

# Verkeersveiligheid in planstudies

Het ontwikkelen en het implementeren van een ongevalvoorspellingsmodel in het verkeersmodel, ten behoeve van de bepaling van de mate van verkeersveiligheid in het planproces

*Omdat we ons verplaatsen*

Bachelorscriptie

# Verkeersveiligheid in planstudies

Het ontwikkelen en het implementeren van een  
ongevalvoorspellingsmodel in het verkeersmodel,  
ten behoeve van de bepaling van de mate van  
verkeersveiligheid in het planproces

Datum

7 juni 2019

## Documentatiepagina

Titel rapport	Verkeersveiligheid in planstudies
	Het ontwikkelen en het implementeren van een ongevalvoorspellingsmodel in het verkeersmodel, ten behoeve van de bepaling van de mate van verkeersveiligheid in het planproces
Auteur	Reinder Boomsma
Studentnummer	3429708
Mailadres	reinder.boomsma@student.nhlstenden.com
Opleiding	Ruimtelijke Ontwikkeling – Mobiliteit NHL Stenden Hogeschool
Begeleidend docent	P. Euser
Begeleiders Goudappel Coffeng	R. Koopal R. Van der Honing
Eerste lezer	P. Euser
Tweede lezer	C. Wartena
Afstudeerperiode	februari – juni 2019
Datum publicatie	7 juni 2019

## Voorwoord

Met deze eindschrijft zijn mijn verrichtingen in het laatste semester beschreven als student aan de opleiding Ruimtelijke Ontwikkeling – Mobiliteit. Na mijn onderzoeksstage in semester 7 bij Goudappel Coffeng te hebben uitgevoerd, was er ook de mogelijkheid om er af te studeren. Omdat de onderzoeksstage mij erg goed was bevallen, heb ik van de mogelijkheid gebruik gemaakt om ook het afstudeeronderzoek bij Goudappel Coffeng uit te voeren.

Met mijn begeleider van de onderzoeksstage, Rogier Koopal, is het afstudeeronderwerp aan het einde van de onderzoeksstage vastgesteld. Tussen februari en juli heeft het afstuderen plaatsgevonden bij de afdeling verkeersmanagement en -prognoses in de hoofdvestiging te Deventer.

In dit afstudeeronderzoek wordt getracht om bij de volgende competenties aan niveau 3 te voldoen:

- Initiëren en sturen;
- Monitoren toetsen en evalueren;
- Onderzoeken;
- Communiceren en samenwerken;
- Managen en innoveren.

Ik wil begeleidend docent Pieter Euser bedanken voor de begeleiding vanuit NHL Stenden Hogeschool, maar vooral voor de toestemming om in het praktische tijdsbestek van drie maanden te mogen afstuderen. Verder wil ik mijn twee begeleiders bij Goudappel Coffeng, Rogier Koopal en Rogier van der Honing, bedanken voor de begeleiding bij het onderzoek.

Door de huiselijke sfeer, fijne collega's en flexibiliteit heb ik het erg naar mijn zin gehad bij Goudappel Coffeng.

Deventer/Aldeboarn, 7 juni 2019



## Samenvatting

Door de lichte stijging van de verkeersongevallen en -slachtoffers staat verkeersveiligheid de laatste jaren hoog op de agenda. Verschillende partijen bedenken manieren om deze aantallen weer terug te dringen. Zo is ook Goudappel Coffeng altijd op zoek naar vernieuwende oplossingen en ideeën binnen het thema verkeersveiligheid. Bij de afdeling verkeersmanagement en -prognoses is het idee ontstaan om verkeersveiligheid in planstudies mee te nemen.

Met verkeersveiligheid in planstudies wordt in dit onderzoek het kwantificeren van de verkeersveiligheid in planstudies bedoeld. Op basis van een regressieanalyse op ongevalldata wordt de invloed van weg-, verkeers- en omgevingskenmerken op ongevallen inzichtelijk. De uitkomsten van de regressie dienen vervolgens voor het opstellen van APM's (Accident Prediction Models). Deze ongevalvoorspellingsmodellen worden vervolgens in het softwarepakket van OmniTRANS<sup>1</sup> geïmplementeerd om de veiligheidseffecten in variantstudies inzichtelijk te maken.

Tot op heden zijn er weinig onderzoeken geweest met betrekking tot het implementeren van een APM in een verkeersmodel. Een verkeersmodel is immers ook niet gemaakt om ongevallen te voorspellen, maar om verkeerskundige effecten te berekenen en te visualiseren. Daarentegen is het gewenst om de verkeersveiligheidseffecten van maatregelen inzichtelijk te krijgen voordat de variant op straat is gerealiseerd. Op deze manier kan de identificatie van de verkeersveiligheid van de maatregelen een belangrijke rol spelen in het afwegings- en besluitvormingsproces.

In onderstaande tabel zijn de verschillende onderzoeksfasen van dit onderzoek weergegeven.

Onderzoeksfase	Type onderzoek	Dataverzameling	Datakenmerken	Analysemethode
Invloed van weg-, verkeers- en omgevingskenmerken op verkeersveiligheid	Deskresearch	Literatuurstudie	Literatuur met de beschrijving van invloeden van ongevalsfactoren	Verwerken van alle genoemde kenmerken per onderzoek tot een lijst
APM's verkennen	Deskresearch	Literatuurstudie	Literatuur met verschillende vormen van APM's	Onderzoeken en rapporteren van de verschillende APM's
Databronnen bepalen	Veldonderzoek	Gesprekken met collega's	Databronnen in de vorm van digitale kaarten en databestanden	Beoordelen welke databronnen geschikt zijn voor het onderzoek
Regressie uitvoeren en APM's opstellen	Relationeel onderzoek	Exporteren van data uit databronnen naar tabel	Tabel met ongevallen en de aanwezigheid van weg-, verkeers- en	SPSS <sup>2</sup>

<sup>1</sup> OmniTRANS, ontwikkeld door DAT.Mobility, is de verkeersmodellensoftware die wordt gebruikt door Goudappel Coffeng

<sup>2</sup> SPSS is een statistisch computerprogramma voor de sociale wetenschappen dat ontstaan is in 1968 en ontwikkeld werd door Norman Nie en Hadlai 'Tex' Hull. Oorspronkelijk was SPSS een acroniem dat stond voor Statistical Package for the Social Sciences

			omgevingskenmerken	
APM's in het verkeersmodel verwerken en de uitkomsten analyseren	Analyseonderzoek	De opgestelde APM's en OmniTRANS data	Door middel van scripting <sup>3</sup> zijn de APM's in OmniTRANS geïmplementeerd	Vergelijken van uitkomsten met reële ongevalldata

Uit de literatuur komt naar voren dat een aantal weg-, verkeers- en omgevingskenmerken een significante invloed heeft op verkeersveiligheid. Onder andere verkeersintensiteit, aantal rijstroken, wegvaklengte en snelheid zijn van invloed. Naast deze variabelen zijn nog veel meer kenmerken van invloed. Zo speelt ook verkeersgedrag een belangrijke rol in het ongevalsrisico. Op basis van een interview met M. Dicke is naar voren gekomen dat de invloed van gedrag echter moeilijk uit data is te halen. In dit onderzoek zijn daarom geen gedragsfactoren meegenomen.

Met gegevens uit het verkeersmodel, ongevalldata van Via en de BGT<sup>4</sup> van Brabant zijn databronnen vastgesteld voor het opstellen van de database. Met een GIS<sup>5</sup> zijn de databronnen gekoppeld en is de database ontstaan.

Na het voltooien van de database is een logistische regressie en een multinomiale logistische regressie op de database uitgevoerd om de invloed van de verschillende variabelen op het ongevalsrisico te bepalen. De uitkomsten van de regressies, bètawwaarden, zijn vervolgens in de APM's meegenomen. Er zijn twee APM's in dit onderzoek ontwikkeld:

$$APM\ 1: E(\lambda) = e^{\beta_0 + (\beta_i * x_i) + \dots + (\beta_n * x_n)}$$

$$APM\ 2: P_{ni} = \frac{e^{\beta_i * x_{ni}}}{\sum_j e^{\beta_j * x_{nj}}}$$

Met APM 1 is het aantal ongevallen te berekenen en met APM 2 is de ongevalkans per ongevalstype te berekenen. De parameters van de APM's zijn in §5.5 uitgelegd. De ongevalstypen zijn onderverdeeld in geen ongeval (1), een ongeval met uitsluitend materiele schade (2), een letselongeval (3) en een dodelijk ongeval (4).

De APM's zijn vervolgens gevalideerd in drie testgebieden in Brabant. Het berekende aantal ongevallen kwam hierbij sterk overeen met het aantal door VIA opgenomen ongevallen voor hetzelfde gebied. Na de validatie zijn de APM's in de software van OmniTRANS geïmplementeerd. Als case voor het onderzoek is een variantenstudie van de randweg om Boekel gehanteerd. Dit is een actueel project waarbij vier varianten zijn nagebouwd. De APM's zijn vervolgens over de varianten doorgerekend en er was onderscheid in verkeersveiligheid tussen de varianten zichtbaar. Na het analyseren van de van de varianten kon er geconcludeerd worden dat beide APM's een plausibel resultaat opleveren voor het verklaren van het ongevalsrisico middels beide APM's.

<sup>3</sup> Een scripttaal is een programmeertaal die geschikt is voor het schrijven van scripts, kleine programmaatjes om veel voorkomende taken (bijvoorbeeld systeembeheertaken) pragmatisch te automatiseren, of om een langdurige maar eenmalige taak te verrichten

<sup>4</sup> Basisregistratie Grootchalige Topografie – in de BGT is de topografie van Nederland op een eenduidige wijze vastgelegd

<sup>5</sup> Geografisch informatiesysteem – met een GIS kan informatie over geografische objecten worden opgeslagen, beheerd, bewerkt, geanalyseerd, geïntegreerd en gepresenteerd

Inhoud	Pagina	
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1	Aanleiding	8
1.2	Afbakening	8
1.3	Relevantie van het onderzoek	9
1.4	Stand van zaken binnen de wetenschap	10
1.5	Doelstelling	10
1.6	Probleemstelling	11
1.7	Leeswijzer	12
<b>2</b>	<b>Theoretische verdieping</b>	<b>13</b>
2.1	Weg-, verkeers- en omgevingskenmerken	13
2.2	Literatuurstudie	15
2.2.1	Risicocijfers Rijkswaterstaat	16
2.3	Discussiepunten naar aanleiding van interviews	18
2.4	Kansverdelingen	18
2.4.1	Poissonverdeling	19
2.4.2	Negatief-binomiale verdeling	20
2.4.3	Andere kansverdelingen	20
2.5	Conclusie	20
<b>3</b>	<b>Methodologie</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Database</b>	<b>24</b>
4.1	VIA Software	24
4.2	HERE-data	25
4.3	Verkeersmodel BBMA – versie 2018 S106	26
4.4	BGT Brabant	27
4.5	OmniTRANS	27
4.6	Database (ruw)	28
4.7	Database	29
4.8	Herziene database	33
<b>5</b>	<b>Accident prediction models</b>	<b>39</b>
5.1	Modelvormen APM	39
5.2	Variabelen APM	40
5.3	Regressieanalyse	41
5.4	Regressie op basis van de herziene database	42
5.4.1	Wijzigingen nieuwe database ten opzichte van de oude database	42
5.4.2	Resultaten logistische regressie	43
5.4.3	MNL-regressie op basis van de nieuwe database	44
5.5	APM's op basis van regressieresultaten	46
<b>6</b>	<b>APM in het verkeersmodel</b>	<b>47</b>
6.1	Verwerken APM's in scripts	47

6.2	Validiteit	48
6.3	Effecten APM's in variantenstudie	50
6.3.1	Verkeerskundige analyse varianten	52
6.3.2	Effecten APM 1	56
6.3.3	Effecten APM 2	62
<b>7</b>	<b>Conclusie</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>Discussie, reflectie en aanbevelingen</b>	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>Literatuurlijst</b>	<b>73</b>
	Bijlage 1 – Achtergrondinformatie VIA data	75
	Bijlage 2 – Regressieresultaten op basis van de eerste database	82
	Bijlage 3 – Uitsnede van de database	92
	Bijlage 4 – Ochtendspitsintensiteiten varianten Boekel	94

# 1

## Inleiding

### 1.1 Aanleiding

Elk verkeersslachtoffer is er één te veel, wordt vaak door beleidsmakers gezegd. Daarom staat verkeersveiligheid vaak hoog op de agenda in de beleidsplannen. Onlangs is met 'Het strategisch Plan Verkeersveiligheid 2030 Veilig van deur tot deur' door de Rijksoverheid aangegeven dat nul verkeersslachtoffers in 2030 het streven is.

Door alle aandacht voor verkeersveiligheid is het aantal verkeersdoden in Nederland sterk afgenomen vanaf de jaren '70, terwijl het aantal gereden kilometers alleen maar is toegenomen. De laatste jaren is de daling afgezwakt en is er zelfs een lichte stijging van het aantal verkeersongevallen en -slachtoffers. Verschillende partijen bedenken manieren om deze aantallen weer terug te dringen. Zo is ook Goudappel Coffeng altijd op zoek naar vernieuwende oplossingen en ideeën binnen het thema verkeersveiligheid. Bij de afdeling verkeersmanagement en -prognoses is het idee ontstaan om een module te ontwikkelen om verkeersveiligheid in planstudies mee te nemen.

### 1.2 Afbakening

Het bepalen van verkeersveiligheid in planstudies betreft in dit onderzoek het kwantificeren van verkeersveiligheid om varianten met elkaar te kunnen vergelijken. Dit gebeurt door de infrastructuur van varianten te beoordelen op de aanwezigheid van weg-, verkeers- en omgevingskenmerken. De invloed van de kenmerken op de verkeersveiligheid wordt bepaald aan de hand van regressieanalyses op ongevallendata. Op basis van de regressieanalyses wordt een functie geschat die de verkeersveiligheid van varianten kan identificeren. Hoe vaker een weg-, verkeers- of omgevingskenmerk bij een ongevallenlocatie aanwezig is, hoe minder veilig dit kenmerk wordt beschouwd bij het voorspellen van de verkeersveiligheid.

Met behulp van VIA Software wordt de ongevallendata verkregen. In de data is de locatie en afloop van het ongeval opgenomen. Om de weg-, verkeers- en omgevingskenmerken bij de ongevallenlocaties inzichtelijk te maken, worden meer databronnen gebruikt. Voor het verstrekken van verkeersgegevens wordt een verkeersmodel gehanteerd. Voor het opnemen van omgevingskenmerken wordt de BGT geraadpleegd. Om snelheidsgegevens aan de locatie te koppelen wordt naast het verkeersmodel ook gebruik gemaakt van

HERE-data. Door deze bronnen te koppelen, ontstaat er een database, bestaande uit de wegen van het verkeersmodel en data van VIA, HERE en de BGT. Om de omvang van de database te beperken wordt het onderzoeksgebied in plaats van een aantal provincies bepaald op provincie Noord-Brabant. Het verkeersmodel van West-Brabant wordt in beginsel gehanteerd voor het voorspellen van het ongevalsrisico. Het verkeersmodel bevat een netwerk van 2015. De Here-data zijn eveneens afkomstig uit 2015. De ongevallendata van VIA Software zijn afkomstig uit de jaren 2015, 2016, 2017 en 2018. Met een GIS worden de bronnen gekoppeld en geëxporteerd naar de database.

De database bevat alle wegvakken uit het verkeersmodel. De wegvakken worden in het verkeersmodel aangeduid als links. Per link wordt het aantal ongevallen in de database opgenomen met daarbij de aanwezigheid van de weg-, verkeers- en omgevingskenmerken. Op basis van de database kan een analyse worden uitgevoerd van de invloed van de weg-, verkeers- en omgevingskenmerken op het ongeval. Deze analyse leidt tot een parameterset voor de verschillende verklarende variabelen; de weg-, verkeers- en omgevingskenmerken. Deze verklarende variabelen dienen voor het verklaren van het ongevalsrisico; de afhankelijke variabelen. Een dergelijk statistisch model wordt ook wel een Accident Prediction Model (hierna: APM) genoemd.

Om de verkeersveiligheid van verkeerskundige varianten in variantstudies te bepalen en ook de veiligheid van de varianten ten opzichte van elkaar te bepalen wordt de APM in een variantenstudie toegepast. De APM wordt met behulp van een script in het verkeersmodel geïmplementeerd en doorgerekend op de betreffende varianten. Het in dit onderzoek gehanteerde verkeersmodel is onderdeel van het softwarepakket van OmniTRANS. De APM wordt in dit onderzoek toegepast op verkeerskundige varianten in Boekel.

### 1.3 Relevantie van het onderzoek

In zowel Nederland als in het buitenland zijn tientallen onderzoeken uitgevoerd naar de mogelijkheid om een APM op te stellen. Hierbij is getracht om het ongevalsrisico van een bepaalde wegcategorie inzichtelijk te maken op basis van onafhankelijke variabelen. De uitkomst is een APM waarbij het ongevalsrisico in een GIS wordt uitgedrukt in aantal ongevallen per wegvak en tijdseenheid voor een bepaalde regio.

Vanuit het werkveld is er vraag naar een methode die inzicht biedt in verkeersveiligheid bij planstudies. In het onderzoek van (Aarts & Bax, 2013) werd aangegeven dat het interessant is om de relatie tussen gemeentelijke kenmerken en verkeersveiligheid in planstudies verder te onderzoeken. Het gaat hierbij om factoren, zoals prestatie-indicatoren, die ten grondslag liggen aan de verwachte verkeersveiligheid. Ook in het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van verkeersmodellen voor verkeersveiligheidsonderzoek (Morsink & Wismans, 2008) wordt geconcludeerd dat het verkeersmodel zinvol wordt geacht om verkeersveiligheidseffecten in beeld te brengen. Hierbij kunnen de uitkomsten steun geven aan het besluitvormingsproces of kan het als input dienen voor vervolgonderzoek. Verder wordt door beleidsmakers vaak de term 'risicogestuurd' genoemd. Hierbij wordt niet na de realisatie van een tracé de

verkeersveiligheid geëvalueerd of na het voorvallen van ongevallen, maar proactief in de beginfase van een project of zelfs voorafgaand aan een project.

In Lord & Persaud (2004) wordt aangegeven dat het zelden tot nooit voorkomt dat verkeersveiligheid wordt meegenomen bij planstudies. Verkeersmodellen zijn ook niet gemaakt om verkeersveiligheid in beeld te brengen, maar om verkeerskundige effecten als bijvoorbeeld verkeerspatronen en -intensiteiten te berekenen en te visualiseren. Op deze manier kan voor de realisatie van een infrastructurele maatregel een inzicht worden verschaft van de effecten van de betreffende maatregel.

Dit onderzoek geeft een extra dimensie aan een APM, omdat het hier een APM betreft dat in het verkeersmodel wordt geïmplementeerd. Hierbij wordt het ongevalsrisico in kaart gebracht voordat een infrastructuurplan op straat is gerealiseerd. Zo is, op basis van de berekende invloeden van ongevalsfactoren, al in een vroeg stadium van het planproces duidelijk wat de effecten van een verkeerskundige variant zijn op de verkeersveiligheid. In tegenstelling tot een 'traditionele' APM vindt hier een schatting van de verkeersveiligheid plaats voordat de infrastructurele maatregelen zijn gerealiseerd. Bij een 'traditionele' APM vindt een schatting plaats van het ongevalsrisico per wegvak en tijdseenheid op basis van reeds gerealiseerde infrastructuur.

#### 1.4 Stand van zaken binnen de wetenschap

Er zijn verscheidene onderzoeken uitgevoerd op het gebied van APM's. Voor sommige regio's in binnen- en buitenland zijn specifieke modellen opgesteld. De algemene formulevorm van een APM is in de meeste onderzoeken gelijk, maar voor elke locatie zijn de parameterwaarden anders. Dat hangt af van de data waarop het model gekalibreerd is. Er zijn weinig studies waarbij een APM aan het verkeersmodel is gekoppeld. Echter, in Lord & Persaud (2004) zijn voor kruispunten en wegvakken APM's geschat waarbij ongevallen zijn gemodelleerd. De input van de APM's betrof hier verkeerstellingen en wegvaklengte. Een nadeel van dit onderzoek is dat de APM op basis van een spreadsheet werkt en niet in de software van een verkeersmodel is geïmplementeerd. Het is daarmee een nabewerking in plaats van directe output van het verkeersmodel.

Met dit onderzoek wordt de APM wél in de software van het verkeersmodel opgenomen. Naast het voorspellen van het aantal ongevallen en de ongevallenkans wordt er ook een methode ontwikkeld waarbij inzicht wordt verschaft in het verschil van verkeersveiligheid tussen verkeerskundige varianten.

#### 1.5 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is om een bruikbare methode te ontwikkelen die kan worden ingezet om de verkeersveiligheid van een variant te identificeren. Op deze manier kunnen varianten onderling worden vergeleken. Deze indicatie van de verkeersveiligheid van ontwerpalternatieven kan waardevol zijn bij het besluitvormingsproces en zo indirect met een advies van verkeersveilige infrastructuur bijdragen aan het beperken van het aantal ongevallen.

## 1.6 Probleemstelling

Zoals eerder vermeld zijn er tot op heden weinig tot geen methoden ontwikkeld om de verkeersveiligheid inzichtelijk te maken in variantstudies, waarbij vele weg-, verkeers- en omgevingskenmerken worden meegenomen. In variantstudies is het dus nog niet mogelijk om op basis van vele kenmerken meteen een inzicht te krijgen in de verkeersveiligheid van een wegvak, kruispunt of traject. Deze constatering leidt tot de volgende hoofdvraag:

*“Hoe kan verkeersveiligheid op basis van ongevallendata een rol spelen bij de afweging van varianten bij infrastructuurprojecten?”*

De hoofdvraag wordt beantwoord aan de hand van de volgende deelvragen:

1. *Welke weg-, verkeers- en omgevingskenmerken hebben invloed op verkeersveiligheid en welke worden op dit moment meegenomen in het verkeersmodel?*

Als deze weg-, verkeers- en omgevingskenmerken inzichtelijk zijn gemaakt, kunnen de databronnen worden bepaald voor het vergaren van de data van deze kenmerken. Deze data kunnen vervolgens worden gekoppeld aan ongevallendata om de relatie tussen de kenmerken en verkeersveiligheid in dit onderzoek te bepalen.

2. *Welke wiskundige modellen zijn te onderscheiden en welke zijn geschikt voor het verklaren van het ongevalsrisico, waarbij de kenmerken uit de eerste deelvraag kwalitatief of kwantitatief worden uitgedrukt?*

Door de wiskundige modellen te onderscheiden en te onderzoeken, kunnen de juiste APM's voor dit onderzoek worden vastgesteld.

3. *Welke databronnen kunnen worden gebruikt voor het verstrekken van ongevallengegevens?*

Met het gebruik van databronnen kunnen de in de eerste deelvraag genoemde kenmerken in data inzichtelijk worden gemaakt. Met alle databronnen kan de relatie tussen de kenmerken en verkeersveiligheid worden bepaald.

4. *Hoe kan een koppeling worden gemaakt tussen de in de derde deelvraag genoemde databronnen en het verkeersmodel?*

Door het koppelen van de databronnen kan per wegvak het aantal aanwezig kenmerken worden bepaald.

5. *Welk wiskundig model, vanuit de tweede deelvraag, wordt gehanteerd voor het verklaren van de verkeersveiligheid op basis van de ongevallengegevens?*

Door het juiste model te bepalen, kan het ongevalsrisico wiskundig worden uitgedrukt. Met het wiskundige model kunnen berekeningen worden uitgevoerd voor verschillende regio's.

6. *Is het wiskundig model statistisch valide en schaalbaar voor heel Nederland?*

Als het model valide is en schaalbaar is voor heel Nederland, kan worden geconstateerd dat het model ook in andere regio's zonder grote aanpassingen kan worden gebruikt.

7. *Zijn de kenmerken in het rekenmodel volgens de literatuur representatief ten opzichte van elkaar en voor de Nederlandse situatie?*

Als de kenmerken representatief zijn, vergroot dat de betrouwbaarheid van het rekenmodel.



8. Welke mogelijkheden zijn er om het rekenmodel in het softwarepakket van OmniTRANS te implementeren en hoe worden de resultaten gevisualiseerd?  
Door het rekenmodel in OmniTRANS te implementeren, kan het ongevalsrisico in het verkeersmodel worden doorgerekend en worden gevisualiseerd.
9. Is het rekenmodel voldoende toepasbaar, is er voldoende onderscheid tussen de veiligheid van varianten en is het goedgekeurd door experts?  
Om het rekenmodel als plausibel te beschouwen is het belangrijk dat er verschil in veiligheid zichtbaar is in varianten. Ook de goedkeuring van experts speelt hierin een rol.

## 1.7 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de theoretisch verdieping van het onderzoek toegelicht. De bestudeerde literatuur wordt besproken alvorens de uitgangspunten bij dit onderzoek worden opgesteld. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de methodologie van het onderzoek. Hoofdstuk 4 geeft inzicht in de database en de gebruikte databronnen. In hoofdstuk 5 worden de regressieresultaten en de APM weergegeven. De effecten van de APM in het verkeersmodel worden in hoofdstuk 6 beschreven. Er wordt in de hoofdstuk 7 en 8 afgesloten met de conclusie, discussie, reflectie en aanbevelingen. Hoofdstuk 9 bevat de in dit onderzoek geraadpleegde literatuur.

# 2

## Theoretische verdieping

In de inleiding kwam al naar voren dat er veel onderzoek is uitgevoerd naar het schatten van APM's. Over het algemeen komen de onderzoeken overeen met een modelvorm waarbij aan de ene kant het ongevalsrisico is geprojecteerd en aan de andere kant de attributen die bijdragen aan het ongevalsrisico. Voor elke situatie zijn de parameterwaarden in het model anders, afhankelijk van de ongevalldata waarop het model wordt gekalibreerd.

In dit onderzoek wordt een APM geschat op basis van een database, met als input ongevalldata gekoppeld aan een verkeersmodel. Het tweede deel van het onderzoek betreft het implementeren van de APM in het verkeersmodel om een extra dimensie aan het verkeersmodel toe te voegen. Om een beeld te schetsen welke weg-, verkeers- en omgevingskenmerken in de literatuur significant blijken als risicofactor voor ongevallen, wordt in dit hoofdstuk aangegeven welke kenmerken dit betreffen en welke op dit moment al in het verkeersmodel in OmniTRANS worden meegenomen. Verder wordt ingegaan op de literatuurstudie over de relatie tussen ongevalsfactoren en ongevallen.

### 2.1 Weg-, verkeers- en omgevingskenmerken

Vanuit de literatuurstudie zijn bij het opstellen van de APM's veel kenmerken naar voren gekomen die invloed hebben op verkeersveiligheid. In tabel 2.1 zijn ter indicatie de kenmerken weergegeven met de frequentie waarin deze voorkomen in de onderzochte literatuur. Het betreft hier wegkenmerken als aantal rijstroken, wegvaklengte en bochten. De verkeerskenmerken komen naar voren met intensiteit, snelheid en voertuigtype. Tot omgevingskenmerken behoren daglicht, breedte middenberm en weersomstandigheden. De omgevingskenmerken zijn het lastigst te koppelen aan ongevallen. Daglicht en neerslag is gedurende de dag niet hetzelfde, terwijl het aantal rijstroken bijvoorbeeld niet verandert. Daarom is niet elk kenmerk klakkeloos in de APM in te passen. Een andere vereiste is dat de kenmerken (voldoende) in de data zijn opgenomen. De APM is dus afhankelijk van de databronnen en de vraag of een kenmerk (significant) bijdraagt aan het ongevalsrisico.

Tabel 2.1 - Kenmerken uit de literatuur

Kenmerk	In hoeveel onderzoeken onderzocht
Intensiteit	12
Aantal rijstroken	9
Wegvaklengte	9
Snelheid	7
Wegdektoestand	5
Bochten	5
Aantal hellingen	4
Aantal in- en uitvoegstroken	4
Daglicht	4
Helling	4
Maximale helling	4
Wegbreedte	4
Breedte middenberm	3
Breedte redresseerstrook	3
Gemiddelde neerslag	3
Leeftijd bestuurder	3
Minimale bochtstraal	3
Seizoen	3
Voertuigtype	3
Weekdag	3
Weekenddag	3
Weersomstandigheden	3
Wegtype	3
Aantal bochten	2
Bochtstraal	2
Breedte redresseerstrook middenberm	2
Gemiddelde sneeuwval	2
Gereden snelheid	2
Geslacht bestuurder	2
Mist	2
Stedelijk gebied	2
Tijdstip op de dag	2
Verhardingskwaliteit	2
Regen	2

In tabel 2.2 zijn de kenmerken weergegeven die op dit moment in het verkeersmodel in OmniTRANS worden meegenomen. Voor de kenmerken die niet in OmniTRANS worden meegenomen, moeten andere databronnen worden geraadpleegd. Deze andere databronnen worden later in het onderzoek toegelicht.

Tabel 2.2 – Kenmerken in OmniTRANS

Kenmerken	
Intensiteit	Voertuigtype
Aantal rijstroken	Wegtype
Wegvaklengte	Dagdeel
Snelheid	Toe- en afrit
Wegbeheerder	Provincie

## 2.2 Literatuurstudie

In de afgelopen decennia zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd naar de invloed van factoren op verkeersveiligheid. Als de invloeden van factoren bekend zijn, kan een APM worden opgesteld. De beschrijving van APM's komt aan bod in hoofdstuk 5. Naast APM's zijn ook andere methoden ontwikkeld om verkeersveiligheid in beeld te brengen. In Nederland zijn Safety Performance Indicators (SPI) gehanteerd voor het bepalen van ongevalsfactoren. Deze methode is ontwikkeld door het SWOV<sup>6</sup>. Met een SPI wordt de causale relatie tussen ongevalsrisico met DV-scores en VSGS-scores bepaald. De DV-score beschrijft de mate waarin een weg is ingericht volgens de principes van Duurzaam Veilig. De VSGS-score (veilige snelheden en geloofwaardige snelheidslimieten) beschrijft de snelheden van wegen met de mate waarin deze geloofwaardig zijn. In het onderzoek van Wijlhuizen & Schermers (2014) is geen relatie gevonden tussen DV-scores en VSGS-scores met ongevalsrisico, omdat essentiële gegevens ontbraken. De aanbeveling van het onderzoek was daarom om met volledige gegevens SPI's aan te tonen.

Het SWOV heeft op basis van ongevalldata in Limburg de ongevalsfactoren van rijkswegen geanalyseerd (Commandeur, Bijleveld, Braimaister, & Janssen, 2002). Op basis van een door VIA opgesteld programma, Actuele Risicocijfers Limburg (ARLI), zijn risicocijfers opgesteld voor ongeval-, weg- en verkeerskenmerken. Dit onderzoek verschaft een goed beeld van het opstellen van een methode met risicocijfers.

