en erna.

Er is voor gekozen om een gehele werkdag te simuleren, omdat een hele dag een betere indicatie geeft van de veiligheid dan enkel de piekuren. Ieder uur was gesimuleerd als 900 seconden (d.w.z. een kwartier)

Een gewenste snelheid is toegekend aan alle voertuigen. Voor iedere weefvak is een eigen *desired speed distribution* voor personenauto's en vrachtauto's opgesteld op basis van lusdata van werkdagen in september 2015. Voertuigintensiteiten op de toegangswegen zijn ook bepaald uit lusdata, en variëren in het model per uur om variaties in verkeersintensiteit over de dag te simuleren. Weefverhoudingen (HB-matrices) zijn geïmplementeerd middels *static vehicle routes*. De benodigde HB-matrices zijn berekend met een selected link analysis op het NRM en maken onderscheid in personenauto's en vrachtauto's, en zijn geïmplementeerd voor de ochtendspits, avondspits en restdag.

De modellen zijn gekalibreerd door gesimuleerde uur-intensiteiten m te vergelijken met veld-intensiteiten c middels de GEH-formule (19, 20):

$$GEH = \sqrt{\frac{2(m-c)^2}{m+c}} \quad (1)$$

Intensiteiten, uitvoegverhoudingen en HB-matrices zijn aangepast als de GEH-waarde een te grote afwijking aangaf (d.w.z. $GEH > 10.0$) voor een te lange tijd.

Het minimale aantal simulatie runs was berekend op basis van een 95% betrouwbaarheidsinterval op basis van de reistijd op het weefvak, met een minimum van 10 simulatie runs. Voor de meeste weefvakken was het benodigde aantal runs gezet op 10. Hier zijn random seed 50 – 59 gebruikt. Voor een weefvak (ID369) was de variatie in reistijd groter en zijn 12 runs nodig voor een statistisch representatief resultaat.

Vervolgens was het Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) gebruikt om het aantal conflicten te berekenen uit de bestanden met voertuig trajectoren. Hiervoor zijn de *conflict prediction* drempelwaarden in SSAM gezet op 1.5 seconden voor de TTC, 5.0 seconden voor de PET, 30° voor de kop-staat hoek en 85° voor de frontaal-hoek, zoals aanbevolen door Gettman et al. (8). Dezelfde waarden zijn gebruikt als maximum *conflict* filter waarden. In de micro-simulaties gebeuren soms 'virtuele' ongevallen, welke geïdentificeerd worden in SSAM met een TTC van 0 seconden. Volgens Gettman en Head (9) en Gettman et al. (8) moeten deze ongevallen verwijderd worden voor de resultaten worden geanalyseerd. Dit is gedaan door de ondergrens voor de TTC op 0.05 te zetten middels een filter. Er is geen filter toegepast op de andere surrogate veiligheidswaarden die SSAM hanteert voor het filteren (d.w.z. voor de MaxS, DeltaS, DR, MaxD en MaxDeltaV zijn waarden tussen -99 en 99 geaccepteerd). Een ander filter is toegepast op de locatie van de conflicten, zodat enkel de conflicten die gebeuren in het invloed gebied van het weefvak worden meegenomen, wat resulteert in een eerlijkere vergelijking met de ongevalsratio.

Het aantal conflicten is uitgedrukt per hoeveelheid voertuigkilometers, en vervolgens zijn de weefvakken gerangschikt.

(3) Gebaseerd op oordeel van geselecteerde verkeersveiligheidsexperts:

Een human factors analysis een opkomende methode voor veiligheidsexperts bij het voorspellen of beoordelen van de veiligheid van een wegvak (21, 22). Een aantal verkeersveiligheidsexperts zijn gevraagd om de weefvakken te beoordelen en te rangschikken. Daarvoor hebben de experts een beschrijving van de weefvakken gekregen, inclusief verkeersdata zoals intensiteiten, aandeel vrachtauto's en aandeel wevend verkeer, en kaarten en foto's. Eerst hebben de experts de weefvakken individueel beoordeeld en gerangschikt. Vervolgens zijn de uitkomsten bediscussieerd zodat een definitieve rangschikking was verkregen waar alle experts het mee eens zijn.

