

2013•2014
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN
master in de mobiliteitswetenschappen

Masterproef

Verkeersveiligheid in de Kennedytunnel: Effectiviteit van de
snelheidverlaging van 100 km/u naar 70 km/u

Promotor :
dr. Stijn DANIELS

Niels Page

*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de
mobiliteitswetenschappen*

2013•2014
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE
WETENSCHAPPEN
master in de mobiliteitswetenschappen

Masterproef

Verkeersveiligheid in de Kennedytunnel: Effectiviteit
van de snelheidverlaging van 100 km/u naar 70 km/u

Promotor :
dr. Stijn DANIELS

Niels Page

*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de
mobiliteitswetenschappen*

Woord vooraf

Gedurende hun master mobiliteitswetenschappen aan de Universiteit Hasselt dienen de studenten een thesis te schrijven omtrent een bepaald verkeerskundig onderwerp. Deze thesis wordt gespreid over 2 masterjaren.

In het 1^e jaar dient men, gedurende één semester, een voorbereidende (literatuur)studie uit te voeren om zo een betere kennis omtrent het onderwerp te vergaren. In het 2^e jaar dient men de kennis die men heeft opgedaan, te gebruiken in de onderzoeken die men uitvoert en de analyses die hieruit voortvloeien. De kern van de thesis wordt dus in het 2^e jaar gemaakt. Voor dit 2^e deel krijgt men dan ook een volledig academiejaar de tijd.

Het onderwerp van deze masterproef is: "Verkeersveiligheid in de Kennedytunnel: Effectiviteit van de snelheidsverlaging van 100 km/u naar 70 km/u".

Vermits dat deze thesis een zeer praktijkgericht onderwerp heeft, was het niet eenvoudig om literatuur te vinden die specifiek gelinkt kan worden aan de situatie op de onderzoekslocatie. Vandaar dat ik vooral literatuur heb opgezocht over zaken die gerelateerd kunnen worden aan het onderwerp. Zo heb ik literatuur onderzocht over voor & na-studies, de relatie tussen volgafstanden en ongevallen, de relatie tussen snelheid en ongevallen, factoren die van invloed zijn op (subjectieve) verkeersveiligheid in tunnels, etc.

De analyses uitvoeren op zich verliep al bij al vlot. Ik diende enkel de database in Access een kleine hervorming te geven zodat er relevante cijfers uit gehaald konden worden aan de hand van queries. Hiervoor was ook een opfrissing van mijn Microsoft Access-kennis nodig. Het moeilijkste gedeelte van de analyses was het selecteren van de verschillende afstanden vóór en in de Kennedytunnel waarover analyses gemaakt zouden worden.

Tot slot zou ik dr. Stijn Daniëls en mw. Ellen De Pauw willen bedanken voor hun ondersteuning tijdens het maken van deze thesis. Mevrouw De Pauw heeft me veel nuttige tips en verbeteringen gegeven waardoor mijn thesis steeds op punt gesteld kon worden.

Samenvatting

De Kennedytunnel is reeds decennia één van de meeste besproken verkeersknooppunten in België. Men heeft door de jaren heen dan ook verschillende aanpassingen en maatregelen doorgevoerd om de doorstroming en veiligheid in en rond deze tunnel te verbeteren.

In oktober 2006 heeft men een verlaging van de snelheidslimiet doorgevoerd in de Kennedytunnel van 100 km/u naar 70 km/u, dit enkel van 6u 's ochtends tot 20u 's avonds. De effectiviteit van deze maatregel achterhalen is de doelstelling van dit onderzoek. Dit zal gebeuren door het aantal ongevallen van voor en na de maatregel aan elkaar te toetsen aan de hand van de Empirical Bayes methode.

In hoofdstuk 2 wordt de situatie in en rond de Kennedytunnel kort geschetst. De locatie van de tunnel, de kenmerken ervan en de werking van dynamische rijstrooksignalisatie wordt hier uitgelegd.

In hoofdstuk 3 wordt de doelstelling en de hoofdonderzoeksvraag van de studie weergegeven, alsook de onderzoeksvragen die als hulpmiddel moeten fungeren om de doelstelling te bereiken. De hoofdonderzoeksvraag van deze studie luidt als volgt: "Wat is het effect van de snelheidsverlaging van 100 km/u naar 70 km/u op het aantal ongevallen in de Kennedytunnel?"

In hoofdstuk 4 komt de literatuurstudie aan bod. Dit hoofdstuk zorgt voor een theoretische onderbouwing voor het verdere verloop van de studie. Er wordt literatuur omschreven omtrent tunnelongevallen in Noorwegen, (subjectieve) verkeersveiligheid in tunnels, de relatie tussen volgafstand en ongevallen, de relatie tussen snelheid en ongevallen.

In hoofdstuk 5 wordt de Empirical Bayes methode uitgelegd. Deze methode zal namelijk gebruikt worden om de effectiviteit van de snelheidsverlaging op de ongevallen te berekenen. Het is een methode om het zuivere effect van een maatregel op het aantal ongevallen te meten waarbij de invloeden van andere factoren mee in rekening worden gebracht.

Tot slot vormt hoofdstuk 6 de kern van het onderzoek. Hoofdstuk 6.1 is een inleidende paragraaf waarin wordt uitgelegd hoe de gewenste resultaten berekend zullen worden. Hoofdstuk 6.2 omvat algemene cijfers van de verkeersveiligheid in de Kennedytunnel. Hier worden de ongevallencijfers van de Kennedytunnel getoetst aan die van de gehele Antwerpse ring. Hoofdstuk 6.3 draait om de effectiviteitsanalyses van de snelheidsverlagende maatregel.

In hoofdstuk 7 worden de cijfers geanalyseerd en vergeleken tussen de onderzoeksgebieden (gebied in de tunnel, voor de tunnel en vanaf het begin van de rijstrooksignalisatie tot het begin van de tunnel). Uit de bespreking van de algemene ongevallencijfers van de Kennedytunnel en de volledige R1 kwam naar voor dat de Kennedytunnel, in verhouding, meer ongevallen had dan de rest van de Antwerpse ring. Door de jaren heen is het aantal letselongevallen wel afgenomen en is het aantal ongevallen met stoffelijke schade toegenomen. In 2011 gebeurden er “slechts” 4% meer ongevallen als in 2005. Maar dit is nog altijd een pak lager als de piek in 2007, toen er een stijging van 73% ten opzichte van 2005. Het aantal letselongevallen is in 2011 wel gehalveerd ten opzichte van 2005. Het aantal ongevallen is dus toegenomen, maar de ongevallen zijn minder ernstig. De voornaamste factor die leidt tot ongevallen in de Kennedytunnel is een te korte volgafstand. Dit leidt hoofdzakelijk tot kop-staart of zijdelingse ongevallen.

Wat de effectiviteitsanalyses betreft, kan gezegd worden dat zowel vóór de Kennedytunnel als in de Kennedytunnel het aantal ongevallen is toegenomen, ondanks de snelheidsverlaging van 100 naar 70 km/u. Het aantal letselongevallen is wel constant gebleven of licht gedaald. Het aantal kop-staart ongevallen en zijdelingse aanrijdingen zijn wel sterker gestegen vóór de Kennedytunnel dan in de tunnel. Maar de meeste effectiviteitsresultaten die bekomen werden zijn niet significant omwille van de lage aantallen

In hoofdstuk 8 worden beknopte conclusies gegeven van het onderzoek.

Inhoud

Woord vooraf.....	1
Samenvatting	3
Inhoud.....	5
Figurenlijst	7
Tabellenlijst.....	8
1. Inleiding.....	11
2. Voorstelling van de Kennedytunnel	13
2.1. Locatie	13
2.2. Kenmerken	15
2.3. Dynamische rijstrooksignalisatie	16
2.4. Problematiek	19
2.4.1. Analyse door VAB	19
2.4.2. Geloofwaardigheid van de dynamische verkeersborden	20
2.4.3. Analyse van de veiligheid in de Kennedytunnel door EuroTap.....	22
3. Doelstelling & onderzoeksvragen	23
3.1. Doelstelling	23
3.2. Hoofdonderzoeksvraag	24
3.3. Deelonderzoeksvragen.....	24
4. Literatuurstudie.....	25
4.1. Ongevalsanalyses van tunnelongevallen in Noorwegen	25
4.2. Invloedsfactoren op de (subjectieve) verkeersveiligheid in tunnels.....	29
4.2.1. Invloed van tunnelwand	29
4.2.2. Invloed van het licht	30
4.2.3. Invloed van de tunnellengte en lengteprofiel	31
4.2.4. Invloed van signalisatie	31
4.2.5. Invloed van wegmarkering.....	33
4.2.6. Invloed van pechstroken	33

4.3.	Invloed van volgafstanden en snelheid op ongevallen	34
4.3.1.	Relatie tussen volgtijden en ongevallen	34
4.3.2.	Relatie tussen snelheid en ongevallen	34
5.	Empirical Bayes methode.....	37
5.1.	Effectiviteit van een maatregel berekenen	38
5.1.2.	Correctie voor regressie naar het gemiddelde	39
5.2.	Betrouwbaarheidsinterval bepalen	40
6.	Verkeersveiligheidsanalyse	41
6.1.	Inleiding	41
6.2.	Algemene ongevalencijfers in de Kennedytunnel.....	42
6.3.	Effectiviteitsanalyses van de maatregel	49
6.3.1.	Ongevallen in de Kennedytunnel.....	51
6.3.2.	Ongevallen vanaf 2km voor het begin van de Kennedytunnel.....	66
6.3.3.	Ongevallen vanaf het begin van de dynamische rijstrooksignalisatie op de E17	78
7.	Interpretatie van de cijfers	83
7.1.	Algemene analyse van de ongevallen.....	83
7.2.	Bespreking van de effectiviteit van de maatregel.....	85
7.2.1.	In de Kennedytunnel.....	85
7.2.2.	Vanaf 2 km vóór de Kennedytunnel.....	86
7.2.3.	Vanaf begin signalisatie E17 tot Kennedytunnel	87
8.	Besluit	89
9.	Geciteerde werken.....	91

Figurenlijst

Figuur 1: Macrosituering Kennedytunnel (Google Inc., 2013)	13
Figuur 2: Situering Kennedytunnel op Antwerpse ring (Google Inc., 2013)	14
Figuur 4: Waardering van de snelheidsverlaging door de weggebruiker (VAB, 2013)	21
Figuur 5: Percentage weggebruikers die zich aan de dynamische snelheidslimiet houden (VAB, 2013)	21
Figuur 7: Verdeling van ongevallen over de verschillende zones (Amundsen & Ranes, 2000)	26
Figuur 8: Ongevallen naar ernst per zone (Amundsen & Ranes, 2000)	26
Figuur 9: Ernst per zone (Amundsen & Ranes, 2000)	27
Figuur 10: Accident-rate per zone. (Amundsen & Ranes, 2000)	27
Figuur 11: Accident-rates naar tunnellenlengte (Amundsen & Ranes, 2000)	28
Figuur 12: Accident rates naar dubbelrichtingstunnels en enkelrichtingstunnels en naar zones (Amundsen & Ranes, 2000)	28
Figuur 13: Selectiegebied van de ongevallen in de Kennedytunnel (Google Inc., 2013)	51
Figuur 14: Selectiegebied van de ongevallen in Kennedytunnel vanuit Gent richting Antwerpen (Google Inc., 2013)	56
Figuur 15: Selectiegebied van de ongevallen in Kennedytunnel vanuit Antwerpen richting Gent (Google Inc., 2013)	61
Figuur 16: Selectiegebied van de ongevallen vanaf 2 km voor het begin van de Kennedytunnel.....	66
Figuur 17: Selectiegebied van de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen (Google Inc., 2013)	71
Figuur 18: Selectiegebied van de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Gent (Google Inc., 2013)	74
Figuur 19: Selectiegebied van de ongevallen vanaf het begin van de dynamische rijstrooksignalisatie tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen	78

Tabellenlijst

TABEL 1: Aantal ongevallen R1 en Kennedytunnel	42
TABEL 2: Ongevallen per jaar	43
TABEL 3: Aantal letselongevallen en ongevallen met stoffelijke schade in de Kennedytunnel per jaar.....	44
TABEL 4: Factoren van invloed op de ongevallen	46
TABEL 5: Type aanrijdingen.....	47
TABEL 6: Locatie van de ongevallen in de Kennedytunnel	48
TABEL 7: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen in de Kennedytunnel	52
TABEL 8: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen in de Kennedytunnel.....	53
TABEL 9: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen in de Kennedytunnel	54
TABEL 10: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand in de Kennedytunnel	55
TABEL 11: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen.	57
TABEL 12: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen.....	58
TABEL 13: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen	59
TABEL 14: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand in de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen	60
TABEL 15: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Gent.....	62
TABEL 16: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Gent.....	63
TABEL 17: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Gent	64
TABEL 18: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand in de Kennedytunnel in de richting van Gent.	65
TABEL 19: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel	67

TABEL 20: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel.....	68
TABEL 21: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel	69
TABEL 22: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel	70
TABEL 23: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen	71
TABEL 24: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen.....	72
TABEL 25: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen	73
TABEL 26: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen	74
TABEL 27: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Gent.....	75
TABEL 28: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Gent.....	76
Tabel 29: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Gent	77
TABEL 30: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Gent.....	78
TABEL 31: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen vanaf het begin van de rijstrooksignalisatie op de E17 tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen.....	79
TABEL 32: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen vanaf het begin van de rijstrooksignalisatie op de E17 tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen.....	80

TABEL 33: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen. Dit vanaf het begin van de rijstrooksignalisatie op de E17 tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen	81
TABEL 34: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand. Dit vanaf het begin van de rijstrooksignalisatie op de E17 tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen	82

1. Inleiding

De rode draad doorheen deze paper is de verkeersveiligheid in de Kennedytunnel. Deze tunnel is gelegen op de Antwerpse ring (R1) en sedert juli 2004 heeft men hier dynamische rijstrooksignalisatieborden geïnstalleerd. Dit om het verkeer beter te geleiden zowel voor als in de tunnel, wat de verkeersveiligheid ten goede zou moeten komen.