In het buitenland zijn eveneens studies uitgevoerd met de relatie tussen ongevalsfactoren en ongevallen. Bij sommige studies was het doel om met een bepaalde statistische benadering de invloed van de factoren te bepalen. In andere studies was het doel om op basis van de invloed van factoren, een schattingsmodel te genereren voor het bepalen van het ongevalrisico. Deze studies zijn allemaal op een specifieke regio gericht. Voor de betreffende regio is data vergaard welke met een statistische benadering is geanalyseerd. De volgende statistische modellen zijn onder andere naar voren gekomen:

<sup>6</sup> Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

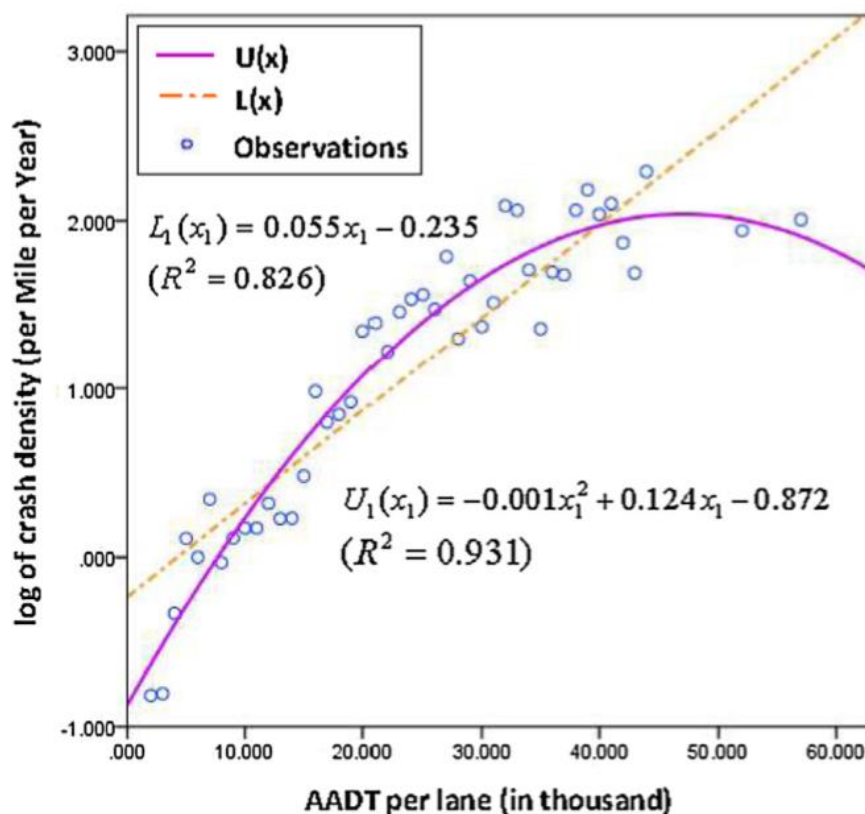
- **Multivariate tobit analyse (Anastasopoulos, Shankar, Haddock, & Mannering, 2012)**  
 In het onderzoek is op basis van ongevallendata van snelwegen in Washington een multivariate tobit analyse uitgevoerd naar de relatie van weg-, verkeers- en omgevingskenmerken met de ongevallen. Hierbij is de onderverdeling gemaakt naar de mate van ernst in ongevallen. De tobit-regressie wordt uitgevoerd op continue data, zoals ongevallen per voertuigkilometers per link. Ook is er bij tobit-regressie een latente variabele aanwezig. Deze variabele betreft de lichte ongevallen, waarvan niet alle ongevallen zijn geregistreerd maar welke wel degelijk in de realiteit plaatsvinden.
- **Two-staged mixed multivariate model (Wang, Quddus, & Ison, 2011)**  
 In dit onderzoek is de relatie tussen weg-, verkeers- en omgevingskenmerken met ongevallen in Londen onderzocht. De data zijn afkomstig van snelwegen en deze zijn benaderd met het two-staged mixed multivariate model. Bij dit model worden ongevallen geschat en gecombineerd met de ernst van ongevallen, terwijl in de meeste andere modellen per ongevalsernst een model wordt geschat.
- **Multinomiale logistische analyse (Celik & Oktay, 2014)**  
 Door Celik & Oktay (2014) is de multinomiale logistische analyse gehanteerd voor het analyseren van de ongevalsfactoren van snelwegen in Turkije. Bij multinomiale logistische regressie wordt het effect van variabelen op een uitkomstmaat (ongevallen) bepaald. Hierbij worden per uitkomstmaat (onderverdeeld in ongevalsernst) de variabelen in bètawaarden uitgedrukt.
- **Multinomiaal-gegeneraliseerd poissonmodel (Chiou & Fu, 2013)**  
 Op basis van ongevallendata in Taiwan hebben Chiou & Fu (2013) een multinomiaal-gegeneraliseerd poissonmodel toegepast voor het bepalen van de invloed van ongevalsfactoren. Bij dit model worden zowel de aantallen ongevallen als de ernst van de ongevallen simultaan gemodelleerd. Hierbij wordt de data met de poissonverdeling geïnterpreteerd.
- **Mixed logistische analyse (Wu, et al., 2014)**  
 In dit onderzoek is een mixed logistische analyse toegepast voor het schatten van de relatie tussen ongevalsfactoren en ongevallen in New Mexico. Hierbij zijn ongevallen onderzocht in de mate van ernst van het ongeval in eenzijdige en meezijdige ongevallen. Bij een mixed logistisch model wordt aangenomen dat parameters niet bij ieder individu gelijk zijn (random parameters). Een onderscheid is bijvoorbeeld te maken naar leeftijd van een betrokken bestuurder bij een ongeval.
- **Mixed multinomiale logistische analyse (Zeng, et al., 2017)**  
 Op basis van ongevallendata in Washington is een mixed multinomiale logistische analyse toegepast om de samenhang tussen ongevallen en factoren te bepalen. Hierbij is het verschil tussen een lineaire en een niet-lineaire benadering van variabelen onderzocht. Bij veel variabelen bleek de niet-lineaire benadering een meer verklarende benadering dan de lineaire variabele.

### 2.2.1 Risicocijfers Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat heeft het Kader Verkeersveiligheidseffectbeoordeling (Rijkswaterstaat WV, 2013) geïntroduceerd als methodiek voor de beoordeling van verkeersveiligheidseffecten van ontwerpalternatieven. Met deze methode worden ontwerpalternatieven met elkaar vergeleken aan de hand van risicocijfers. Het risicocijfer beschrijft voor ieder wegtype de kans om betrokken te raken bij slachtofferongeval. Het

risicocijfer wordt berekend door de slachtofferongevallen te delen door de verkeersprestatie. De verkeersprestatie staat gelijk aan de voertuigkilometers per jaar.

Bij deze methodiek wordt ervan uit gegaan dat het aantal voertuigkilometers een lineaire variabele is. Hoe meer voertuigkilometers per wegtype, hoe hoger het aantal ongevallen, want de geprognosticeerde ongevallen worden berekend met het risicocijfer maal de voertuigkilometers. Uit het onderzoek van Zeng, et al. (2017) komt naar voren dat intensiteit eerder een niet-lineaire variabele is dan een lineaire variabele. Dit geldt bijvoorbeeld ook voor wegbreedte. Hoe breder de weg, hoe minder snel men van de weg afraakt. Echter, als de weg te breed wordt, neemt de kans op ongevallen weer toe. In figuur 2.1 is de relatie van verkeersintensiteit met ongevallen in een lineaire en een niet-lineaire vergelijking uitgedrukt. Zowel de lineaire als de niet-lineaire lijn lijken op het eerste oog een goede doorsnede van de waarnemingen te vormen. Echter, de  $R^2$ -waarde van de niet-lineaire vergelijking is hoger. Dit betekent dat deze vergelijking representatiever is voor het beschrijven van de correlatie tussen de twee variabelen. Dit betekent overigens niet dat voor elk onderzoek de niet-lineaire vorm de relatie beter beschrijft dan een lineaire vorm. De uitkomst is data-specifiek waardoor niet voor ieder onderzoek dezelfde formulevormen gelden.



Figuur 2.1 – Logarithm of the expectation of crash density (number of crashes per mile per year) from Interstate freeway segments in the Washington State for years 2011-2014, by AADT per lane. Overgenomen uit A generalized nonlinear model-based mixed multinomial logit approach for crash data analysis door Zeng, et al.

## 2.3 Discussiepunten naar aanleiding van interviews

Om de mogelijkheden en de onmogelijkheden van het onderzoek uit te lichten, zijn er gesprekken geweest met experts. Uit een gesprek met gedragsdeskundige M. Dicke van Goudappel Coffeng kwam een aantal zaken naar voren met betrekking tot de invloed van gedrag op verkeersveiligheid. Zo noemde hij dat veel ongevallen door een menselijke factor ontstaan, zonder dat weg-, verkeers- of omgevingskenmerken invloed hebben. Factoren als alcohol en afleiding in het verkeer zijn hier de grootste voorbeelden van. Hij noemde dat afleiding in het verkeer meestal op rechte wegen gebeurt, waar weinig inspanning is vereist wat betreft het besturen van een voertuig. Mede hierdoor vinden er ook regelmatig ongevallen plaats op relatief veilige wegen. Bij wegen waar meer verkeersinspanning is vereist, zal minder sprake zijn van afleiding. Dit zijn bijvoorbeeld wegen met bochten of snelwegtrajecten met weefvakken. Hier is men, door het moeten uitvoeren van taken bij het rijden, minder snel geneigd om afleiding op te zoeken tijdens het rijden. Na deze bochtige trajecten en weefvakken vinden waarschijnlijk meer ongevallen plaats met afleiding als oorzaak.

Idealiter zouden er ook gedragsfactoren mee moeten worden genomen in het onderzoek, maar deze factoren zijn juist lastig uit data te halen. Volgens Dicke is het daarom gewenst om de ongevallen uit de database te filteren die wel met gedrag te maken hebben. Zo kan een meer betrouwbare voorspelling worden gegeven op basis van de weg-, verkeers- en omgevingskenmerken, zonder de 'verstoringen' in de database door gedragsfactoren. Helaas was het niet mogelijk om in de beschikbare tijd de database te filteren op ongevallen die mogelijk door gedragsfactoren zijn veroorzaakt. Desondanks is het belangrijk om in gedachten te houden dat lang niet bij alle ongevallen weg-, verkeers- en omgevingskenmerken ten grondslag liggen.

In dit onderzoek is een APM opgesteld voor ongevallen op wegvakken. Er is hierbij geen rekening gehouden met kruispuntvormen. Uit een gesprek met adviseur L. Wismans van Goudappel Coffeng kwam naar voren dat er sprake kan zijn van over- of onderschatting van ongevallen als kruispunten niet mee worden genomen bij een APM. Met de veronderstelling dat een rotonde veiliger is dan een kruispunt met een verkeersregelinstallatie, zou er sprake van overschatting kunnen zijn op wegen met rotondes of onderschatting bij wegen met verkeersregelinstallaties.

Verder gaf Wismans nog aan dat de factor van langzaam verkeer niet wordt meegewogen bij het voorspellen van ongevallen. Desondanks heeft langzaam verkeer toch een behoorlijke invloed op verkeersveiligheid, met name binnen de bebouwde kom. Ook op erftoegangswegen buiten de bebouwde kom kan er sprake zijn van langzaam verkeer op de rijbaan.

## 2.4 Kansverdelingen

Om een ongeval wiskundig uit te drukken, is er een verdeling nodig waarbij een ongeval als een gebeurtenis wordt uitgedrukt. Het is niet zo dat ongevallen nooit voorkomen, of dat ze altijd voorkomen. Er moet dus een verdeling worden gevonden, waarbij de kans op een ongeval wordt bepaald. Met deze eigenschappen komen we in de statistische hoek van de wiskunde. Binnen de statistiek zijn drie deelgebieden (Buijs, 2012): beschrijvende statistiek, kansrekening en wiskundige statistiek. Het verklaren van het

ongevalsrisico, door het aantal ongevallen te voorspellen met behulp van weg-, verkeers- en omgevingskenmerken, valt onder kansrekening.

Op basis van de literatuur bleek dat de database met wegvakken dient als basis voor het opstellen van de APM. Op sommige wegvakken heeft een ongeval plaatsgevonden en op sommige wegvakken niet. Bij een wegvak waar geen ongeval heeft plaatsgevonden, staat het ongeval gelijk aan '0' in de database. Waar wel een ongeval heeft plaatsgevonden, komt de waarde van het aantal ongevallen op die locatie in de database. Op deze manier kan een ongeval, met bepaalde weg-, verkeers- en omgevingskenmerken, worden uitgedrukt als aandeel van het totaal aantal wegvakken met diezelfde kenmerken. Omdat de wegvakken opgenomen zijn waar ongevallen zijn gebeurd en waar ze niet zijn gebeurd, is er een kans te bepalen. Als er een analyse zou worden gemaakt van uitsluitend de wegvakken waar ongevallen zijn gebeurd, is het niet duidelijk wat het aandeel van het betreffende wegvak met weg-, verkeers- en omgevingskenmerken is ten opzichte van het totaal aantal wegvakken met dezelfde kenmerken. In dat geval wordt dus alleen duidelijk welke kenmerken aanwezig waren bij de wegvakken met ongevallen, zonder dat het geheel van de wegvakken met diezelfde kenmerken in beeld is gebracht.

Uit Van Geirt & Nuyts (2005) en Van Geirt & Nuyts (2006) komt naar voren dat Poisson en negatief binominale modellen aanvaardbare methoden zijn om discrete en zeldzame gebeurtenissen, zoals verkeersongevallen, te modelleren. Er wordt verondersteld dat ongevallen op een bepaald wegvak onafhankelijk zijn van elkaar en dat een bepaald gemiddelde van ongevallen per tijdseenheid karakteristiek is voor de betreffende locatie en voor andere locaties met dezelfde karakteristieken. Het gemiddelde zelf wordt verondersteld afhankelijk te zijn van autosnelwegvariabelen. Aangezien het gemiddelde een waarde groter dan 0 moet hebben, moet het een gegeneraliseerde lineaire vorm hebben.

Poissonmodellen en negatief binominale modellen zijn beide discrete kansverdelingen en hebben stochastische variabelen met een oneindig waardenbereik. De kansverdelingen kunnen worden gebruikt om de data te interpreteren.

#### 2.4.1 Poissonverdeling

Bij een poissonverdeling wordt het aantal 'successen' geteld van gebeurtenissen die ieder voor zich een zeer kleine kans hebben om voor te komen, maar door het grote aantal deelnemers worden toch voortdurend 'successen' waargenomen (Buijs, 2012). In relatie tot verkeersveiligheid betekent dit dat er een kleine kans is op ongevallen, maar door de hoge verkeersintensiteit zijn er toch voortdurend ongevallen.

Bij de formule van een poissonverdeling geeft kansvariabele  $k$  het aantal registraties (successen) weer. Omdat hier gaat om het tellen van gebeurtenissen wordt duidelijk dat  $k$  alleen positieve waarden aanneemt. Het tijdsinterval  $t$  waarop het aantal ongevallen plaatsvindt, is bijvoorbeeld uitgedrukt in een uur, dag, week of jaar. Parameter  $\lambda$  geeft het gemiddelde of verwachte aantal 'successen' per tijdseenheid. In plaats van  $\lambda t$  wordt ook wel  $\mu$  geschreven. Voor de kans op een aantal 'successen'  $k$  geldt de volgende vergelijking:



$$P(k) = \frac{\mu^k}{k!} e^{-\mu} \text{ voor } k = 0, 1, 2 \dots$$

Het gemiddelde van de poissonverdeling ( $\mu$ ) is gelijk aan de verwachtingswaarde en de variantie. Echter, het kan ook voorkomen dat de waargenomen variantie veel groter is dan het gemiddelde en de theoretisch verwachte variantie (Van Rossem, 2007). In dat geval is er sprake van overdispersie. Bij de kalibratie van ongeval voorspellingsmethoden neemt dan het risico toe dat een variabele onterecht als statistisch significant wordt aangemerkt (Van Petegem, 2012). Toetsing van de statistische significantie van de modelparameters is daardoor in het geval van overdispersie minder betrouwbaar.

#### 2.4.2 Negatief-binomiale verdeling

Als er bij een poissonverdeling sprake is van overdispersie, is er geen constante variantie. In dat geval is de negatief-binomiale verdeling een goed alternatief voor het rekenen met de data.

De negatief-binomiale verdeling is een kansverdeling van het aantal pogingen met steeds een kans  $p$  op succes (ongeval), om een vastgesteld aantal successen  $m$  (ongevallen) te bereiken. Deze pogingen zijn Bernoulli-pogingen. Een Bernoulli-poging kan maar twee uitkomsten hebben: succes of geen succes. Een voorbeeld hiervan is het tossen met muntstuk. De pogingen zijn onderling onafhankelijk en er is telkens dezelfde kans op succes. Dat betekent dat er wordt gekeken naar de kans dat er een vastgesteld aantal keer  $n$  geen ongeval plaatsvindt voordat er  $m$  ongevallen hebben plaatsgevonden. De verwachtingswaarde is gelijk aan het gemiddelde. De variantie is niet gelijk aan het gemiddelde.

#### 2.4.3 Andere kansverdelingen

Naast de poissonverdeling en de negatief-binomiale zijn er nog meer kansverdelingen te hanteren:

- Lognormale verdeling;
- Uniforme verdeling;
- Driehoeksverdeling;
- Erlang-verdeling;
- Weibull-verdeling;
- Normale verdeling;
- Exponentiele verdeling;
- F-verdeling.

De hanteren verdeling is dataset-specifiek en kan dus per database verschillen. Echter, door Milton, Shankar, & Mannering (2008) en Gkritza & Mannering (2008) wordt geconcludeerd dat de normale verdeling meestal de beste fit op ongevallendata genereert met onderverdeling in ernst per ongeval. Daarom is de normale verdeling in dit onderzoek gehanteerd.

### 2.5 Conclusie

- Al met al hebben zijn er veel factoren van invloed op ongevallen. Sommige factoren hebben meer invloed dan andere factoren; intensiteit, aantal rijstroken en

wegvaklengte hebben altijd een bepaalde invloed op de verkeersveiligheid. Tevens zijn deze factoren bij alle wegen altijd aanwezig. Omdat ook veel andere variabelen invloed hebben op ongevallen is het uitgangspunt om zoveel mogelijk variabelen mee te nemen in het onderzoek, mits de databronnen betrouwbaar zijn.

- Het bepalen van het statistische regressiemodel hangt af van de database. Ook moeten de gewenste uitkomsten met het regressiemodel kunnen worden berekend. In dit onderzoek is het gewenst om bij de uitkomsten parameters te schatten in combinatie met ongevals ernst. In dit geval zou een multinomiale logistische regressie een hanteerbaar model zijn.
- Omdat sprake kan zijn van zowel lineaire als niet-lineaire variabelen is het idealiter gewenst om hier in het onderzoek rekening mee te houden. Echter, door het hanteren van een (lineaire) multinomiale logistische regressie, worden de variabelen uitsluitend lineair benaderd.
- De te hanteren kansverdeling is idealiter de poissonverdeling of de negatief-binomiale verdeling. Daarentegen geeft de normale verdeling in vele gevallen de beste fit op de ongevalldata. De normale verdeling zou in ieder geval moeten worden gehanteerd. Eventueel zou in een later stadium ter vergelijking een andere verdeling kunnen worden toegevoegd.

# 3

## Methodologie

Om het onderzoek ten uitvoer te brengen, zijn verschillende stappen doorlopen. In dit hoofdstuk worden deze stappen toegelicht. In tabel 3.1 is per onderzoeksfase aangegeven welk type onderzoek, data en analysemethode van toepassing is.

Tabel 3.1 - Onderzoeksfasen

Onderzoeksfase	Type onderzoek	Dataverzameling	Datamenmerken	Analysemethode
Invloed van weg-, verkeers- en omgevingskenmerken op verkeersveiligheid	Deskresearch	Literatuurstudie	Literatuur met de beschrijving van invloeden van ongevalsfactoren	Verwerken van alle genoemde kenmerken per onderzoek tot een lijst
APM's verkennen	Deskresearch	Literatuurstudie	Literatuur met verschillende vormen van APM's	Onderzoeken en rapporteren van de verschillende APM's
Databronnen bepalen	Veldonderzoek	Gesprekken met collega's	Databronnen in de vorm van digitale kaarten en databestanden	Beoordelen welke databronnen geschikt zijn voor het onderzoek
Regressie uitvoeren en APM opstellen	Relationeel onderzoek	Exporteren van data uit databronnen naar tabel	Tabel met ongevallen en de aanwezigheid van weg-, verkeers- en omgevingskenmerken	SPSS <sup>7</sup>
APM in het verkeersmodel	Analyseonderzoek	De opgestelde APM en OmniTRANS data	Door middel van scripting <sup>8</sup> zijn de	Vergelijken van uitkomsten met

<sup>7</sup> SPSS is een statistisch computerprogramma voor de sociale wetenschappen dat ontstaan is in 1968 en ontwikkeld werd door Norman Nie en Hadlai 'Tex' Hull. Oorspronkelijk was SPSS een acroniem dat stond voor Statistical Package for the Social Sciences

<sup>8</sup> Een scripttaal is een programmeertaal die geschikt is voor het schrijven van scripts, kleine programmaatjes om veel voorkomende taken (bijvoorbeeld systeembeheertaken) pragmatisch te automatiseren, of om een langdurige maar eenmalige taak te verrichten

verwerken en de uitkomsten analyseren			APM's in OmniTRANS geïmplementeerd	reële ongevallendata
---------------------------------------	--	--	------------------------------------	----------------------

Vanuit de literatuurstudie werd veel informatie opgedaan over APM's en werd duidelijk welke weg-, verkeers- en omgevingskenmerken invloed hebben op verkeersveiligheid. Met deze informatie was het mogelijk om de inleiding en de theoretisch verdieping te schrijven. Verder is in een later stadium van het onderzoek aanvullend literatuuronderzoek uitgevoerd. Hierdoor is er in hoofdstuk 5 en 6 ook nog informatie van literatuur opgenomen.

Voor het verkennen van de toepassingsmogelijkheden van databronnen voor het onderzoek, is er gebruik gemaakt van de kennis van collega's. Op deze manier is het onderzoeksgebied Brabant bepaald. Verder is er overleg geweest met collega's die zich dagelijks bezighouden met data. Met hun kennis zijn de databronnen bepaald die de weg-, verkeers- en omgevingskenmerken voor het onderzoek kunnen leveren. Deze kenmerken kunnen aan het ongeval worden gekoppeld, zodat inzichtelijk wordt welke kenmerken er aanwezig zijn op de locatie van het ongeval. De volgende databronnen zijn in het onderzoek meegenomen:

- Verkeersmodel West-Brabant;
- Ongevallendata VIA;
- Snelheidsdata HERE;
- BGT Brabant.

In hoofdstuk 4 is dieper ingegaan op de data. Ook is de koppeling van de data hier toegelicht.

De APM is in hoofdstuk 5 beschreven. Vervolgens zijn de variabelen van de database geanalyseerd door middel van een logistische regressie en een multinomiale logistische regressie. Met de uitkomsten van de regressies is de APM opgesteld.

In hoofdstuk 6 is de implementatie van de APM's in het verkeersmodel van OmniTRANS beschreven. Hierbij is gebruik gemaakt van scripting in Ruby<sup>9</sup>. Na de implementatie zijn de APM's gevalideerd; de uitkomsten in het verkeersmodel zijn hierbij vergeleken met het aantal door VIA opgenomen ongevallen. Na de validatie zijn de APM's toegepast op een variantenstudie van Boekel. Deze hier weergaven van de uitkomsten in het verkeersmodel opgenomen, ter interpretatie van de verkeersveiligheid van de varianten.

<sup>9</sup> Ruby is een programmeertaal, die doorgaans wordt geïnterpreteerd. De taal is ontworpen om snel en makkelijk objectgeoriënteerd te programmeren. Het heeft verschillende mogelijkheden om tekstbestanden te verwerken en kan ook systeemtaken aan

# 4

## Database

De database van het onderzoek is primair aan de op te stellen APM. Afhankelijk van de volledigheid en de beschikbaarheid van de variabelen wordt het ongevallensmodel opgesteld. In dit hoofdstuk worden de databronnen van het onderzoek beschreven alvorens de koppeling van deze databronnen wordt beschreven.

### 4.1 VIA Software

Voor de ongevallendata in het onderzoek is de data van VIA Software gehanteerd als bron. De belangrijkste middelen die VIA Software levert, zijn ongevallendata en snelheidsgegevens. Met de software kan zowel historische als actuele ongevallendata worden verkregen. De bron voor de ongevallendata van VIA Software is de STAR<sup>10</sup> database. Dit is een database die is ontstaan door de Nationale Politie, het Verbond van Verzekeraars en VIA Traffic Solutions Software met het doel om de ongevallendata beter en betrouwbaarder te maken (VIA Software, 2019). Tot 2012 werden ongevallen alleen geregistreerd in het BRON<sup>11</sup>-bestand. Deze database wordt samengesteld door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Rijkswaterstaat. In deze database werd te weinig data geregistreerd voor betrouwbare analyses, waardoor destijds door verschillende partijen STAR is opgericht. De STAR database wordt gevuld door Stichting Processen Verbaal (SPV), die de ongevallen binnenkrijgt van de politie, met KenmerkenMeldingPlus, en van de app MobielSchadeMelden. De dataregistratie is sinds de oprichting van STAR sterk verbeterd.

Desondanks kan het zijn dat er enkele verkeersdoden ontbreken in de STAR database. STAR vergeleek haar cijfers met het door het CBS gepubliceerde aantal verkeersdoden. Hierbij werd geconstateerd dat er 131 verkeersdoden misten in 2016 ten opzichte van de CBS data. De oorzaak hiervan is dat de STAR data wordt geregistreerd op basis van aanwezigheid van politie bij een ongeval. Als iemand enkele dagen na het ongeval is komen te overlijden, met het ongeval als oorzaak, is deze niet geregistreerd door de politie en is de verkeersdode niet opgenomen in de STAR database.

---

<sup>10</sup> Smart Traffic Accident Reporting

<sup>11</sup> Bestand geRegistreerde Ongevallen Nederland

Met een account van VIA Software is voor een zelf te kiezen regio en periode in zowel tabel- als kaartvorm het aantal ongevallen van de betreffende regio in beeld te verkrijgen. Hierbij is het mogelijk om de ongevallen op allerlei kenmerken te filteren. Deze kenmerken betreffen jaar, maand, wegbeheerder, aard, licht- en weersgesteldheid, afloop in drie categorieën, vervoerwijze en leeftijd. De ongevallen kunnen in drie kaartvormen worden geprojecteerd: exact gekoppelde ongevallen, verkeersongevallenconcentraties (hierna: VOC) met exact gekoppelde ongevallen en gesommeerd naar straat en woonplaats. Bij de exact gekoppelde ongevallen worden de ongevallen weergegeven waarvan de precieze locatie bekend is, zoals een hectometerpaal, adres, kruispunt of gps-coördinaten. Een VOC-kaart is hetzelfde als de kaart met exact gekoppelde ongevallen, maar hierbij zijn de ongevallen geclusterd per 25 meter om risicolocaties snel in beeld te krijgen. Bij de kaart waarbij ongevallen gesommeerd zijn naar straat en woonplaats zijn naast de ongevallen met exact gekoppelde locatie ook de ongevallen meegenomen waarvan de locatie niet exact bekend is. Bij deze kaart is de ongevallendata geaggregeerd naar straat- en woonplaatsniveau.

Van de ongevallenkaart is een shapefile<sup>12</sup> aangevraagd bij VIA. Bij het exporteren van de ongevallenkaart naar een shapefile is het aantal ongevallen met de vooraf gefilterde kenmerken zichtbaar. Deze aantallen ongevallen zijn weer onderverdeeld in drie soorten afloop: uitsluitend materiele schade (hierna: UMS), letsel of dodelijk. In de shapefile zijn de in de vorige paragraaf benoemde kenmerken niet meer zichtbaar. Uitsluitend het aantal ongevallen, onderverdeeld in afloop, is inzichtelijk per locatie. In dit onderzoek zijn de ongevallendata van 2015, 2016, 2017 en 2018 opgenomen met de kaartvorm van exact gekoppelde ongevallen. Met de exacte locatie van een ongeval is het goed mogelijk om de weg-, verkeers- en omgevingskenmerken aan de locatie te verbinden. Als de kaart met ongevallen gesommeerd naar straat en woonplaats wordt gehanteerd, is het lastig om op gedetailleerd niveau de weg-, verkeers- en omgevingskenmerken mee te nemen. Ook kan er sprake zijn van dubbeltellingen bij de gesommeerde ongevallen. Als een ongeval nabij een kruispunt heeft plaatsgevonden, de locatie niet exact bekend is, maar de straatnamen wel, dan komt het ongeval bij beide straatnamen in database voor. In Bijlage 1 is meer achtergrondinformatie toegevoegd met betrekking tot de ongevallendata van Via.

## 4.2 HERE-data

HERE is een bedrijf dat in 1985 is begonnen met het digitaliseren van kaarten en het verkennen van navigatiesystemen in voertuigen (HERE Technologies, 2019). De laatste tijd is het bedrijf vooral bezig om driedimensionale dynamische kaarten te ontwikkelen. Verder wordt ook gewerkt aan andere nieuwe technieken, zoals zelfrijdende voertuigen.

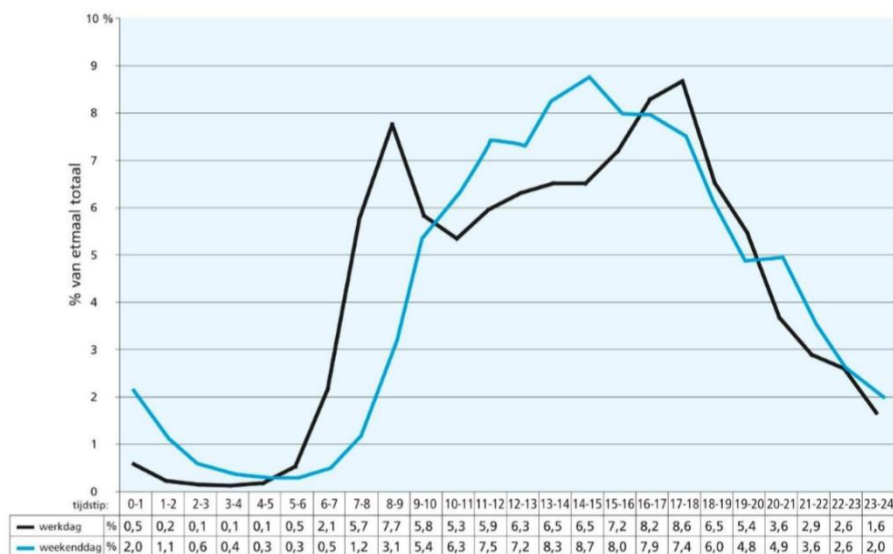
Bij Goudappel Coffeng is data van HERE aanwezig, welke in dit onderzoek zijn gebruikt. Het betreft hier kaartdata met snelheidsgegevens. Aan ieder wegvak in het netwerk is een snelheidspatroon gekoppeld. Dit snelheidspatroon bevat voor elke dag van de week een snelheidspatroon. Het snelheidspatroon geeft per uur of kwartier de gemiddelde

---

<sup>12</sup> Een ESRI Shapefile is een veelgebruikt uitwisselingsformaat voor geografische informatie

snelheid weer. Op deze manier is op zeer gedetailleerde wijze de snelheid per wegvak in kaart te brengen.