(4) Gebaseerd op het crash prediction model (CPM) voor symmetrische weefvakken in Nederland ontwikkeld door Iliadi et al. (1):

Het CPM was ontwikkeld om het aantal ongevallen gedurende drie jaar N op symmetrische weefvakken in Nederland te voorspellen:

$$N = 4.46 \cdot 10^{-5} \cdot \text{length}^{0.46} \cdot AADT^{0.88} \cdot e^{0.35 \text{ lanes} + 1.05 \text{ share} - 1.667 \text{ loc}} \quad (2)$$

Hier is *length* de afstand tussen het divergentie en convergentiepuntstuk, *AADT* de gemiddelde werkdagintensiteit, *lanes* het aantal rijstroken op de hoofdrijbaan, *share* het percentage wevende personenauto's tijdens de spits en *location* de locatie van het weefvak relatief tot het knooppunt (0 als binnen en 1 als buiten).

Merk op dat de formule ontwikkeld is voor symmetrische weefvakken, en dat een van de weefvakken (ID454) asymmetrisch is. Echter, door gebrek aan een Nederlandse formule voor asymmetrische weefvakken is toch de formule van Iliadi et al. gebruikt.

Dit resulteerde in een voorspelt aantal ongevallen. Om een eerlijkere vergelijking met de andere rangschikkingen op ratio te hebben, is ook het voorspelde aantal ongevallen uitgerukt per aantal voertuigkilometers.

De sterkte van de relatie tussen de rangschikkingen wordt gebruikt om te bepalen of micro-simulaties geschikt zijn voor het bepalen van de veiligheid van weefvakken. De relatie tussen veiligheidsinschattingen van micro-simulaties en geregistreerde ongevallen wordt beoordeeld door de twee veiligheidsrangschikkingen te vergelijken.

Resultaten

De uiteindelijke selectie (tabel 1) bestaat uit negen weefvakken, welke een aantal gemeenschappelijke ontwerpkenmerken hebben, maar ook verschillen hebben omdat dat nodig is om te bekijken of dit resulteert in andere ongevals- en conflict ratio's.

De rangschikkingen gebaseerd op de vier methodes zoals hiervoor beschreven zijn te vinden in tabel 2. Positie 1 geeft een onveilig weefvak aan, en positie 9 geeft een relatief veilig weefvak aan.