Vroeger was er permanent een snelheidslimiet van toepassing van 100 km/u over de gehele R1. Maar sinds 2006 heeft men de snelheidslimiet rondom de Kennedytunnel overdag verlaagd naar 70 km/u en deze wordt weergegeven op de signalisatieborden. Bij druk verkeer wordt deze zelfs nog verder verlaagd naar 50 km/u.

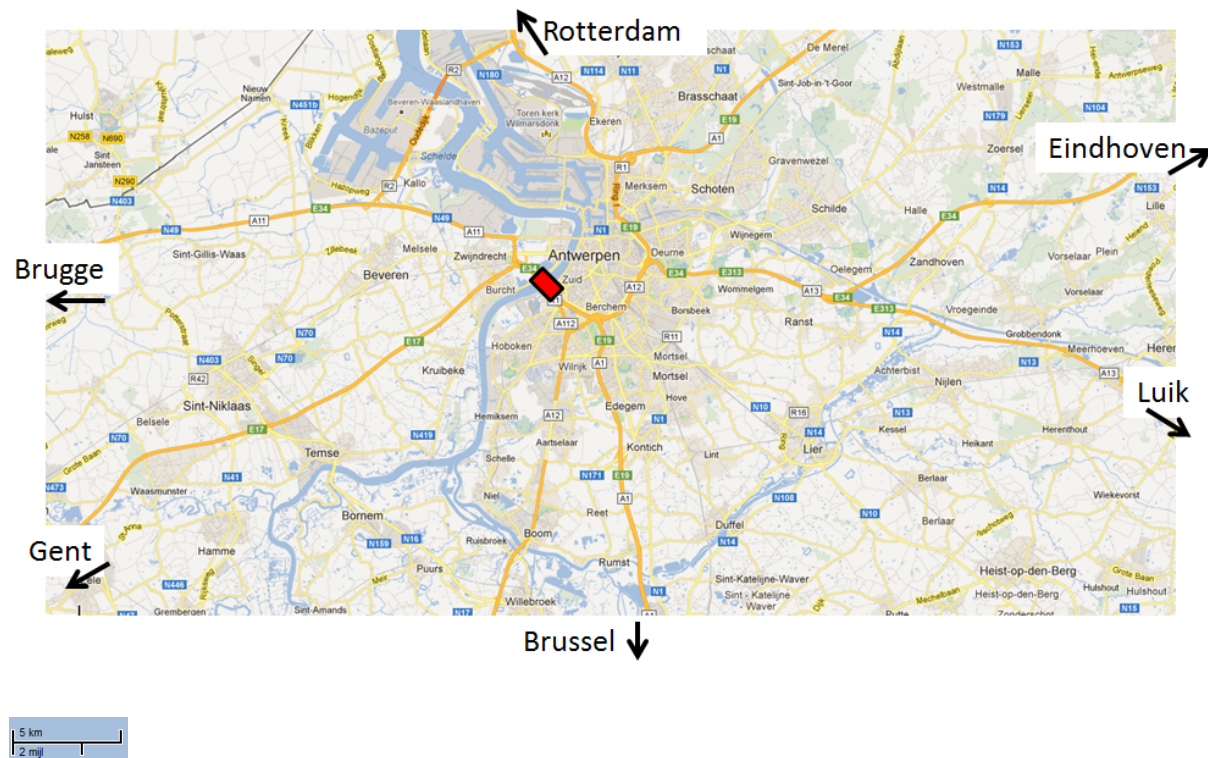
Het doel van deze paper is om het effect van deze wijziging van de snelheidslimiet op het aantal ongevallen in kaart te brengen. Om dit effect te achterhalen, wordt er gebruik gemaakt van een ongevallendatabase waarin alle ongevallen op autosnelwegen zijn opgenomen vanaf 2003 tot en met 2011. Het aantal ongevallen in en rond de Kennedytunnel van voor de maatregel zal vergeleken worden met het aantal ongevallen na de maatregel aan de hand van de Empirical Bayes methode, om zo de effectiviteit van de maatregel te achterhalen.

Alvorens er dergelijke analyses kunnen worden uitgevoerd, dient men de situatie in en rond de Kennedytunnel eerst in kaart te brengen. Daarnaast wordt er ook een onderzoeksdoel opgesteld en onderzoeksvragen die als hefboom moeten fungeren om dit doel te bereiken. Een beknopte literatuurstudie is eveneens noodzakelijk om een theoretische basis te hebben zodat de analyses zo efficiënt mogelijk worden uitgevoerd. De eerste hoofdstukken zullen over al deze verschillende elementen handelen.

2. Voorstelling van de Kennedytunnel

2.1. Locatie

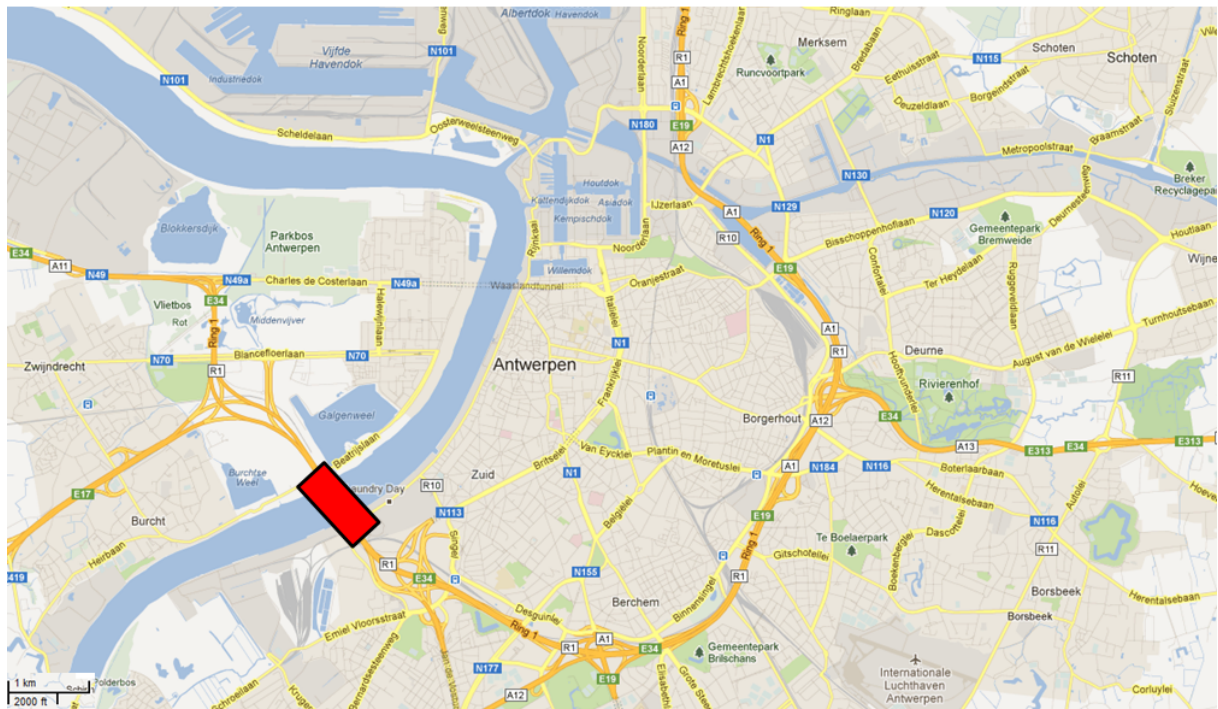
De Kennedytunnel, aangeduid met de rode rechthoek op figuur 1, is gelegen op het zuidwestelijke gedeelte van de Antwerpse grote ring (R1), van kilometerpunt 13,5 tot kilometerpunt 14,2. Op deze ring sluiten tal van snelwegen aan vanuit diverse richtingen.



Figuur 1: Macrosituering Kennedytunnel (Google Inc., 2013)

De Kennedytunnel, aangeduid met de rode rechthoek op figuur 1, is gelegen op het zuidwestelijke gedeelte van de Antwerpse grote ring (R1), van kilometerpunt 13,5 tot kilometerpunt 14,2. Op deze ring sluiten tal van snelwegen aan vanuit diverse richtingen.

Deze ring is, samen met de ring van Brussel, het belangrijkste verkeersknooppunt van België. Het zorgt namelijk voor een verbinding tussen het westen en het oosten van België. Bij uitbreiding is het ook een belangrijk knooppunt omwille van de verbinding met Nederland.



Figuur 2: Situering Kennedytunnel op Antwerpse ring (Google Inc., 2013)

Op figuur 2 is duidelijk te zien dat de Kennedytunnel voor een verbinding onder de Schelde zorgt tussen het zuiden en het westen van de Antwerpse ring. De tunnel geleidt sedert 1969 hoofdzakelijk verkeer vanuit Gent (E17) richting Brussel (E19) en Luik (E313) en omgekeerd.

2.2. Kenmerken

De Kennedytunnel is een tunnel van 690 meter die bestaat uit 2 tunnelkokers (één voor elke rijrichting) voor gemotoriseerd verkeer, met elk een breedte van 14,25m. Elke koker bestaat uit 3 rijstroken en er is geen pechstrook voorzien, zoals men op foto 1 kan zien.



Foto 1: Inrichting tunnelkoker (Google Inc., 2013)

Dagelijks passeren er 145.000 voertuigen door de tunnel, waarvan 30% vrachtverkeer is (Eurotest, 2007).

De laatste jaren zijn er tal van snelheidslimieten van toepassing geweest op de Kennedytunnel. Tot en met 8 oktober 2006 lag de maximumsnelheid vast op 100 km/u, maar na een zwaar verkeersongeval in dit jaar werd deze limiet op 9 oktober aangepast. Men heeft sindsdien geopteerd voor een snelheidslimiet van 70km/u tussen 6u30 's morgens en 20u 's avonds. Buiten deze uren is de snelheidslimiet 100 km/u.

2.3. Dynamische rijstrooksignalisatie



Figuur 3: Traject met dynamische rijstrooksignalisatie (Google Inc., 2013)

Tussen 2004 en 2006 werd dynamische rijstrooksignalisatie op de hele Antwerpse ring en een gedeelte van de E17 geïntegreerd. Op figuur 3 kan u zien over welke afstand deze signalisatie geplaatst is. Op de E17 richting Antwerpen begint deze vanaf kilometerpunt 93,2 tot op de Antwerpse ring. Op de E17 richting Gent staan geen portieken mee. Voorts is er signalisatie geplaatst over de gehele Antwerpse ring.



Foto 2: Dynamische signalisatieborden bij de ingang van de Kennedytunnel (Vlaams Verkeerscentrum, 2014)

Dynamische rijstrooksignalisatie bestaat uit 2 grote elementen. Enerzijds zijn er verkeerslussen (detectoren) en anderzijds zijn er de portieken met dynamische borden boven de weg, zoals te zien is op foto 2. De informatie op de portieken wordt volledig automatisch bepaald op basis van de detectoren onder het wegdek. Als deze detectoren bijvoorbeeld een file of vertraging detecteren, kan het zijn dat de snelheidslimiet verlaagd wordt zodat de doorstroming zo efficiënt mogelijk blijft verlopen.