Echter, in dit onderzoek was het wenselijk om de gemiddelde snelheid op een abstracter niveau te verkrijgen, omdat in de gedownloade ongevallenshapes geen tijdseenheden zijn opgenomen. Dat betekent dat, in plaats van per uur of kwartier, bijvoorbeeld een gemiddelde snelheid per jaar wenselijk is. Om tot deze data te komen, is de data opgeschaald. Als eerste is met de gemiddelde snelheden per uur een gemiddelde snelheid per dag bepaald. Hierbij is gekozen voor de dinsdag, wat een representatieve dag van de week is met betrekking tot intensiteiten en snelheden. Als het gemiddelde over alle uren van het etmaal wordt berekend, wordt verondersteld dat de gemiddelde snelheid op een tijdstip 's nachts een even groot aandeel heeft in de gemiddelde snelheid per etmaal dan de gemiddelde snelheid van bijvoorbeeld de ochtendspits. Daarom is de gemiddelde snelheid per dag gecorrigeerd met de intensiteit volgens het intensiteitspatroon voor auto's (Intensiteitspatronen) uit figuur 4.1. Hier is per uur het percentage verkeer ten opzichte van het totaal aantal verkeer per dag weergegeven. De snelheden per uur uit HERE zijn met deze percentages gecorrigeerd en met de intensiteiten uit het verkeersmodel om een betrouwbare gemiddelde snelheid vast te stellen.



Figuur 4.1 – Intensiteitspatroon auto. Overgenomen uit Wegontwerp bibeko met ASVV / ASVV 2012 door CROW

### 4.3 Verkeersmodel BBMA – versie 2018 S106

Goudappel Coffeng is modelbeheerder van de regionale verkeersmodellen van Brabant. Deze regio's zijn ingedeeld in Noordoost-, Zuidoost-, Midden- en West-Brabant. De modellen vloeien voort uit de Brabant Brede Model Aanpak (BBMA). Ten eerste wordt op provinciaal niveau het klassieke vierstapsmodel<sup>13</sup> toegepast. Vervolgens wordt op

<sup>13</sup> Het vierstapsmodel wordt vaak gebruikt in verkeersmodellen. De stappen zijn achtereenvolgens: ritgeneratie, distributie, modal split (vervoerwijzekeuze) en toedeling

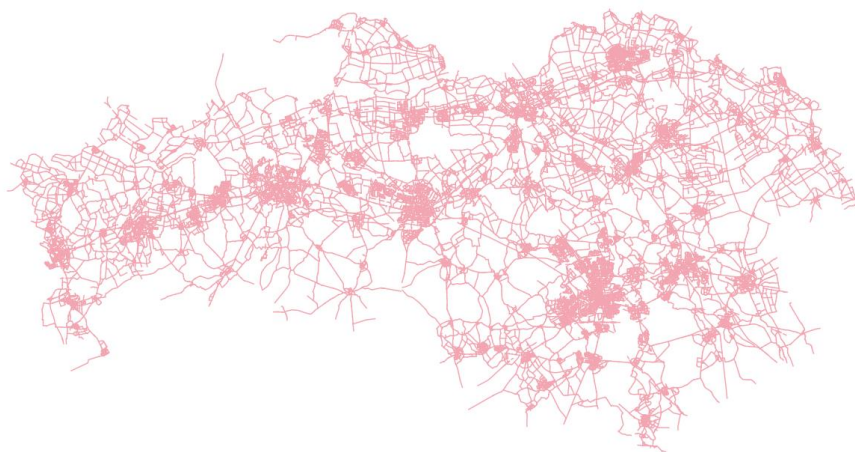
regionaal niveau de HB-matrix<sup>14</sup> verfijnd naar een hoger detailniveau en wordt er toegevoegd. Het verschil tussen beide niveaus is dat de zonering in de regionale modellen fijner is dan in het provinciale model. Ook is het netwerk in de regionale modellen vaak gedetailleerder. In dit onderzoek worden de regionale modellen gebruikt. Ten eerste wordt het model van West-Brabant gebruikt. De verkeersintensiteiten uit de andere modellen worden vervolgens ingevoegd om de meest betrouwbare verkeersdata in het onderzoek mee te nemen.

#### 4.4 BGT Brabant

Met de Basisregistratie Grootchalige Topografie van Brabant zijn de ruimtelijke onderdelen in een digitale kaart vastgelegd. Met deze bron is in dit onderzoek data te verkrijgen van wegbreedtes.

#### 4.5 OmniTRANS

Bij het koppelen van de databronnen gaat het om het koppelen van geografische data, dus programma's als Excel en SPSS vallen dan af. Ook kan het niet met OmniTRANS, omdat het te bewerkelijk is om alle nieuwe datavelden te creëren en te beheren. Een programma waarmee de data kan worden gekoppeld is een GIS. De betreffende GIS-programma's betroffen in dit onderzoek QGIS en ArcGIS. In figuur 4.2 is een voorbeeld weergegeven van de wegen in het verkeersmodel in QGIS. Per wegvak kan informatie worden verkregen die vanuit het verkeersmodel is meegeleverd naar het bestand dat in QGIS is ingeladen.



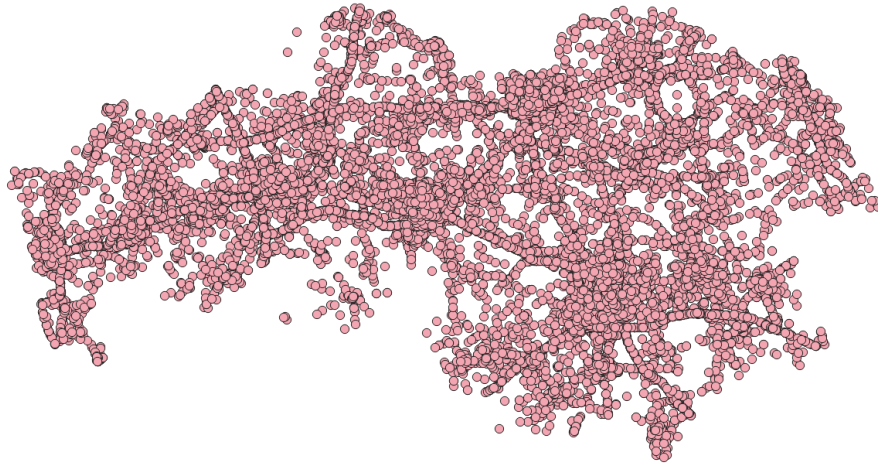
*Figuur 4.2 - Wegen verkeersmodel in QGIS*

Naast het verkeersmodel is ook de shapefile met ongevallen van 2015-2018 ingeladen in QGIS. In figuur 4.3 is te zien hoe de ongevallen in QGIS zijn weergegeven. Een verschil met de links van het verkeersmodel (figuur 4.2) is dat het hier een kaart met punten betreft, terwijl het verkeersmodel lijnen bevat.

---

<sup>14</sup> Een Herkomst-Bestemming matrix (H/B-matrix) bevat gegevens over het aantal verplaatsingen tussen vertrekpunten (herkomsten) en aankomstpunten (bestemmingen) in een zekere tijdsperiode.





*Figuur 4.3 - Ongevallen in QGIS*

Met de optie 'spatial join' is de koppeling tussen de lagen in ArcGIS gemaakt. Het programma maakt hierbij een nieuw bestand aan waarin de beide lagen zijn gekoppeld. Bij de koppeling van de links uit het verkeersmodel met de ongevallendata van VIA wordt de informatie van beide bronnen in een laag inzichtelijk. Per link is op deze manier het aantal ongevallen zichtbaar, onderverdeeld in UMS, letsel en dodelijk.

#### 4.6 Database (ruw)

Na de koppeling van de links van het verkeersmodel met de ongevallendata en HERE-data is de samengevoegde data geëxporteerd naar een tabel. De eerste ruwe tabel bevatte voor elke link de volgende variabelen:

- Wegvaklengte;
- Wegtype;
- Capaciteit;
- Intensiteit auto's;
- Intensiteit vrachtverkeer;
- Aantal rijstroken;
- Wettelijk toegestane snelheid;
- Aanwezigheid van invoegstrook;
- Totaal aantal ongevallen;
- Aantal ongevallen met uitsluitend materiële schade;
- Aantal letselongevallen;
- Aantal dodelijke ongevallen;
- Aantal slachtoffers;
- Aantal doden;
- Aanwezigheid van een vangrail;
- Aanwezigheid van wegverharding;
- Gemiddeld gereden snelheid;
- Wegbreedte per rijstrook.

De links van het verkeersmodel bevatten een richting AB en een richting BA. Bij de meeste wegen zijn beide richtingen ingevuld, maar bij sommige gebieden zijn er twee links per weg. Dan is er dus een link voor richting AB en een link voor de richting BA. In deze situatie is maar één richting van een link ingevuld. Bij autosnelwegen komt het bijvoorbeeld vaak voor dat er voor beide rijrichtingen een aparte link is.

Om een consistente database op te stellen, zijn de links met waarden voor beide richtingen samengebracht tot links met één waarde; een gemiddelde van beide richtingen. Door deze aggregatie zijn ongevallen niet meer per richting te onderscheiden. Omdat vrijwel alle wegvakken symmetrisch zijn, zijn de wegkenmerken meestal gelijk voor beide richtingen. De omgevingskenmerken kunnen daarentegen wel verschillen per rijrichting. Aan de ene kant van de weg kunnen zich bijvoorbeeld fysieke obstakels bevinden, terwijl dit aan de andere kant van de weg niet het geval is. Het enige fysieke obstakel in de database is de vangrail. Daarentegen is deze voor beide richtingen van de weg aanwezig, dus het samenvoegen van de links zal de uitkomsten niet negatief beïnvloeden.

#### 4.7 Database

Een aantal variabelen, genoemd in §4.6, komen niet in aanmerking voor de database. De "aanwezigheid van wegverharding" is uit de database verwijderd, omdat bijna alle wegen zijn verhard. Er komen te weinig wegen voor in de database die niet verhard zijn, dus met deze database is geen samenhang tussen ongevallen en wegverharding te bepalen. De "gemiddeld gereden snelheid" was alleen beschikbaar voor de hogere wegcategorieën. Voor de lagere wegcategorieën, wegen binnen de bebouwde kom of erftoegangswegen buiten de bebouwde kom, was te veel data aanwezig en werd het bestand te groot. Op deze manier kon geen shapefile worden gemaakt voor de lagere wegcategorieën. Om de database consistent te houden, is de variabele "gemiddeld gereden snelheid" daarom uit de database gelaten.

De intensiteit van het vrachtverkeer is als "percentage vrachtverkeer" opgenomen in de definitieve database. Het aantal vrachtvoertuigen is hierbij gedeeld door het aantal motorvoertuigen; de optelling van auto's en vrachtauto's.

Het aantal slachtoffers en doden zijn uit de database verwijderd, omdat deze een sterk verband hebben met aantal letselongevallen en dodelijke ongevallen. Ook beschrijft de APM het aantal ongevallen of de ongevallenkans en niet het aantal slachtoffers of doden. Er wordt dus geen onderscheid gemaakt in aantal betrokkenen of slachtoffers per ongeval.

Verder zijn alle onvolledige rijen in de database verwijderd. Een aantal links in het verkeersmodel kon niet precies worden gekoppeld met de BGT-shape, waardoor bij sommige links de wegbreedte niet kon worden geïdentificeerd. Ook was voor een groot aantal links geen intensiteit beschikbaar. De reden hiervan is dat de zonering in de rest van Brabant is niet zo fijnmazig is als in het model van West-Brabant, waardoor de intensiteiten buiten West-Brabant minder representatief zijn. Ook komt het door de grovere zonering voor dat veel links geen verkeer bevatten. Buiten West-Brabant worden

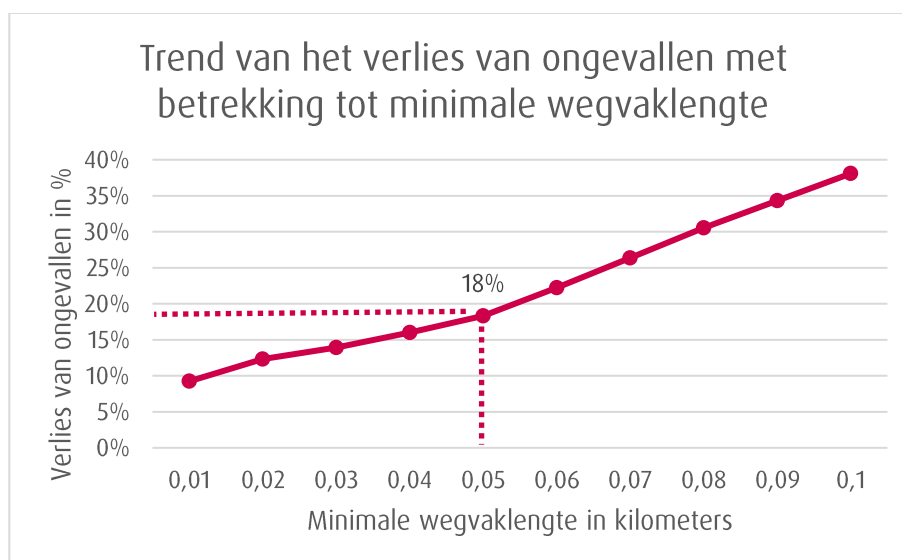
niet zoveel zones op het netwerk aangesloten als in West-Brabant, dus rijdt het verkeer over minder verschillende routes. Alternatieve routes bevatten hierdoor soms geen verkeer. In totaal was voor twee derde van de links geen intensiteit beschikbaar. Omdat hierbij zoveel records verloren gingen is de database in §4.8 vernieuwd. Hierbij zijn intensiteiten uit andere verkeersmodellen bijgevoegd voor een completere database.

De volgende variabelen vormen zijn overgebleven in de database:

■ **Wegvaklengte;**

Bij de wegvaklengte is gekozen voor een minimale lengte van 50 meter. Op het moment dat een ongeval op een snelweg plaatsvindt, komen voertuigen meestal tientallen meters verder tot stilstand. Op deze locatie komen dan de hulpdiensten ter plaatse en wordt het ongeval geregistreerd. Hoe korter een wegvak, hoe minder groot de kans dat een ongeval op het juiste wegvak wordt geregistreerd.

Daarentegen geldt ook dat bij het verwijderen van wegvakken uit de database, het aantal ongevallen afneemt. De minimale lengte van een wegvak is discutabel, echter worden in het onderzoek van Zeng, et al. (2017) minimale wegvaklengtes van 80 en 160 meter genoemd. Om een middenweg te kiezen tussen de te verwijderen wegvakken en het behouden van ongevallen is in figuur 4.4 een grafiek opgenomen die deze relatie beschrijft. Deze grafiek laat zien dat bij verwijdering van wegvakken vanaf 50 meter het verlies van ongevallen sterk toeneemt. Bij verwijdering van wegvakken korter dan 50 meter valt 18% van de ongevallen weg uit de database.



*Figuur 4.4 - Trend van het verlies van ongevallen met betrekking tot minimale wegvaklengte*

■ **Wegtype;**

De volgende wegtypen (tabel 4.1) zijn in de database onderscheiden:

*Tabel 4.1 - Nummering wegtypen*

Wegtype	Nummer
---------	--------

Erftoegangsweg binnen de bebouwde kom	1
Gebiedsontsluitingsweg binnen de bebouwde kom	2
Erftoegangsweg buiten de bebouwde kom	3
Gebiedsontsluitingsweg buiten de bebouwde kom	4
Autoweg	5
Autosnelweg	

Ten behoeve van het uitvoeren van de regressie zijn de wegtypen ingedeeld in categorieën. Een kanttkening die bij deze indeling moet worden geplaatst, is dat de autowegen en autosnelwegen niet altijd een homogene wegindeling bevatten. Bij autosnelwegen is bijvoorbeeld nog een vluchtstrook aanwezig en bovendien is er niet altijd een fysieke rijrichtingscheiding bij autowegen. Deze constatering moeten in het achterhoofd worden gehouden bij het interpreteren van de uitkomsten van het onderzoek.

■ **Capaciteit;**

De capaciteit bedraagt een twee-uurs ochtendspitscapaciteit.

■ **Intensiteit auto's;**

De intensiteit van auto's bedraagt een weekdaggemiddelde intensiteit van een jaar. In het buitenland wordt hiervoor de term AADT<sup>15</sup> gebruikt. AADT wordt in vrijwel alle literatuur gebruikt als intensiteitsvariabele, tenzij er een specifiek onderzoek gericht is op werk- of weekenddagen. In dergelijke onderzoeken wordt de weekdag- of weekenddagintensiteit gehanteerd.

■ **Intensiteit vrachtverkeer;**

De intensiteit van vrachtverkeer is net als bij intensiteit van auto's een weekdaggemiddelde intensiteit van een jaar.

■ **Percentage vrachtverkeer;**

Het percentage vrachtverkeer is berekend met:

$$\frac{\text{intensiteit vrachtverkeer}}{\text{intensiteit vrachtverkeer} + \text{intensiteit auto's}}$$

■ **Aantal rijstroken;**

Het aantal rijstroken is in het verkeersmodel per link gedefinieerd.

■ **Wettelijk toegestane snelheid;**

De wettelijk toegestane snelheid is in het verkeersmodel per link gedefinieerd. Net als bij de wegtypen zijn de snelheidscategorieën ten behoeve van de regressie in tabel 4.2 onderverdeeld in nummers.

Tabel 4.2 - Nummering snelheden

Wettelijk toegestane snelheid	Nummer
15 km/uur	1
30 km/uur	
50 km/uur	2
60 km/uur	3
70 km/uur	4

<sup>15</sup> Annual Average Daily Traffic

80 km/uur	5
100 km/uur	
120 km/uur	
130 km/uur	

- **Aanwezigheid van invoegstrook;**  
De aanwezigheid van een invoegstrook is in het verkeersmodel per link gedefinieerd.
- **Totaal aantal ongevallen;**  
Deze variabele geeft het totaal aantal gekoppelde ongevallen weer. Dit is de optelsom van de ongevallen met materiële schade, letselongevallen en dodelijke ongevallen.
- **Aantal ongevallen met uitsluitend materiële schade;**  
Deze variabele geeft het totaal aantal gekoppelde ongevallen met uitsluitend materiële schade weer.
- **Aantal letselongevallen;**  
Deze variabele geeft het totaal aantal gekoppelde letselongevallen weer.
- **Aantal dodelijke ongevallen;**  
Deze variabele geeft het totaal aantal gekoppelde dodelijke ongevallen weer.
- **Aanwezigheid van een vangrail;**  
Deze variabele, afkomstig uit de HERE-data, geeft de aanwezigheid van een vangrail aan.
- **Wegbreedte per rijstrook.**  
De wegbreedte per rijstrook bedraagt de breedte van een vlak in de BGT, gedeeld door het aantal rijstroken per link.

In tabel 4.3 is per variabele het type waarde opgenomen waarin deze wordt uitgedrukt. In de database komen tel-, continue, dummy en ordinale variabelen voor. Een telvariabele bedraagt in deze database het aantal getelde ongevallen. Een continue variabele kan binnen een bepaald interval iedere waarde aannemen, zoals verkeersintensiteit. Een dummy variabele geeft aan of een bepaald attribuut aanwezig is. In deze database wordt een "1" toegekend als een variabele aanwezig is en een "0" als een variabele niet aanwezig is. Ordinale variabelen zijn waarden uit een rangorde waarbij het onderlinge verschil tussen de waarden geen betekenis heeft.

Tabel 4.3 - Type waarde per variabele

Variabele	Waarde
Wegvaklengte	Continue variabele
Wegtype	Dummy variabele
Capaciteit	Ordinale variabele
Intensiteit auto's	Continue variabele
Intensiteit vrachtverkeer	Continue variabele
Percentage vrachtverkeer	Continue variabele
Aantal rijstroken	Ordinale variabele

Wettelijk toegestane snelheid	Dummy variabele
Aanwezigheid invoegstrook	Dummy variabele
Totaal aantal ongevallen	Telvariabele
Aantal UMS-ongevallen	Telvariabele
Aantal letselongevallen	Telvariabele
Aantal dodelijke ongevallen	Telvariabele
Aanwezigheid vangrail	Dummy variabele
Wegbreedte per rijstrook	Continue variabele

In tabel 4.4 is per categorie wegtype het aantal ongevallen inzichtelijk gemaakt. Zoals eerder in dit hoofdstuk is benoemd, is de database erg klein geworden omdat er veel intensiteiten ontbraken. In totaal zijn er 8488 ongevallen in de database waarvan 6814 met uitsluitend materiele schade, 1562 letselongevallen en 112 dodelijke ongevallen.

*Tabel 4.4 - Aantal ongevallen per categorie wegtype*

Wegtype	ONG_TOT	ONG_UMS	ONG_LET	ONG_DOD
1	1841	1416	414	11
2	3031	2424	576	31
3	931	670	238	23
4	1006	777	194	35
5	1679	1527	140	12
Totaal	8488	6814	1562	112

## 4.8 Herziene database

De database is, zoals eerder vermeld, erg verkleind door de onvolledige rijen. Door de verwijdering van rijen met links zijn de aantallen ongevallen erg klein geworden. Deze onvolledigheid van links en ongevallen komt de betrouwbaarheid van het onderzoek niet ten goede. Daarom zijn de intensiteiten van andere regionale verkeersmodellen in Brabant toegevoegd in de database. Het gaat hier om de regio's Noordoost-, Zuidoost-, Midden- en West-Brabant. In tabel 4.5 is het aantal ongevallen per wegtype weergegeven met onderverdeling in ernst van het ongeval. Het totaal aantal ongevallen is ongeveer verdrievoudigd ten opzichte van de eerste database uit tabel 4.4. Per type ongeval is deze ontwikkeling ook zichtbaar. Deze ontwikkeling komt de betrouwbaarheid van het onderzoek ten goede. Uit §4.1 en Bijlage 1 werd duidelijk dat de ongevallencijfers van 2015-2018 niet geheel overeenkomen met het werkelijke aantal ongevallen in diezelfde periode. Het is daarom belangrijk om de conclusie mee te nemen dat de in dit onderzoek voorspelde ongevallen lager uitvallen dan het aantal ongevallen in de werkelijkheid.

*Tabel 4.5 - Aantal ongevallen per categorie wegtype (nieuwe database)*

Wegtype	ONG_TOT	ONG_UMS	ONG_LET	ONG_DOD
1	7329	5650	1636	43

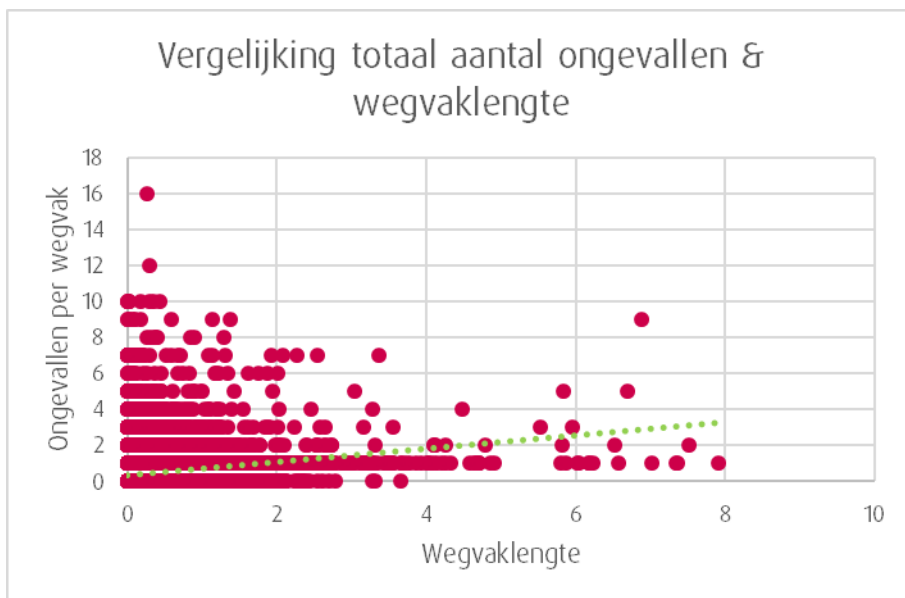
2	10049	8008	1948	93
3	2696	1934	686	76
4	2597	2012	504	81
5	2134	1949	166	19
Totaal	24805	19553	4940	312

Naar aanleiding van de regressieresultaten op de oude database zijn de variabelen bij de regressies op de nieuwe database lichtelijk veranderd. In tabel 4.6 zijn de veranderingen van variabelen in de oude en de nieuwe database weergegeven. In §5.4.1 zijn de keuzes van de wijzigingen beschreven.

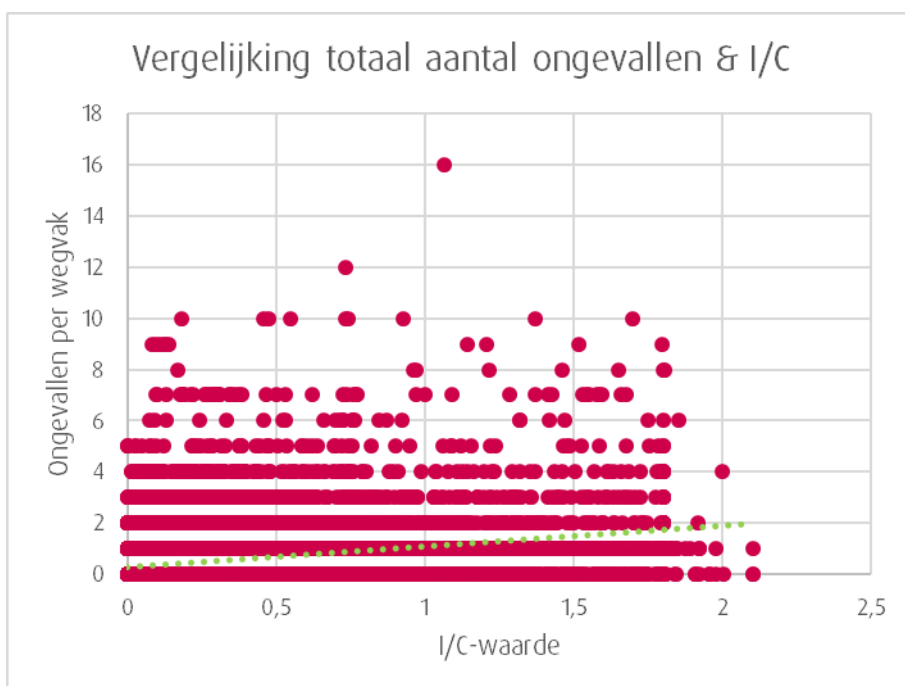
*Tabel 4.6 - Wijzigingen variabelen oude en nieuwe database*

Variabelen in oude database	Variabelen in nieuwe database
Wegvaklengte	Wegvaklengte
Wegtype	Wegtype
Capaciteit	I/C-waarde
Intensiteit auto's	
Intensiteit vrachtverkeer	
Percentage vrachtverkeer	Percentage vrachtverkeer
Aantal rijstroken	X
Wettelijk toegestane snelheid	X
Aanwezigheid invoegstrook	Aanwezigheid invoegstrook
Totaal aantal ongevallen	Totaal aantal ongevallen
Aantal UMS-ongevallen	Aantal UMS-ongevallen
Aantal letselongevallen	Aantal letselongevallen
Aantal dodelijke ongevallen	Aantal dodelijke ongevallen
Aanwezigheid vangrail	X
Wegbreedte per rijstrook	Wegbreedte per rijstrook

Voor de relatie van wegvaklengte, I/C-waarde en percentage vrachtverkeer met het aantal ongevallen zijn spreidingsdiagrammen gemaakt. In figuur 4.5, 4.6 & 4.7 zijn deze spreidingsdiagrammen weergegeven. De diagrammen zijn niet erg overzichtelijk door de grootte van de data. Er is geen diepte in de diagrammen te zien, dus er kunnen zich veel records op de locatie van een punt bevinden. Daarentegen is uit de trendlijnen op te maken dat hoe hoger de waarde is voor wegvaklengte, I/C of percentage vrachtverkeer, hoe groter het aantal ongevallen per wegvak.

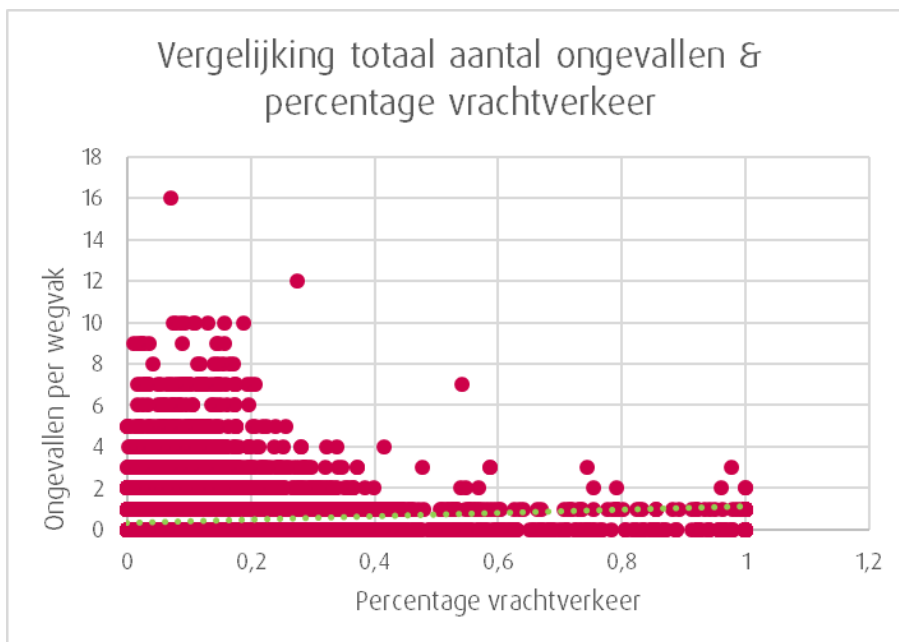


Figuur 4.5 - Vergelijking totaal aantal ongevallen & wegvaklengte



Figuur 4.6 - Vergelijking totaal aantal ongevallen & I/C-waarde

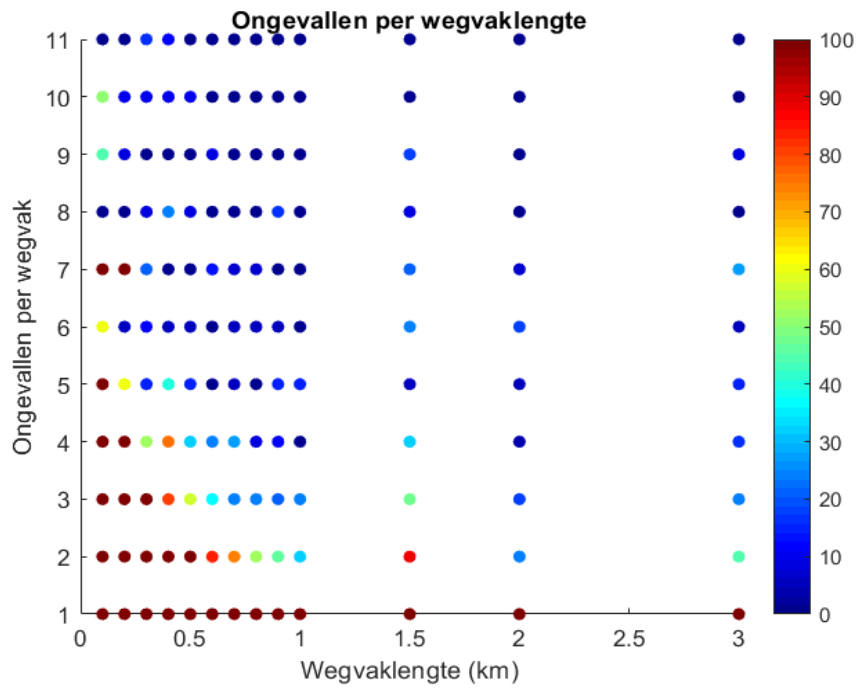




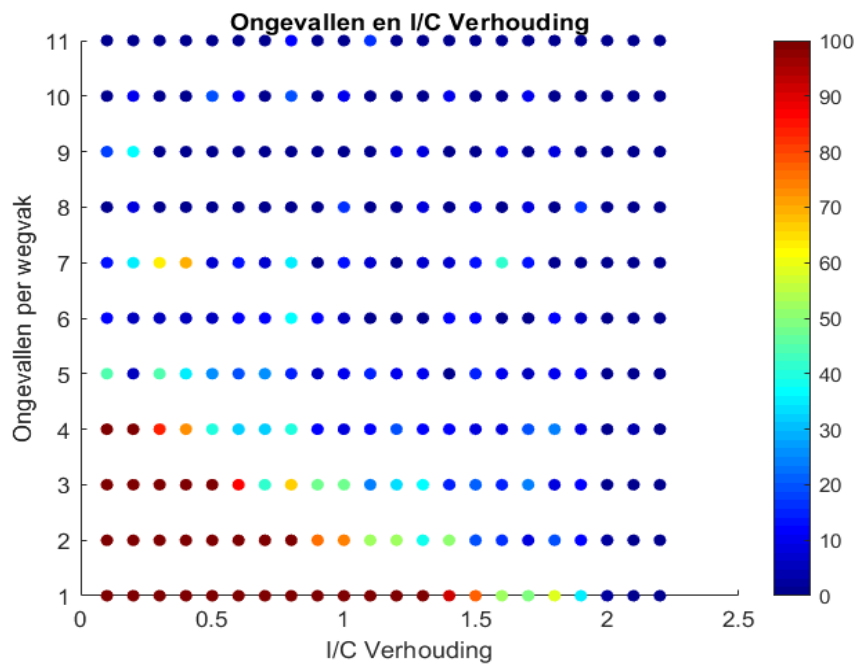
*Figuur 4.7 - Vergelijking totaal aantal ongevallen & percentage vrachtverkeer*

Om de data doorzichtiger te maken zijn de waarden van wegvaklengte, l/c en percentage vrachtverkeer gegroepeerd met een schaal van 0,1. Bij waarden groter dan 1 is de schaal grover. Om diepte in het aantal records per puntlocatie te verkrijgen, zijn diagrammen met MATLAB<sup>16</sup> gegenereerd (figuur 4.8, 4.9 & 4.10). Hierbij is met kleuren het aantal records per puntlocatie in het diagram aangegeven. Het maximale aantal records per puntlocatie is begrensd op 100 om de duidelijkheid van de diagrammen te bevorderen.