Tabel 1: Geselecteerde weefvakken

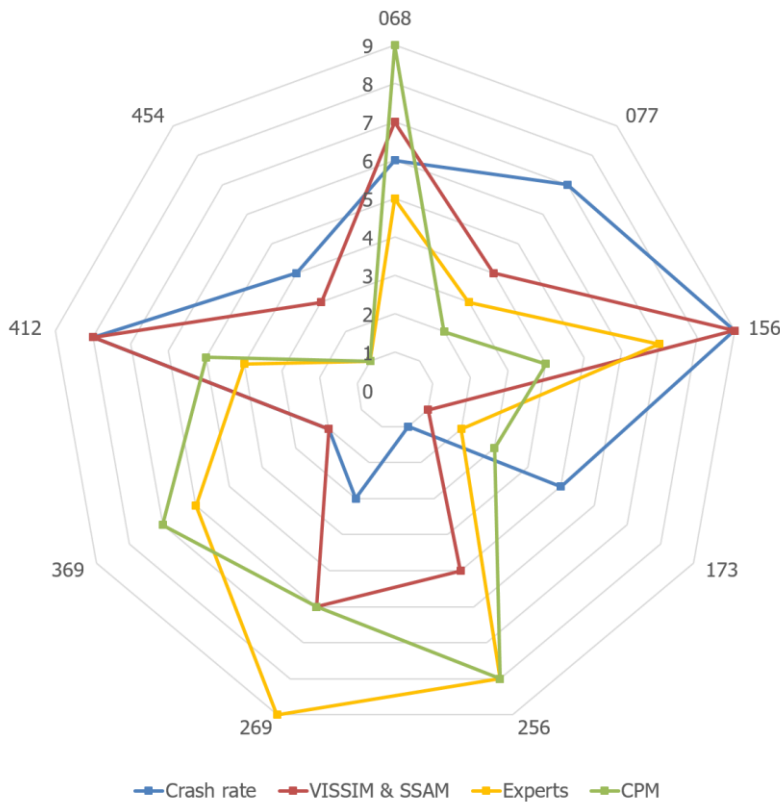
ID	Locatie	Tussen	Weg	Configuratie	Lengte	Wevend	Vracht
068	KP Heerenveen	Cloverleaf loops	Hoofd	2+1	188.75	25%	14%
077	De Bilt – Maarssen	Junctions	Hoofd	3+1	607.58	31%	9%
156	De Baars – Tilburg Noord	Interch. & junct.	Hoofd	2+1	595.58	9%	14%
173	Kralingen – Terbregseplein	Junct. & interch.	Hoofd	3+2	888.19	43%	8%
256	KP Hoogeveen	Cloverleaf loops	Hoofd	2+1	152.18	12%	26%
269	KP Hattemerbroek	Cloverleaf loops	Par	1+1	171.06	100%	13%
369	KP Zaandam	Cloverleaf loops	Hoofd	2+1	136.71	28%	7%
412	Voorthuizen – Barneveld	Junctions	Hoofd	2+1	1306.10	27%	14%
454	Rotterdam – Kleinpolderplein	Junct. & interch.	Hoofd	3+1>2+2	468.16	67%	9%

Tabel 2: Scores van de weefvakken op de vier methodes

ID	Ongevallen			VISSIM/SSAM			CPM			Experts
	Aantal	Ratio	Rang	Aantal	Ratio	Rang	Aantal	Ratio	Rang	Rang
068	5	1.3	6	5	4.2	7	2	0.4	9	5
077	34	1.1	7	112	13.2	4	46	1.5	2	3
156	12	0.7	9	1	0.1	9	15	0.9	4	7
173	128	1.6	5	30823	1409.4	1	107	1.3	3	2
256	19	9.5	1	4	5.8	5	1	0.4	8	8
269	4	3.7	3	2	5.6	6	1	0.7	6	9
369	31	7.3	2	147	116.7	2	2	0.5	7	6
412	52	1.1	8	3	0.3	8	36	0.8	5	4
454	94	2.6	4	678	69.5	3	61	1.7		1

Rangschikkingen en het Spearman Rang Correlatiecoëfficiënt

Figuur 3 visualiseert de rang posities van de geselecteerd weefvakken op basis van de vier methodes. Het is bijvoorbeeld te zien dat ID068 veiliger is dan ID454 volgens alle methodes. Echter zijn er ook grote verschillen in beoordeling, bijvoorbeeld voor I256 en ID269.



Figuur 3: Rang posities gevisualiseerd

De correlatie tussen twee rangschikkingen kan worden geëvalueerd met het Spearman rangcorrelatiecoëfficiënt. Deze non-parametrische test beoordeelt de statistische afhankelijkheid tussen twee variabelen en wordt vaak gebruikt om te beoordelen hoe goed een relatie tussen twee variabelen beschreven kan worden met een lineaire functie. Het coëfficiënt wordt berekend als

$$\rho_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3)$$

waarin d_i het verschil in rangpositie is voor observatie (weefvak) i en n het aantal observaties (weefvakken) in de validatie dataset. Gelijk aan Pearsons correlatiecoëfficiënt geldt dat hoe dichter het de waarde is bij ± 1 , hoe sterker de relatie (8, 15).