Portieken worden gemiddeld om de 500 meter geplaatst. Dit kan echter variëren naar locatie, afhankelijk van de verkeerssituaties die daar voorkomen. Zo zullen de portieken korter bij elkaar geplaatst worden om de voertuigen gestaag te laten afremmen richting een nieuwe snelheidslimiet, omdat er bij een bruske overgang kans is op kop-staart botsingen. Men gaat bijvoorbeeld van 100 km/u naar 90 km/u, vervolgens wordt dit enkele portieken verder 70 km/u om later eventueel over te gaan naar 50 km/u.

Een snelheidslimiet die wordt aangegeven op een portiek is geldig tot op het volgende kruispunt. Op een snelweg wil dit dus zeggen dat een dynamische snelheidslimiet geldig is tot de eerstvolgende oprit of het eerstvolgende portiek (Vlaams Verkeerscentrum, 2014).

Naast snelheidslimieten, kunnen de dynamische rijstrooksignalisatieborden ook andere informatie weergeven. Namelijk rijstrookspecifieke informatie:

- Een groene pijl om aan te geven dat een rijstrook "open" is.
- Een rood kruis om aan te geven dat een rijstrook "gesloten" is.
- Een schuine pijl om aan te geven dat het verkeer zo snel mogelijk de rijstrook moet verlaten. (Vlaams Verkeerscentrum, 2012)

Rijstrooksignalisatie heeft volgende vier doelstellingen (Vlaams Verkeerscentrum, 2012) :

- **Verhogen van de veiligheid:** Dit probeert men te realiseren door de maximumsnelheid aan te passen aan de verkeersintensiteiten en de huidige verkeerssituatie. Men gaat per rijstrook instructies geven, aan de hand van pijlen en aangepaste snelheidslimieten, zodat een mogelijk gevaarlijke situatie verderop de snelweg op een veilige manier benaderd wordt. Zo wordt de kans op filevorming kleiner en wordt de kans op kopstaart botsingen geminimaliseerd.
- **Omzeilen van versperringen:** Indien een rijstrook versperd is, kan het verkeer tijdig afgewikkeld worden naar andere rijstroken zodat de doorstroming zo efficiënt mogelijk blijft verlopen.
- **De doorstroming bevorderen via "snelheidsharmonisatie" (elektronisch blokrijden):** Door de opeenvolging van portieken kan men over bepaalde afstand een lagere snelheidslimiet toepassen zodat de doorstroming op drukke knooppunten optimaal blijft. Een lagere snelheidslimiet leidt ertoe dat bestuurders minder zijdelingse manoeuvres gaan uitvoeren, dit bevordert de doorstroming. Zijdelingse manoeuvres zorgen ervoor dat bestuurders gaan invoegen waardoor het verkeer op de desbetreffende rijstrook afgeremd zal worden. Bij lagere snelheden wordt de beschikbare ruimte beter benut omdat de volgafstanden minder groot worden. Een belangrijke opmerking is dat de dynamische snelheidslimiet altijd voorrang heeft op de normale snelheidslimiet.
- **Milieuvervuiling inperken.** Bij smogalarm kan de snelheidslimiet aangepast worden naar een lagere snelheid zodat de CO²-uitstoot vermindert.

Rijstrooksignalisatie biedt dus volgende voordelen:

- Snelheid wordt aangepast aan de situatie.
- Onverwachte manoeuvres worden voorkomen.
- Versperringen leiden niet noodzakelijk tot veel hinder.
- Verkeersafwikkeling verloopt steeds op de meest efficiënte manier. (Vlaams Verkeerscentrum, 2012)

2.4. Problematiek

2.4.1. Analyse door VAB

De Vlaamse Automobilbond (VAB) heeft enkele jaren geleden een enquête afgenomen nadat de snelheidslimiet werd teruggeschroefd naar 70km/u. Men wou van de weggebruikers zelf te weten komen met welke problemen men te maken kreeg in de buurt van de Kennedytunnel.

Uit analyse van de enquêteresultaten kwam naar voor dat volgend rijgedrag doorstromingsproblemen veroorzaakt:

- Problemen bij het in- en uitvoegen (te weinig ruimte gezien de kortere volgafstand tussen voertuigen aan lagere snelheid).
- Toename van het aantal weefbewegingen (bestuurders die in Haasdonk uitvoegen om via het secundair wegennet de file te vermijden en nadien terug in te voegen vóór de Kennedytunnel).
- Toename van het aantal inhaalmanoeuvres van bestuurders die zich niet aan de snelheidsbeperkingen houden of slalommen in de hoop sneller vooruit te komen.
- Plots remmen voor snelheidscontroles (bij flitspalen) creëert harmonica-files.
- Vrachtwagens die vertragen omdat ze de helling in de Kennedytunnel niet op kunnen. (VAB)

Volgend rijgedrag heeft dan weer een slechte invloed op de verkeersveiligheid:

- Bestuurders die te weinig afstand houden.
- Toename van het agressief rijgedrag (vb. niet laten in- of uitvoegen).
- Plots remmen voor snelheidscontroles (bij flitspalen).
- Toename van stress en irritaties in het verkeer leidt tot onverwachte reacties en manoeuvres.
- Toename van de snelheidsverschillen tussen bestuurders die zich wel en niet aan snelheidsbeperkingen houden. (VAB)

Een te korte volgafstand is de voornaamste factor die de verkeersveiligheid in de Kennedytunnel in het gedrang brengt.

Ondanks het feit dat men de snelheidslimiet verlaagd heeft tot 70 km/u, en wat aan de hand van dynamische rijstrooksignalisatie nog verder verlaagd kan worden, blijft de Kennedytunnel een onveilig knelpunt. Maar deze onveiligheid is dus te wijten aan het gedrag van bestuurders. Infrastructurele maatregelen zijn één ding, maar men moet ook maatregelen nemen om het gedrag van de bestuurders te beïnvloeden.

De VAB raadt aan om het vrachtverkeer te verminderen want dit type verkeer zorgt vooral voor onveilige situaties. Ze remmen namelijk niet voldoende af omdat men vreest dat men de helling bij het uitrijden van de tunnel niet meer op geraakt.

2.4.2. *Geloofwaardigheid van de dynamische verkeersborden*

De VAB heeft eveneens eens studie uitgevoerd omtrent de geloofwaardigheid van de dynamische verkeersborden. Volgens VAB dient er steeds meegedeeld te worden waarom men een snelheidsverlaging doorvoert aan de hand van de dynamische borden.

In sommige gevallen worden deze snelheidsverlagingen doorgevoerd omwille van een file verderop waardoor de bestuurders extra alert zijn. Maar in andere gevallen is legt men een verlaging op omwille van de algemene verkeersveiligheid. In de praktijk leidt dit soms tot verwarrende situaties, aangezien men soms de snelheidslimiet ziet verminderen terwijl dat het wegbeeld er voor de weggebruiker er nog steeds hetzelfde uitziet als voor de snelheidsverlaging. De oorzaak van de verlaging is niet duidelijk voor de weggebruiker. Dit brengt zich mee dat sommige bestuurders hun snelheid niet gaan verminderen terwijl dat anderen zich wel aan de nieuwe limiet gaan houden. Hierdoor ontstaan er onveilige situaties terwijl dat het net de bedoeling is dat het verkeer veiliger wordt door de snelheidsverlaging (VAB, 2013).

Vindt u de snelheidsbeperking correct?	Gemiddeld	> 20.000 km
Nooit	1,4%	1,6%
Zelden	17,6%	24,3%
Meestal	70%	65,7%
Altijd	5,4%	4,8%

Figuur 4: Waardering van de snelheidsverlaging door de weggebruiker (VAB, 2013)

Figuur 4 toont dat 1 op 5 weggebruikers van mening zijn dat de aangegeven snelheidslimiet zelden of nooit correct aangepast is aan de huidige verkeerssituatie. Voor de weggebruikers die vaak met de wagen rijden is dit zelfs 1 op 4.

Dit heeft als gevolg dat deze weggebruikers de snelheidslimiet ook veel minder zullen respecteren.

Houdt u zich aan de snelheidslimiet die de dynamische borden aangeven?	Leeftijd						
	totaal	18-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65+
Zelden	7%	24%	11%	8%	7%	3%	1%
Meestal	53%	56%	59%	59%	53%	54%	44%
Altijd	40%	20%	30%	35%	40%	43%	55%

Figuur 5: Percentage weggebruikers die zich aan de dynamische snelheidslimiet houden (VAB, 2013)

Figuur 5 toont dat vooral jongeren moeite hebben met het respecteren van de informatie die dynamische signalisatieborden weergeven. 1 op 4 personen tussen 18 en 24 leeft deze zelden na. Ouderen houden zich dan wel beter aan de snelheidslimiet. Zoals eerder aangehaald, leidt dit tot snelheidsverschillen in de verkeersstroom wat de kans op een aanrijding doet stijgen (VAB, 2013).

2.4.3. *Analyse van de veiligheid in de Kennedytunnel door EuroTap*

In 2007 werd de verkeersveiligheid van verschillende Europese tunnels door het European Tunnel Assessment Programme (Eurotap) beoordeeld. Hieruit kwam naar voor dat de Kennedytunnel een van de onveiligste en een van de slechtste tunnels is van Europa omwille van volgende redenen:

- Er is dagelijks file.
- De tunnelbeheerder kan geen berichten uitzenden via de radio.
- Er zijn geen luidsprekers aanwezig in de tunnel.
- Praatpalen zijn niet duidelijk aangegeven.
- Geen evacuatie verlichting aanwezig.
- Slechte ventilatiecontrole bij brand.
- Geen opleiding voor tunnelpersoneel.
- Noodplan is verouderd.
- Er worden zelden noodoefeningen gehouden.
- Brand in de aanpalende treintunnel kan makkelijk overslaan naar de tunnel voor het wegverkeer. (Eurotest, 2007)

Mogelijk zijn er sedert 2007 aanpassingen gebeurt om deze situaties te verbeteren maar er is nog geen nieuwe studie uitgevoerd door Eurotest om dit te bevestigen.

3. Doelstelling & onderzoeksvragen

3.1. Doelstelling

De hoofddoelstelling van deze studie is het effect achterhalen van de snelheidsverlaging in 2006 van 100 km/u naar 70 km/ op de verkeersveiligheid in en rond de Kennedytunnel. Zo kunnen verkeerveiligheidsproblemen die nog steeds aanwezig zijn blootgelegd worden. Dit effect zal gemeten worden door de ongevallen voor en na de maatregel met elkaar te vergelijken aan de hand van de Empirical Bayes methode.

Daarnaast kunnen de effecten in kaart worden gebracht. Op basis hiervan kan besloten worden om dergelijke systemen te installeren op andere locaties of niet.

Naast het algemeen aantal ongevallen kan het effect ook voor de verschillende soorten ongevallen (ongevallen met stoffelijke schade, letselongevallen, kop-staart botsingen, zijdelingse aanrijdingen, ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand,...) onderzocht worden, zover dat dit mogelijk is. Daarnaast zal ook onderzocht worden in hoeverre de snelheidswijziging een effect heeft op het aantal ongevallen vóór de Kennedytunnel, aangezien de snelheidslimiet reeds enige afstand op voorhand al actief is.

3.2. Hoofdonderzoeksvraag

Het hoofddoel van dit onderzoek is het effect achterhalen van de verlaging van de snelheidslimiet van 100 naar 70 km/u in de Kennedytunnel overdag. Vandaar dat de hoofdonderzoeksvraag hierover gaat:

“Wat is het effect van de verlaging van de snelheidslimiet van 100 km/u naar 70 km/u op het totaal aantal ongevallen in en vóór de Kennedytunnel?”