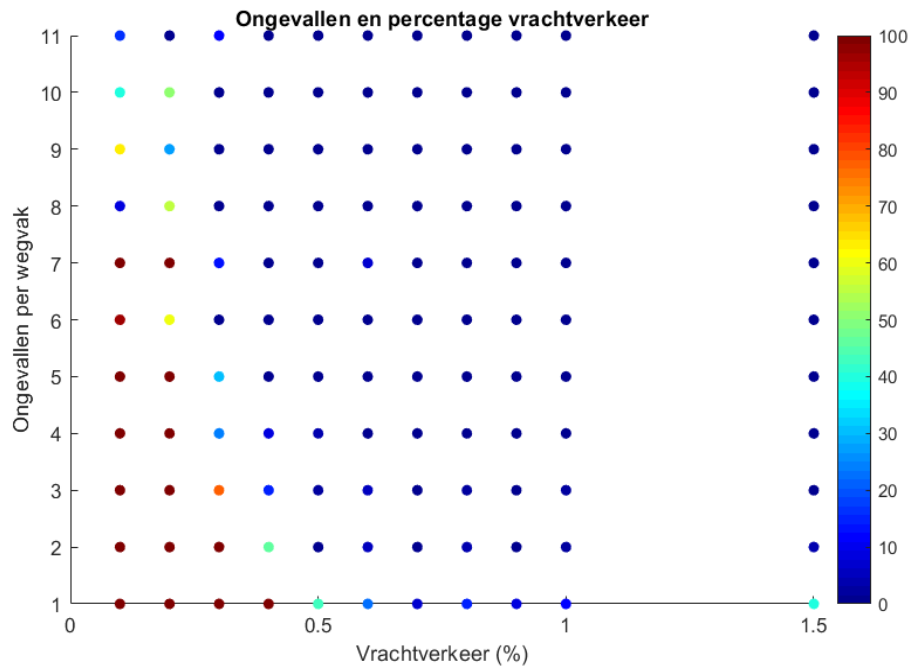
<sup>16</sup> MATLAB (oorspronkelijk MATrix LABoratory) is een technische softwareomgeving uitgegeven door The Mathworks en wordt gebruikt in zowel de industrie als de academische wereld voor wiskundige toepassingen, zoals het berekenen van functies, bewerken van matrices, statistiek, tekenen van grafieken, schrijven en implementeren van algoritmen en het maken van grafische gebruikersinterfaces. De basis van het programma is de programmeertaal 'M-code' of 'M'. Deze wordt gebruikt voor het invoeren, bewerken en uitvoeren van gegevens.



*Figuur 4.8 – Vergelijking ongevallen met wegvaklengte*



*Figuur 4.9 - Vergelijking ongevallen met I/C*



Figuur 4.10 - Vergelijking ongevallen met percentage vrachtverkeer

# 5

## Accident prediction models

In dit hoofdstuk worden de vormen van een APM beschreven met de verschillende variabelen die daarin van toepassing zijn. Na het beschrijven van de vormen van APM's volgt de regressieanalyse. In overleg met adviseurs van Goudappel Coffeng, die gespecialiseerd zijn in statistiek, is besloten om een logistische regressie en een multinomiale logistische regressie (hierna: MNL) uit te voeren op de database. Met deze methoden is het mogelijk om zowel de continue variabelen, dummy variabelen, ordinale variabelen als de telvariabelen te analyseren. Met de logistische regressie is een goed beeld te verkrijgen van de invloed van variabelen (weg-, verkeers- en omgevingskenmerken) op het aantal ongevallen. Vervolgens is met de MNL regressie een onderverdeling gemaakt naar ongevalsernst.

De regressies zijn beschreven in §5.3. Door het beschikbaar komen van de herziene database zijn in §5.4 de regressies opnieuw uitgevoerd en is op basis van deze nieuwe regressies een APM opgesteld (§5.5)

### 5.1 Modelvormen APM

Een APM is afhankelijk van parameters die voor elke regio en database andere waarden kunnen aannemen. Daarentegen is er een algemene formulevorm van een APM (Reurings, et al., 2006):

$$E(\lambda) = \alpha Q^{\beta MA} Q^{\beta m MI} e^{\sum \beta_i x_{ij}}$$

Bij deze vergelijking staat  $E(\lambda)$  voor het verwachte aantal ongevallen.  $\alpha$  staat voor de constante van de functie.  $Q$  staat voor intensiteit met een elasticiteitswaarde  $\beta$ . Hier is ook een onderverdeling gemaakt naar een hoog gecategoriseerde weg ( $MA$ ) en een lager gecategoriseerde weg ( $MI$ ). De andere kenmerken  $x_{ij}$  zijn als exponent opgenomen, gecorrigeerd met  $\beta_i$ .

Ook RiPCORD-iSEREST heeft onderzoek gedaan naar verkeersveiligheid naar aanleiding van het doel van de Europese Commissie om het aantal verkeersdoden in 2010 te halveren. Zij hebben ook een vorm van een APM opgesteld (Van Petegem, 2012):

$$E(\lambda) = \alpha Q^{\beta q} L^{\beta l} e^{\sum \beta_i x_{ij}}$$

Hierin is net als bij de vorige APM  $E(\lambda)$  de verwachtingswaarde van het aantal ongevallen in een wegvak per tijdseenheid. Significante variabelen als intensiteit en wegvaklengte worden aangeduid met  $Q$  en  $L$ , met een elasticiteitswaarde  $\beta$ . Verder bevat de vergelijking een exponent van een aantal risicofactoren  $x_{ij}$ , gecorrigeerd met  $\beta_i$  op basis van expositie. Ook is de vergelijking te schrijven als:

$$E(\lambda) = e^{\sum \text{coefficienten} \cdot \text{variabelen}}$$

Door (McCullagh, 2018) is een lineaire vorm van een APM opgesteld:

$$E(y_i) = L_i \sum x_{ij} \beta_j + \beta_0 + \varepsilon_i$$

Hierbij wordt het verwachte aantal ongevallen uitgedrukt in weglengte, vermenigvuldigd met de sommatie van de aanwezige risicofactoren.  $\beta_0$  is de constante en  $\varepsilon_i$  is een foutterm. Deze foutterm is alleen van toepassing bij mixed modellen.

## 5.2 Variabelen APM

Over het algemeen geldt in de statistiek dat een eenvoudig model met weinig parameters en volledige data de voorkeur krijgt boven een complex model met veel parameters (Dobson, 2002). Er kan dus worden gesteld dat een model met minder parameters betrouwbaarder is dan een model met meer parameters, mits de database groter en vollediger is bij het model met meer parameters. Ook kan er sprake zijn van multicollineariteit<sup>17</sup> bij het opnemen van meerdere variabelen in het model. Het ideale scenario voor een APM is daarom om ongevallenfactoren op te nemen als variabelen die vanuit de database een significante invloed hebben op de ongevallenfrequentie. De variabelen verkeersintensiteit en wegvaklengte behoren volgens (Reurings, et al., 2006) in iedere APM. Verder is op basis van literatuuronderzoek gebleken dat de volgende variabelen vaak in een APM zijn opgenomen:

- Aantal rijstroken;
- Snelheid;
- Kwaliteit verharding;
- Bochtigheid;
- Hellingen;
- In- en uitvoegstroken;
- Verlichting;
- Wegbreedte of rijstrookbreedte;
- Breedte redresseerstroken;
- Breedte middenberm.

<sup>17</sup> Multicollineariteit is een statistisch fenomeen waarin twee of meer verklarende variabelen in een regressiemodel sterk gecorreleerd zijn, wat wil zeggen dat minstens een van hen op basis van het model voorspeld kan worden. Multicollineariteit beïnvloedt de berekening van de coëfficiënten, aangezien ze in dat geval ten minste gedeeltelijk overlappen, en reduceert dus hun betrouwbaarheid

Echter, niet alle hierboven genoemde variabelen zijn in het onderzoek mee te nemen, omdat de ongevalldata uitsluitend data betreft over de locatie van het ongeval. Hier kunnen dus geen tijdsgebonden kenmerken of andere toevalligheden aan worden verbonden zoals weersomstandigheden en mate van daglicht.

### 5.3 Regressieanalyse

De logistische regressie is met SPSS op de eerste versie van de database uitgevoerd. Deze database was niet volledig, maar wel geschikt als test voor de voorlopige regressieresultaten. Bij de logistische regressievorm wordt een dichotome uitkomstvariabele aan een of meerdere kenmerken gerelateerd. Deze dichotome variabele betreft in dit onderzoek het wel of niet plaatsvinden van een ongeval. Een logistische regressie is verwant aan lineaire regressie, maar bij logistische regressie worden ook niet-continue variabelen meegenomen. Bij de logistische regressie zijn de invloeden van variabelen op het plaatsvinden van een ongeval uitgedrukt in bètawaarden.

Na de logistische regressie is de MNL regressie uitgevoerd. Deze regressievorm wordt gebruikt om het effect van variabelen op een nominale uitkomstmaat te analyseren. Deze uitkomstmaat is onderverdeeld in ongevalsernst. Per type ongeval is de invloed van weg-, verkeers- en omgevingskenmerken inzichtelijk gemaakt.

In Bijlage 2 zijn de resultaten van de logistische regressie en de MNL regressie weergegeven.

In §2.2 werd duidelijk dat het gewenst is om rekening te houden met de niet-lineaire aard van bepaalde variabelen. Door de complexiteit van de niet-lineaire benadering en het gebrek aan tijd is deze in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Daarom is in dit onderzoek een lineaire benadering gehanteerd bij de logistische en de MNL regressie.

## 5.4 Regressie op basis van de herziene database

Op basis van de herziene database (§4.8) (in deze paragraaf: nieuwe database) is de logistische regressie opnieuw uitgevoerd. In §5.4.1 zijn de veranderingen ten opzichte van de regressie op de oude database toegelicht alvorens de logistische regressieresultaten in §5.4.2 zijn beschreven.

### 5.4.1 Wijzigingen nieuwe database ten opzichte van de oude database

De variabelen zijn lichtelijk veranderd op basis van de regressieresultaten van de oude database. De volgende wijzigingen zijn doorgevoerd:

- In de oude versie van de database werd een minimale wegvaklengte van 50 meter gehanteerd. In figuur 4.4 is zichtbaar dat door het hanteren van een minimale wegvaklengte veel links met ongevallen uit de database verdwijnen. Om alle ongevallen in de database te behouden, is er geen minimale wegvaklengte meer gehanteerd.
- Bij de nieuwe versie van de database is de variabele capaciteit in combinatie met intensiteit meegenomen. Hierbij is een I/C-waarde ontstaan. Deze variabele is berekend door de intensiteit van auto's en vrachtverkeer door de capaciteit te delen. Het gaat hierbij om de waarden in de ochtendspits per rijstrook. Hoe dichter deze waarde zich bij 1 bevindt, hoe voller een wegvak is. Beide variabelen kunnen niet apart worden meegenomen, omdat deze een sterke samenhang hebben. In de meeste gevallen is bij een hogere capaciteit ook de intensiteit hoger.
- Net als bij de intensiteit van auto's is de intensiteit vrachtverkeer niet direct meegenomen in de database. Deze is indirect meegenomen met de variabele percentage vrachtverkeer.
- Het aantal rijstroken is niet meegenomen in de nieuwe database, omdat deze samenhang heeft met vele variabelen. In Bijlage 2, tabel 3 was deze samenhang in de correlatiematrix zichtbaar.
- De snelheidscategorieën zijn in de nieuwe database veranderd in wegtypen. Deze variabelen zijn sterk verwant aan elkaar, maar het is gewenster om de kans op ongevallen per categorie wegtype inzichtelijk te maken, dan de kans op ongevallen per snelheidscategorie.
- De aanwezigheid van een vangrail is bij de nieuwe versie van de database niet meer meegenomen. Deze variabele was bij minder dan 1% van het aantal links van wegtype 5 (auto(snel)wegen) aanwezig, waardoor deze variabele niet betrouwbaar is bevonden.
- De wegbreedte per rijstrook is in plaats van een continue variabele een dummy variabele geworden. In tabel 5.1 is de nieuwe indeling weergegeven. De eerste categorie geeft een "1" weer in de database als de wegbreedte per rijstrook kleiner is dan 2,5 meter. De tweede categorie geeft een "1" weer als de wegbreedte per rijstrook tussen 2,5 en 3,5 meter is. Bij de derde categorie geldt dit voor een minimale breedte van 3,5 meter.

Tabel 5.1 - Nieuwe indeling wegbreedte per rijstrook

Variabele	Definitie
Wegbreedte_1	<2,5 meter
Wegbreedte_2	>2,5 meter en <3,5 meter

Wegbreedte_3	>3,5 meter
--------------	------------

In tabel 5.2 is een overzicht weergegeven van de verschillen in de variabelen tussen de regressies op de oude en de nieuwe database. In Bijlage 3 is een uitsnede van de database weergegeven.

Tabel 5.2 - Vergelijking variabelen in regressie op oude en nieuwe database

Variabelen in regressie op oude database	Variabelen in regressie op nieuwe database
Wegvaklengte	Wegvaklengte
Wegtype	Wegtype
Capaciteit	I/C-waarde
Intensiteit auto's	
Intensiteit vrachtverkeer	
Percentage vrachtverkeer	Percentage vrachtverkeer
Aantal rijstroken	X
Wettelijk toegestane snelheid	X
Aanwezigheid invoegstrook	Aanwezigheid invoegstrook
Totaal aantal ongevallen	Totaal aantal ongevallen
Aantal UMS-ongevallen	Aantal UMS-ongevallen
Aantal letselongevallen	Aantal letselongevallen
Aantal dodelijke ongevallen	Aantal dodelijke ongevallen
Aanwezigheid vangrail	X
Wegbreedte per rijstrook	Wegbreedte per rijstrook

#### 5.4.2 Resultaten logistische regressie

Na de wijzigingen in de variabelen van de nieuwe database ten opzichte van de oude database is opnieuw de logistische regressie uitgevoerd. De resultaten van de regressie zijn in tabel 5.3 weergegeven. De getallen kunnen op dezelfde wijze worden benaderd als in de eerste regressieanalyse (Bijlage 2). De bètawaarden (B) zijn zowel positief als negatief. Een positieve bètawaarde betekent hier dat de betreffende variabele een negatieve invloed op het aantal ongevallen heeft; bij de aanwezigheid van de variabele is er een grotere kans op ongevallen. Een negatieve bètawaarde heeft een positieve invloed op de ongevallenkans; bij de aanwezigheid van de variabele is er een kleinere kans op ongevallen. De bètawaarden van wegtypen zijn net als bij de eerste regressie ten opzichte van wegtype\_1. Wegtype\_2 heeft dus een grotere invloed (negatief) op het aantal ongevallen dan wegtype\_1. Wegtype\_3 en wegtype\_5 hebben zelfs een positieve invloed op het aantal ongevallen. In de eerste regressie waren de waarden van alle wegtypen positief, dus hadden deze ten opzichte van wegtype\_1 een negatieve invloed op het aantal ongevallen. Alle variabelen zijn significant bevonden, behalve wegtype\_3.; deze passeert de grens van 0,05. Omdat het weglaten van een wegtype de volledigheid van het onderzoek niet ten goede komt, is er gekozen om de variabele toch mee te nemen bij de MNL-regressie. Bij het beoordelen van de resultaten is het echter wel belangrijk om te onthouden dat deze variabele niet significant is bevonden. De R-



kwadraattoets van Nagelkerke bedraagt bij deze regressie 0,211. Deze waarde is hoger dan de R-kwadraattoetsen bij de regressie op basis van de oude database.

Tabel 5.3 - Uitkomsten regressievariabelen

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
wegvaklengte	1,596	0,048	1120,142	1	0,000	4,931
I/C	1,897	0,052	1313,634	1	0,000	6,668
percentage vrachtverkeer	0,429	0,097	19,650	1	0,000	1,535
wegtype_2	0,871	0,024	1318,244	1	0,000	2,389
wegtype_3	-0,031	0,034	0,815	1	0,367	0,970
wegtype_4	0,180	0,043	17,955	1	0,000	1,198
wegtype_5	-0,209	0,067	9,760	1	0,002	0,811
invoegstrook	0,529	0,116	20,929	1	0,000	1,698
wegbreedte_2	0,366	0,026	198,320	1	0,000	1,442
wegbreedte_3	0,529	0,029	335,965	1	0,000	1,698
constante	-1,795	0,026	4876,977	1	0,000	0,166

De correlatiematrix is in tabel 5.4 weergegeven. Er zijn geen waarden die significant onderling correleren; vrijwel alle waarden zijn lager dan 0,7. Uitsluitend bij de kolom van wegbreedte\_2 met wegbreedte\_3 is de waarde hoger dan 0,7; namelijk 0.709.

Tabel 5.4 - Correlatiematrix

	constante	wegvaklengte	I/C	percentage vrachtverkeer	wegtype_2	wegtype_3	wegtype_4	wegtype_5	invoegstrook	wegbreedte_2	wegbreedte_3
constante	1,000	-0,257	-0,047	-0,147	-0,153	-0,222	-0,027	-0,015	-0,086	-0,789	-0,685
Wegvaklengte	-0,257	1,000	0,062	-0,052	-0,081	-0,492	-0,218	-0,233	0,032	0,062	0,102
I/C	-0,047	0,062	1,000	0,003	-0,395	-0,113	-0,502	-0,535	-0,149	-0,054	-0,128
percentage vrachtverkeer	-0,147	-0,052	0,003	1,000	-0,138	-0,101	-0,136	-0,105	-0,024	0,006	-0,039
wegtype_2	-0,153	-0,081	-0,395	-0,138	1,000	0,280	0,463	0,367	0,036	-0,017	-0,190
wegtype_3	-0,222	-0,492	-0,113	-0,101	0,280	1,000	0,273	0,251	0,023	0,169	0,154
wegtype_4	-0,027	-0,218	-0,502	-0,136	0,463	0,273	1,000	0,395	0,057	0,002	-0,090
wegtype_5	-0,015	-0,233	-0,535	-0,105	0,367	0,251	0,395	1,000	-0,286	0,035	0,025
invoegstrook	-0,086	0,032	-0,149	-0,024	0,036	0,023	0,057	-0,286	1,000	0,107	0,136
wegbreedte_2	-0,789	0,062	-0,054	0,006	-0,017	0,169	0,002	0,035	0,107	1,000	0,709
wegbreedte_3	-0,685	0,102	-0,128	-0,039	-0,190	0,154	-0,090	0,025	0,136	0,709	1,000

### 5.4.3 MNL-regressie op basis van de nieuwe database

Met de variabelen die in §5.4 significant bevonden zijn, is een MNL-regressie uitgevoerd. De resultaten van deze regressie zijn in tabel 5.5 weergegeven. De Nagelkerke R-kwadraattoets betrof hier 0,195. Deze waarde is hoger dan de waarden uit de MNL-

regressie op basis van de oude database; deze MNL-regressie verklaart de invloed van variabelen dus beter.

Tabel 5.5 - Parameters MNL

Type ongeval	Variabele	B
2.00 – UMS-ongeval	Intercept	-2,055
	wegvaklengte	1,585
	I/C	1,952
	percentage vrachtverkeer	0,375
	wegtype_2	0,883
	wegtype_3	-0,097
	wegtype_4	0,150
	wegtype_5	-0,078
	invoegstrook	0,512
	wegbreedte_2	0,360
	wegbreedte_3	0,547
	3.00 – Letselongeval	Intercept
wegvaklengte		1,630
I/C		1,659
percentage vrachtverkeer		0,552
wegtype_2		0,815
wegtype_3		0,085
wegtype_4		0,182
wegtype_5		-1,086
invoegstrook		0,692
wegbreedte_2		0,389
wegbreedte_3		0,469
4.00 – Dodelijk ongeval		Intercept
	wegvaklengte	1,519
	I/C	1,707
	percentage vrachtverkeer	1,437
	wegtype_2	1,352
	wegtype_3	1,523
	wegtype_4	1,923
	wegtype_5	0,431
	invoegstrook	0,247
	wegbreedte_2	0,408
	wegbreedte_3	0,476

## 5.5 APM's op basis van regressieresultaten

Op basis van §5.1 zijn de volgende APM's gekozen ter verklaring van het ongevalsrisico:

$$APM\ 1: E(\lambda) = e^{\beta_0 + (\beta_i * x_i) + \dots + (\beta_n * x_n)}$$

Hierbij is  $E(\lambda)$  de verwachtingswaarde van het aantal ongevallen. Deze waarde wordt berekend door de exponent van de interceptwaarde ( $\beta_0$ ) en de optelling van de aanwezige kenmerken ( $x_{i..n}$ ) vermenigvuldigd met de bètawaarden ( $\beta_{i..n}$ ) van deze variabelen. Deze APM is ook door (Van Petegem, 2012) gehanteerd bij het voorspellen van ongevallen.

Door (Train, 2009) is een standaard vergelijking opgesteld voor een MNL-model:

$$APM\ 2: P_{ni} = \frac{e^{\beta'x_{ni}}}{\sum_j e^{\beta'x_{nj}}}$$

Hierbij is  $P$  de kans op een ongeval voor het aantal wegvakken ( $n$ ) per ongevalsernst ( $i$ ). Boven de deelstreep staan de exponenten van de bètawaarden ( $\beta'$ ) van de variabelen vermenigvuldigd met de waarden van de aanwezige variabelen ( $x_n$ ). Onder de deelstreep worden voor de sommatie van categorie ( $j$ ) de exponenten van de bètawaarden vermenigvuldigd met de variabelen van categorie ( $j$ ). De categorieën ongevallen ( $j$ ) zijn hier geen ongeval, UMS, letsel en dodelijk. Per ongevalsernst kan de vergelijking worden opgesteld:

*Uitwerkingen APM 2:*

$$P_{\text{geen ongeval}} = \frac{e^{\beta'x_{\text{geen ongeval}}}}{\sum_j e^{\beta'x_{nj}}} \quad P_{\text{nUMS}} = \frac{e^{\beta'x_{\text{nUMS}}}}{\sum_j e^{\beta'x_{nj}}}$$
$$P_{\text{nletsel}} = \frac{e^{\beta'x_{\text{nletsel}}}}{\sum_j e^{\beta'x_{nj}}} \quad P_{\text{ndodelijk}} = \frac{e^{\beta'x_{\text{ndodelijk}}}}{\sum_j e^{\beta'x_{nj}}}$$

Per linkselectie ( $n$ ) is zo de kans per type ongevalsernst te bepalen. Door het gebruik van deze APM worden de APM's uit §5.1 buiten beschouwing gelaten.

Zowel vergelijking 1 als 2 wordt in het verkeersmodel doorgerekend voor het bepalen van het ongevalsrisico. Vergelijking 1 levert het aantal ongevallen per link als uitkomstwaarde per vier jaar, want de database dateert van 2015-2018. Hierbij is het belangrijk, zoals eerder vermeld, om te onthouden dat de database niet volledig was. De aantallen kunnen dus niet in de werkelijkheid worden verwacht. Vergelijking 2 berekent de kans per ongevalsernst per link.

# 6

## APM in het verkeersmodel

In dit hoofdstuk wordt de implementatie van de in hoofdstuk 5 opgestelde APM's in het verkeersmodel beschreven. In §6.1 wordt het verwerken van de APM's in scripts beschreven en wordt het rekenmodel toegelicht. In §6.2 worden de resultaten in het verkeersmodel gevalideerd met VIA data op basis van drie testregio's. In §6.3 volgen de effecten van de implementatie van de APM's in het verkeersmodel voor een variantenstudie in Boekel. Allereerst volgt in §6.3.1 een verkeerskundige analyse van de varianten alvorens in §6.3.2 de aantallen ongevallen per variant worden berekend. In §6.3.3 worden de kansen per type ongeval per variant berekend.

### 6.1 Verwerken APM's in scripts

De APM's uit §5.5 zijn met Ruby in het script van het verkeersmodel geïmplementeerd. Door het script in het verkeersmodel te laten uitvoeren, zijn de resultaten van de APM's op netwerkniveau mogelijk. Een voorbeeld van de werking van de APM is in tabel 6.2 opgenomen. De waarden zijn tot stand gekomen door APM 1. Hier wordt de exponent opgeteld bij de bètawaarden (tabel 5.5) vermenigvuldigd met de waarden uit tabel 6.1. Per ongevalsernst is zo het aantal ongevallen berekend. Door deze waarden in tabel 6.2 horizontaal bij elkaar op te tellen, ontstaat het aantal ongevallen per link. Door ze verticaal op te tellen, ontstaat het aantal ongevallen per ongevalsernst van de betreffende links.

Tabel 6.1 - Uitsnede van een aantal links uit de database

LINKNR	LENGTH	Wegtype _1	Wegtype _2	Wegtype _3	Wegtype _4	Wegtype _5	I/C	Perc. Vrachtver keer	INVOEG ST	Wegbre edte_1	Wegbre edte_2	Wegbre edte_3	
777	0,59	0	0	0	0	0	1	0,779	21%	0	1	0	0
1068	0,19	0	0	0	0	1	0	1,024	24%	0	0	0	1
1071	0,02	0	0	0	0	0	1	1,124	23%	0	0	1	0
1097	0,26	0	0	0	0	0	1	0,329	39%	0	0	0	1
1108	1,25	0	0	0	0	0	1	0,471	39%	0	0	1	0

Tabel 6.2 - Berekening APM 1 op betreffende links

AANTAL ONGEVALLEN				
APM 1: $E(\lambda) = e^{\beta_0 + (\beta_1 * x_1) + \dots + (\beta_n * x_n)}$				
LINKNR	Geen ongeval	UMS	Letsel	Dodelijk
777	0	1,49	0,13	0,02
1068	0	2,79	0,60	0,11
1071	0	1,71	0,14	0,02
1097	0	0,68	0,07	0,01
1108	0	3,60	0,39	0,06

De uitwerking van APM 2 is met dezelfde links in tabel 6.3 weergegeven. Bij deze uitwerking zijn de ongevallenkansen per ongevalsernst berekend volgens de beschrijving in §5.5. Het percentage UMS-ongevallen is bij bijna alle ongevallen hoger dan de kans op geen ongeval. Dat komt omdat het de kansen op een ongeval op basis van vier jaar berekent. In §6.2 zijn de resultaten in het verkeersmodel gevisualiseerd.

Tabel 6.3 - Berekening APM 2 op betreffende links

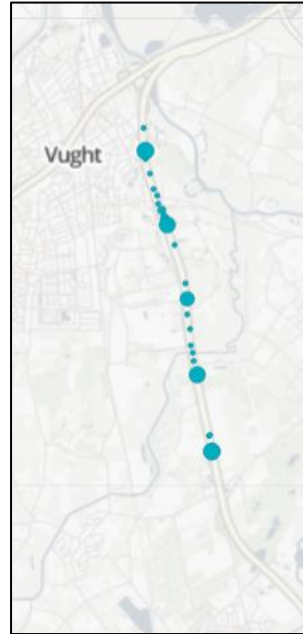
ONGEVALLenkANS				
APM 2: $P_{ni} = \frac{e^{\beta_i * x_{ni}}}{\sum_j e^{\beta_j * x_{nj}}}$				
LINKNR	Geen ongeval	UMS	Letsel	Dodelijk
777	38%	56%	5%	1%
1068	22%	62%	13%	2%
1071	35%	60%	5%	1%
1097	57%	39%	4%	1%
1108	20%	71%	8%	1%

## 6.2 Validiteit

Om APM 1 te valideren wordt het berekende aantal ongevallen voor verschillende testregio's vergeleken met de ongevallen van Via voor hetzelfde gebied. In figuur 6.1 is de linkselectie uit het verkeersmodel weergegeven van de A2 bij Vught en in figuur 6.2 is de selectie VIA data voor hetzelfde gebied getoond (validatietest 1). In het verkeersmodel zijn 68 ongevallen berekend en in de kaart van VIA zijn 75 ongevallen opgenomen. Het verschil tussen de beide aantallen is minder dan 10%.