Tabel 3 geeft de Spearman coëfficiënten weer voor de rangschikkingen in tabel 2, en de bijbehorende P-waarden.

Tabel 3: Correlatiecoëfficiënten (en P-waarden)

	Ongevalsratio	Experts	CPM
Experts	-0.300 (0.433)		
CPM	-0.367 (0.332)	0.683 (0.042)	
VISSIM & SSAM	0.567 (0.112)	0.467 (0.205)	0.300 (0.433)

Te zien is dat de correlatie tussen de VISSIM en SSAM-rangschikking en de ongevalsratio rangschikking gemiddeld is, net als de correlatie van de VISSIM en SSAM-rangschikking en de experts rangschikking. De correlatie tussen de experts rangschikking en de CPM is sterk. De negatieve

correlatie tussen de ongevals-rangschikking en CPM-rangschikking suggereert in tegenstelling tot de verwachting dat een hoger aantal ongevallen correspondeert met een lager aantal verwachte ongevallen in het CPM, en vice versa. Hetzelfde geldt voor de negatieve correlatie tussen de ongevalsratio en de experts rangschikking.

Uitgezonderd de correlatie tussen de experts en de CPM-rangschikking zijn de correlaties niet significant op het 5% niveau.

Wanneer rangschikkingen gebaseerd op aantallen in plaats van ratio's werden bekeken, werden alle correlaties sterker. Dit suggereert dat verkeersintensiteit het aantal ongevallen en conflicten beïnvloed. Het kan zijn dat de correlatie tussen VISSIM en SSAM en de ongevalsratio veroorzaakt wordt door de verkeersintensiteit, en dat er dus geen causale relatie is.

Met name de experts rangschikking had een sterke correlatie met de andere rangschikkingen, wat suggereert dat de experts meer focussen op wegkenmerken dan op *exposure* bij het beoordelen van de veiligheid. Hoewel de experts gevraagd werden om de *exposure* mee te nemen in de beoordeling van de weefvakken, lijkt het erop dat de rangschikking meer gebaseerd is op ongevalsaantallen dan op ongevalsrisico (naar ratio met voertuigkilometers)

Gevoeligheidsanalyse

There were several factors that influenced the obtained ranking and correlations, which are discussed in this paper by means of a sensitivity analysis.

Correlation coefficient

The Pearson Correlation Coefficient for ratios can be used as an alternative to the Spearman Rank Correlation Coefficient, as for the first there is no need to first rank the weaving sections and hence slight differences in ratio do not result in a large difference in ranking position. For most rankings, the differences between the Pearson correlation coefficient and Spearman Rank correlation coefficient were only minor. However, the correlation between VISSIM & SSAM and the crash rate became weaker ($\rho_s = -0.158$), which is explained by the very high conflict rate at ID173. The Pearson correlation between the CPM and the experts is significant.

Incomplete crash database As it is generally known that the used BRON crash database is incomplete, the UDLS database was used as an alternative. However, no major differences were observed for correlations with BRON crash rates and UDLS crash rates.

Sensitivity of the PET threshold

The initial PET projection threshold value in SSAM is 5.0 seconds, and this value was also used as maximum for filtering conflicts. According to Gettman et al. (8) this value is selected based on a literature review. However, in literature also some lower PET threshold values were proposed. Archer (23) describes that the PET should be below a predetermined threshold value, which is typically 1 to 1.5 seconds. In his research the threshold value was set to 1.5 seconds. Kraay et al. (24) concluded that in general on roads within urban area only PET values below 1.0 seconds are perceived as possibly critical. Both have their focus in interchanges and not on weaving sections. Hence the number of conflicts is calculated for these PET threshold values, and for one extra value in between: 3 seconds.