3.3. Deelonderzoeksvragen

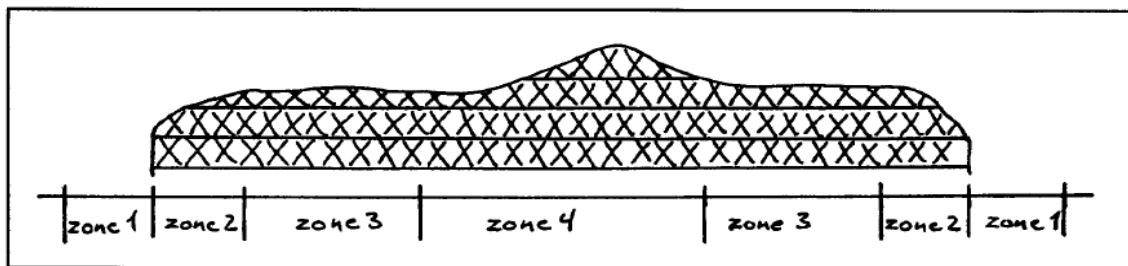
- Wat is het effect van de maatregel op het aantal ongevallen met stoffelijke schade?
- Wat is het effect van de maatregel op het aantal letselongevallen?
- Waar gebeuren de meeste ongevallen in de Kennedytunnel?
- Welke rijrichting heeft het grootste aantal ongevallen?
- Wat is de evolutie van de ongevals aantallen in de Kennedytunnel tussen 2005 en 2011?
 - Voor het totaal aantal ongevallen?
 - Voor het aantal ongevallen met stoffelijke schade?
 - Voor het aantal letselongevallen
- Wat is/zijn de voornaamste factor(en) die van invloed zijn op het aantal ongevallen in de Kennedytunnel?
 - Wat is het effect van de maatregel op ongevallen die voortkomen uit deze factor(en)?
- Welk(e) type(s) aanrijding(en) kom(t)(en) er hoofdzakelijk voor in en rond de Kennedytunnel?
 - Wat is het effect van de maatregel op deze types aanrijdingen?

4. Literatuurstudie

4.1. Ongevalsanalyses van tunnelongevallen in Noorwegen

Noorwegen is een van de landen met de meeste tunnels (+-900) in Europa. In 2000 werd er een studie (Amundsen & Ranes, 2000) uitgevoerd omtrent ongevallen in 587 Noorse tunnels.

Om de ongevalsanalyses gedetailleerder te maken werden de tunnels ingedeeld in verschillende zones.



Figuur 6: Indeling van tunnelzones (Amundsen & Ranes, 2000)

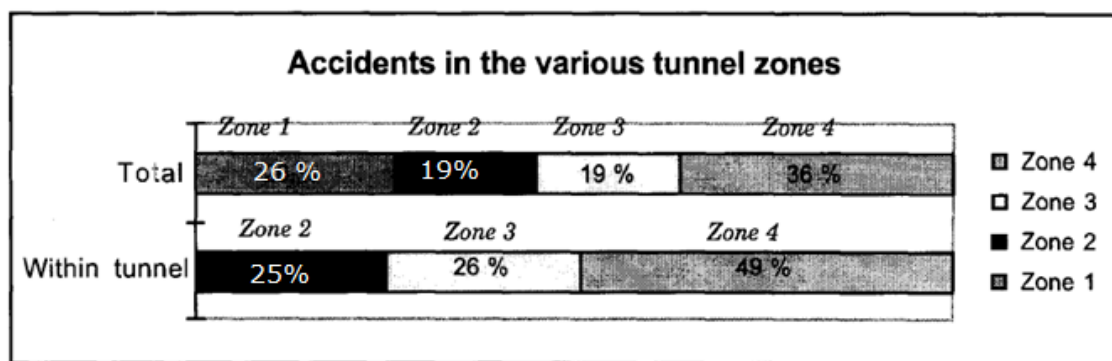
Uit figuur 6 kan men 4 verschillende tunnelzones onderscheiden:

- Zone 1: 50 meter voor de tunnel
- Zone 2: De eerste 50 meter in de tunnel
- Zone 3: De volgende 50 meter
- Zone 4: De rest van de tunnel

Zone 1, 2 en 3 zijn twee keer zichtbaar op figuur 4 omdat deze zones voor elke richting verschillend zijn.

Tunnels korter dan 100m hebben enkel zone 1 & 2 en tunnels korter dan 300m hebben geen zone 4.

In totaal werden er 499 ongevallen met gekwetsten geregistreerd in Noorse tunnels tussen 1992 en 1996. Uit deze 499 ongevallen kwamen 745 gekwetsten of overledenen voort.



Figuur 7: Verdeling van ongevallen over de verschillende zones (Amundsen & Ranes, 2000)

Figuur 7 toont aan dat een kwart van alle ongevallen plaatsvond in zone 1, de zone van 50m voor de tunnel. De helft van de ongevallen vond plaats over een afstand van 150m rondom de tunnelingang, in zone 1, 2 en 3. De andere helft van de ongevallen vond plaats over de rest van de tunnel. Dit wil dus zeggen dat de tunnelingang een behoorlijk onveilige zone is voor bestuurders.

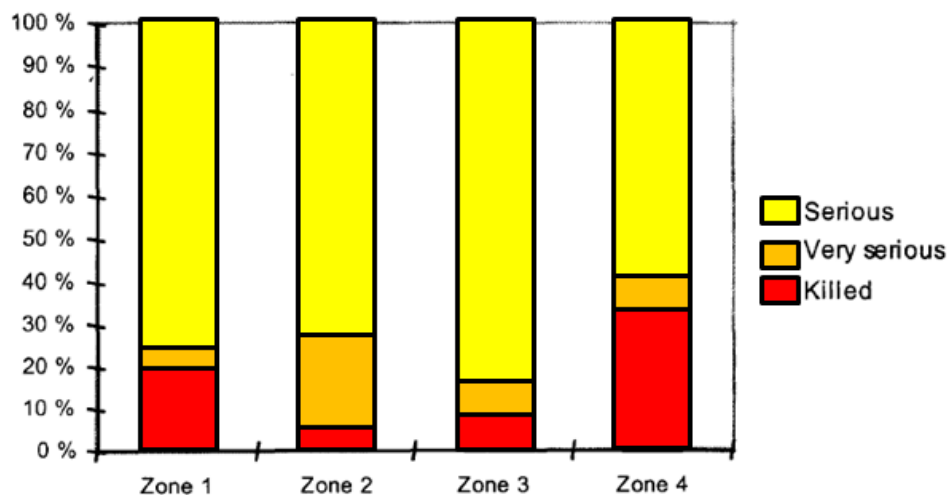
Severity	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Total	Within tunnel	National roads outside tunnel *
Killed	6	1	2	17	26	20 (3.6%)	185 (2.8%)
Very seriously injured	1	5	2	5	13	12 (2.1%)	118 (1.8%)
Seriously injured	21	15	20	30	86	65 (11.6%)	655 (9.9%)
Slightly injured	155	121	123	221	620	465 (82.7%)	5 643 (85.5%)
No. killed or injured	183	142	147	273	745	562	6 601
Sum pers.injury accidents	127	94	97	181	499	372	4 545

* Average for the years 1992-96 (STRAKS)

Figuur 8: Ongevallen naar ernst per zone (Amundsen & Ranes, 2000)

Een belangrijke vaststelling uit figuur 8 is dat personen sneller zwaar gewond raken bij een ongeval in een tunnel in vergelijking met een ongeval in openlucht. In tunnels laten 3,6% van de betrokken gekwetsten het leven bij een ongeval tegenover 2,8% bij de ongevallen in open lucht.

Maar over het algemeen is het aantal gewonden bij ongevallen in tunnels ongeveer gelijk dan het aantal gewonden bij ongevallen in open lucht (82,7% t.o.v. 85,5%).



Figuur 9: Ernst per zone (Amundsen & Ranes, 2000)

Figuur 9 laat zien dat de proportie fatale ongevallen, het hoogst is in de middelste zone van de tunnel (zone 4). Zone 2 heeft het laagste aantal doden en zone 3 heeft de laagste proportie doden en zwaargewonden.

Tunnel zone	Length (km)	AADT (average) (veh./day)	Travel (mill veh.km/yr)	Accidents	Accident rates (acc/mill veh.km)	Accident density (acc/mill/km/yr)
Zone 1	58.7	4 000	85.4	127	0.30	0.43
Zone 2	54.1	4 000	82.5	95	0.23	0.35
Zone 3	77.14	4 500	122.5	94	0.16	0.24
Zone 4 (mid-zone)	328.6	4 300	362.1	176	0.10	0.11
Entire tunnel (excl. zone 1)	460.1	4 000	567.1	365	0.13	0.16
All zones	518.8	4 000	652.5	492	0.15	0.19
Transition zone (zone 1 + 2)	112.8	4 000	167.9	221	0.26	0.39
Entrance zone (zone 2 + 3)	131.5	4 000	205.0	189	0.18	0.29

Figuur 10: Accident-rate per zone. (Amundsen & Ranes, 2000)

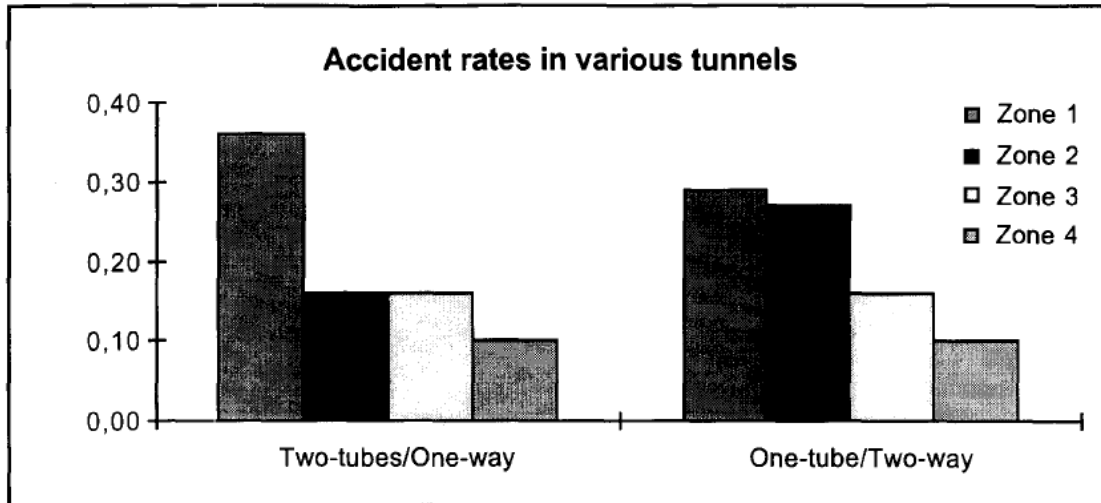
Figuur 10 toont aan dat je in zone 1 tot 3 keer zoveel kans hebt op een ongeval dan in zone 4.

De ongevallen in zone 4 zijn dus ernstiger, maar de kans op een ongeval in zone 4 is wel veel kleiner dan de kans op een ongeval in zone 1.

Length (metres)	Number of tunnels	Lengths (km)	AADT (average) (veh./day)	Travel (mill) veh.km/yr	Accidents	Accident rates (acc/mill veh.km)
0 - 100	108	6.2	1 700	4.0	7	0.35
101 - 500	244	61.5	5 200	115.2	123	0.21
501 - 1000	105	71.8	4 300	111.5	84	0.15
1001 - 3000	101	171.9	3 500	211.5	119	0.11
over 3000	29	148.7	2 700	124.9	32	0.05
Sum	587	460.1	4 000	567.1	365	0.13

Figuur 11: Accident-rates naar tunnallengte (Amundsen & Ranes, 2000)

Figuur 11 bewijst dat de kans op een ongeval afneemt indien de tunnallengte toeneemt. Deze vaststelling is deels te verklaren door het feit dat vooral de ingangszone een hoge invloed heeft op de ongevalskans in tegenstelling tot de middenzones. Elke tunnel heeft een ingangszone, dus de invloed van de ongevallen in de ingangszone is groter op de uiteindelijke rate van korte tunnels in vergelijking met de invloed van de ingangszone op de rate van de langere tunnels.



Figuur 12: Accident rates naar dubbelrichtingstunnels en enkelrichtingstunnels en naar zones (Amundsen & Ranes, 2000)

Figuur 12 geeft figuur 11 grafisch weer.

De ongevals aantallen uit figuur 6 en 7 zijn nagenoeg gelijk tyussen tunnels met een enkele richting en tunnels met een dubbele richting, behalve voor zone 2. Daar blijken de tunnels met enkele richtingskokers (zoals in de Kennedytunnel) veiliger te zijn. Een verklaring hiervoor is dat tunnels met enkele richting vaak

een superieur design hebben met betere lichtkwaliteit in vergelijking met een tunnel met twee rijrichtingen.

Typerend voor een tunnelkoker met enkele rijrichting is dat er vaak een concentratie van ongevallen is net buiten de tunnelopeningen, het gaat dan vooral om kop-staart botsingen. Dit hangt meestal samen met de hogere intensiteiten, want tunnels met enkele rijrichtingen worden meestal gebruikt voor wegen met een hoge intensiteit.

Bij tunnels met dubbele rijrichtingen primeren eveneens de kop-staart ongevallen, maar in minder grote mate. De reden waarom het aandeel kop-staart ongevallen hier kleiner is, is mogelijk te verklaren doordat men in een tunnel met dubbele rijrichtingen meer kans heeft op een frontale aanrijding. Hierdoor is het aandeel frontale ongevallen hoger waardoor het aandeel kop-staart ongevallen logischerwijs kleiner wordt.