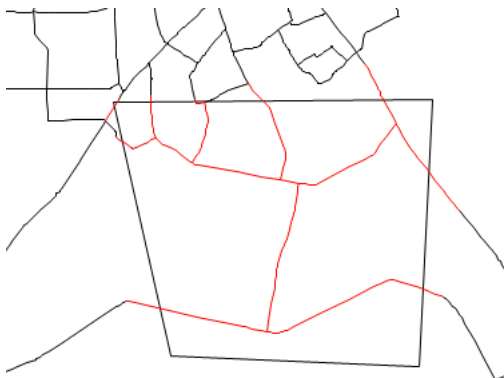


*Figuur 6.1 - Links verkeersmodel test 1*



*Figuur 6.2 - Ongevallen VIA test 1*

Voor een gebied met erftoegangswegen buiten de bebouwde kom ten zuiden van Heesch is het aantal berekende ongevallen door het verkeersmodel ook vergeleken met de VIA data (validatietest 2). In figuur 6.3 zijn de geselecteerde links uit het verkeersmodel getoond en in figuur 6.4 is het gebied in de VIA data geselecteerd. In het verkeersmodel zijn 12 ongevallen berekend en in de VIA data komen in dit gebied 13 ongevallen voor. Dit is wederom een klein verschil.



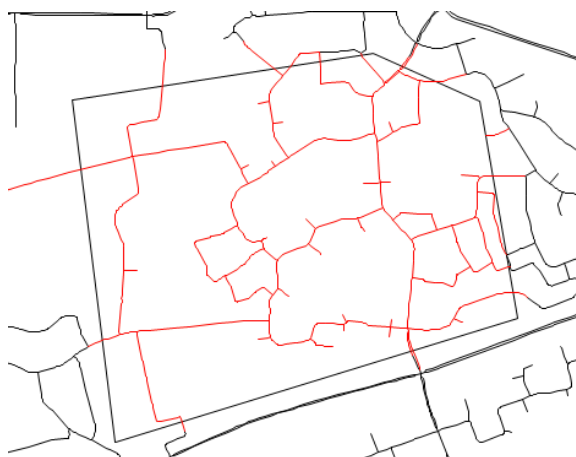
*Figuur 6.3 - Links verkeersmodel test 2*



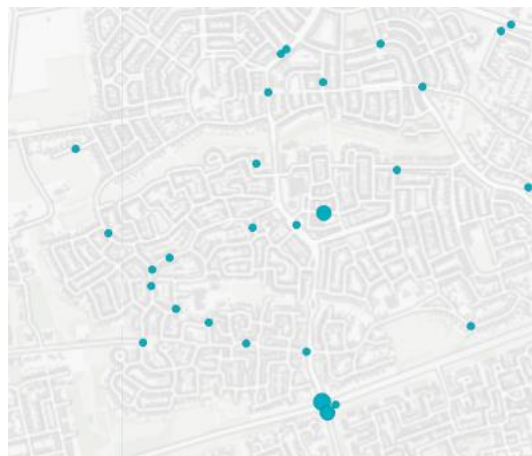
*Figuur 6.4 - Ongevallen VIA test 2*

Ook is er een vergelijking gemaakt van een woonwijk in Veldhoven met grotendeels erftoegangswegen binnen de bebouwde kom (validatietest 3). In figuur 6.5 zijn de links in het verkeersmodel weergegeven en in figuur 6.6 wordt de VIA data weergegeven. Het berekende aantal ongevallen in het verkeersmodel is 31 en de VIA data voor hetzelfde gebied bedraagt 35 ongevallen. Ook hier is het verschil klein tussen het berekende aantal

ongevallen en het werkelijke aantal ongevallen. Op basis van de drie testregio's (figuur 6.1-6.6) kan worden geconcludeerd dat de module voor het berekenen van ongevallen valide is.



Figuur 6.5 - Links verkeersmodel test 3



Figuur 6.6 - Ongevallen VIA test 3

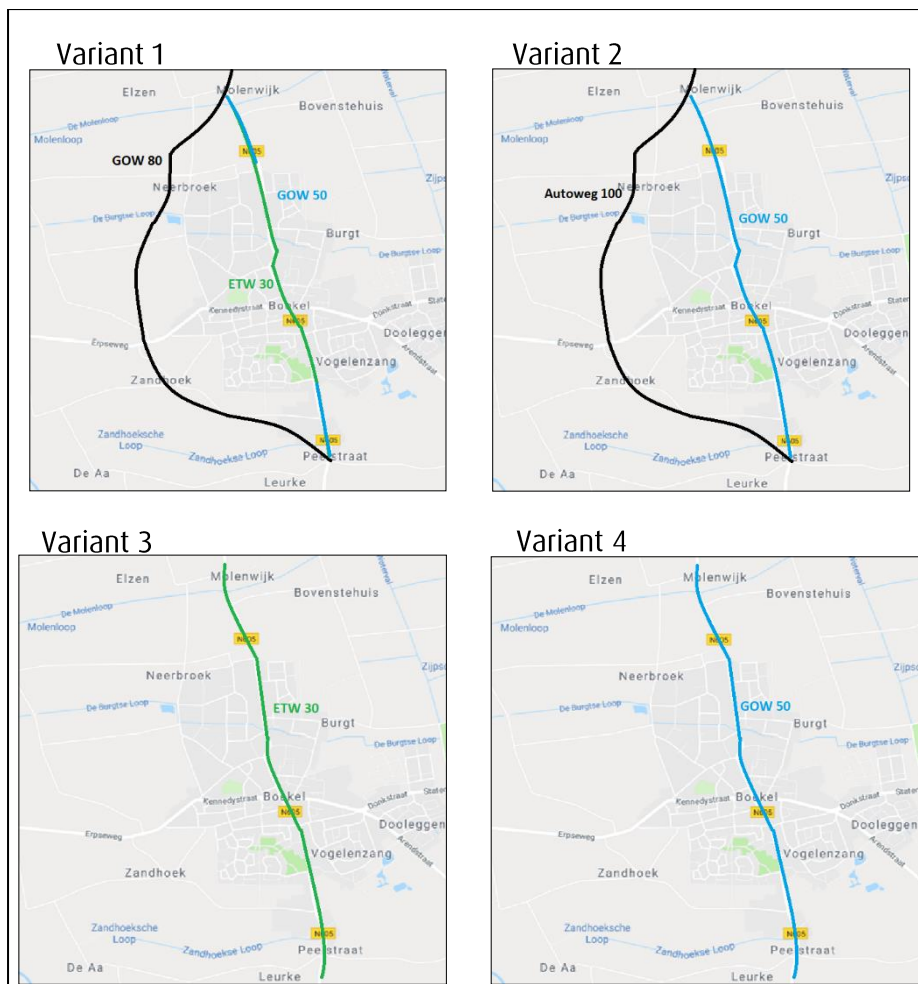
### 6.3 Effecten APM's in variantenstudie

Na de validatie kunnen de effecten van zowel APM 1 als APM 2 in het verkeersmodel worden doorgerekend. Hiervoor zijn een aantal varianten in het verkeersmodel aangemaakt voor Boekel. Dit is een actueel project waarbij oplossingsvarianten zijn nagebouwd in dit onderzoek in de nieuwste versie van het BBMA<sup>18</sup> model van Noordoost-Brabant. Boekel is een dorp in het noordoosten van Brabant. Door de kern van Boekel is sprake van doorgaand verkeer en daarom wordt in de toekomst een randweg aan de westzijde van het dorp aangelegd. Deze ontwikkeling dient als een voorbeeldstudie in dit onderzoek.

In figuur 6.7 zijn vier varianten van Boekel weergegeven. Hierbij zijn uitsluitend wegvakwijzigingen aangebracht en geen kruispuntwijzigingen. Er zijn twee varianten met de randweg gemaakt en twee varianten zonder de randweg. Tabel 6.4 bevat informatie over de varianten. De 0-variant is de plansituatie voor 2030 met de randweg. Variant 1 lijkt op de 0-variant, maar bij variant 1 is de 30-kilometer/uur-zone langer dan de 0-variant. Ook is de werkelijke snelheid hoger in variant 1, om meer onderscheid tussen de varianten te creëren. De maximumsnelheid is weliswaar gelijk in beide varianten, maar bij het toedelen van verkeer wordt de werkelijke verwachte gemiddelde snelheid op het wegvak gehanteerd. Deze snelheid bedraagt bij de 0-variant 60 kilometer per uur en bij variant 1 bedraagt deze 75 kilometer per uur. Door de hogere snelheid van de randweg in variant 1 dan in de 0-variant zal de reistijd in variant 1 lager zijn dan in de 0-variant; hierdoor zal de intensiteit van de randweg in variant 1 hoger zijn dan in de 0-variant.

---

<sup>18</sup> Brabant Brede Model Aanpak



Figuur 6.5 - Varianten Boekel, bewerking op Google Maps

Tabel 6.4 - Varianten Boekel

Variant	Randweg	Wegtype en snelheid (randweg)	Capaciteit (randweg)	Wegtype en snelheid bibeko <sup>19</sup>
0	Ja	GOW <sup>20</sup> 80	3400	GOW 50 en ETW <sup>21</sup> 30
1	Ja	GOW 80 met hogere werkelijke snelheid	3400	GOW 50 en ETW 30
2	Ja	Autoweg 100	3800	GOW 50
3	Nee	-	-	ETW 30
4	Nee	-	-	GOW 50

<sup>19</sup> Binnen de bebouwde kom

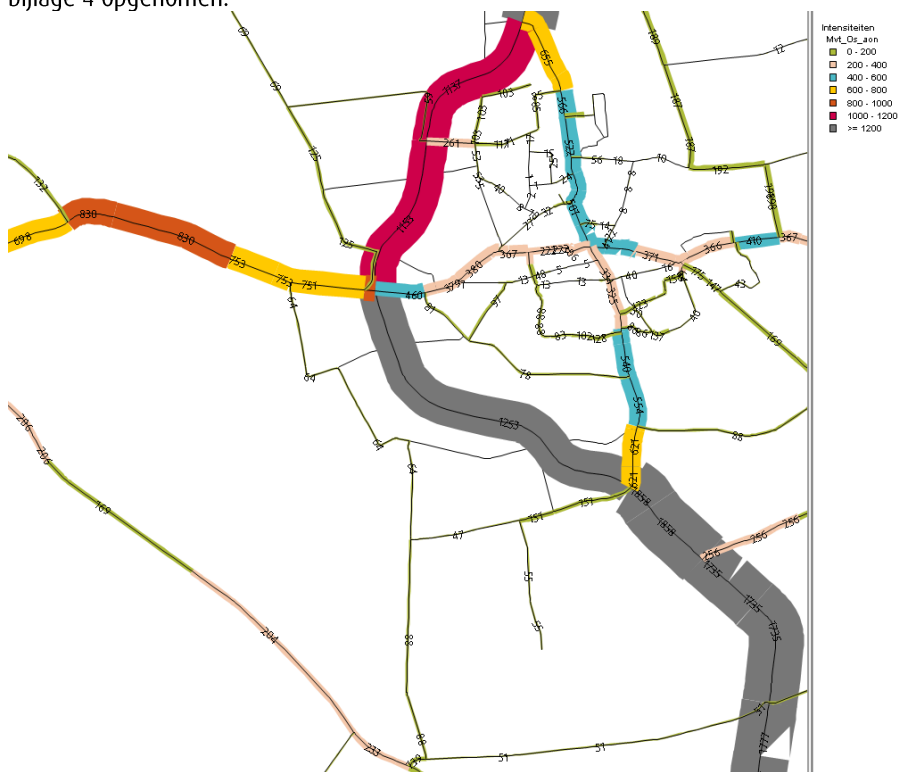
<sup>20</sup> Gebiedsontsluitingsweg

<sup>21</sup> Erftoegangsweg



### 6.3.1 Verkeerskundige analyse varianten

Het verkeer is op basis van een AON-toedeling op de vier varianten en de 0-variant toegedeeld. Het doel van de randweg is om het doorgaande verkeer in Boekel te laten afnemen. Uit verkeerskundig oogpunt zou de uitwerking van de 0-variant het beste moeten blijken. Deze variant wordt ook in de werkelijkheid gerealiseerd. De ochtendspitsintensiteiten van de 0-variant zijn in figuur 6.8 weergegeven. Om de verschillen tussen de 0-variant en de andere in dit onderzoek opgestelde varianten inzichtelijk te maken, worden de varianten in deze paragraaf op basis van intensiteiten vergeleken. De ochtendspitsintensiteiten van de vier varianten zijn ter volledigheid in bijlage 4 opgenomen.



Figuur 6.6 - Ochtendspitsintensiteiten 0-variant

Het verschil tussen de 0-variant en variant 1 is in figuur 6.9 inzichtelijk gemaakt. Hierbij is de procentuele toe- of afname van variant 1 ten opzichte van de 0-variant weergegeven. Door toedoen van het verlengen van de 30-kilometer/uur-zone is de intensiteit op de route door Boekel fors afgenomen met 30-60%. Het merendeel van het verkeer is hierdoor naar de randweg verplaatst. Daar is een toename van 20-30% te zien. De kortere reistijd over de randweg in variant 1 (zie §6.3) draagt ook bij aan de hogere intensiteit op de randweg in variant 1 dan in de 0-variant.



Figuur 6.7 - Verschil ochtendspitsintensiteiten variant 1 met 0-variant

Het verschil tussen variant 2 en de 0-variant is in figuur 6.10 opgenomen. Hier is de intensiteit op de randweg met 10-20% op het noordelijke deel toegenomen en met 20-30% op het zuidelijke deel. De intensiteit op het noordelijke deel van de route door Boekel is licht toegenomen met 10-20% en het zuidelijke deel is licht afgenomen met 10-25%. Voor veel voertuigen is het noordelijke deel van deze route aantrekkelijk geworden door het verhogen van de wegcategory van erftoegangsweg met de snelheid van 30 kilometer per uur (hierna: ETW 30) naar een gebiedsontsluitingsweg met de snelheid van 50 kilometer per uur (hierna: GOW 50).



*Figuur 6.8 - Verschil ochtendspitsintensiteiten variant 2 met 0-variant*

Het verschil tussen de derde variant en de 0-variant is in figuur 6.11 weergegeven. Bij deze variant is geen randweg aanwezig, dus de route door Boekel zou dan naar verwachting drukker worden. Echter, hier is de intensiteit juist afgenomen. De intensiteiten op de wegen rondom Boekel zijn juist drukker geworden met meer dan 100%. Een mogelijke oorzaak is dat de route door Boekel een ETW 30 bedraagt. Dit wegtype blijkt niet aantrekkelijk voor doorgaand verkeer.



*Figuur 6.9 - Verschil ochtendspitsintensiteiten variant 3 en 0-variant*

In de vergelijking van variant 4 met de 0-variant (figuur 6.12) is de doorgaande route door Boekel een GOW 50. Door toedoen van deze hogere wegcategorisering is het voor het verkeer aantrekkelijker om de route door Boekel te kiezen. De percentages zijn hier veelal hoger dan 100%. Ook op de wegen ten westen van het dorp is de intensiteit toegenomen door de afwezigheid van de randweg.



Figuur 6.10 - Verschil ochtendspitsintensiteiten variant 4 met 0-variant

Al met al leveren de toedelingen de volgende resultaten op ten opzichte van de 0-variant:

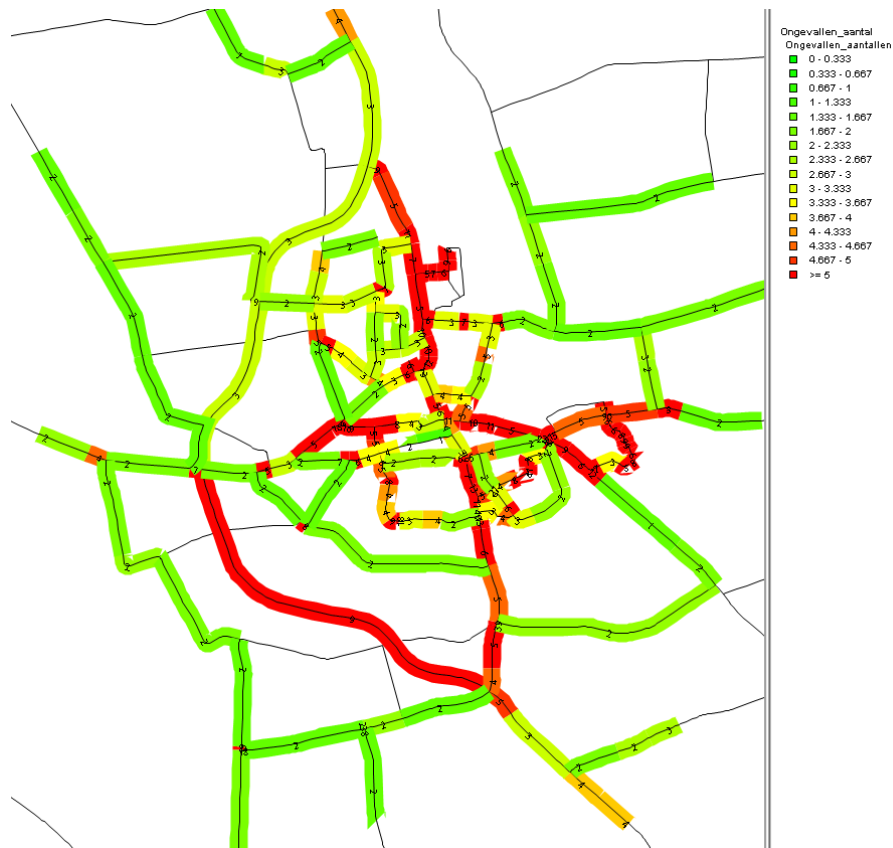
- Variant 1 – Afname verkeersintensiteit op de route door Boekel en toename verkeer op randweg
- Variant 2 – Zowel toe- als afname van het verkeer door Boekel en toename verkeer op randweg
- Variant 3 – Afname van het verkeer door Boekel en forse toename verkeer rondom Boekel
- Variant 4 – Forse toename van het verkeer door Boekel, afname op de wegen ten oosten van Boekel en toename op de wegen ten westen van Boekel.

Bij variant 1 is het meeste verkeer uit Boekel overgeschakeld naar de randweg. Echter, hier is de gehele route door Boekel een ETW 30. In variant 2 is door de uitwerking van de randweg als autoweg en de route door Boekel als GOW 50 waarschijnlijk niet haalbaar. De randweg is waarschijnlijk te kort en bevat te veel bochten voor een autoweg. De GOW 50 binnen de bebouwde kom komt de leefbaarheid niet ten goede. Bij variant 3 is de forse toename op wegen rondom Boekel niet gewenst en in variant 4 is zowel de toename van verkeer door het dorp en rondom het dorp niet gewenst. De 0-variant is daarom vanuit verkeerskundig oogpunt de meest optimale uitwerking.

### 6.3.2 Effecten APM 1

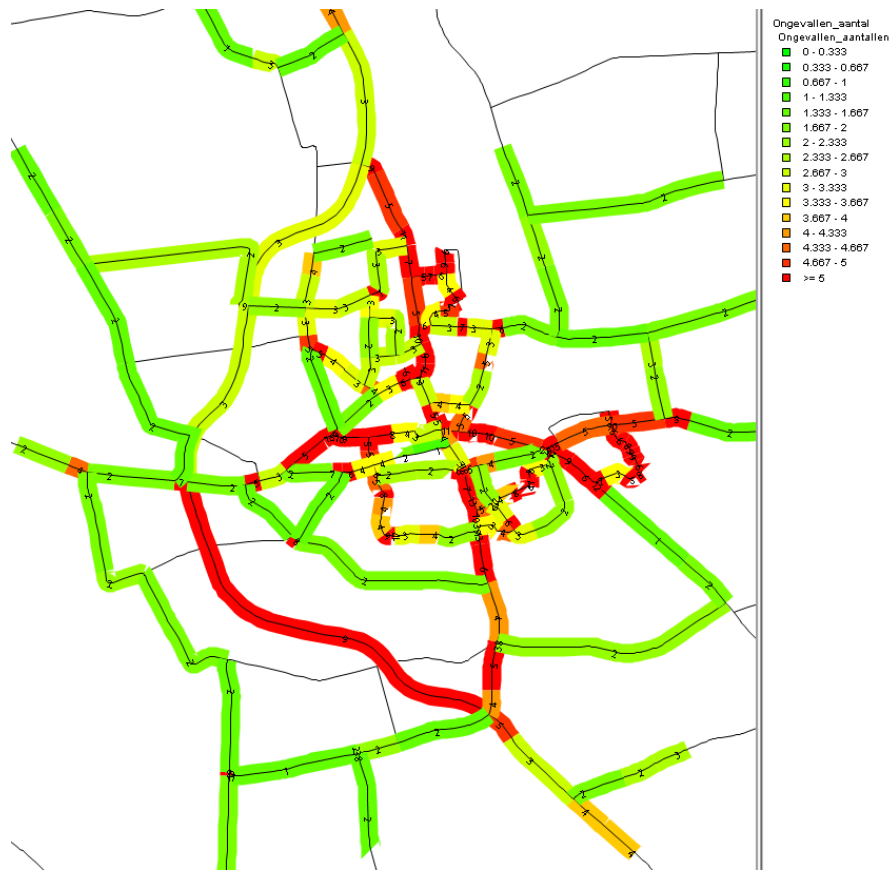
Om de varianten op verkeersveiligheid te beoordelen zijn de APM's op de varianten doorgerekend. In figuur 6.13 is het effect van APM 1 op de 0-variant weergegeven. Hierbij

zijn het aantal ongevallen (UMS, letsel en dodelijk) opgeteld en per link inzichtelijk gemaakt. De aantallen zijn op basis van de database, dus de VIA-ongevallen met exact gekoppelde locatie per vier jaar worden berekend. De uitkomsten zijn tevens gecorrigeerd met de wegvaklengte, want de wegvakscheiding is niet zichtbaar in de figuren uit het verkeersmodel; anders bevatten de langere wegvakken meer ongevallen dan de kortere wegvakken. De randweg en de doorgaande routes door Boekel lichten duidelijk rood op in de figuur vanwege de hogere verkeersintensiteiten op deze routes ten opzichte van de andere wegen. Andere variabelen als wegtype, wegbreedte en percentage vrachtverkeer zijn ook van invloed op het aantal ongevallen.



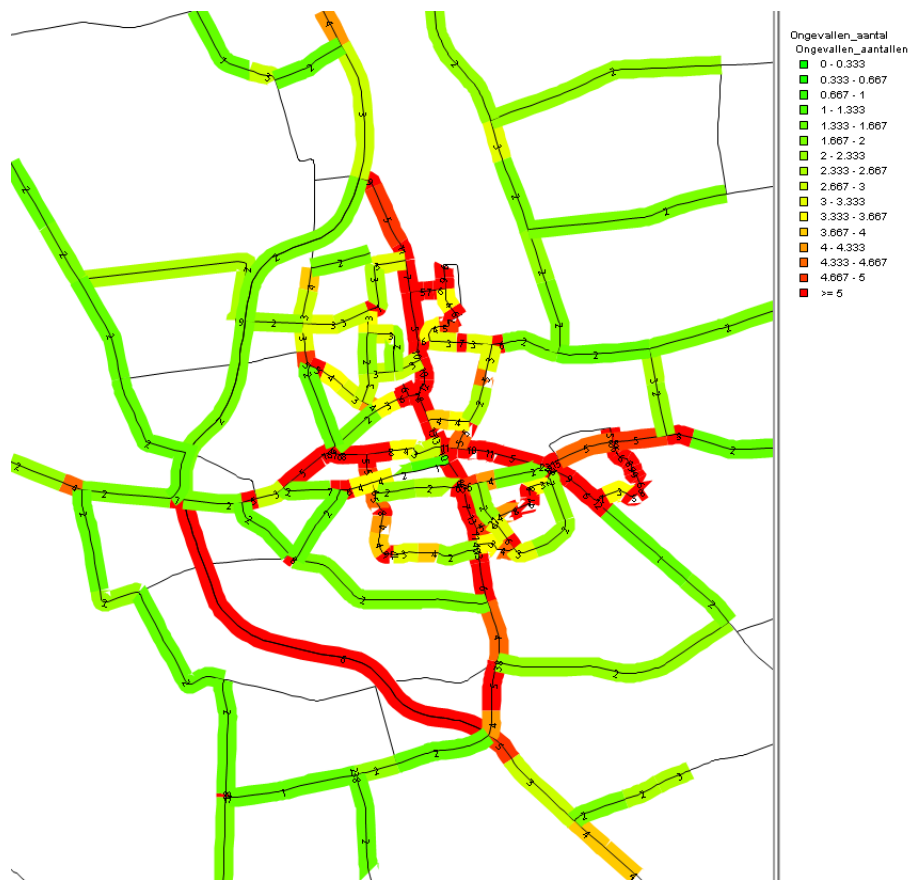
Figuur 6.11 - Effecten APM 1 op 0-variant

Het effect van APM 1 op variant 1 is in figuur 6.14 getoond. Het effect op variant 1 is nagenoeg hetzelfde als bij de 0-variant. Omdat er in het netwerk weinig verschil zit tussen variant 1 en de 0-variant is dit een logische uitkomst.



Figuur 6.12 - Effecten APM 1 op variant 1

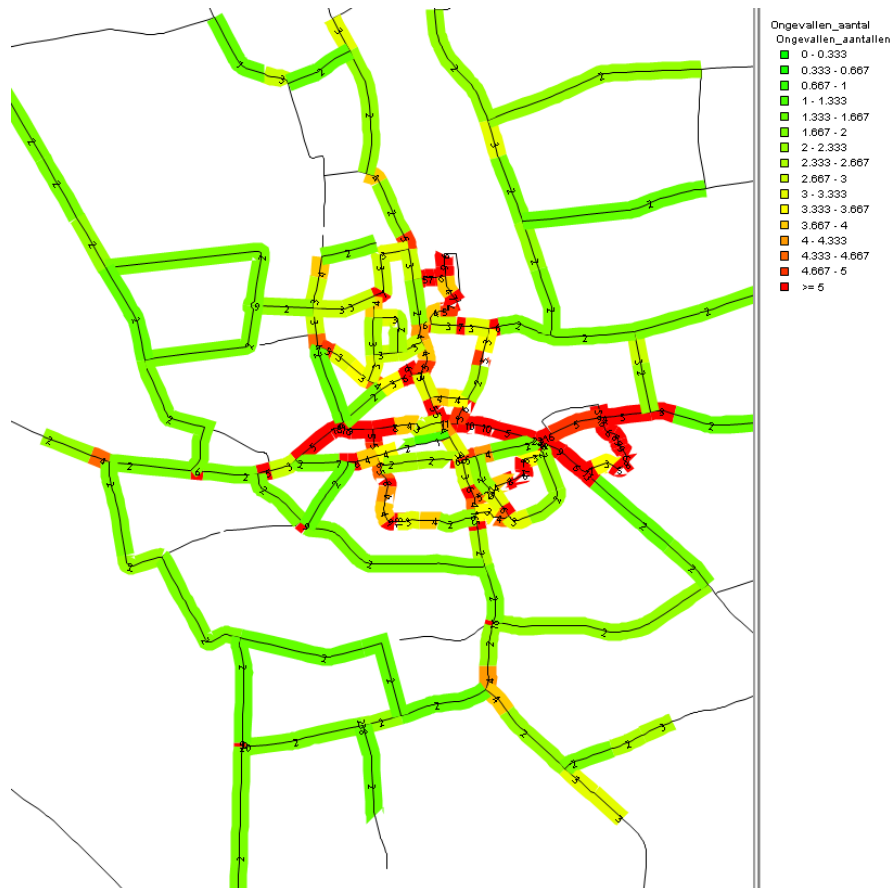
Het effect van APM 1 op variant 2 is in figuur 6.15 weergegeven. Hier zijn iets minder ongevallen berekend op de randweg dan in variant 1. Dit is een logisch gevolg van de wegategorisering van een autoweg met een maximumsnelheid van 100 kilometer per uur in variant 2. De bètawaarden van wegtype\_5 (autoweg) zijn lager dan de waarden van wegtype\_4 (tabel 5.5), dus het is logisch dat de randweg in variant 2 veiliger is dan in variant 1. Door de hogere capaciteit van een autoweg is ook de I/C-waarde lager dan in variant 1. Dat komt overeen met de regressie uitkomsten; uit de bètawaarden bleek dat een hogere I/C-waarde bijdraagt aan het aantal ongevallen.



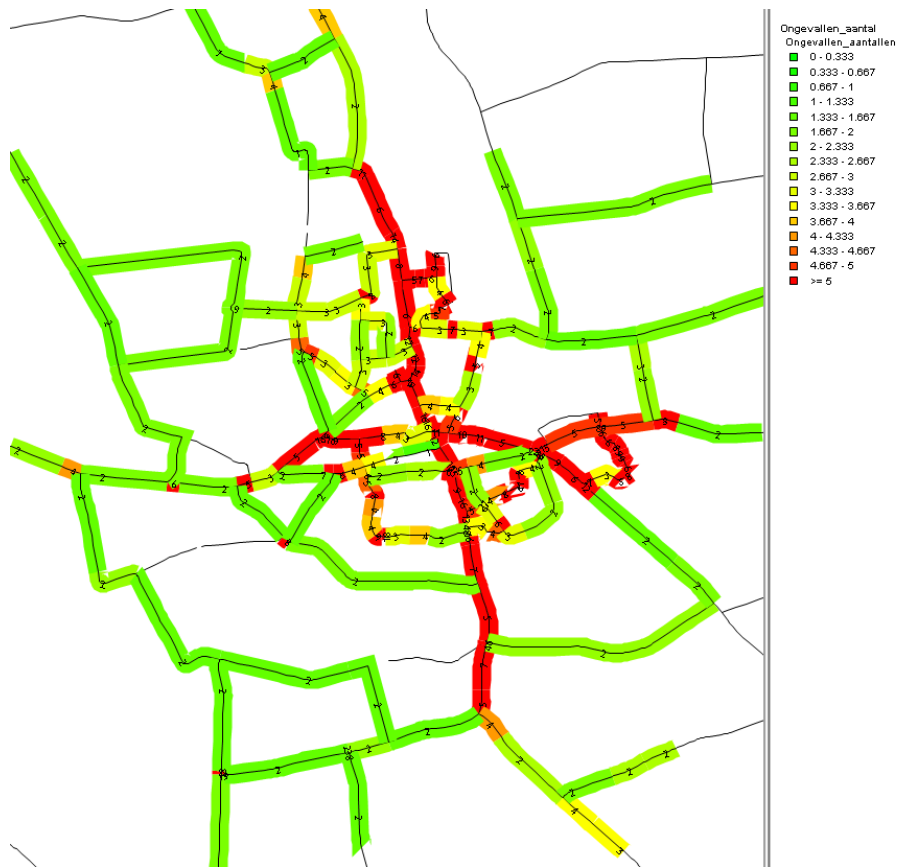
Figuur 6.13 - Effecten APM 1 op variant 2



De effecten op variant 3 zijn in figuur 6.16 weergegeven. Variant 3 is te vergelijken met variant 4 (figuur 6.17). Het verschil tussen de varianten is dat variant 3 binnen de bebouwde kom een ETW 30 bevat en dat variant 4 een GOW 50 bevat. Hierdoor zijn de intensiteiten door Boekel in variant 4 vele malen hoger. Dit heeft tot gevolg dat de doorgaande route door het dorp in variant 3 veiliger is bevonden dan in variant 4.