It is seen that for lower PET filter values the correlation between the crash rate and VISSIM & SSAM rate ranking is less strong.

Sensitivity of the TTC threshold

SSAM uses an initial value of 1.5 seconds for the TTC threshold, which is also proposed by amongst other Kraay et al. (24), recommended by Gettman et al. (8) and used by Shahdah et al. (25). However, in literature also other values are proposed. Archer (23) uses a threshold TTC of 3.5 seconds, and Kuang et al. (26) mentions that the TTC varies between 1.5 and 4.0 seconds. Assessing the effect of larger TTC filter values is not possible, as then the value exceeds the projection threshold value and hence the

conflict number does not change. Taking a different projection threshold results in different projected conflicts and hence would result in an unfair comparison. Hence sensitivity of the TTC filter threshold is assessed by taking maximum TTC values of 0.5, 1.0 and 1.5 seconds. A stronger correlation between crash rate ranking and conflict rate ranking is observed for lower filter values. This is in line with the expectations as the lower the TTC value, the larger the likelihood that a conflict results in a crash.

Effect of the Wiedemann Car-following model

Initially the Wiedemann99 car following model was used in all simulations, as this was recommended by Fan et al. (27, p. 71). However, from the VISSIM 9.0 manual (28, p. 247) it can be concluded that the Wiedemann74 model is better suitable for modelling merging areas. When only changing the car-following model and leaving all other VISSIM settings equal, it was found that for the Wiedemann99-model a correlation of 0.567 was found between the conflict rate ranking and crash rate ranking, and that this decreased to 0.300 for the Wiedemann74-model. More detailed traffic data on vehicle trajectories is required to determine which model is best representing the real traffic behaviour.

Effect of desired speed limit

It was found that for the initial VISSIM simulation models congested speeds were used to determine the desired speed distributions. The desired speed distributions were updated by using only the fastest half of the speeds measured by loop detectors, which resulted in a weaker correlation of 0.433 between the crash rates and conflict rates.

Effect of calibration on speeds

All previously presented results were based on a model that was calibrated by a visual inspection and calibrating on vehicle intensities. However, including also a calibration on vehicle speeds results in a model that is better representing the real traffic behaviour. For that calibration, hourly simulated vehicle speeds from three simulation runs with seed 43 - 45 are compared with average hourly field speeds measured by loop detectors for working days in September 2015. This resulted in changes in changes in the desired speed distributions and vehicle inputs, to obtain a better correspondence between field and simulated traffic flow. After this extra calibration procedure a correlation of -0.083 was found between simulated conflict rate ranking and crash rate ranking, which is lower than the initial correlation. This is contradicting to the hypothesis that a more extensive calibration leads to a stronger correlation. Remarkable is that the conflict rate largely increased on weaving sections 077 and 412, where the amount of congestion is increased by adding vehicles, and that the conflict rate decreased on weaving section 173, where the evening peak congestion is decreased. This suggests that there is a relation between the amount of congestion and the number of conflicts calculated by SSAM.

Time, location and type

It is found that the times of the conflicts are reasonable corresponding to the times of the crashes for weaving sections with a sufficient number of crashes. For weaving sections with only a few crashes no clear correspondence is found, due to the stochasticity of the occurrence of crashes. Correlation between conflict location and crash location was weak, suggesting that SSAM is not good at predicting the location. As in the BRON crash database the crash type is often registered as 'unknown' it was not possible to draw conclusions on the predictability of the type.

Conclusie en discussie

Negen weefvakken in Nederland zijn geselecteerd en op vier manieren gerangschikt. Spearman's rangorde correlatiecoëfficiënt is berekend tussen iedere ranking. Een gemiddelde correlatie van 0.567 is gevonden tussen de rangschikkingen op basis van conflict ratio en ongevalsratio. Echter is deze correlatie niet significant op het 5% level. Een sterkere correlatie van 0.683 is geobserveerd tussen de CPM en experts rangschikking. Correlaties tussen andere rangschikkingen zijn zwakker of zelfs negatief.