4.2. Invloedsfactoren op de (subjectieve) verkeersveiligheid in tunnels

4.2.1. *Invloed van tunnelwand*

Uit het onderzoek "The influence of perceptual speed regulation on speed perception, choice, and control" omtrent perceptuele snelheidsregulering in tunnels komt naar voor dat de tunnelwand een zeer grote invloed heeft op de snelheidsperceptie van de bestuurder in tunnels. Voor dit onderzoek heeft men de snelheidshandhaving van bestuurders gemeten in 3 tunnels met elk een ander patroon op de tunnelwand, en 1 tunnel met een effen tunnelwand. Als resultaat kwam naar voor dat een tunnelwand met een patroon een invloed kan hebben op de snelheidsperceptie van de bestuurder, zo kan men aan de hand van bepaalde patronen op de tunnelwand er dus voor zorgen dat de gewenste snelheid in de tunnel behouden blijft bij de meeste bestuurders. Indien men bijvoorbeeld een patroon met strepen op de muur zou zetten, en deze strepen steeds korter bij elkaar gaat plaats, gaat de bestuurder het gevoel krijgen dat hij aan het versnellen is en zijn snelheid dus vaker controleren. Tunnels met een egale tunnelwand geven namelijk geen feedback aan de bestuurder, waardoor de kans tot snelheidsverhoging van de bestuurder toeneemt naarmate hij verder de tunnel inrijdt.

Daarnaast kwam uit het onderzoek naar voor dat indien de bestuurder het einde van de tunnel kan zien, hij beter zijn eigen snelheid kan inschatten en hij ook beter aan een constante snelheid kan rijden, omdat hij een referentiepunt heeft. Naarmate dat het einde van de tunnel in zicht komt, gaan bestuurders hun snelheid aanpassen aan de toegelaten snelheid. Dit omdat men dan een referentiepunt heeft waardoor men de snelheid die men heeft beter kan inschatten en mogelijk gaat vertragen indien men het gevoel heeft dat men te snel aan het rijden is (Manser & Hancock, 2007).

Een studie omtrent specifieke gedragingen van bestuurders in tunnels, "An Empirical Study of the Effects of Road Tunnel on Driving Performance", toont aan dat bestuurders in tunnels trager rijden dan op eenzelfde weginrichting in open lucht. Bestuurders gaan ook afwijken van het midden van de rijstrook, weg van de tunnelwand. (Calvi, 2012)

4.2.2. Invloed van het licht

Ogen hebben een aanpassingsperiode nodig bij een wijziging van lichtsterkte. Dit is dus ook van toepassing bij het inrijden van tunnels. Deze "trage" aanpassing kan echter ongevallen veroorzaken doordat men niet goed kan anticiperen op plotse manoeuvres door een beperkt gezichtsvermogen. Men moet zorgen dat een sluier van strooilicht voor de bestuurder vermeden wordt. Dit zorgt namelijk voor een verslechterde zichtbaarheid en het vermindert de contrasten van de objecten in de tunnel.

Er zijn verschillende oplossingen voor bovenstaand probleem:

- Men kan bij de ingangszone van de tunnel, het licht feller laten schijnen dan in de rest van de tunnel. Zo wordt de omschakeling van licht naar donker uitgespreid en kunnen de ogen zich makkelijker aanpassen.
- Men kan al maatregelen doorvoeren die van toepassing zijn op het weggedeelte voor de tunnel. Men kan de omgeving donkerder maken door middel van bomen, hoge constructies nabij de ingang, donkere asfalt gebruiken, een overdekte ingang met lichtinval langs de zijkanalen,...

Men kan het licht tegen de rijrichting in laten schijnen, zo wordt het wegdek optimaal belicht en blijven obstakels en voorliggers donker. Zo kan men goed de contouren van de obstakels waarnemen. Bij het naderen van de tunnel zorgt dergelijke lichtafstelling voor een goed overzicht van de tunnel alvorens men de tunnel inrijdt. (Martens & Kaptein, 1997)

4.2.3. Invloed van de tunnellingte en lengteprofiel

Tunnels kunnen bij bepaalde personen een intrinsieke en claustrofobische angst opwekken. Dit komt doordat men het gevoel heeft dat men "opgesloten" zit als er iets zou gebeuren. Tevens heeft men het gevoel dat men sneller ergens tegen kan botsen in vergelijking met wegen in open lucht, dit komt omwille van de tunnelwand. Uit een enquête van Christensen et al. (1993) bleek dat het aantal personen met een onveilig gevoel groter is naarmate de tunnel langer is.

Ondanks het feit dat het aandeel "angstige" bestuurders in tunnel niet enorm hoog is, zijn maatregelen om deze personen gerust te stellen toch noodzakelijk want dergelijke personen hebben een groot aandeel aan de homogeniteit en de veiligheid van de totale verkeersstroom.

Het design van de tunnel speelt eveneens een rol bij het al dan niet ervaren van een onveiligheidsgevoel. Mensen prefereren namelijk tunnels met lange rechte en vlakke stukken, zodat men een goed overzicht heeft van wat er voor hen gebeurt.

Toch moet men rekening houden dat de gereden snelheden acceptabel blijven. Lange rechte wegen geven namelijk aanleiding tot hoge snelheden, wat niet gewenst is in tunnels. Er moeten dus goede afwegingen gemaakt worden tussen lange, rechte en vlakke weggedeeltes enerzijds en bochten anderzijds. (Martens & Kaptein, 1997)

4.2.4. Invloed van signalisatie

Verkeerssignalisatie is hoofdzakelijk ontworpen om de weggebruikers zo efficiënt en veilig mogelijk naar hun bestemming te geleiden. Hoe dan ook is een overlading van informatie uit den boze want dan kunnen de bestuurders zich niet meer genoeg focussen op de rijtaken.

Onderzoek heeft uitgewezen dat bestuurders zich op enkele honderden meters voor de tunnelingang extra beginnen te focussen. Men focust zich hard op de

tunnelingang, wat betekent dat de omgeving voor en rond de tunnelingang minder aandacht krijgt, want men gaat ervan uit dat hier weinig gevaar uit kan voortkomen. Indien men te veel informatie in deze omgeving aan de bestuurder zou meegeven, zou dit als gevolg hebben dat men zich minder focust op eventueel gevaar dat voortkomt uit de tunnelingang. Om te vermijden dat de bestuurder dergelijk gevaar niet opmerkt, is het van groot belang dat men informatie voor bestuurders nabij tunnels tot een minimum beperkt en de boodschappen zo direct mogelijk meegeeft. Verkeersborden nabij tunnelingenangen moeten tot een minimum beperkt worden. Verkeersborden worden bij voorkeur niet in de directe omgeving van de tunnelingang geplaatst, maar enkele honderden meters vooraf, zodat de bestuurder de informatie tijdig kan opnemen in het geheugen en zich nadien volledig kan focussen op de weg.

Signalisatie in de tunnel is vaak noodzakelijk, maar signalisatieborden kunnen de zichtbaarheid van de weg ook limiteren, waardoor afstanden ook minder goed ingeschat kunnen worden.

Toch is signalisatie van essentieel belang voor de veiligheid. Dynamische rijstrooksignalisatie & incident management kan bijvoorbeeld gebruikt worden indien er een rijstrook versperd is omwille van een ongeval, waardoor verdere kop-staart ongevallen ook vermeden kunnen worden. Dergelijke signalisatie is onderzocht in de Rheinallee tunnel in Düsseldorf (Martens & Kaptein, 1997). Hieruit kwam naar voor dat deze een goed resultaat opleveren voor zowel de objectieve als de subjectieve veiligheid. Dit laatste is belangrijk om de bestuurders gerust te stellen en ze een comfortabel en veilig gevoel te geven.

Naast incident management is informatie omtrent mogelijke onveilige punten in de tunnel ook nuttig. Zo geeft men de bestuurders die de Mont Blanc tunnel inrijden bijvoorbeeld mee waar er gevaarlijke wegsegmenten en bochten gesitueerd zijn.

Over het algemeen kan dus gesteld worden dat men in, en in omgeving van, de tunnel rekening moet houden met de veranderende rijtaak van de bestuurder (Martens & Kaptein, 1997).

4.2.5. Invloed van wegmarkering

Even belangrijk als signalisatie voor goede uitvoering van de rijtaak, is de wegmarkering. Wegmarkeringen zijn namelijk het belangrijkste hulpmiddel voor de visuele geleiding van bestuurders.

Wegmarkering is de meest efficiënte manier om voertuigen te geleiden in tunnels, omwille van de korte zichtafstanden en de relatief slechte helderheid. Vooral in het begin van de tunnel speelt de markering een grote rol in functie van verkeersveiligheid. Daar gebeuren immers de meeste laterale verplaatsingen van de voertuigen en de markeringen moeten daar dus duidelijk de rijstroken afbakenen.

Een goede oplossing voor het slechte zicht van sommige markeringen in tunnels, is het gebruik van profielmarkeringen. Zo krijgt de bestuurder een auditieve en voelbare feedback van zijn wagen indien hij over de markering rijdt en verminderd men de kans dat bestuurders de tunnelwand raken. (Martens & Kaptein, 1997)

4.2.6. Invloed van pechstroken

In de praktijk worden pechstroken in tunnels vaak niet aangelegd om de snelheden te drukken, dit is eveneens het geval in de Kennedytunnel. Indien het wegbeeld smaller lijkt voor de bestuurder, zal hij immers trager gaan rijden en zal de toegelaten snelheidslimiet minder snel overschreden worden.

Toch is het ontbreken van een pechstrook zeker niet positief. De redenen hiervoor zijn voor de hand liggend: bij autopech moet kan men niet uitwijken met mogelijke botsingen van achterop komend verkeer, het subjectieve onveiligheidsgevoel bij bestuurders neemt toe omdat men geen "vangnet" heeft, etc.

En gulden middenweg voor het dilemma van al dan niet een rijstrook aan te leggen kan zijn dat men op geregelde basis een uitwijkstrook voorziet in de tunnel. Hierbij moet men er wel voor zorgen dat bestuurders een goed overzicht hebben van het passerende verkeer, zodat men achteraf terug veilig kan invoegen. Daarnaast moet de lengte van de uitwijkstrook lang genoeg zijn zodat men een zekere snelheid kan bereiken alvorens in te voegen. (Martens & Kaptein, 1997)

4.3. Invloed van volgafstanden en snelheid op ongevallen

4.3.1. Relatie tussen volgtijden en ongevallen

De volgafstanden zijn vooral bepalend voor kop-staart botsingen en eventuele kettingbotsingen die hieruit voortkomen. Vermoedelijk zijn dit ook de voornaamste ongevallen in de Kennedytunnel aangezien dit een autosnelweg is waarbij dergelijke ongevallen het meest aannemelijk zijn. Maar dit zal later bij de analyse van de ongevalsdata nagetrokken moeten worden.

De Nederlandse politie stelt vast dat bij 80% van de kop-staart ongevallen, een te korte volgafstand de oorzaak is van het ongeval. Verder kwam naar voor dat de meeste kop-staart botsingen plaatsvonden tijdens de spitsuren. Dit is echter zeer logisch aangezien het op deze momenten drukker is en aangezien het verkeer op deze momenten ook korter op elkaar volgt.

De volgtijden die in Nederland in de praktijk worden aangehouden tussen de autobestuurders bedraagt gemiddeld minder dan 1 seconde. Voor vrachtwagens en bussen bedraagt deze gemiddeld 1,3 seconden. Op autosnelwegen verwacht men dat deze nog minder zijn omdat de verkeerssituatie daar minder complex is (SWOV, 2012). Dus in de Kennedytunnel zullen deze getallen waarschijnlijk nog kleiner zijn.

4.3.2. Relatie tussen snelheid en ongevallen

In dit onderzoek zal er achterhaald worden wat het effect is van de snelheidsverlaging van 100 km/u naar 70 km/u in de Kennedytunnel op de verkeersveiligheid. Vandaar dat er in dit subhoofdstuk literatuur onderzocht zal worden omtrent de relatie tussen snelheid en ongevallen.

Snelheid is een belangrijke factor in verkeersveiligheid. Enerzijds is het van invloed op de kans dat men een verkeersongeluk heeft, en anderzijds bepaalt het de ernst van het ongeval. Een verlaging van de snelheid kan deze 2 factoren dus verminderen.