Figuur 6.14 - Effecten APM 1 op variant 3



Figuur 6.15 - Effecten APM 1 op variant 4

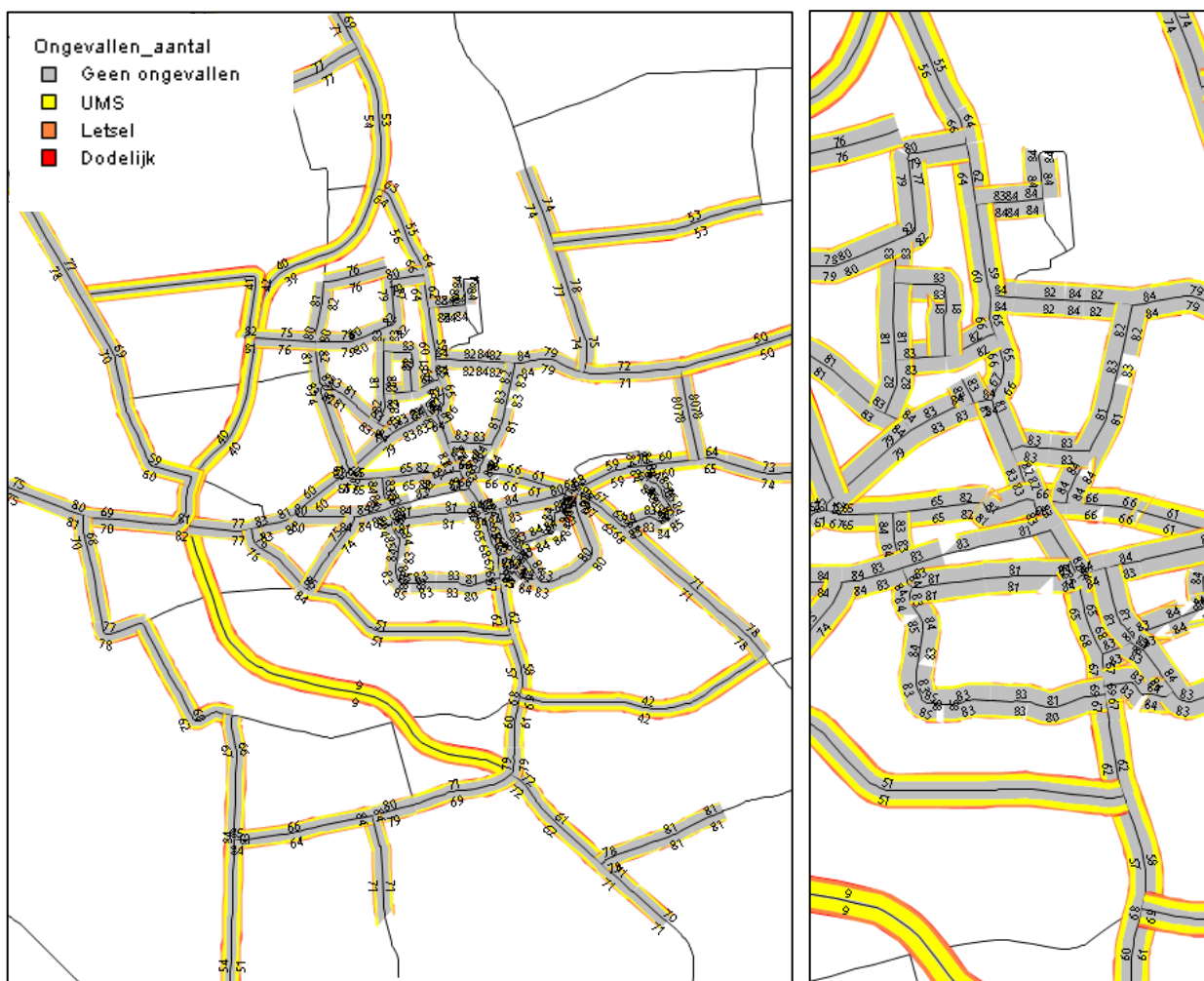
De totale aantallen ongevallen per variant zijn in tabel 6.5 weergegeven. Variant 3 heeft bij elke ongevals categorie het laagste aantal ongevallen. De oorzaak hiervan is dat de verkeersintensiteiten in Boekel fors lager zijn in variant 3 dan in bijvoorbeeld variant 4. De 0-variant is ongeveer even veilig als variant 1. Variant 2 is iets veiliger en variant 4 is na variant 3 het veiligst.

Tabel 6.5 - Ongevallen per variant uitgesplitst in ongevalsernst

	UMS	Letsel	Dodelijk	TOTAAL
<b>0-variant</b>	117,3	37,0	3,2	157,5
<b>Variant 1</b>	118,8	37,3	3,2	159,3
<b>Variant 2</b>	117,6	33,5	2,5	153,6
<b>Variant 3</b>	93,3	29,6	2,2	125,1
<b>Variant 4</b>	110,4	34,3	2,5	147,2

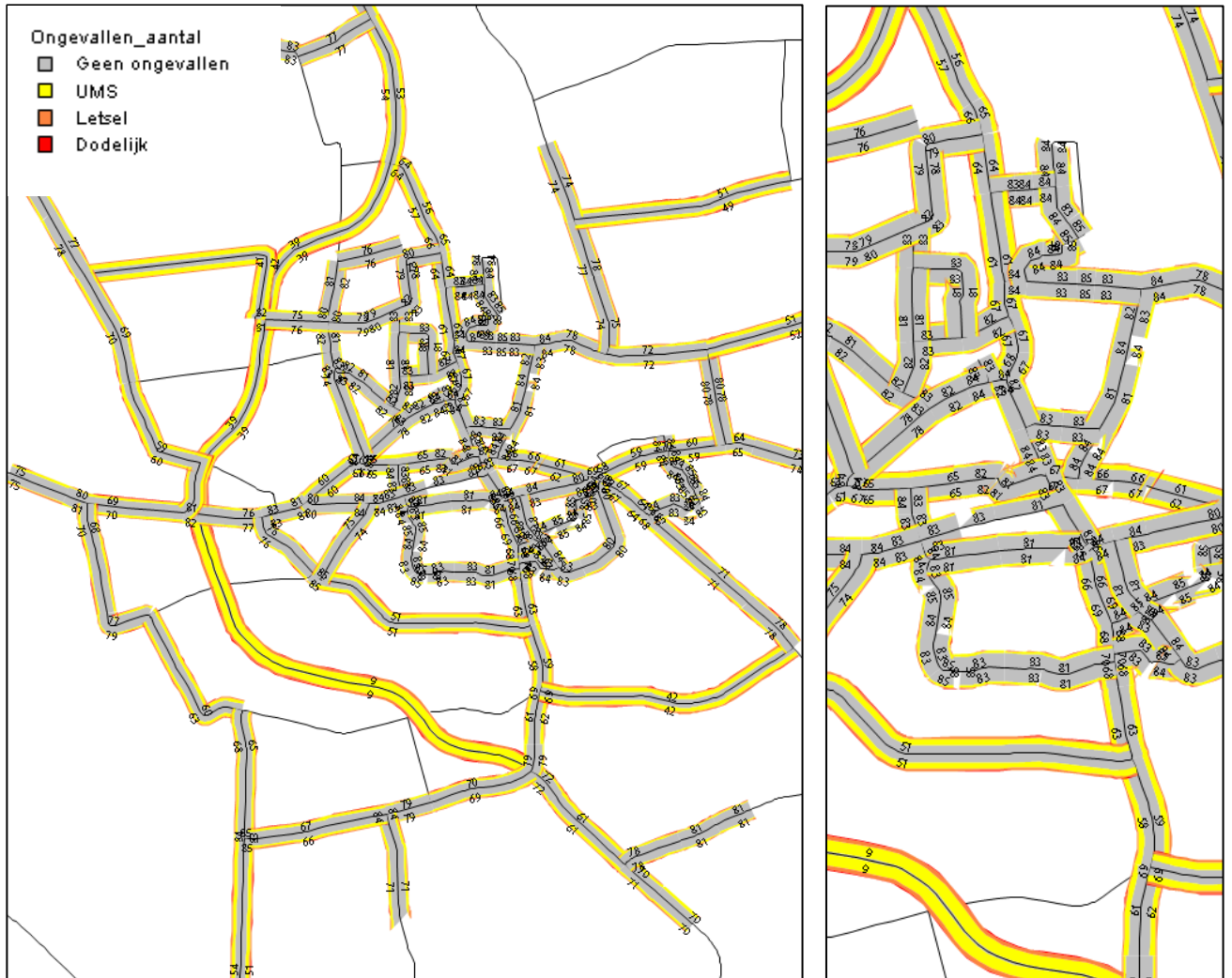
### 6.3.3 Effecten APM 2

De effecten van APM 2 zijn eveneens op de vier varianten en de 0-variant geprojecteerd. Het effect op variant 1 is in figuur 6.18 weergegeven, waarbij aan de rechterkant van de figuur het centrum is uitvergroot. Hierbij is de kans op geen ongeval uitgezet tegen de andere ongevalstypen; met de waarden in de figuur is de kans op geen ongeval weergegeven. De andere kleuren staan voor de kansen op een UMS-ongeval, een letselongeval en een dodelijk ongeval. De kans op geen ongeval is erg laag op de randweg. In het noordelijke deel van de randweg is dit ongeveer 40% en in het zuidelijke deel ongeveer 10%. Binnen de bebouwde kom is de kans op geen ongeval groter. De kans op ongevallen neemt af richting het centrum van Boekel.



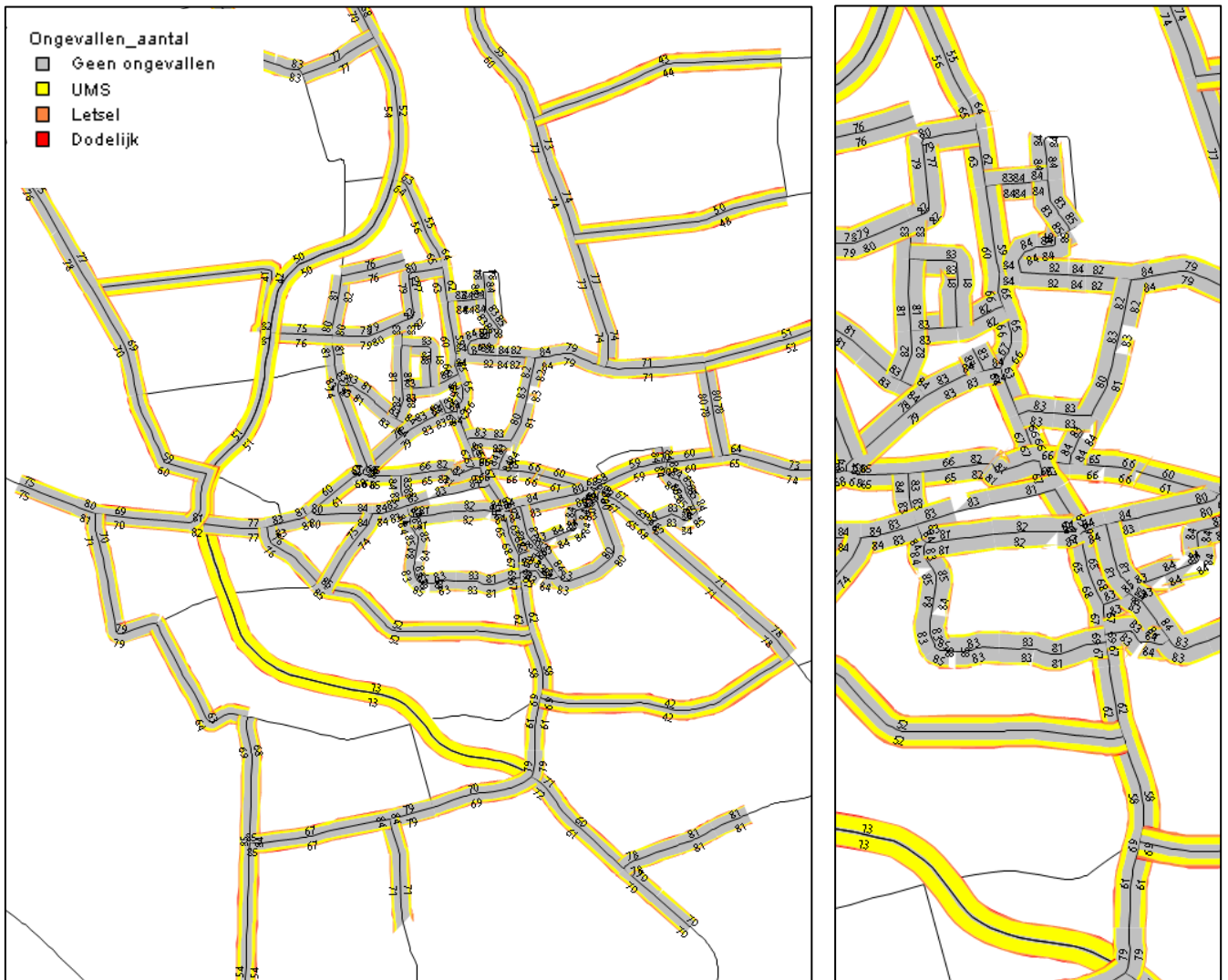
Figuur 6.16 - Effecten APM 2 op de 0-variant

Het effect op variant 1 is getoond in figuur 6.19. Variant 1 lijkt hier net als bij de aantallen ongevallen (§6.3.2) erg op de 0-variant. De percentages in beide figuren komen in de meeste gevallen overeen.



Figuur 6.17 - Effecten APM 2 op variant 1

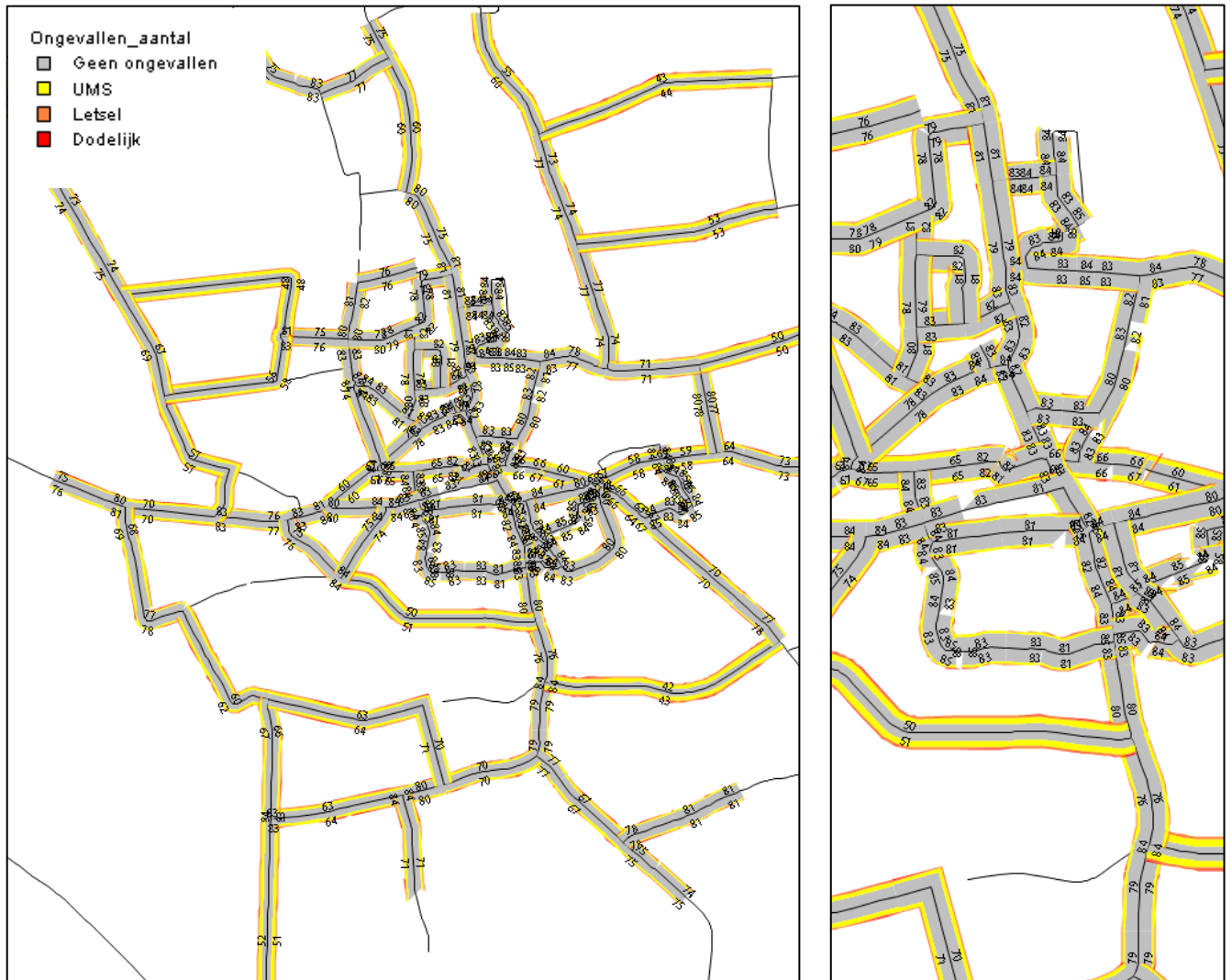
In figuur 6.20 is het effect van APM 2 op variant 2 weergegeven. In variant 2 is de kans op geen ongeval op de randweg iets groter dan in variant 1. Dit komt overeen met het beeld van ongevallen in §6.3.2; hier werden op de randweg meer ongevallen berekend in variant 1 dan in variant 2.



Figuur 6.18 - Effecten APM 2 op variant 2

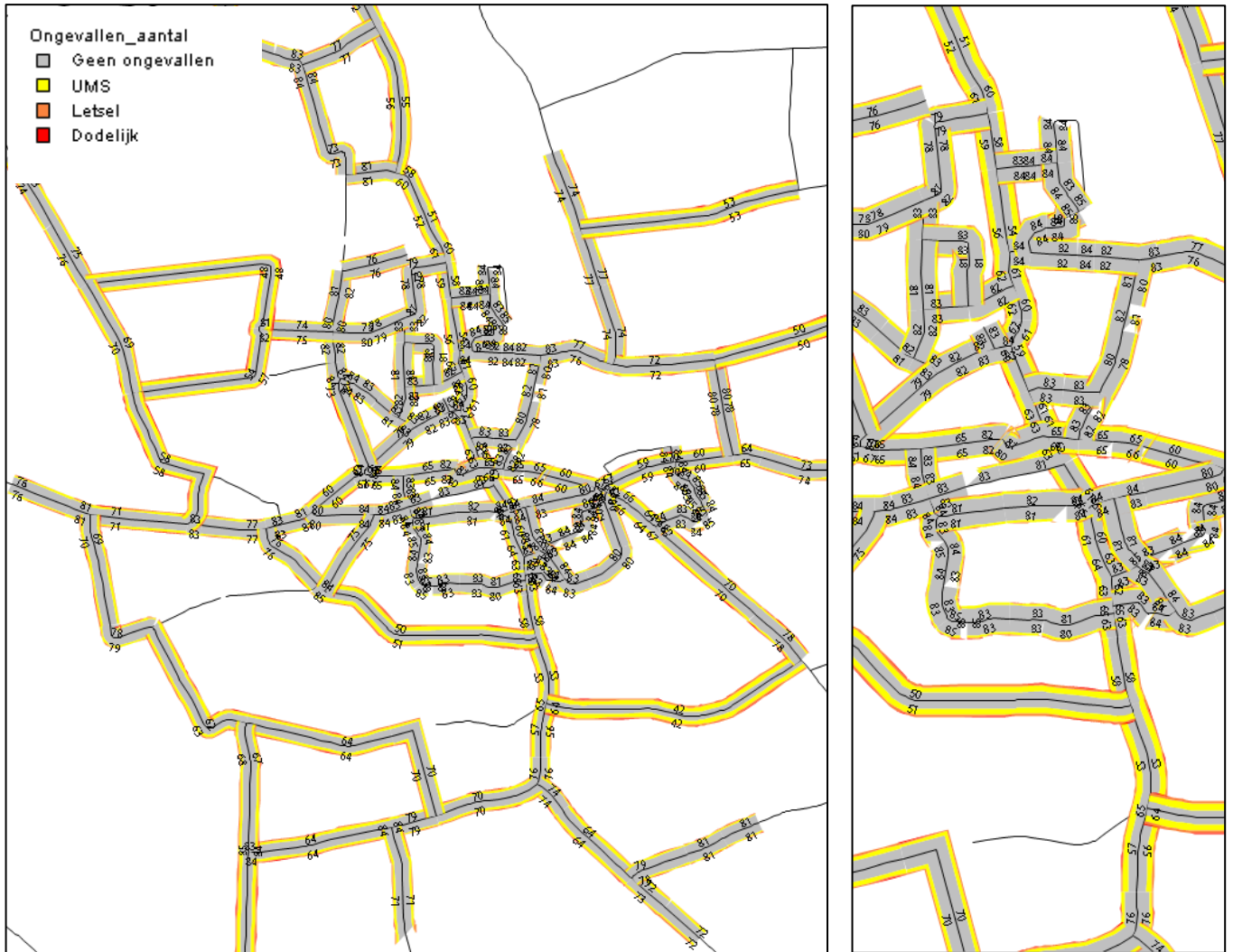


In figuur 6.21 is het effect van APM 2 op variant 3 weergegeven. Op de hoofdroute door Boekel is de kans op geen ongeval ongeveer 80%. In §6.3.2 werden meer ongevallen geconstateerd in variant 4 dan in variant 3 door het verschil in intensiteiten. Daarom is de verwachting dat variant 4 een kleinere kans op geen ongeval heeft dan variant 3.



Figuur 6.19 - Effecten APM 2 op variant 3

Het effect van APM 2 op variant 4 geeft op de hoofdroute door Boekel percentages van 50-60% kans op geen ongeval (figuur 6.22). Dit bevestigt de hiervoor geschetste verwachting dat deze variant onveiliger is dan variant 3.



Figuur 6.20 - Effecten APM 2 op variant 4

Op basis van §6.3 kan worden gesteld dat de 0-variant uit verkeerskundig goede resultaten geeft. Daarentegen is de 0-variant niet de veiligste variant. Alleen variant 1 is minder veilig bevonden. Variant 3 is het veiligst bevonden. Hier werden de minste ongevallen berekend (tabel 6.5). De oorzaak hiervan is dat er fors minder doorgaand verkeer in Boekel is dan in de andere varianten (bijlage 4). Het verkeer is in deze variant over de wegen rondom Boekel verspreid. Dit ging niet ten koste van de verkeersveiligheid, want in de directe alternatieve routes rondom Boekel is het ongevalsrisico nauwelijks groter dan in de andere varianten. Wellicht gaat het wel in een wijdere omgeving van Boekel ten koste van de verkeersveiligheid, maar dat valt buiten de scope van de figuren uit §6.3. Variant 4 was na variant 3 de veiligste variant. Variant 2 is veiliger bevonden dan de 0-variant en variant 1, maar minder veilig dan variant 3 en 4.



# 7

## Conclusie

Met dit onderzoek is de doelstelling behaald om een verkeersveiligheidsmodule in een variantenstudie toe te passen. Het ongevalsrisico is hierbij uitgedrukt in zowel aantal ongevallen als in kansen per ongevalstype. In de verschillende varianten van de variantenstudie van Boekel (§6.3) werd onderscheid in verkeersveiligheid gemaakt tussen de varianten.

De hoofdvraag van het onderzoek luidde:

*“Hoe kan verkeersveiligheid op basis van ongevallendata een rol spelen bij de afweging van varianten bij infrastructuurprojecten?”*

Door het koppelen van de databronnen, het opstellen van de database, het uitvoeren van de regressies, het opstellen van de APM's en het implementeren van de APM's in de software van het OmniTRANS is de verkeersveiligheidsmodule tot stand gekomen. Met deze module kan voor iedere regio de verkeersveiligheid in beeld worden gebracht. Hierbij zijn de weergaven van aantallen ongevallen en de kans op de verschillende ongevalstypen (UMS, letsel en dodelijk) te onderscheiden.

De hoofdvraag is beantwoord aan de hand van de volgende deelvragen:

1. *Welke weg-, verkeers- en omgevingskenmerken hebben invloed op verkeersveiligheid en welke worden op dit moment meegenomen in het verkeersmodel?*

Uit het literatuuronderzoek kwamen veel weg-, verkeers- en omgevingskenmerken naar voren die invloed op verkeersveiligheid hebben. De belangrijkste factoren zijn intensiteit, wegvaklengte, aantal rijstroken en snelheid. Verder kwamen factoren als wegdektoestand, bochten, aantal hellingen, aantal in- en uitvoegstroken, daglicht, helling en wegbreedte naar voren. In het verkeersmodel worden, naast een aantal van deze variabelen, de volgende variabelen meegenomen: intensiteit, aantal rijstroken, wegvaklengte, snelheid, voertuigtype, wegtype, dagdeel en toe- en afrit.

2. *Welke wiskundige modellen zijn te onderscheiden en welke zijn geschikt voor het verklaren van het ongevalsrisico, waarbij de kenmerken uit de eerste deelvraag kwalitatief of kwantitatief worden uitgedrukt?*

Er zijn verschillende vormen voor APM's, maar in dit onderzoek zijn de volgende twee vormen gehanteerd:

$$\text{APM 1: } E(\lambda) = e^{\beta_0 + (\beta_1 * x_1) + \dots + (\beta_n * x_n)}$$

$$\text{APM 2: } P_{ni} = \frac{e^{\beta'x_{ni}}}{\sum_j e^{\beta'x_{nj}}}$$

3. *Welke databronnen kunnen worden gebruikt voor het verstrekken van ongevalgegevens?*

Op basis van de beschikbare databronnen kon de aanwezigheid van bovengenoemde variabelen in de onderzoekregio Brabant worden vastgesteld. De databronnen in dit onderzoek betroffen:

- Verkeersmodellen Brabant;
- Ongevalldata VIA;
- Snelheidsdata HERE;
- BGT Brabant.

4. *Hoe kan een koppeling worden gemaakt tussen de in de derde deelvraag genoemde databronnen en het verkeersmodel?*

Met een GIS zijn de databronnen gekoppeld. Door deze koppeling waren per link van het verkeersmodel de gegevens van alle databronnen te zien.

5. *Welk wiskundig model, vanuit de tweede deelvraag, wordt gehanteerd voor het verklaren van de verkeersveiligheid op basis van de ongevalgegevens?*

Op basis van een logistische regressie en een MNL regressie konden de invloeden van verschillende variabelen worden geconstateerd op het wel of niet plaatsvinden van een ongeval. De uitkomsten van de regressies vormden bètawaarden die in de APM's, beschreven in deelvraag 2, konden worden geïmplementeerd voor het verklaren van het ongevalsrisico.

6. *Is het wiskundig model statistisch valide en schaalbaar voor heel Nederland?*

De APM's zijn opgesteld op basis van literatuuronderzoek en zijn dus volgens de literatuur valide. De APM's zijn niet in andere regio's in Nederland getest, maar de verwachting is dat deze schaalbaar zijn voor andere regio's.

7. *Zijn de kenmerken in het rekenmodel volgens de literatuur representatief ten opzichte van elkaar en voor de Nederlandse situatie?*

De parameters uit de uitkomsten van de regressie zijn afhankelijk van de database. Omdat de database in elk onderzoek verschilt, zijn de parameters van de kenmerken niet met andere onderzoeken te vergelijken.

8. *Welke mogelijkheden zijn er om het rekenmodel in het softwarepakket van OmniTRANS te implementeren en hoe worden de resultaten gevisualiseerd?*

De vergelijkingen zijn met behulp van Ruby in de software van OmniTRANS geïmplementeerd.

9. *Is het rekenmodel voldoende toepasbaar, is er voldoende onderscheid tussen de veiligheid van varianten en is het goedgekeurd door experts?*

De uitwerking van deze APM's in een variantenstudie van Boekel heeft resultaten opgeleverd die logisch zijn bevonden in vergelijking met de parameters uit de regressieanalyse. De effecten van de variabelen waren duidelijk terug te zien in de weergaven van het verkeersmodel. Tussen de verschillende varianten waren, vooral door het verschil in wegtype en I/C-waarde, duidelijk verschillen zichtbaar. Zowel het aantal ongevallen als de kans op ongevallen kon hierbij in het verkeersmodel in beeld worden gebracht.

# 8

## Discussie, reflectie en aanbevelingen

In bijlage 1 werden de verschillen tussen de data van Via en de reële ongevallendata zichtbaar. De data van Via is niet volledig gebleken over 2015-2018. Van de data die zijn gebruikt, was de exacte locatie wel vastgesteld. Om de aanwezige weg-, verkeers- en omgevingskenmerken bij het ongeval vast te stellen, was het noodzakelijk om gebruik te maken van de ongevallendata met exact gekoppelde locatie. Het komt de betrouwbaarheid van verkeersveiligheidsonderzoek ten goede als in de toekomst voor alle ongevallen de aanwezige kenmerken inzichtelijk worden. Ook in andere onderzoeken is gebleken dat het lastig is om over een volledige database te beschikken. Desondanks was met de kleinere dataset de ongevalkans te berekenen. De aantallen ongevallen konden eveneens worden berekend, maar door toedoen van de incomplete dataset zullen de uitkomsten niet overeen komen met de werkelijkheid. De uitkomst is vergelijkbaar met het aantal exact gekoppelde ongevallen van Via over vier jaar, want de uitkomsten van de regressie en de opgestelde APM zijn tot stand gekomen op basis van de database van vier jaar. Uiteindelijk werden zowel met deze aantallen als de ongevalkansen de verschillen inzichtelijk tussen varianten.

Omdat de meegenomen ongevalsfactoren in dit onderzoek meestal weg- en verkeersgegevens betreffen is het belangrijk om te weten dat er ook andere factoren zijn als gedragsfactoren. Deze factoren liggen vaak ten grondslag aan een ongeval maar zijn lastig uit data te halen. Een aanbeveling is om, zoals in §2.3 benoemd, gedragsfactoren mee te nemen in het opstellen van een voorspellingsmodel. Als het daarentegen niet mogelijk is om gedragsfactoren te identificeren in een onderzoek, is het de aanbeveling om deze dan juist helemaal niet mee te nemen. Op deze manier blijven alleen de zuivere ongevallen over, die zijn veroorzaakt door weg-, verkeer- en omgevingskenmerken. Net als gedragsfactoren is het ook de aanbeveling om langzaam verkeer mee te nemen in een voorspellingsmodel als de benodigde data hiervoor toereikend is.

Omwille van de afbakening en het tijdsbestek van afstuderen konden niet alle ongevalsfactoren worden meegenomen in de database. Kenmerken als bochten, hellingen, kwaliteit verharding, verlichting, breedte middenberm en breedte redresseerstrook niet meegenomen terwijl deze volgens de literatuur invloed hebben op ongevallen. De aanbeveling voor vervolgonderzoek is om zoveel mogelijk van de in §2.1 benoemde ongevalsfactoren op te nemen in de database. Daarentegen geldt de

voorwaarde dat deze factoren volledig en betrouwbaar in de database moeten zijn opgenomen.