Er zijn meerdere mogelijke verklaringen voor de verschillen tussen de rangschikkingen. Het is algemeen bekend dat de BRON-ongevalsdatabase niet compleet is. Echter resulteerde het raadplegen van een alternatieve database (UDLS) niet in erg verschillende ongevalsratio's en correlaties. De conflictratio wordt beïnvloed door VISSIM en SSAM-instellingen. Er zijn vele input-waarden in het VISSIM-model, zoals de wensnelheid van de voertuigen, het voertuigvolgmodel, de rijstrookwisselafstand en vele parameter instellingen die voertuigtrajectoren beïnvloeden, en daar mee het aantal conflicten. Doordat data niet beschikbaar is zijn soms alternatieve benaderingen gebruikt. Door toevoeging van kalibratie op snelheden is meer vertraging gesimuleerd op een aantal locaties, wat resulteerde in een betere overeenkomst tussen gesimuleerd en werkelijk verkeer, maar ook in meer conflicten op locaties met meer file en een zwakkere correlatie. Meer inzicht in VISSIM parameter instellingen is dus gewenst. Ook de TTC en PET drempelwaarden in SSAM beïnvloeden de rangschikking. Daarnaast moet worden opgemerkt dat in VISSIM en SSAM alleen voertuig-voertuig conflicten voorkomen, terwijl ook eenzijdige ongevallen zijn meegenomen in de ongevalsanalyse, wat kan leiden tot een oneerlijke vergelijking. De verkeersveiligheidsexperts hebben de weefvakken in slechts een uur gerangschikt, terwijl veel meer tijd wordt besteed aan het beoordelen van veiligheid van weefvakken bij een wegontwerp. Tot slot is slechts een kleine set van 9 weefvakken gebruikt, dus een enkele uitzondering heeft een grote invloed op de correlatie.

Dus, voorzichtigheid is geboden bij het gebruik van conflictaantallen en -ratio's bepaald middels VISSIM en SSAM als (enige) voorspeller voor veiligheid van Nederlandse weefvakken.

In andere landen zijn crash prediction models ontwikkeld en worden deze frequent gebruikt. Een CPM voor symmetrische weefvakken in Nederland resulteerde in een zwakkere correlatie met ongevalsratio's dan VISSIM en SSAM, maar de correlatie tussen de CPM en de experts is sterker

($\rho_s = 0.683, P = 0.042$). Dus de CPM kan geschikter zijn voor het beoordelen van de veiligheid van een weefvakontwerp, hoewel het geen details geeft over de locatie en Ernst van conflicten en potentiële ongevallen.