Een studie in Zweden, waarbij het effect van een snelheidsverlaging van 110 km/u naar 90 km/u onderzocht werd, toonde aan dat zowel de gemiddelde snelheid van de voertuigen als het aantal ongevallen afnam. Dit effect werd achterhaald aan de hand van de Empirical Bayes methode. Als controlegroep

werden de ongevallen op wegen met een onveranderde snelheidslimiet van 90 km/u genomen. Uiteindelijk kwam men tot de conclusie dat de afname van het aantal ongevallen voor 25% te wijten was aan de snelheidsverlaging (Aarts & van Schagen, 2005).

Factoren van invloed op de relatie "snelheid – ongevallen"

De relatie tussen snelheid en ongevallen is onderhevig aan verschillende factoren. Zo wordt dit beïnvloed door de rijstrookbreedte, de kruispunt dichtheid en de grootte van de verkeersstroom. Door interactie tussen deze factoren is het mogelijk dat er toch meer ongevallen kunnen zijn als de snelheid laag is. Hoge snelheden leiden logischerwijs tot ernstigere ongevallen, maar indien het druk is gaat de snelheid omlaag maar kunnen er toch meer ongevallen gebeuren omdat er meer interactie is tussen voertuigen (Aarts & van Schagen, 2005).

Ook snelheidsverschillen tussen voertuigen kan leiden tot ongevallen. Buiten de spits zijn deze verschillen tussen de voertuigen hoger aangezien men meer ruimte heeft om een andere snelheid aan te nemen in vergelijking heeft met andere voertuigen. In de spits zijn de snelheidsverschillen dan weer minder omdat men minder ruimte heeft om een persoonlijk gewenste snelheid aan te nemen. In de spits zorgt de grootte van de verkeersstroom en de hoeveelheid mogelijke conflictsituaties voor de ongevallen, zoals in de vorige paragraaf omschreven is (Soole, Watson, & Fleiter, 2013).

De studie "Speed, speed limits and road traffic accidents under free flow conditions" heeft eveneens aangetoond dat het aantal ongevallen verminderd kan worden door lagere snelheden te hanteren en ervoor te zorgen dat de snelheidsverschillen tussen de voertuigen zo klein mogelijk blijven. Een verlaging van de snelheidslimiet heeft enkel een positieve invloed op de ongevallen indien er geen sprake van congestie of langzaam verkeer. Er was in deze studie eveneens geen bevestiging van het feit dat een stijging van de verkeersstroom leidt tot meer ongevallen. Dit komt doordat de gemiddelde snelheid daalt bij druk verkeer waardoor de stopafstand kleiner wordt met als gevolg dat een ongeval vermeden kan worden. Voorts kwam naar voor dat als het aandeel vrachtverkeer toeneemt, het aantal ongevallen afneemt. (Aljanahi, Rhodes, & Metcalfe, 2013)

5. Empirical Bayes methode

De effectiviteit van de snelheidsverlaging van 100 km/u naar 70km/u zal achterhaald worden aan de hand van ongevalsdata. Er is een database beschikbaar van ongevallen in en rond de Kennedytunnel van 2004 tot 2011. Doordat er voor deze tijdsspanne ongevalsdata beschikbaar zijn, is het mogelijk om het aantal ongevallen voor de maatregel, te vergelijken met het aantal ongevallen na de maatregel (=“naperiode”). De periode voor de maatregel zal in de onderzoek als “voorperiode” aangegeven worden en de periode na de maatregel zal in dit onderzoek als “naperiode” aangegeven worden.

Dit zal gedaan worden aan de hand van de Empirical Bayes methode (EB). In een voor en na studie moet men rekening houden met andere factoren, buiten de maatregel, die ook van invloed kunnen zijn op de ongevalshoeveelheden. Het zou namelijk zeer naïef zijn om te denken dat een daling van het aantal ongevallen enkel en alleen toe te schrijven is aan één maatregel die is doorgevoerd.

Vandaar dat er in de Empirical Bayes methode rekening gehouden wordt met de kenmerken die van invloed zijn op alle ongevallen die gebeuren op verschillende plaatsen in een gebied of land. Indien het aantal ongevallen na invoering van een maatregel bijvoorbeeld daalt met 10%, dan mag deze daling niet volledig toegeschreven worden aan de maatregel aangezien het ook kan zijn dat het aantal ongevallen overal gedaald is met 10%. Vandaar dat er in de Empirical Bayes methode voor wordt geopteerd om de effectiviteit van een maatregel te corrigeren voor de trend. Hiervoor dient er een ruime vergelijkingsgroep opgemaakt te worden met ongevallen van allerlei vergelijkbare locaties. Zo kan een stijging of daling van het aantal ongevallen getoetst worden aan een stijging of daling van het aantal ongevallen op de onderzoekslocatie.

Naast een correctie voor de trend dient er ook gecorrigeerd te worden voor regressie naar het gemiddelde. Dit is een correctie voor het fenomeen dat men een bepaalde maatregel op een bepaalde locatie heeft doorgevoerd omdat er op die locatie een hoog aantal ongevallen gebeurde ($=E[k | K]$). Deze correctie moet apart berekend worden aan de hand van een model. (Nuyts & Cuyvers , 2003)

5.1. Effectiviteit van een maatregel berekenen

Aan de hand van formule 1 kan men de effectiviteit (EFF) van een maatregel bepalen.

$$\frac{L / E[\kappa|K]}{N / M}$$

Formule 1: Effectiviteit volgens de Empirical Bayes methode (Shin & Washington, 2006)

L = Aantal ongevallen op de onderzoekslocatie in de naperiode

$E[\kappa|K]$ = Aantal ongevallen op de onderzoekslocatie in de voorperiode, gecorrigeerd voor regressie naar het gemiddelde

N = Aantal ongevallen in de vergelijkingsgroep in de naperiode

M = Aantal ongevallen in de vergelijkingsgroep in de voorperiode

In de teller wordt het aantal ongevallen na de maatregel (=naperiode) gedeeld door het aantal ongevallen voor de maatregel (=voorperiode), gecorrigeerd voor regressie naar het gemiddelde. De uitkomst van de deling in de teller wordt vervolgens op zijn beurt gedeeld door de verhouding van het aantal ongevallen in de vergelijkingsgroep in de naperiode en de voorperiode. Hierdoor wordt er gecorrigeerd voor de trend. In hoofdstuk 5.1.1 wordt uitgelegd hoe men $E[\kappa|K]$ kan berekenen of met andere woorden: hoe het aantal ongevallen in de voorperiode op de onderzoekslocatie gecorrigeerd kan worden voor regressie naar het gemiddelde.

Indien de uitkomst van formule 1 groter is dan 1, wil dit zeggen dat het aantal ongevallen is toegenomen na invoering van de maatregel. Indien de uitkomst kleiner is dan 1, wil dit zeggen dat het aantal ongevallen is afgenomen na invoering van de maatregel.

5.1.2. Correctie voor regressie naar het gemiddelde

Het verwacht aantal ongevallen in de voorperiode van een maatregel ligt tussen het gemeten aantal ongevallen en het gemiddelde van ongevallen van op vergelijkbare locaties. Dit omdat het mogelijk is dat men een maatregel heeft doorgevoerd omdat er een hoog aantal ongevallen plaatsvond en omdat een deel van het hoge aantal ongevallen mogelijks te wijten was aan toeval. Dus vandaar dat men dit aantal gemeten ongevallen moet corrigeren aan de hand van vergelijkbare locaties.

Aangezien dat er voor deze case geen vergelijkbare locaties voorhanden zijn, zal er gebruik gemaakt moeten worden van een model om toch gegevens te bekomen van een "vergelijkende groep".

$$E[\kappa | K] = w * E[\kappa] + (1 - w) * K$$

Formule 2: Formule om het aantal ongevallen in de voorperiode te corrigeren voor regressie naar het gemiddelde (Shin & Washington, 2006)

Formule 2 geeft de correctie voor regressie naar het gemiddelde weer. Het linkse gedeelte van de som bevat de ongevallen gegenereerd door het model ($=E[\kappa]$), het rechtse gedeelte bevat de ongevallen die op de onderzoekslocatie geregistreerd werden ($=K$).

"w" is het gewicht dat aan de ongevallen van de vergelijkende groep wordt gegeven. "1-w" is het gewicht dat aan de ongevallen van de onderzoekslocatie wordt gegeven.

$E[\kappa]$ dient dus bekomen te worden aan de hand van een model. Er is hiervoor een model beschikbaar dat letselongevallen corrigeert voor regressie naar het gemiddelde namelijk:

$$\mu = e^{-17,0652} * L^{0,9532} * I^{1,0266}$$

Formule 3: Model voor het genereren van het aantal ongevallen van de vergelijkende groep (Van Hout, Daniëls, Brijs, Hermans, & Wets, 2013)

In formule 3 geeft " μ " het geschat aantal ongevallen aan in de voorperiode. Dit is dus een schatting van het gemiddeld aantal ongevallen dat men kan verwachten op de onderzoekslocatie, in tegenstelling tot de hoge aantallen die in de werkelijkheid gemeten zijn. Dit geschat aantal ongevallen wordt gegenereerd door verklarende variabelen namelijk: de lengte van het wegsegment (L) en de

intensiteiten op dat wegsegment (I). Het aantal ongevallen neemt volgens het model ongeveer evenredig toe met zowel de lengte als de intensiteit op de locatie. (Van Hout, Daniëls, Brijs, Hermans, & Wets, 2013).

Naast $E[\kappa]$ dient gewicht "w" nog berekend te worden:

$$\frac{1}{1 + E[\kappa] * \alpha}$$

Formule 4: Formule om gewicht "w" te berekenen (Shin & Washington, 2006)

α is tijdens de opmaak van het model reeds berekend en bedraagt 0,3342. (Van Hout, Daniëls, Brijs, Hermans, & Wets, 2013)

Aan de hand van "w" en " $E[\kappa]$ " kan het aantal ongevallen in de voorperiode, gecorrigeerd voor regressie naar het gemiddelde, aan de hand van formule 2 berekend worden. Dit aantal wordt aangegeven als $e[\kappa | K]$. Dit cijfer kan op zijn beurt worden ingevuld in formule 1 en zo kan de effectiviteit van een maatregel achterhaald worden waarbij men rekening houdt met de trend en met regressie naar het gemiddelde.

5.2. Betrouwbaarheidsinterval bepalen

Indien de effectiviteit uit formule 1 bekend is, kan het 95% betrouwbaarheidsinterval hieromtrent berekend worden:

$$s^2 = 1/L + 1/E[\kappa | K] + 1/N + 1/M$$

$$\text{Ondergrens van het betrouwbaarheidsinterval} = \exp [\ln(\text{EFF}) - 1,96*s]$$

$$\text{Bovengrens van het betrouwbaarheidsinterval} = \exp [\ln(\text{EFF}) + 1,96*s]$$

Formule 5: Betrouwbaarheidsinterval bepalen (Shin & Washington, 2006)

EFF = het getal dat bekomen werd na uitvoering van formule 1.

Er moet worden opgemerkt dat de ondergrens van het interval steeds groter dan 0 is. Er is een significante daling van het aantal ongevallen op de onderzoekslocatie als de bovengrens kleiner is dan 1. Daarnaast is er een significante stijging als de ondergrens groter is dan 1. Indien 1 in het interval ligt, is de bekomen effectiviteit niet significant.

6. Verkeersveiligheidsanalyse

6.1. Inleiding

Zoals eerder aangehaald werd, is er een database beschikbaar met alle ongevallen op autosnelwegen (zowel ongevallen met stoffelijke schade als letselongevallen) in Vlaanderen tussen januari 2004 en december 2011. Hieruit zullen alle ongevallen in en vóór de Kennedytunnel gefilterd worden. In de analyses zullen enkel de ongevallen van juli 2004 tot en met december 2011 gebruikt worden. Dit omdat er de dynamische rijstrooksignalisatie pas vanaf juli 2004 gebruikt werd en dit dus een goed beginpunt is voor de analyses.

Van deze ongevallen zijn alle gegevens beschikbaar die ingevuld zijn op het ongevallenformulier van het desbetreffende ongeval.

In hoofdstuk 6.2 worden algemene ongevals aantallen weergegeven van de Kennedytunnel. Deze aantallen zullen getoetst worden aan de globale ongevals aantallen van de gehele Antwerpse ring (=R1). Zo kan bepaald worden of de Kennedytunnel gevoeliger is voor bepaalde soorten ongevallen als andere locaties op de R1.

In hoofdstuk 6.3 zal vervolgens de effectiviteit van de maatregel die in de Kennedytunnel is doorgevoerd, achterhaald worden aan de hand van ongevals aantallen.