Het statistische model en de bijbehorende kansverdeling zijn in dit onderzoek volgens de vooraf opgestelde uitgangspunten gehanteerd; de MNL regressie is toegepast met de benadering van een normale verdeling. Er is dus uitgegaan van een lineaire regressie met ook lineaire variabelen. Daarentegen zijn sommige variabelen niet-lineair van aard (§2.2.1). Een aanbeveling bij eventueel vervolgonderzoek is om de niet-lineaire benadering van variabelen mee te nemen als hierbij de ongevallenkans beter verklaard kan worden.

Bij de herziene database is geen gebruik meer gemaakt van Here-data. De data van de gereden snelheden waren te groot en de andere kenmerken uit de Here-data zijn niet significant bevonden. Bij de regressie op de herziene database zijn deze data daarom buiten beschouwing gelaten.

In dit onderzoek (§6.3) is geen analyse uitgevoerd op de verschillen tussen de aantallen ongevallen uitgesplitst in ongevalsernst. Omwille van de afbakening en het tijdsbestek is uitsluitend een analyse gemaakt op de ongevallentotalen op linkniveau en op variantniveau.

Door het korte tijdsbestek is het testen van de APM in andere regio's in Nederland niet gelukt. Om de effecten van de APM ook in andere regio's in Nederland inzichtelijk te krijgen, is de aanbeveling om de APM voor meerdere gebieden te testen. Zo kan inzicht worden verkregen in de mogelijkheden en de onmogelijkheden van het voorspelmodel.

Met een APM, zoals in dit onderzoek is beschreven, kan in een vroeg stadium van het planproces inzicht worden verkregen in het verschil van verkeersveiligheid tussen varianten en de veiligheid van varianten op zichzelf. Daarom is het advies om gebruik te maken van deze module bij variantenstudies.

# 9

## Literatuurlijst

- Aarts, L., & Bax, C. (2013). *Regionale verschillen in relatie tot de verkeersveiligheid; Nadere verkenning in de praktijk op basis van drie Zeeuwse gemeenten*. Den Haag: SWOV.
- Anastasopoulos, P., Shankar, V., Haddock, J., & Mannering, F. (2012). *A multivariate tobit analysis of highway accident-injury-severity rates*. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 110-119.
- Buijs, A. (2012). *Statistiek om mee te werken*. Groningen: Noordhoff Uitgevers.
- Celik, A., & Oktay, E. (2014). *A multinomial logit analysis of risk factors influencing road traffic injury severities in the Erzurum and Kars Provinces of Turkey*. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 66-77.
- Chiou, Y., & Fu, C. (2013). *Modeling crash frequency and severity using multinomial-generalized Poisson model with error components*. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 73-82.
- Commandeur, J., Bijleveld, F., Braimaister, L., & Janssen, S. (2002). *De analyse van ongeval-, weg- en verkeerskenmerken van de Nederlandse rijkswegen*. Leidschendam: SWOV.
- Dobson, A. J. (2002). *An introduction to generalized linear models: second edition*. Chapman & Hall/CRC Press Company.
- Gkritza, K., & Mannering, F. L. (2008). *Mixed logit analysis of safety-belt use in single-and multi-occupant vehicles*. *Accident Analysis & Prevention*, 40(2), 443-451.
- HERE Technologies. (2019). *Our story*. Retrieved from Website van HERE: <https://www.here.com/about-us>
- IBM Knowledge Center. (2019, mei 21). *Pseudo R-Squared Measures*. Retrieved from IBM: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSLVMB\\_23.0.0/spss/tutorials/plum\\_germcr\\_rsquare.html#fntarg\\_2](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSLVMB_23.0.0/spss/tutorials/plum_germcr_rsquare.html#fntarg_2)
- (n.d.). *Intensiteitenpatronen. Wegontwerp bibeko met ASVV | ASVV 2012*. CROW.
- Lord, D., & Persaud, B. N. (2004). *Estimating the safety performance of urban road transportation networks*. *Accident Analysis & Prevention*, 36(4), 609-620.
- McCullagh, P. (2018). *Generalized linear models*. Routledge.
- Milton, J. C., Shankar, V. N., & Mannering, F. L. (2008). *Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis*. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 260-266.

- Morsink, P., & Wismans, L. (2008). *Verkeersmodellen en verkeersveiligheid; Verkenning van toepassingsmogelijkheden van verkeersmodellen voor verkeersveiligheidonderzoek*. Leidschendam: SWOV.
- Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J., & Stefan, C. (2006). *Accident prediction models and road safety impact assessment: a state of the art*. Brussel: Europese Commissie.
- Rijkswaterstaat WVL. (2013). *Kader verkeersveiligheid*. Rijkswaterstaat, Dienst Water, Verkeer en Leefbaarheid.
- STAR. (2017). *Toelichting STAR-ongevallendatabase juni'17*.
- SWOV. (2019). *Wegwijzer - Verkeersveiligheidscijfers, SWOV-datasheet*. Den Haag: SWOV.
- Train, K. E. (2009). *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge University Press.
- Van Geirt, F., & Nuyts, E. (2005). *Risicoanalyse op autosnelwegen*. Diepenbeek: Steunpunt Verkeersveiligheid.
- Van Geirt, F., & Nuyts, E. (2006). *Handleiding bij het gebruik van regressiemodellen voor ongevalsrisico's*. Diepenbeek: Steunpunt Verkeersveiligheid.
- Van Petegem, J. W. (2012). *Een modelonderzoek naar bermongevallen*. Delft.
- Van Rossem, R. (2007). *Multivariate Analyse voor de Sociale Wetenschappen: Logistische Regressie*. Gent: Academia Press.
- Verplancke, M. (2019, mei 21). *Correlatie*. Retrieved from spsshandboek.nl: <https://spsshandboek.nl/correlatie/>
- VIA Software. (2019, Januari 30). *STAR Data; gedetailleerde en actuele ongvallencijfers*. Retrieved from Website van VIA Software: <https://www.via.software/docs/STAR>
- Wang, C., Quddus, M., & Ison, S. (2011). *Predicting accident frequency at their severity levels and its application in site ranking using a two-stage mixed multivariate model*. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6), 1979-1990.
- Wijlhuizen, G., & Schermers, G. (2014). *Safety Performance Indicators voor wegen*. Den Haag: SWOV.
- Wu, Q., Chen, F., Zhang, G., Liu, X. C., Wang, H., & Bogus, S. M. (2014). *Mixed logit model-based driver injury severity investigations in single-and multi-vehicle crashes on rural two-lane highways*. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 105-115.
- Zeng, Z., Zhu, W., Ke, R., Ash, J., Wang, Y., Xu, J., & Xu, X. (2017). *A generalized nonlinear model-based mixed multinomial logit approach for crash data analysis*. *Accident Analysis & Prevention*, 99, 51-65.
- Zeng, Z., Zhu, W., Ke, R., Ash, J., Wang, Y., Xu, J., & Xu, X. (n.d.). *Logarithm of the expectation of crash density (number of crashes per mile per year) from Interstate freeway segments in the Washington State for years 2011-2014, by AADT per lane. A generalized nonlinear model-based mixed multinomial logit approach for crash data analysis*. *Accident Analysis and Prevention*, China.

## Bijlage 1 – Achtergrondinformatie VIA data

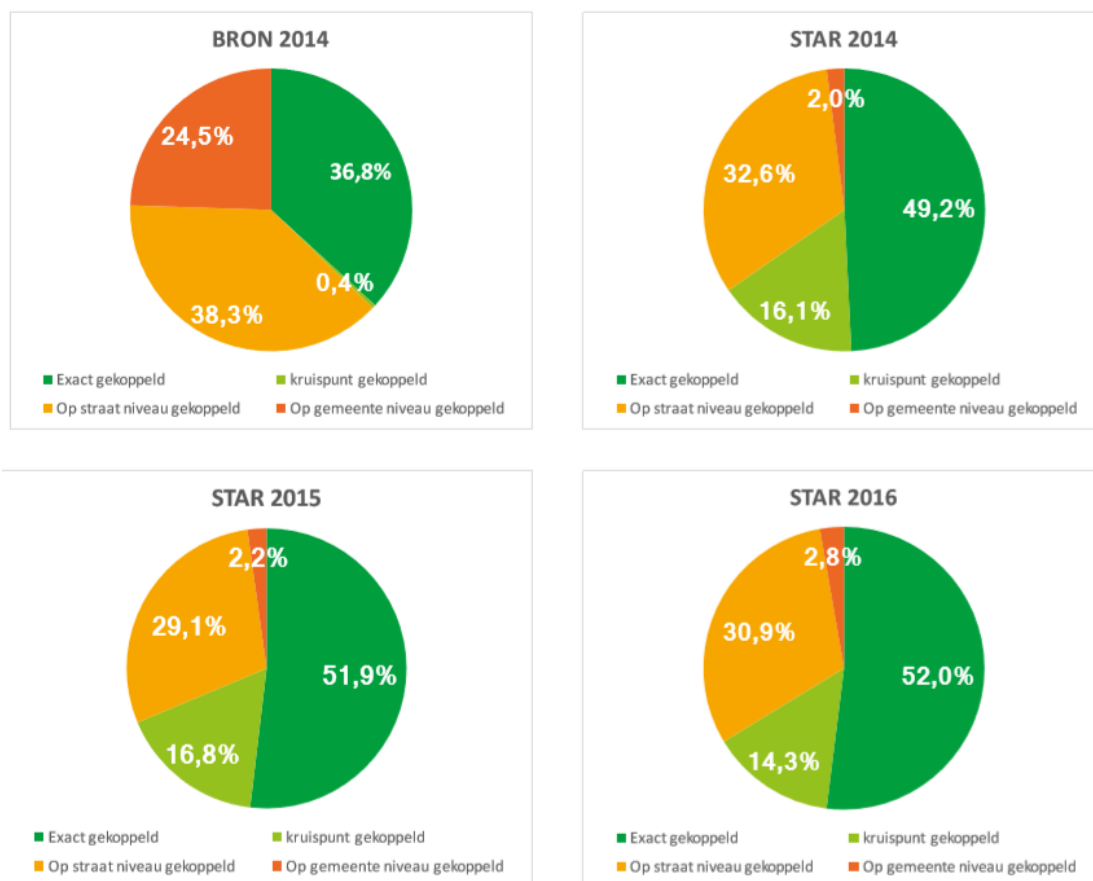
In tabel 1 is het percentage ongevallen per kaartlaag weergegeven. Het valt op dat het percentage exact gekoppelde ongevallen significant lager is dan de ongevallen gesommeerd naar straat en woonplaats. De laatste jaren is het percentage exact gekoppelde ongevallen daarentegen wel gestegen. Een mogelijke oorzaak hiervan is dat STAR feedback geeft aan agenten die de ongevallen registreren. Mocht de locatie niet of onvoldoende zijn geregistreerd, dan vraagt STAR de agent om de locatie alsnog aan/in te vullen. Als er alsnog geen locatie is ingevuld, dan zorgt STAR ervoor dat er in ieder geval een straatnaam wordt opgeslagen bij het ongeval. Dit is een verrijking ten opzichte van het BRON-bestand, waar deze informatie vaak ontbreekt. Sinds 2016 kunnen agenten ook gebruik maken van een kaartfunctionaliteit om de locatie van een ongeval vast te leggen. Het herhaaldelijk wijzen van agenten op locatietoekenning en het invoegen van de kaartfunctionaliteit heeft er toe geleid dat de percentages ongevallen met exacte locaties de laatste jaren erg zijn gestegen.

Tabel 1 – Percentage ongevallen per kaartlaag

Jaar	Gesommeerd naar straat en woonplaats	Exact gekoppelde ongevallen	VOC met exact gekoppelde ongevallen
2015	98%	46%	46%
2016	98%	55%	55%
2017	98%	71%	71%
2018	98%	80%	80%

In figuur 1 zijn cirkeldiagrammen weergegeven met de percentages ongevallen per locatie (STAR, 2017). Er is in de bovenste cirkeldiagrammen een duidelijk verschil zichtbaar tussen de BRON-data en de STAR-data; de data die wordt gebruikt bij VIA. Het valt op dat de locatietoekenning in de STAR-data gedetailleerder is dan in de BRON-data; het percentage exact gekoppelde ongevallen is hier respectievelijk 49,2% tegen 36,8%. Ook zijn meer kruispunten gekoppeld in de STAR-data en is er minder op gemeenteniveau gekoppeld. Uit de cirkeldiagrammen blijkt dat het aantal exact gekoppelde ongevallen in 2015 en 2016 licht is toegenomen. De percentages komen niet overeen met de percentages in tabel 1. De oorzaak hiervan is dat er na de publicatie van de data nog data bij is gevoegd, waardoor de cijfers zijn veranderd.





Figuur 1 - Vergelijking tussen BRON 2014 en STAR 2014, 2015 en 2016 voor wat betreft de verbeterde locatie toekenning die door VIA wordt gehanteerd. Overgenomen uit STAR - ongevallendatabase door STAR

### Verschil exact gekoppelde ongevallen en gesommeerde ongevallen

Om het verschil tussen de exact gekoppelde ongevallen en de gesommeerde ongevallen in beeld te brengen, worden de kaartlagen met onderstaande beschrijving toegelicht.

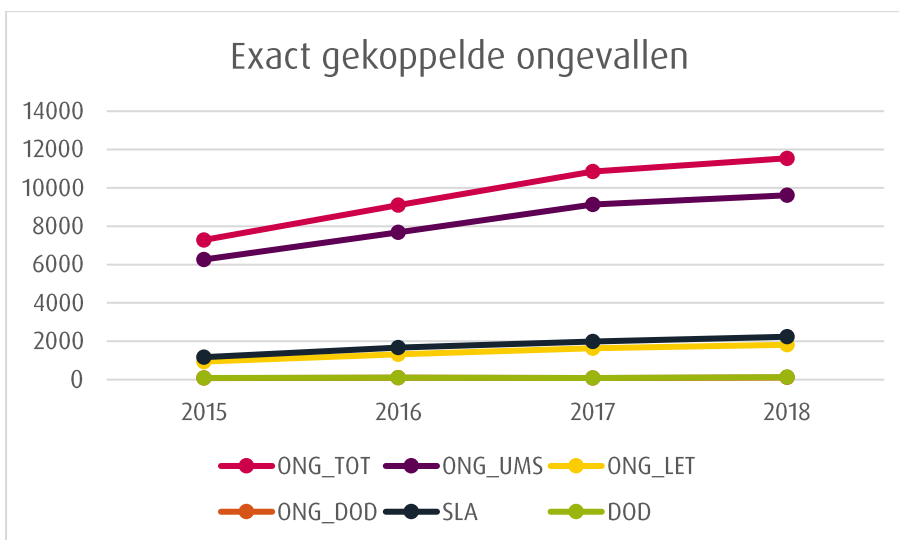
#### Exact gekoppelde ongevallen

In tabel 2 is het aantal exact gekoppelde ongevallen per jaar weergegeven. Zoals eerder in dit hoofdstuk is benoemd, is het aantal ongevallenregistraties de laatste jaren toegenomen. Wat verder opvalt, is dat het aantal dodelijke ongevallen in 2016 hoger was dan in 2017. Mogelijk is de data van 2016 herzien, waardoor de aantallen hoger zijn uitvallen. De stijging van de ongevallenregistraties tussen 2015-2018 is ook duidelijk in de grafiek te zien (figuur 2).

Tabel 2 - Exact gekoppelde ongevallen

Jaar	ONG_TOT	ONG_UMS	ONG_LET	ONG_DOD	SLA	DOD
2015	7284	6263	942	79	1171	88
2016	9100	7680	1324	96	1667	98

<b>2017</b>	10857	9134	1638	85	1984	89
<b>2018</b>	11544	9614	1817	113	2237	127

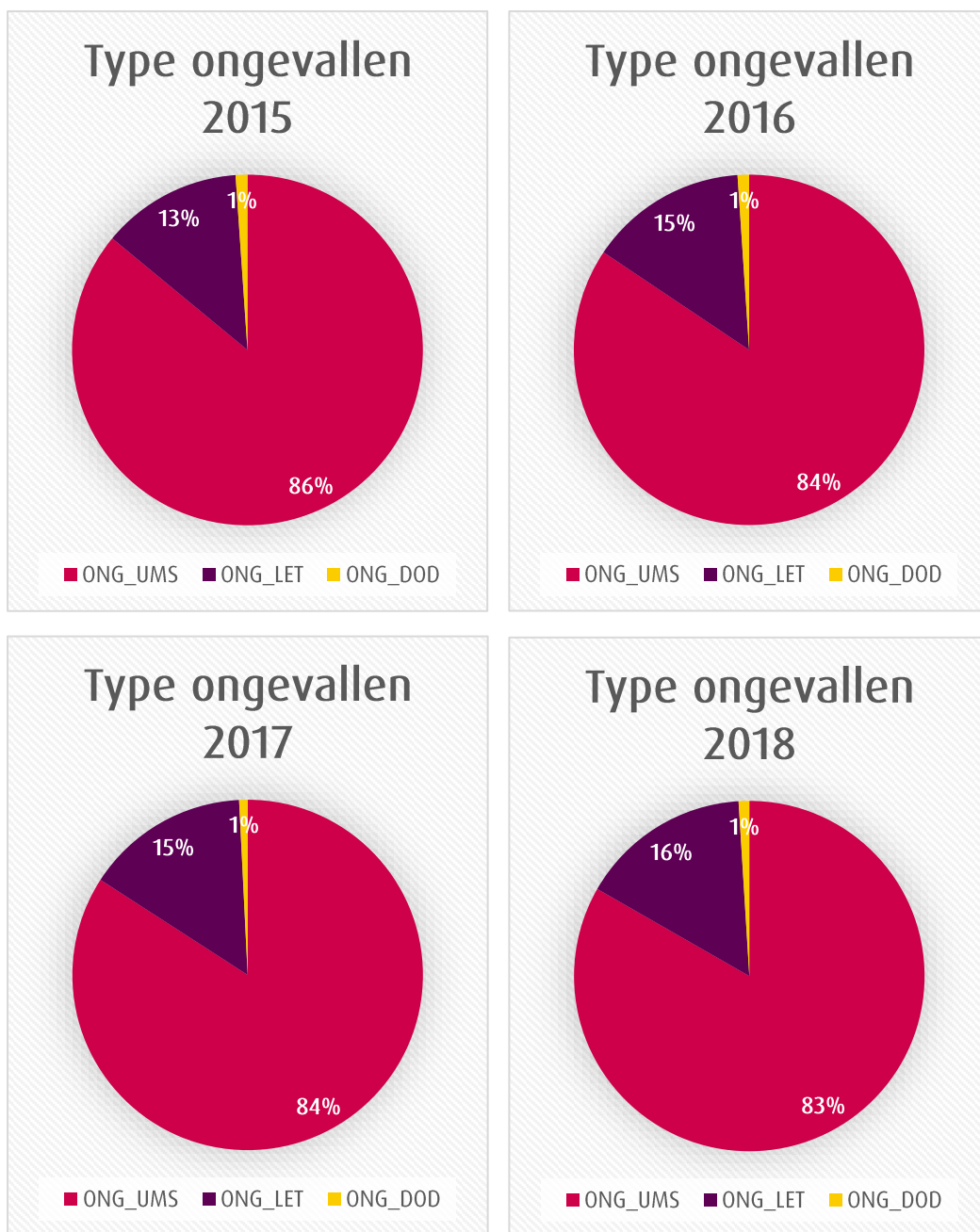


*Figuur 9.1 - Exact gekoppelde ongevallen*

In tabel 3 zijn, als aanvulling op tabel 2, de percentages exact gekoppelde ongevallen per ongevalsafloop opgenomen. De percentages laten zien dat van bijna alle dodelijke ongevallen in de STAR-database van 2016-2018 de locatie bekend is. In 2015 was het percentage met 86% iets lager. Het aantal locaties van letselongevallen is minder compleet, maar is wel completer geworden de laatste jaren. Ditzelfde geldt voor het aantal UMS-ongevallen, waarvan relatief het minste aantal locaties bij de ongevallen is geregistreerd. Het percentage exact gekoppelde locaties van het totaal aantal ongevallen is bijna gelijk aan de percentages van de UMS-ongevallenlocaties. Dit bevestigt dat het aandeel UMS-ongevallen in de database erg groot is. Deze constatering is met cirkeldiagrammen in figuur 3 grafisch weergegeven. Het aantal letselongevallen heeft ieder jaar een aandeel van ongeveer 15% ten opzichte van het totaal aantal ongevallen. Het aantal dodelijke ongevallen heeft een aandeel van ongeveer 1%.

*Tabel 3 - Percentages ongevallenlocaties per type ongeval*

Jaar	ONG_TOT	ONG_UMS	ONG_LET	ONG_DOD
<b>2015</b>	46%	46%	46%	86%
<b>2016</b>	55%	54%	60%	98%
<b>2017</b>	71%	70%	77%	100%
<b>2018</b>	80%	78%	86%	100%



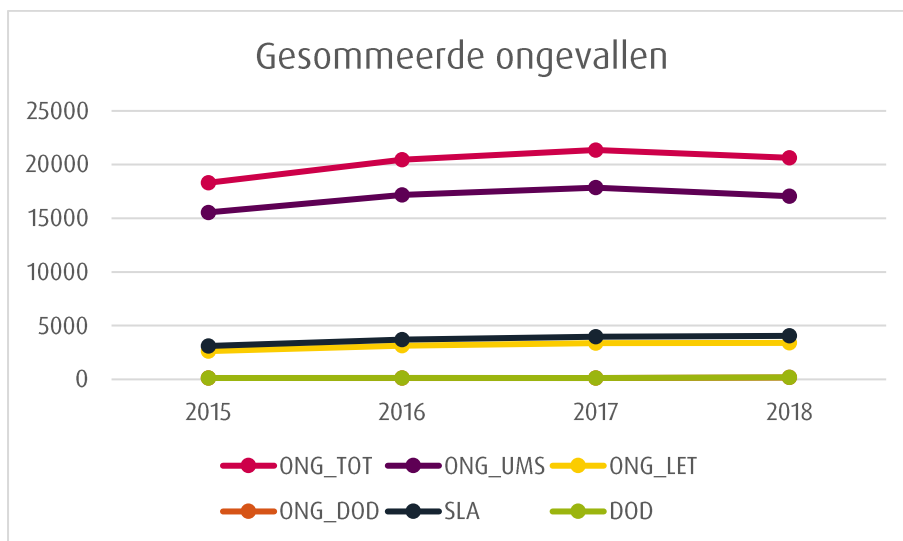
Figuur 9.2 - Type ongevallen per jaar

#### Gesommeerde ongevallen

In tabel 4 is het aantal gesommeerde ongevallen per jaar weergegeven. Hier is de laatste jaren ook een stijging te zien, net als bij de exact gekoppelde ongevallen. Daarentegen was het aantal ongevallen in 2017 hoger dan in 2018. Het aantal dodelijke ongevallen was in 2018 weer hoger dan in 2017. Tabel 4 is in figuur 4 grafisch weergegeven.

Tabel 4 - Gesommeerde ongevallen

Jaar	ONG_TOT	ONG_UMS	ONG_LET	ONG_DOD	SLA	DOD
2015	18310	15550	2632	128	3110	138
2016	20455	17191	3133	131	3713	133
2017	21361	17851	3379	131	3986	135
2018	20634	17065	3396	173	4050	189



Figuur 4 - Gesommeerde ongevallen

#### Exact gekoppelde ongevallen ten opzichte van gesommeerde ongevallen

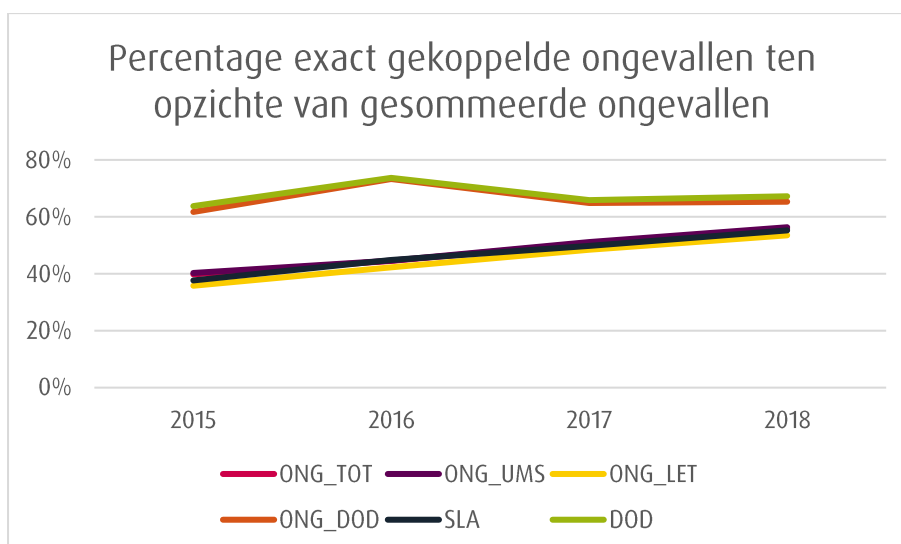
Om een inzicht te krijgen wat de verhouding tussen beide kaartlagen met ongevallen is, is in tabel 5 het percentage exact gekoppelde ongevallen ten opzichte van de gesommeerde ongevallen weergegeven. In de lijn der verwachting is ook hier een stijging van de percentages te zien tussen 2015-2018. Figuur 5 geeft de data van de tabel grafisch weer.

Een oorzaak van het relatief lage percentage exact gekoppelde ongevallen ten opzichte van gesommeerde ongevallen, is dat bij het registreren van veel ongevallen de locatie niet is genoteerd. Een andere oorzaak, zoals in §4.1 is vermeld, is dat bij de gesommeerde ongevallen dubbeltellingen zijn opgenomen. Hierdoor komt het aantal gesommeerde ongevallen hoger uit. Het verschil tussen de exact gekoppelde ongevallen en de gesommeerde ongevallen wordt hierdoor groter.

Tabel 5 - Percentage exact gekoppelde ongevallen ten opzichte van gesommeerde ongevallen

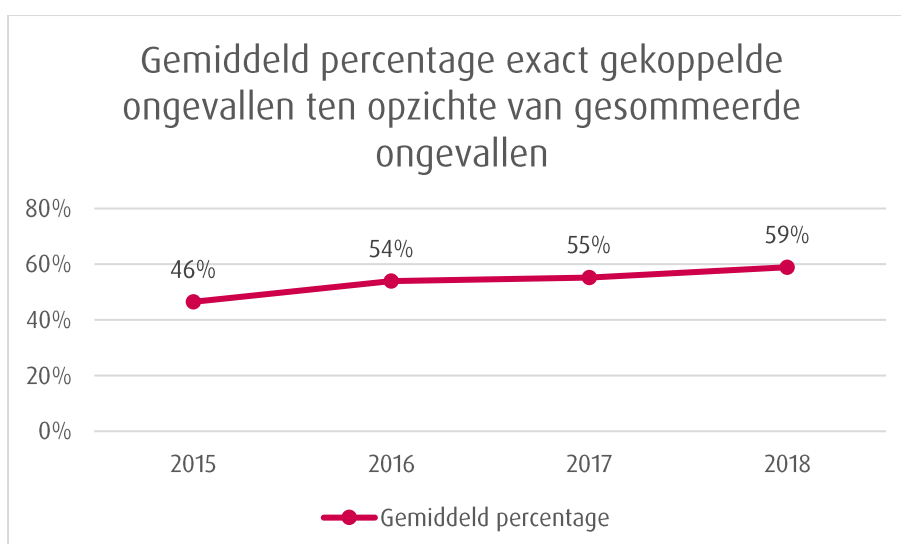
Jaar	ONG_TOT	ONG_UMS	ONG_LET	ONG_DOD	SLA	DOD
2015	40%	40%	36%	62%	38%	64%
2016	44%	45%	42%	73%	45%	74%
2017	51%	51%	48%	65%	50%	66%

2018	56%	56%	54%	65%	55%	67%
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----



*Figuur 5 - Percentage exact gekoppelde ongevallen ten opzichte van de gesommeerde ongevallen*

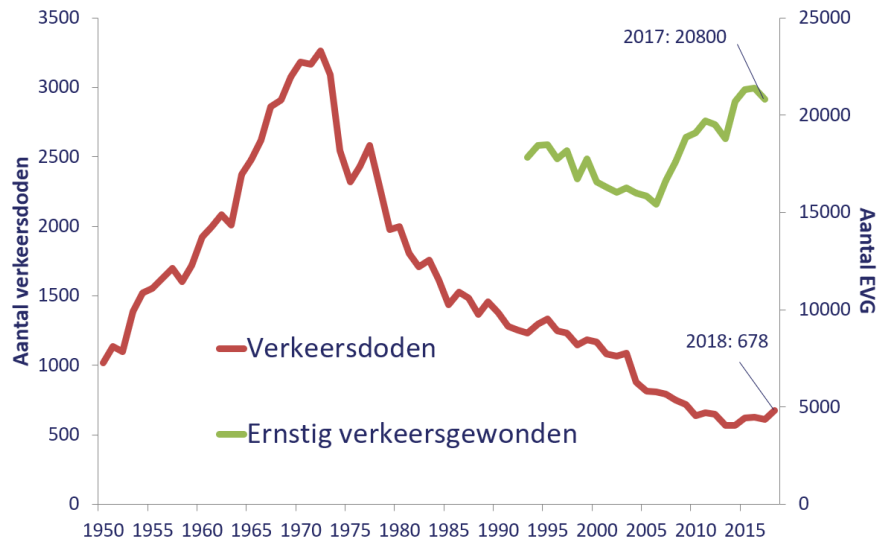
De stijging van het percentage exact gekoppelde ongevallen ten opzichte van de gesommeerde ongevallen is ook in figuur 6 te zien. In deze grafiek is het gemiddelde percentage van alle soorten ongevallen van tabel 5 in opgenomen. In 2015 was het gemiddelde percentage relatief laag en deze steeg aanzienlijk in 2016. In 2017 is het gemiddelde nagenoeg hetzelfde en naar 2018 is er weer een stijging.



*Figuur 6 - Gemiddeld percentage exact gekoppelde ongevallen ten opzichte van gesommeerde ongevallen*

De aantallen exact gekoppelde ongevallen komen niet overeen met de jaarlijks door het Rijk gepubliceerde verkeersdoden en verkeersgewonden. In figuur 7 is een grafiek

weergegeven met het verloop van verkeersdoden en -gewonden door de jaren heen. Zo schommelt het aantal verkeersdoden jaarlijks tussen de 600 en 700. Het aantal verkeersgewonden is jaarlijks rond de 20.000. Omdat het exacte aantal gewonden niet bekend is, bedraagt dit een schatting (SWOV, 2019). De aantallen exact gekoppelde ongevallen in tabel 2 zijn aanzienlijk lager dan de werkelijke aantallen in figuur 7.



Figuur 7 - Werkelijke aantallen verkeersslachtoffers

## Bijlage 2 – Regressieresultaten op basis van de eerste database

### Stap 1

In de allereerste stap van de regressie zijn alle variabelen meegenomen die vooraf geacht werden invloed te hebben op het aantal ongevallen. Om de verklarende kracht van het model te bepalen wordt gebruik gemaakt van de R-kwadraattoets van Nagelkerke. Deze toets is vergelijkbaar met de R-kwadraattoets bij een lineaire regressie, maar bij een logistische regressie is de gebruikelijke R-kwadraattoets niet te hanteren. Dan is de toets van Nagelkerke een representatieve toets. Deze waarde is vooral geschikt om modellen onderling te vergelijken (IBM Knowledge Center, 2019). De waarde als uitkomst van de toets kan tussen 0 en 1 liggen en hoe dichterbij 1, hoe betrouwbaarder het voorspellende model. Bij de eerste stap van de regressie kwam de R-kwadraattoets op 0,180 uit. Deze waarde ligt dichterbij 0 dan bij 1, maar desondanks kan het model als betrouwbaar worden beschouwd.