Bronvermelding

- 1) Iliadi, H. Farah, P. Schepers, and S.P. Hoogendoorn. A crash prediction model for weaving sections in the Netherlands. In 95th Annual Meeting Transportation Research Board, Washington, USA, 10-14 January 2016; Authors version. Transportation Research Board, 2016.
- 2) T.F. Golob, W.W. Recker, and V.M. Alvarez. Safety aspects of freeway weaving sections. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(1):35–51, 2004.
- 3) Y. Qi, J. Liu, and Y. Wang. Safety performance for freeway weaving segments. Technical report, Texas Southern University, 2014.
- 4) Grontmij. Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen; Handboek, versie 4. Technical report, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, De Bilt, 2015.
- 5) Rijkswaterstaat GPO and Witteveen + Bos. Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2014 (Guidelines Design Freeways 2014). Technical report, Rijkswaterstaat, 2015.
- 6) B.J. Park, K. Fitzpatrick, and D. Lord. Evaluating the effects of freeway design elements on safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2195:58–69, 2010.
- 7) R. Elvik, T. Vaa, A. Erke, and M. Sorensen. The handbook of road safety measures. Emerald Group Publishing, 2009.
- 8) D. Gettman, L. Pu, T. Sayed, and S.G. Shelby. Surrogate Safety Assessment Model and validation: Final report (FHWA-HRT-08-051). Technical report, Federal Highway Administration, 2008.
- 9) D. Gettman and L. Head. Surrogate safety measures from traffic simulation models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1840:104–115, 2003.
- 10) A. Laureshyn, Å. Svensson, and C. Hydén. Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6):1637–1646, 2010.
- 11) J. Bared. Techbrief: Surrogate Safety Assessment Model (SSAM). Technical summary (FHWA-HRT-08-049), 2016.
- 12) W. Young, A. Sobhani, M.G. Lenné, and M. Sarvi. Simulation of safety: A review of the state of the art in road safety simulation modelling. *Accident Analysis & Prevention*, 66: 89–103, 2014.
- 13) C. Brouwer. Het klaverblad en de veiligheid van het verkeer (The cloverleaf and traffic safety). *Verkeerskunde*, 26(3), 1975.
- 14) H. Yang, K. Ozbay, and B. Bartin. Application of simulation-based traffic conflict analysis for highway safety evaluation. *Proceedings of the 12th WCTR*, Lisbon, Portugal, 2010.
- 15) F. Huang, P. Liu, H. Yu, and W. Wang. Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 50:1014–1024, 2013.
- 16) K. El-Basyouny. Field validation for surrogate safety assessment methodology (SSAM) using a multi-purpose micro-simulation. Master thesis, University of British Columbia, 2006.
- 17) M. Essa and T. Sayed. Transferability of calibrated microsimulation model parameters for safety assessment using simulated conflicts. *Accident Analysis & Prevention*, 84:41–53, 2015.
- 18) R.G.M.M. Vermijs. Capaciteitswaarden symmetrische weefvakken. TU Delft, 1997.
- 19) C. Mai, C. McDaniel-Wilson, D. Norval, D. Upton, J. Auth, et al. Protocol for VISSIM Simulation. Oregon Department of Transportation, USA, 2011.
- 20) J. Smith, R. Blewitt, et al. Traffic modelling guidelines. Traffic manager and network performance best practice. Version, 3, 2010.
- 21) Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving. Human Factors voor verkeersveiligheid in het wegontwerp (Handreiking voor Human Factors; Bijlage E bij VOA). Technical report, Rijkswaterstaat, 2016.

- 22) J. L. Campbell, M.G. Lichty, J.L. Brown, C. M. Richard, J.S. Graving, J. L. Graham, M. O’Laughlin, D. Torbic, and D. Harwood. NCHRP report 600: Human factors guidelines for road systems. Transportation Research Board, Washington, D.C., second edition, 2012.
- 23) J. Archer. Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections. PhD thesis, Royal Institute of Technology, Kungliga Tekniska Hogskolan (KTH), Stockholm, Sweden, 2005.
- 24) J.H. Kraay, A.R.A. van der Horst, and S. Oppe. Handleiding voor de conflictobservatietechniek DOCTOR (in Dutch) Manual for conflict observation technique DOCTOR. (Report R-86-3). Technical report, SWOV, 1986.
- 25) U. Shahdah, F. Saccomanno, and B. Persaud. Integrated traffic conflict model for estimating crash modification factors. *Accident Analysis & Prevention*, 71:228–235, 2014.
- 26) Y. Kuang, X. Qu, and S. Wang. A tree-structured crash surrogate measure for freeways. *Accident Analysis & Prevention*, 77:137–148, 2015.
- 27) R. Fan, H. Yu, P. Liu, and W. Wang. Using VISSIM simulation model and Surrogate Safety Assessment Model for estimating field measured traffic conflicts at freeway merge areas. *IET Intelligent Transport Systems*, 7(1):68–77, 2013.
- 28) PTV VISSIM. PTV VISSIM 9, User Manual. PTV AG, Karlsruhe, 2016.