6.2. Algemene ongevallencijfers in de Kennedytunnel

In dit hoofdstuk zal het totaal aantal ongevallen tussen juni 2004 en december 2011 geanalyseerd worden. Er zal onderzocht worden of de Kennedytunnel een onveiligere locatie is op de R1 als een andere locatie.

Locatie	Lengte in km	Aantal ongevallen	Totaal aantal letsel - ongevallen	Ong. met doden of ZG	Ong. met LG	Ong. met stof. schade
R1	34	6308	1156	305	851	5152
KT	1,4	395	92	22	70	303
%	4%	6%	8%	7%	8%	6%

TABEL 1: Aantal ongevallen R1 en Kennedytunnel

KT = Kennedytunnel

ZG = Zwaargewond

LG = Lichtgewond

Tabel 1 toont dat er, vanaf juli 2004 tot en met december 2011, in totaal 6308 ongevallen plaatsvonden op de gehele R1. In de Kennedytunnel zelf gebeurden er tijdens deze periode 395 ongevallen. Dit is ongeveer gelijk aan 6% van het totaal aantal ongevallen op de R1. Indien men weet dat de R1 in elke richting ongeveer 17 km lang is en de Kennedy tunnel in elke richting 0,7 km kan men besluiten dat er in verhouding met de rest van de ring, er in de Kennedytunnel iets meer ongevallen gebeuren dan op andere plaatsen. Dit omdat de lengte van de Kennedytunnel slechts 4% is van de totale lengte van de R1.

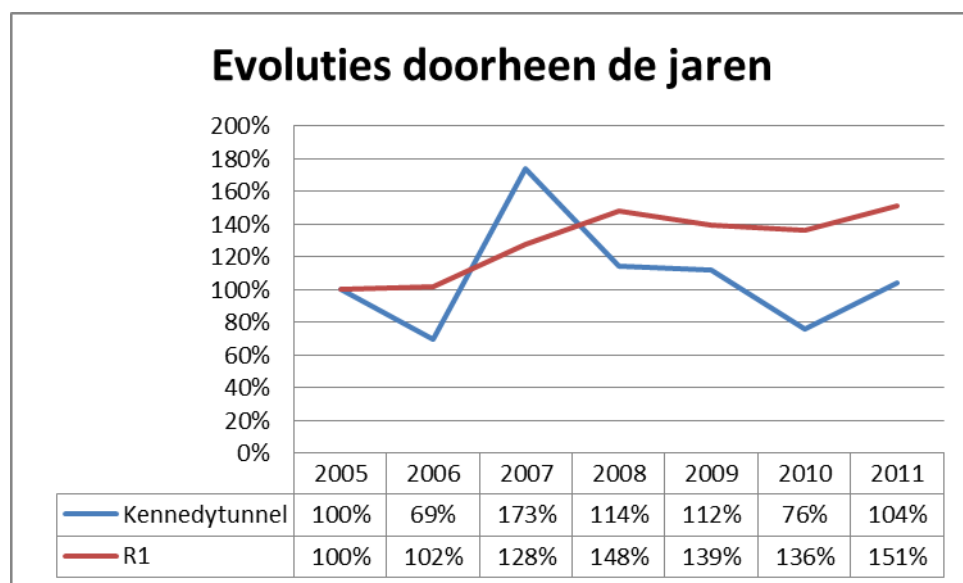
Indien men dit totaal aantal ongevallen gaat opsplitsen naar ernst, kan men eveneens vaststellen dat de Kennedytunnel voor letselongevallen nog meer bijdraagt aan het totaal aantal letselongevallen op de R1, namelijk voor 8%.

Jaar	Ongevallen Kennedytunnel	Ongevallen Ring	Percentage
2005	49	663	7%
2006	34	675	5%
2007	85	847	10%
2008	56	981	6%
2009	55	922	6%
2010	37	901	4%
2011	51	1003	5%

TABEL 2: Ongevallen per jaar

Tabel 2 toont de absolute aantallen van alle ongevallen op de R1 en de Kennedytunnel per jaar. De cijfers werden pas vanaf 2005 getoond omdat dit pas het eerste volledige jaar is binnen de onderzoeksperiode.

Het percentage in de derde kolom toont de verhouding tussen het aantal ongevallen in de Kennedytunnel en het aantal ongevallen op de ring. Hieruit kan men concluderen dat de Kennedytunnel in 2007 veel gevoeliger was voor ongevallen dan andere plaatsen op de R1. Het aandeel is hier namelijk 10% terwijl dat de lengte van de Kennedytunnel op de R1 slechts 4% is ten opzichte van de volledige R1. De overige jaren bevond de Kennedytunnel zich slechts 1 à 2 % boven dit percentage.



Grafiek 1: Evoluties ongevallen Kennedytunnel en R1

Grafiek 1 toont de evoluties van het totaal aantal ongevallen (letsel ongevallen + ongevallen met stoffelijke schade) door de jaren heen vóór de Kennedytunnel en de R1 ten opzichte van het beginjaar.

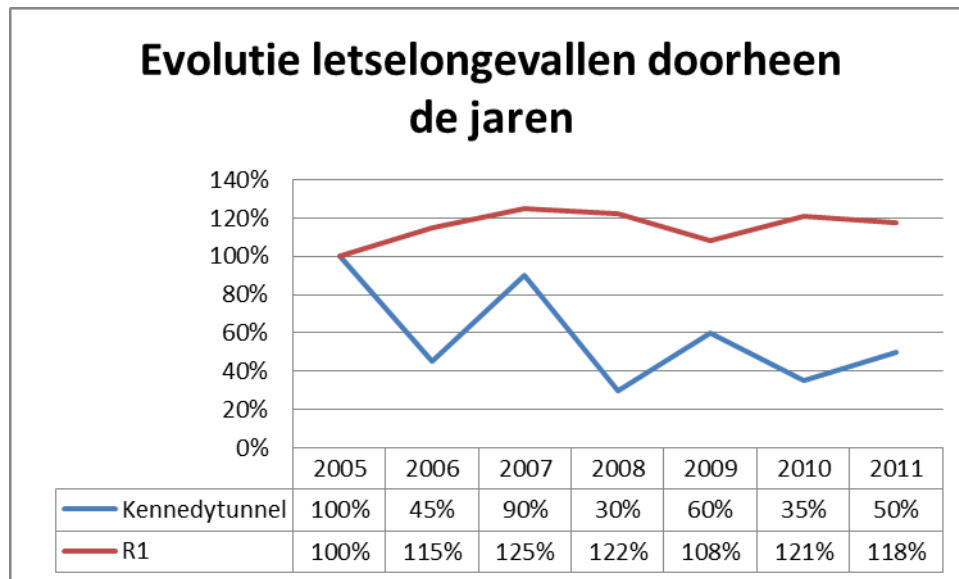
Vóór de Kennedytunnel is er een stijging van het aantal ongevallen tot en met 2007, waarna er terug een neerwaartse beweging plaatsvindt tot 2010. Voor de ring is er een ander patroon zichtbaar, daar bevindt het maximum zich in 2008 en blijft het ongevallenaantal de jaren nadien nagenoeg constant.

Beide evoluties hebben wel terug een stijging in 2011 maar of deze tendens zich voorzet is niet bekend. Maar de stijging op de ring ten opzichte van 2005 is veel hoger dan de stijging in de Kennedytunnel ten opzichte van 2005. Voor de ring bedraagt de stijging namelijk 51% terwijl dat dit vóór de Kennedytunnel "slechts" 4% is. Het feit dat 2007 vóór de Kennedytunnel het maximum is, is opvallend, want de snelheidsverlaging is hier al doorgevoerd.

Jaar	Letsel – ongevallen in Kennedyt.	Ongevallen met stoffelijke schade in Kennedytunnel	Letsel – ongevallen op R1	Ongevallen met stoffelijke schade op R1
2005	20	29	135	528
2006	9	25	155	520
2007	18	67	169	678
2008	6	50	165	816
2009	12	43	146	776
2010	7	30	163	738
2011	10	41	159	844

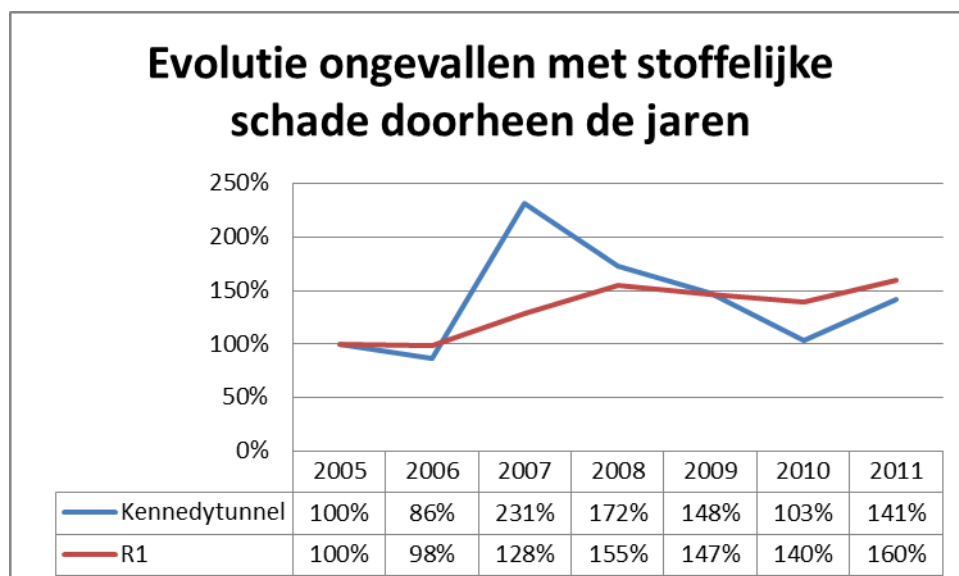
TABEL 3: Aantal letselongevallen en ongevallen met stoffelijke schade in de Kennedytunnel per jaar

Tabel 3 toont het aantal letselongevallen en ongevallen met stoffelijke schade in de Kennedytunnel en op de R1 door de jaren heen in absolute cijfers.



Grafiek 2: Evolutie letselongevallen doorheen de jaren ten opzichte van het beginjaar

Grafiek 2 toont de evolutie van letselongevallen van zowel de Kennedytunnel als de R1 met 2005 als basisjaar. Wat letselongevallen betreft, blijkt dat de Kennedytunnel tegen de algemene trend van de R1 ingaat. Het aantal letselongevallen daalde met 50% tussen 2005 en 2011 terwijl dat dit op de gehele R1 met 20% steeg ten opzichte van het beginjaar. Dit zou al een indicatie kunnen zijn dat de snelheidsverlagende maatregel een effect heeft op het aantal letselongevallen in de Kennedytunnel, maar dit moet later blijken in de effectiviteitsanalyses.



Grafiek 3: Evolutie van de ongevallen met stoffelijke schade doorheen de jaren ten opzichte van het beginjaar

Grafiek 3 toont de evolutie van de ongevallen met stoffelijke schade doorheen de jaren ten opzichte van het beginjaar. Hieruit kan een compleet andere vaststelling gemaakt worden als uit grafiek 2. Hier stijgt het aantal ongevallen met stoffelijke schade tussen 2005 en 2011 met 41%, terwijl het aantal letselongevallen daalde met 50%. De grafieken hebben wel dezelfde curve, er is in grafiek 3 eveneens een piek in 2007, waarna er een daling volgt tot en met 2010.

De R1 heeft door de jaren heen wel een iets sterkere stijging doorgemaakt als Kennedytunnel. Voor de R1 is er een stijging van 60% voor 2011 ten opzichte van 2005.

	Aantal ongevallen R1	Aantal ongevallen Kennedytunnel
Factor niet bekend	14%	15%
Rijdt door rood licht	0%	0%
Verleent geen voorrang	44%	29%
Overschrijdt witte streep	1%	0%
Haalt verkeerd in	3%	2%
Voert in extremis een uitwijkingsmanoeuvre uit	4%	3%
Niet reglementaire plaats op de rijbaan	4%	2%
Controleverlies	10%	6%
Te kleine volgafstand	20%	42%
Val	0%	1%

TABEL 4: Factoren van invloed op de ongevallen

Tabel 4 toont factoren die van invloed zijn op de ongevallen die plaatsvinden op de R1 en in de Kennedytunnel.

Op de R1 komen de meeste ongevallen voort doordat men weigert voorrang te verlenen. De tweede grootste factor die van invloed is op de ongevallen is dat men te weinig afstand houdt op zijn voorligger.

In de Kennedytunnel is de volgorde van deze factoren omgekeerd. Hier gebeuren de meeste ongevallen doordat men een te kleine volgafstand hanteert, terwijl dat het niet verlenen van voorrang de tweede reden is waarom er ongevallen plaatsvinden.