In tabel 7 zijn de eerste resultaten weergegeven van de regressieanalyse. Daarbij gelden de volgende definities uit tabel 6.

Tabel 6 - Definities regressieparameters

Parameter	Definitie
<b>B</b>	De Bèta-coëfficiënt van de betreffende variabele. De waarde geeft de mate van invloed weer die de variabele op een ongeval heeft. De waarden voor B zijn relatief vergelijkbaar met de andere variabelen.
<b>S.E.</b>	De mate waarin de B-waarde kan afwijken; dit is vergelijkbaar met de standaarddeviatie van een gemiddelde.
<b>Wald</b>	Geeft de werkelijke waarden van variabelen die kunnen worden gebruikt in een Waldtoets. Deze toets kan het onderlinge verband tussen data toetsen.
<b>Df</b>	Het aantal vrijheidsgraden; het aantal onafhankelijke waarnemingen waarop een steekproef is gebaseerd.
<b>Sig.</b>	De significantie van de variabele. Als deze waarde kleiner is dan 0,050, dan wordt de variabele significant bevonden.
<b>Exp(B)</b>	Exp(B) staat voor de regressiecoëfficiënten die te gebruiken zijn in een machtsvergelijking.

Tabel 7 - Uitkomsten regressievariabelen stap 1

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
capaciteit	0,000	0,000	23,488	1	0,000	1,000
percentage vrachtverkeer	1,005	0,151	44,394	1	0,000	2,733
aantal rijstroken	-0,619	0,307	4,067	1	0,044	0,539
snelheid_2	0,855	0,048	319,360	1	0,000	2,350
snelheid_3	0,233	0,051	20,945	1	0,000	1,262
snelheid_4	0,368	0,067	30,133	1	0,000	1,446
snelheid_5	0,743	0,140	28,328	1	0,000	2,101
invoegstrook	-0,618	0,135	21,058	1	0,000	0,539
vangrail	0,008	0,117	0,005	1	0,944	1,008
wegbreedte per rijstrook	0,102	0,011	94,055	1	0,000	1,108
constante	-1,973	0,088	503,540	1	0,000	0,139

Met de B-waarde en de significantie (sig.) kan al een goed beeld worden verkregen van de effecten van een variabele. Capaciteit geeft als B-waarde 0.0003. In de tabel is deze waarde afgerond tot 0.000. Capaciteit lijkt hierbij een erg kleine invloed op het aantal ongevallen te hebben, maar omdat de capaciteitswaarde vaak een duizendtal is, is de B-waarde erg klein. Het percentage vrachtverkeer heeft een sterke invloed op het aantal ongevallen met een B-waarde van 1,005. In vergelijking met de B-waarde voor capaciteit is de B-waarde voor percentage vrachtverkeer erg hoog. Dat komt omdat het percentage wordt uitgedrukt als een fractie tussen 0 en 1, terwijl de capaciteit in duizendtallen wordt uitgedrukt. Aantal rijstroken heeft een negatieve invloed op het aantal ongevallen. Dit betekent dat hoe meer rijstroken er zijn, hoe kleiner de kans is op een ongeval. Snelheid 2-5 geeft de B-waarde weer ten opzichte van snelheid 1. Snelheid 1 is niet meegenomen in de tabel omdat deze als referentiewaarde (0) fungeert voor de andere snelheidscategorieën. Snelheid 2 heeft met 0,855 dus meer invloed op het aantal ongevallen dan snelheid 1 (0). Snelheid 3 heeft met 0,233 minder invloed op het aantal ongevallen dan snelheid 2, maar meer dan snelheid 1. Snelheid 4 heeft met 0,368 meer invloed dan snelheid 1 en 3, maar minder dan snelheid 2. Snelheid 5 heeft met 0,743 heeft meer invloed dan snelheid 1, 3 en 4, maar minder dan snelheid 2. De aanwezigheid van een invoegstrook heeft met een negatieve waarde (-0,618) een positieve invloed op het aantal ongevallen. Dit betekent dat er bij een invoegstrook minder kans is op een ongeval. Dit is op het eerste gezicht opmerkelijk, omdat bij een invoegstrook extra rijtaken benodigd zijn en extra verkeersbewegingen plaatsvinden; de verwachting zou daarom zijn dat een invoegstrook een negatieve invloed heeft op ongevallen. Een oorzaak voor het positieve effect is dat het aantal links met invoegstroken een te kleine fractie is van het totaal aantal links, waardoor het effect minder goed inzichtelijk wordt. De aanwezigheid van een vangrail draagt met 0,008 marginaal bij aan het aantal ongevallen. De breedte van een rijstrook draagt met 0,102 bij aan het aantal ongevallen. Dit betekent dat hoe breder een rijstrook, hoe meer ongevallen er plaatsvinden. Dit lijkt op het eerste gezicht ook opmerkelijk, maar in §2.2.1 wordt beschreven dat wegbreedte



zowel een positieve als een negatieve bijdrage kan leveren op het aantal ongevallen. Constante staat voor het snijpunt met de Y-as. Dit bedraagt hier een negatieve waarde met -1,973.

Bijna alle variabelen zijn significant bevonden (sig.<0,05), maar de aanwezigheid van een vangrail is niet als significant bevonden.

Om te controleren of de variabelen onderling correleren, is er een correlatiematrix opgesteld (tabel 8). Als de correlatiewaarde hoger is dan 0,7, dan is er sprake van een sterke onderlinge correlatie tussen de variabelen (Verplancke, 2019). Het aantal rijstroken correleert hier sterk met capaciteit (-1,0). Dit betekent dat bij de tweede stap van de regressie een van de beide variabelen weg moet worden gelaten.

Tabel 8 - Correlatiematrix stap 1

	constante	capaciteit	percentage vrachtverkeer	aantal rijstroken	snelheid_2	snelheid_3	snelheid_4	snelheid_5	invoegstrook	vangrail	wegbreedte per rijstrook
constante	1,0	0,6	-0,1	-0,7	-0,2	-0,4	-0,2	-0,5	-0,1	0,0	-0,5
capaciteit	0,6	1,0	0,0	-1,0	-0,4	-0,2	-0,5	-0,9	-0,3	0,0	0,0
percentage vrachtverkeer	-0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0
aantal rijstroken	-0,7	-1,0	0,0	1,0	0,4	0,2	0,4	0,8	0,3	0,0	0,1
snelheid_2	-0,2	-0,4	0,0	0,4	1,0	0,4	0,6	0,5	0,2	0,0	-0,3
snelheid_3	-0,4	-0,2	-0,1	0,2	0,4	1,0	0,3	0,3	0,1	0,0	0,1
snelheid_4	-0,2	-0,5	-0,1	0,4	0,6	0,3	1,0	0,6	0,2	-0,1	-0,2
snelheid_5	-0,5	-0,9	-0,1	0,8	0,5	0,3	0,6	1,0	0,2	0,0	0,0
invoegstrook	-0,1	-0,3	0,0	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	1,0	0,0	0,0
vangrail	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	1,0	-0,1
wegbreedte per rijstrook	-0,5	0,0	0,0	0,1	-0,3	0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,1	1,0

## Stap 2

In tabel 9 zijn de resultaten van de regressievariabelen van de tweede stap weergegeven. De getallen komen sterk overeen met de eerste stap. Het enige verschil is dat het aantal rijstroken, vanwege de correlatie met capaciteit, niet meer is meegenomen. Bij dit model kwam de Nagelkerke R-kwadraattoets wederom uit op 0,180.

Tabel 9 - Uitkomsten regressievariabelen stap 2

	B	S.E.	Wald	Df	Sig.	Exp(B)
capaciteit	0,000	0,000	334,383	1	0,000	1,000
percentage vrachtverkeer	1,012	0,151	44,999	1	0,000	2,750

snelheid_2	0,892	0,044	411,200	1	0,000	2,440
snelheid_3	0,257	0,049	27,170	1	0,000	1,293
snelheid_4	0,425	0,061	49,041	1	0,000	1,530
snelheid_5	0,970	0,082	138,945	1	0,000	2,637
invoegstrook	-0,543	0,129	17,825	1	0,000	0,581
vangrail	0,016	0,117	0,019	1	0,889	1,016
wegbreedte per rijstrook	0,104	0,011	96,625	1	0,000	1,109
Constate	-2,102	0,061	1168,804	1	0,000	0,122

Uit tabel 10 blijkt dat de meegenomen variabelen onderling niet significant correleren, alle waarden zijn kleiner dan 0,7.

Tabel 9 - Correlatiematrix stap 2

	Constate	capaciteit	percentage vrachtverkeer	snelheid_2	snelheid_3	snelheid_4	snelheid_5	Invoegstrook	vangrail	wegbreedte per rijstrook
Constate	1,0	-0,7	-0,2	0,1	-0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	-0,6
capaciteit	-0,7	1,0	0,0	-0,3	0,0	-0,4	-0,6	-0,4	0,0	0,1
percentage vrachtverkeer	-0,2	0,0	1,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0
snelheid_2	0,1	-0,3	-0,1	1,0	0,3	0,5	0,4	0,1	0,0	-0,4
snelheid_3	-0,3	0,0	-0,1	0,3	1,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1
snelheid_4	0,2	-0,4	-0,1	0,5	0,2	1,0	0,4	0,1	-0,1	-0,3
snelheid_5	0,3	-0,6	-0,1	0,4	0,2	0,4	1,0	-0,1	0,0	-0,1
invoegstrook	0,2	-0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	-0,1	1,0	0,0	0,0
vangrail	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	1,0	-0,1
wegbreedte per rijstrook	-0,6	0,1	0,0	-0,4	0,1	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	1,0

### Stap 3

Bij de derde stap van de regressie is de variabele snelheid ingeruild voor wegtype. Uit tabel 4.1 en 4.2 werd al duidelijk dat deze twee variabelen vergelijkbaar zijn. Bij deze stap kwam de R-kwadraattoets van Nagelkerke uit op 0,177. Met deze waarde kan, net als bij de vorige stappen, het model als voldoende verklarend worden beschouwd.

In tabel 11 zijn wederom ongeveer dezelfde uitkomsten zichtbaar als bij de vorige stappen in de regressie. Dit toont ook aan dat de verwachting klopt dat de variabelen wegtype en snelheid vergelijkbaar zijn.

Tabel 11 - Uitkomsten regressievariabelen stap 3

	B	S.E.	Wald	Df	Sig.	Exp(B)
capaciteit	0,000	0,000	366,709	1	0,000	1,000

percentage vrachtverkeer	1,057	0,150	49,299	1	0,000	2,876
wegtype_2	0,879	0,044	400,270	1	0,000	2,410
wegtype_3	0,255	0,049	26,855	1	0,000	1,290
wegtype_4	0,477	0,062	59,298	1	0,000	1,612
wegtype_5	0,739	0,080	85,152	1	0,000	2,093
invoegstrook	-0,455	0,128	12,704	1	0,000	0,635
vanrail	-0,010	0,117	0,008	1	0,929	0,990
wegbreedte per rijstrook	0,100	0,011	90,774	1	0,000	1,105
Constate	-2,140	0,062	1189,221	1	0,000	0,118

Uit de correlatiematrix van tabel 12 blijkt dat er wederom geen variabelen sterk onderling samenhangen. Daarentegen heeft capaciteit toch een bepaalde mate van samenhang, vooral met wegtype 5 (-0,6). In de vierde stap van de regressie is capaciteit niet meegenomen om de effecten zonder deze variabelen te constateren.

Tabel 12 - Correlatiematrix stap 3

	Constate	capaciteit	percentage vrachtverkeer	wegtype_2	wegtype_3	wegtype_4	wegtype_5	invoegstrook	vanrail	wegbreedte per rijstrook
Constate	1,0	-0,7	-0,2	0,1	-0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	-0,6
capaciteit	-0,7	1,0	0,0	-0,3	0,0	-0,4	-0,6	-0,4	0,0	0,1
percentage vrachtverkeer	-0,2	0,0	1,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0
wegtype_2	0,1	-0,3	-0,1	1,0	0,3	0,5	0,4	0,1	0,0	-0,4
wegtype_3	-0,3	0,0	-0,1	0,3	1,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1
wegtype_4	0,2	-0,4	-0,1	0,5	0,2	1,0	0,4	0,1	-0,1	-0,3
wegtype_5	0,3	-0,6	-0,1	0,4	0,2	0,4	1,0	-0,1	0,0	-0,1
invoegstrook	0,2	-0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	-0,1	1,0	0,0	0,0
vanrail	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	1,0	-0,1
wegbreedte per rijstrook	-0,6	0,1	0,0	-0,4	0,1	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	1,0

#### Stap 4

De uitkomsten van de regressievariabelen (tabel 13) zijn veranderd ten opzichte van de vorige stappen. De wegtypen hebben met een hogere waarde een sterkere invloed op het aantal ongevallen dan bij de vorige regressiestappen. De aanwezigheid van een invoegstrook heeft in plaats van een positieve invloed op het aantal ongevallen, nu een negatieve invloed op het aantal ongevallen. Dat wil zeggen dat als er een invoegstrook aanwezig is, dat de kans groter is op een ongeval dan dat er geen invoegstrook aanwezig is. Bij het uitsluiten van capaciteit wordt de Nagelkerke R Square iets kleiner; de R-kwadraattoets is met dit model lager (0,151) dan de vorige stappen, maar desondanks is deze waarde voldoende voor het model.

Tabel 13 - Uitkomsten regressievariabelen stap 4

	B	S.E.	Wald	Df	Sig.	Exp(B)
percentage vrachtverkeer	1,123	0,151	55,581	1	0,000	3,073
wegtype_2	1,126	0,042	714,923	1	0,000	3,084
wegtype_3	0,272	0,049	30,775	1	0,000	1,313
wegtype_4	0,922	0,057	262,448	1	0,000	2,514
wegtype_5	1,789	0,061	859,540	1	0,000	5,983
invoegstrook	0,427	0,115	13,667	1	0,000	1,532
vangrail	-0,039	0,116	0,113	1	0,737	0,962
wegbreedte per rijstrook	0,071	0,010	47,220	1	0,000	1,074
Constante	-1,295	0,044	862,634	1	0,000	0,274

De correlatiematrix (tabel 14) toont wederom geen onderlinge samenhang tussen variabelen.

Tabel 14 - Correlatiematrix stap 4

	Constante	percentage vrachtverkeer	wegtype_2	wegtype_3	wegtype_4	wegtype_5	invoegstrook	vangrail	wegbreedte per rijstrook
Constante	1,0	-0,3	-0,1	-0,4	-0,1	-0,2	0,0	0,1	-0,7
percentage vrachtverkeer	-0,3	1,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0
wegtype_2	-0,1	-0,1	1,0	0,3	0,4	0,3	0,0	0,0	-0,4
wegtype_3	-0,4	-0,1	0,3	1,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,1
wegtype_4	-0,1	-0,2	0,4	0,3	1,0	0,3	0,0	-0,1	-0,3
wegtype_5	-0,2	-0,2	0,3	0,3	0,3	1,0	-0,4	0,0	0,0
invoegstrook	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	1,0	0,0	0,1
vangrail	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	1,0	-0,1
wegbreedte per rijstrook	-0,7	0,0	-0,4	0,1	-0,3	0,0	0,1	-0,1	1,0

## Tweede fase: MNL-regressie

Na de logistische regressie is een multinomiale logistische regressie uitgevoerd. Deze regressievorm wordt gebruikt om het effect van variabelen op een nominale uitkomstmaat te analyseren. De variabelen betreffen hier de weg-, verkeers- en omgevingskenmerken. De variabelen worden wederom in bètawaarden uitgedrukt. De uitkomstmaat bestaat uit meer dan twee categorieën. Deze categorieën zijn in dit onderzoek onderverdeeld in:

- 1 - Geen ongeval;
- 2 - Een ongeval met uitsluitend materiele schade;
- 3 - Een letselongeval;
- 4 - Een dodelijk ongeval.

Hierbij geldt geen ongeval (1) als referentiewaarde voor de andere type ongevallen (2, 3 & 4).

### Stap 1

In tabel 15 zijn de parameters per type ongeval weergegeven. De R-kwadraattoets van Nagelkerke bedraagt hier 0,175; wederom een waarde waarmee het model als voldoende verklarend kan worden beschouwd. De interceptparameter is bij UMS-ongevallen het hoogst, dan bij letselongevallen en dan bij dodelijke ongevallen. De interceptwaarde wordt ook wel de constante genoemd; het snijpunt met de Y-as. Dat betekent dat er meer UMS-gevallen plaatsvinden dan letselongevallen en dodelijk ongevallen, wat overeenkomt met de werkelijkheid.

De capaciteitswaarde bedraagt net als in de vorige regressiestappen 0. Het percentage vrachtverkeer is het meest van invloed op dodelijke ongevallen, dan bij UMS-ongevallen en dan bij letselongevallen. Een logische verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat als er een ongeval plaatsvindt waarbij een vrachtwagen is betrokken, dat de kans groot is dat het ongeval meteen fataal is. Bij UMS-ongevallen is snelheidscategorie 5 het meeste van invloed op ongevallen; snelheden bij auto(snel)wegen. Snelheidscategorie 3 (0,195) heeft na snelheidscategorie 1 (referentiewaarde 0) de minste invloed op ongevallen. Dit zijn de erftoegangswegen buiten de bebouwde kom met de maximumsnelheid van 60 kilometer per uur. Bij letselongevallen is snelheidscategorie 2 het meest van invloed; gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom met de maximumsnelheid van 50 kilometer per uur. Bij dodelijke ongevallen is snelheidscategorie 4 het meest van invloed. Dit zijn de gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom (80 kilometer per uur) en gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom (70 kilometer per uur). Verder valt het op dat snelheidscategorie 5 significant minder invloed heeft op letselongevallen dan op UMS-ongevallen en dodelijke ongevallen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat als er een ongeval met hoge snelheid plaatsvindt, dat het een klein incident betreft óf dat het meteen een fataal ongeval is.

Invoegstroken hebben bij alle drie typen ongevallen een positief effect op het aantal ongevallen. Een vangrail heeft bij UMS-ongevallen en dodelijke ongevallen een licht negatief effect op het aantal ongevallen en bij letselongevallen een positief effect. De wegbreedte per rijstrook heeft een negatieve invloed op alle typen ongevallen. Dat betekent dat hoe breder de weg is, hoe meer kans op een ongeval.

Tabel 15 - Parameters MNL stap 1

Type ongeval	Variabele	B
2.00 – UMS-ongeval	Intercept	-2,483
	Capaciteit	0,000
	percentage vrachtverkeer	1,127
	snellheid_2	0,882
	snellheid_3	0,195
	snellheid_4	0,363
	snellheid_5	1,048
	invoegstrook	-0,598
	vangrail	0,074
	wegbreedte per rijstrook	0,120
	3.00 – Letselongeval	Intercept
capaciteit		0,000
percentage vrachtverkeer		0,541
snellheid_2		0,930
snellheid_3		0,373
snellheid_4		0,577
snellheid_5		0,482
invoegstrook		-0,125
vangrail		-0,296
wegbreedte per rijstrook		0,037
4.00 – Dodelijk ongeval		Intercept
	capaciteit	0,000
	percentage vrachtverkeer	1,356
	snellheid_2	1,428
	snellheid_3	1,661
	snellheid_4	2,077
	snellheid_5	1,143
	invoegstrook	-2,149
	vangrail	0,092
	wegbreedte per rijstrook	0,078

## Stap 2

Bij de tweede stap van de regressie zijn de snelheidsvariabelen vervangen door wegtypen (tabel 16). Deze stap levert een vergelijkbare R-kwadraattoets op van 0,173. Omdat snelheid en wegtype sterk correleren, is er weinig verschil tussen de bètawaarden van de variabelen in tabel 15 en 16.

Tabel 16 - Parameters MNL stap 2

Type ongeval	Variabele	B
2.00 – UMS-ongeval	Intercept	-2,514
	capaciteit	0,000
	percentage vrachtverkeer	1,178
	wegtype_2	0,870
	wegtype_3	0,191
	wegtype_4	0,407
	wegtype_5	0,824
	invoegstrook	-0,510
	vanrail	0,051
	wegbreedte per rijstrook	0,117
	3.00 – Letselongeval	Intercept
capaciteit		0,000
percentage vrachtverkeer		0,564
wegtype_2		0,920
wegtype_3		0,376
wegtype_4		0,651
wegtype_5		0,209
invoegstrook		-0,013
vanrail		-0,331
wegbreedte per rijstrook		0,035
4.00 – Dodelijk ongeval		Intercept
	capaciteit	0,000
	percentage vrachtverkeer	1,342
	wegtype_2	1,389
	wegtype_3	1,644
	wegtype_4	2,143
	wegtype_5	0,843
	invoegstrook	-2,048
	vanrail	0,032
	wegbreedte per rijstrook	0,077

### Stap 3

Bij de derde stap is capaciteit niet meegenomen in de MNL-regressie, omdat verwacht wordt dat capaciteit enigszins met andere variabelen correleert. De uitkomsten van de derde stap zijn in tabel 17 weergegeven. Door het niet meenemen van capaciteit zijn de variabelen veranderd ten opzichte van de tweede stap. De interceptwaarde is bij alle drie typen ongevallen lager uitgevallen. Verder zijn de parameters van wegtype 5 en invoegstrook sterk afgenomen. Dit betekent dat de aanwezigheid van deze twee

variabelen minder invloed heeft op het plaatsvinden van een ongeval in vergelijking met de vorige uitkomsten van de regressie. De Nagelkerke toets komt bij deze regressiestap uit op 0,148. Deze MNL-regressie kan de invloed van variabelen dus minder goed verklaren dan bij de vorige MNL-regressiestappen.

Tabel 17 - Parameters MNL stap 3

Type ongeval	Variabele	B
2.00 – UMS-ongeval	Intercept	-1,605
	percentage vrachtverkeer	1,248
	wegtype_2	1,142
	wegtype_3	0,208
	wegtype_4	0,895
	wegtype_5	1,947
	invoegstrook	0,426
	vanrail	0,019
	wegbreedte per rijstrook	0,083
3.00 – Letselongeval	Intercept	-2,595
	percentage vrachtverkeer	0,610
	wegtype_2	1,051
	wegtype_3	0,390
	wegtype_4	0,896
	wegtype_5	0,805
	invoegstrook	0,557
	vanrail	-0,349
	wegbreedte per rijstrook	0,023
4.00 – Dodelijk ongeval	Intercept	-6,346
	percentage vrachtverkeer	1,369
	wegtype_2	1,706
	wegtype_3	1,668
	wegtype_4	2,714
	wegtype_5	2,182
	invoegstrook	-0,993
	vanrail	-0,003
	wegbreedte per rijstrook	0,043



## Bijlage 3 – Uitsnede van de database

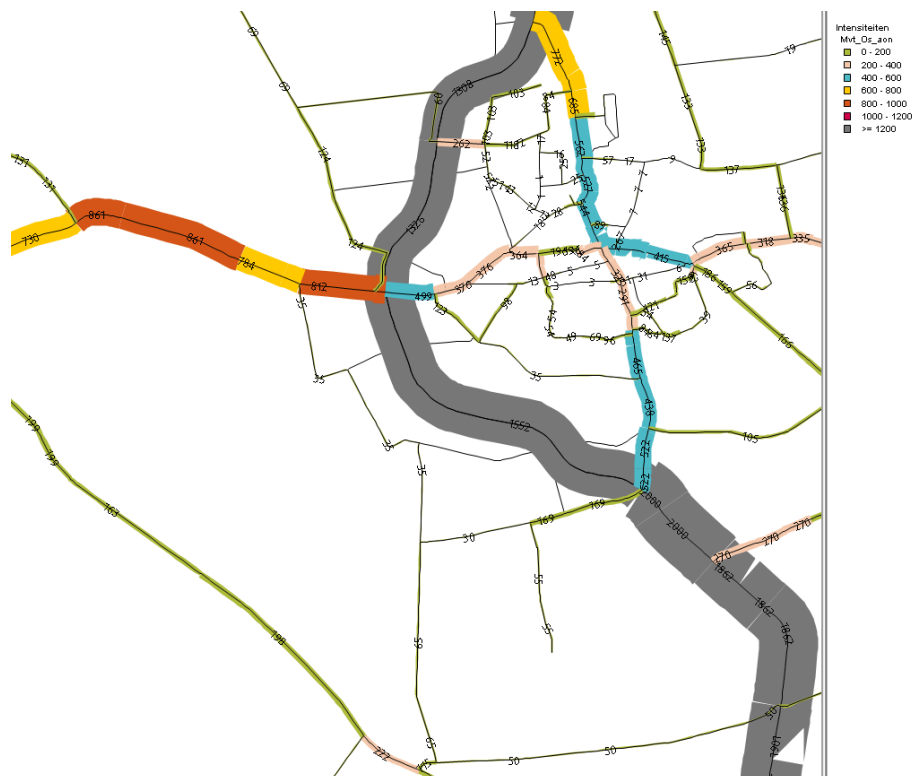
LINKNR	NAME	LENGTH	Wegtype _1	Wegtype _2	Wegtype _3	Wegtype _4	Wegtype _5	CAPACITY	LOAD	I/C	LOAD_2	Perc. Vrachtverkeer
1	VUGHT	0,021222	0	0	0	0	1	1900	50,45226104	0,027414641	0,817778423	0,015950415
2		0,006769	0	0	0	0	1	2100	966,0257109	0,603784316	150,9606765	0,13514997
3	Helvoirtseweg_N65	0,00518	0	0	0	0	1	1900	1590,939993	1,054005903	205,8356118	0,11455833
5	ROSMALEN 48	0,003966	0	0	0	0	1	2100	625,6269671	0,35713666	62,18000953	0,090403284
5	ROSMALEN 48	0,003966	0	0	0	0	1	2100	625,6269671	0,35713666	62,18000953	0,090403284
6	Statendamweg	0,012077	0	0	0	1	0	1800	404,603475	0,300436293	68,09092654	0,144048515
7	Bovensteweg	0,459654	0	0	0	1	0	1700	1295,846543	1,068766116	260,5279269	0,167394115
8	Bovensteweg_N629	0,418479	0	0	0	1	0	1800	1304,902009	1,011451996	257,8557917	0,165000483
9	Wolfsputter Baan_N279	0,501544	0	0	0	1	0	1800	764,5338291	0,648093855	201,0175552	0,208189392
10	Middenpeelweg_N277	0,01537	0	0	0	1	0	1800	292,397342	0,233340565	63,80783713	0,179132255
11	Provincialeweg_N267	0,746842	0	0	0	1	0	1800	578,195297	0,460598349	125,4408656	0,178275183
12	BEST 7	0,002892	0	0	0	0	1	2100	790,8264724	0,48496454	113,7995313	0,125797325
13	PROVINCIALEWEG_N284	0,01321	0	0	0	1	0	1800	1283,283574	0,907876596	175,4471494	0,120273843
14	Antwerpseweg_N262	0,062529	0	0	0	1	0	1800	357,0572255	0,26639963	61,23105383	0,146384818
15	Bosschebaan_N617	0,169857	0	0	0	1	0	1800	675,2801634	0,465982672	81,74432311	0,107981082
16	Provincialeweg_N267	0,085356	0	0	0	1	0	1800	700,1425524	0,531199825	128,0085666	0,154571507
17	Middenpeelweg_N277	0,015444	0	0	0	1	0	1800	292,397342	0,233340565	63,80783713	0,179132255
18	PROVINCIALEWEG_N284	0,006579	0	0	0	1	0	1800	1283,283574	0,907876596	175,4471494	0,120273843
19	PROVINCIALEWEG_N284	0,577249	0	0	0	1	0	1800	1277,344842	0,902770242	173,820797	0,119780122
20	Antwerpseweg_N262	0,534703	0	0	0	0	1	1900	200,8202857	0,142531458	34,99474201	0,148399118

LANES	Snelheid_ 1	Snelheid_ 2	Snelheid_ 3	Snelheid_ 4	Snelheid_ 5	INVOEGST	ONG_TOT	ONG_UMS	ONG_LET	ONG_DOD	Wegbreed te_1	Wegbreed te_2	Wegbreed te_3
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0

## Bijlage 4 – Ochtendspitsintensiteiten varianten Boekel



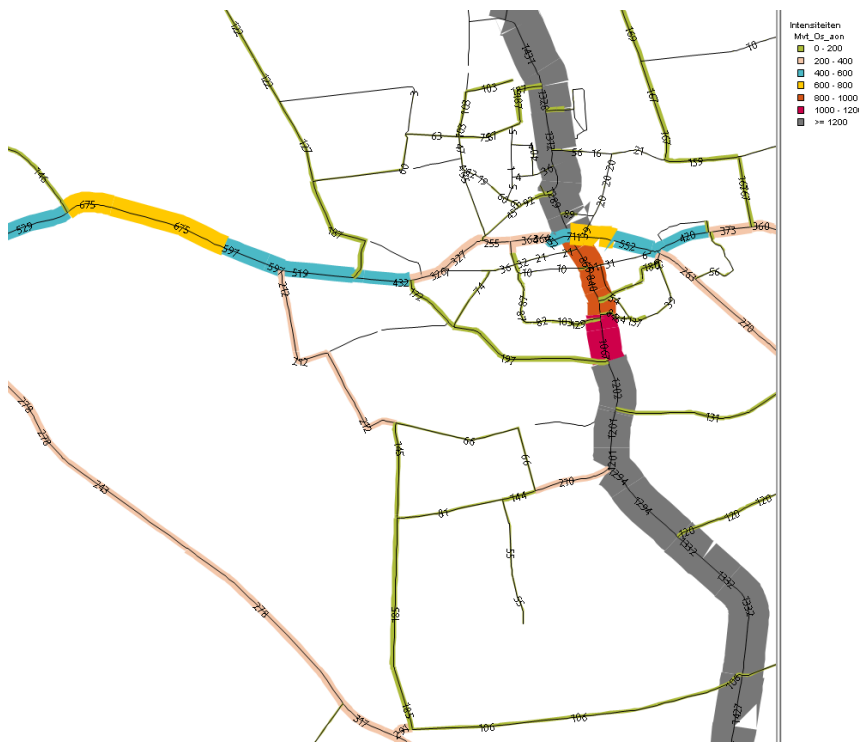
Figuur 8 - Ochtendspitsintensiteiten variant 1



Figuur 9 - Ochtendspitsintensiteiten variant 2



Figuur 10 - Ochtendspitsintensiteiten variant 3



Figuur 11 - Ochtendspitsintensiteiten variant 4

Vestiging Deventer  
Snipperlingsdijk 4  
7417 BJ Deventer  
T +31 (0570) 666 222  
F +31 (0570) 666 888  
Postbus 161  
7400 AD Deventer

[www.goudappel.nl](http://www.goudappel.nl)  
[goudappel@goudappel.nl](mailto:goudappel@goudappel.nl)