	Aantal ongevallen R1	Aantal ongevallen Kennedytunnel
Kettingbotsing	2%	9%
Frontaal	0%	1%
Kop - staart	42%	59%
Zijdelings	42%	24%
Met voetganger	0%	0%
Hindernis op de rijbaan	3%	1%
Hindernis naast de rijbaan	7%	4%
Onbekend	3%	3%

TABEL 5: Type aanrijdingen

Tabel 5 toont de types aanrijdingen op de R1 en in de Kennedytunnel.

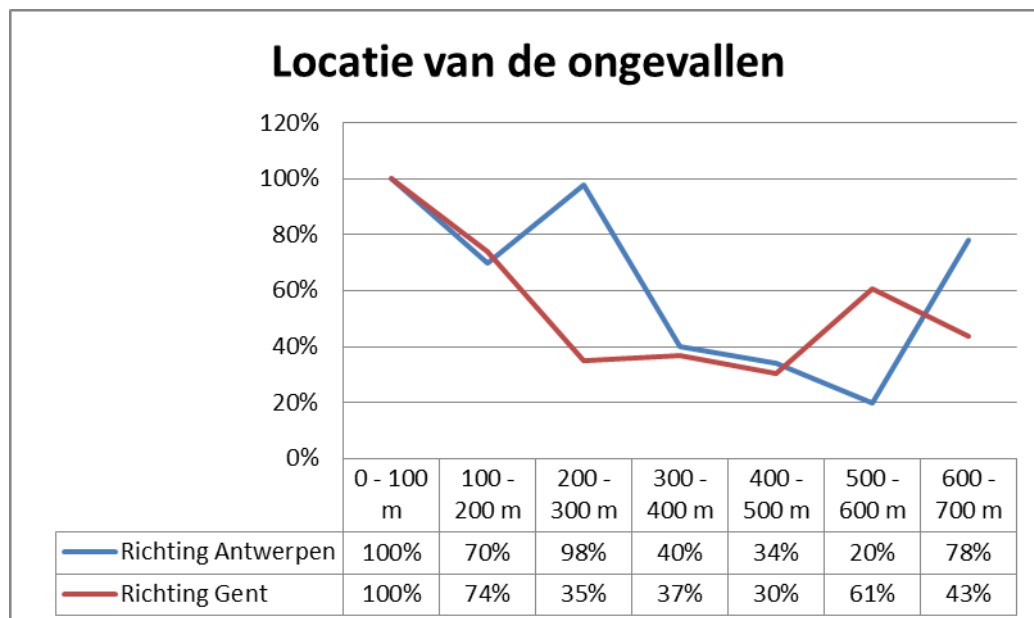
Op de hele R1 vonden er nagenoeg evenveel kop-staart aanrijdingen plaats als zijdelingse aanrijdingen. In de Kennedytunnel primeren echter de kop-staart ongevallen op de zijdelingse. Het feit dat er op de gehele R1 in verhouding meer zijdelingse aanrijdingen plaatsvinden als in de Kennedytunnel, kan verklaard worden doordat er op de R1 veel op- en afritten aanwezig zijn en in de Kennedytunnel niet. Hierdoor moet men op de gehele R1 vaker van rijstrook wisselen dan in de Kennedytunnel.

In hoofdstuk 5.1 werden tunnelongevallen uit Noorwegen geanalyseerd. Hieruit kwam naar voor dat ongeveer de helft van alle tunnelongevallen plaatsvonden 50 meter voor en 100 meter na de tunnelingang.

	Richting Antwerpen	Richting Gent
0 - 100 meter	50	46
100 - 200 meter	35	34
200 - 300 meter	49	16
300 - 400 meter	20	17
400 - 500 meter	17	14
500 - 600 meter	10	28
600 - 700 meter	32	12
Totaal	220 (56%)	175 (44%)

TABEL 6: Locatie van de ongevallen in de Kennedytunnel

Tabel 6 toont dat de vaststelling uit de Noorse ongevallenanalyses deels ook van toepassing is op de Kennedytunnel. Zowel in de richting van Antwerpen als in de richting van Gent gebeurt ongeveer de helft van de ongevallen binnen de eerste 200m vanaf de tunnelingang. Verder kan besloten worden dat er in de richting van Antwerpen meer ongevallen gebeuren dan in de richting van Gent.



Grafiek 4: Locatie van de ongevallen in de Kennedytunnel per rijrichting

Grafiek 4 geeft weer dat de meeste ongevallen in beide tunnelkokers binnen de eerste 100m gebeuren.

6.3. Effectiviteitsanalyses van de maatregel

In dit hoofdstuk zal de effectiviteit van de snelheidsverlaging van 100 km/u naar 70 km/u overdag onderzocht worden voor verschillende afstanden in en rond de Kennedytunnel. De analyses zullen telkens gemaakt worden per rijrichting en voor verschillende soorten ongevallen.

De Kennedytunnel loopt van kilometerpunt 13,5 tot 14,2 op de R1. De ongevallen binnen deze kilometerpunten zullen vanzelfsprekend geanalyseerd worden. Daarnaast zullen er ook analyses uitgevoerd worden van ongevallen voor het begin van de Kennedytunnel, omdat de snelheidsafbouw van 100 km/u naar 70 km/u hier plaatsvindt. De effectiviteit van de maatregel zal onderzocht worden voor het totaal aantal ongevallen, het aantal letselongevallen en het aantal ongevallen met stoffelijke schade. Daarnaast zal ook een onderscheid gemaakt worden in het type aanrijding: kop-staart botsingen en zijdelingse aanrijdingen. Tot slot worden ook de ongevallen die te wijten zijn aan een te korte volgafstand onderzocht. In paragraaf 6.2 kwam namelijk naar voor dat deze soorten ongevallen het meeste voorkwamen in de Kennedytunnel.

Als voorperiode zullen de ongevallen vanaf juli 2004 genomen worden, dit is namelijk de datum waarop de dynamische rijstrooksignalisatie op de R1 in gebruik genomen werd. Maar toen was er nog geen sprake van een permanente 70 km/u snelheidslimiet overdag, vandaar dat dit dus een goed punt is om als begin van de voorperiode te dienen. Deze voorperiode loopt tot en met september 2006. Enkel de ongevallen tussen 7u 's ochtends en 20u 's avonds zullen gebruikt worden.

Als naperiode worden de ongevallen vanaf november 2006 tot en met december 2011 genomen. Dit omdat men de 70 km/u reglementering heeft ingevoerd vanaf midden oktober 2006. Ook hier worden enkel ongevallen tussen 7 uur 's ochtends en 20 uur 's avonds geselecteerd, want tussen deze tijdstippen is de snelheidslimiet in de Kennedytunnel 70 km/u. De 70 km/u snelheidslimiet is wel reeds actief vanaf 6u30 maar in het ongevallenformulier staat het tijdstip slechts aangegeven in uren, vandaar dat de ongevallen pas vanaf 7u uit de database geselecteerd werden.

Correctie voor de trend zal gebeuren door de ongevallen op de autosnelwegen van en naar Antwerpen te gebruiken. Namelijk de A14 (= E17) vanuit Gent, de

A1 vanuit Brussel en Nederland en de A13 (E313) uit Hasselt. Deze selectie van ongevallen zal dus als vergelijkingsgroep beschouwd worden. Voor deze groep zullen eveneens enkel de ongevallen tussen 6u30 en 20u meegenomen worden in de analyses.

Vermits dat de A1 vanuit Brussel slechts 35 km lang is tot in Antwerpen, zal dit als afstand gebruikt worden om ongevallen op andere autosnelwegen mee in rekening te nemen. Zo draagt elke autosnelweg evenveel bij in het totale aantal van de vergelijkingsgroep.

Correctie voor regressie naar het gemiddelde kan enkel uitgevoerd worden voor de letselongevallen. De analyses van de andere soorten ongevallen (ongevallen met stoffelijke schade, kop-staart ongevallen, zijdelingse ongevallen en ongevallen met een te korte volgafstand) die uit de database gehaald worden, kunnen niet gecorrigeerd worden aangezien er hiervoor geen model voor handen is.

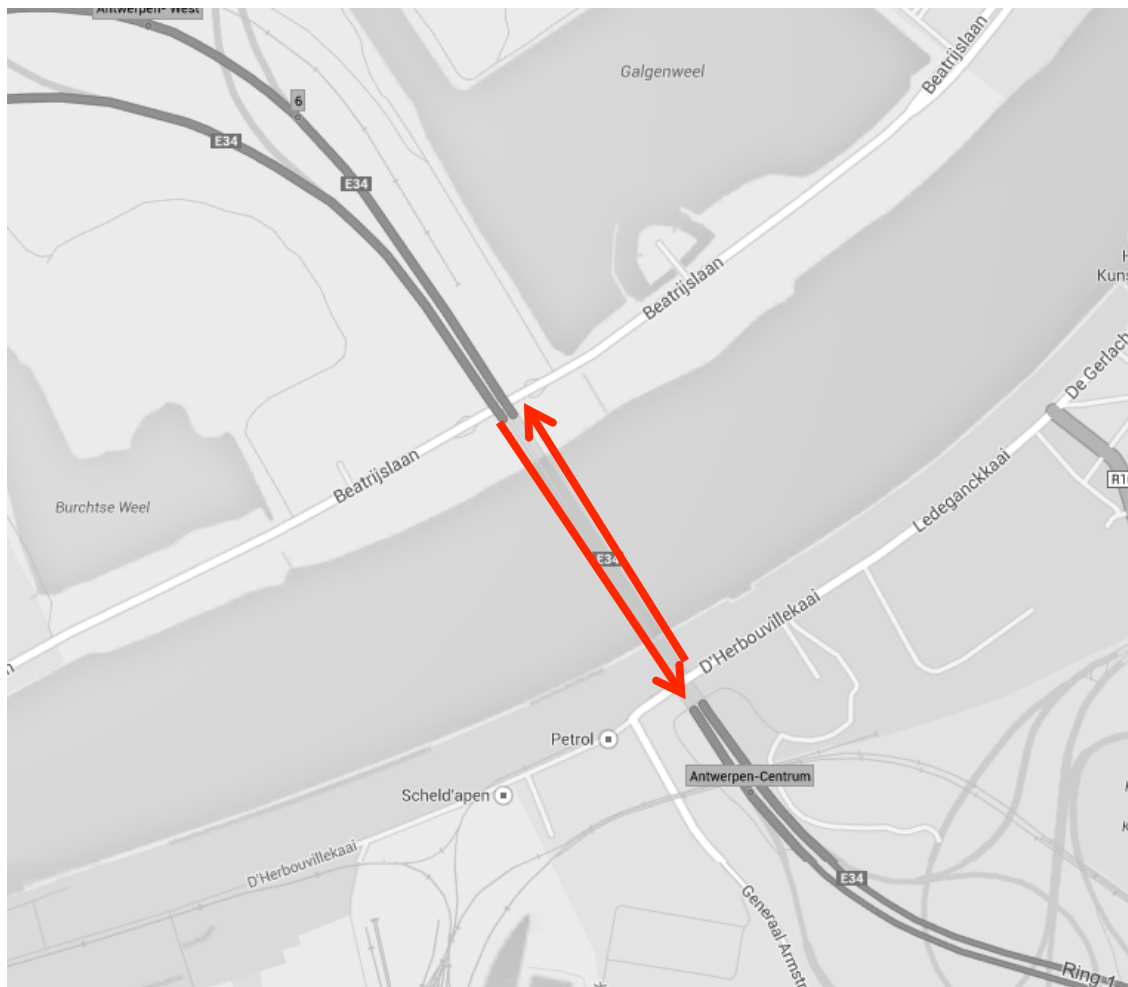
Voor elke effectiviteits-rate die bekomen wordt door middel van de Empirical Bayes methode zal worden nagegaan of dit resultaat significant is binnen het 95% betrouwbaarheidsinterval.

6.3.1. Ongevallen in de Kennedytunnel

Vermits dat de Kennedytunnel de onderzoekslocatie is, zal de effectiviteit van de snelheidsverlagende maatregel in deze tunnel als eerste geanalyseerd worden. Er worden analyses gemaakt voor beide richtingen samen, alsook voor elke richting apart. Zo kan er nagegaan worden in welke richting de maatregel het meeste effect heeft gehad.

Beide richtingen samen

In deze paragraaf worden alle ongevallen in de Kennedytunnel geanalyseerd, voor beide richtingen samen. Verderop in dit onderzoek zal ook elke richting apart geanalyseerd worden.



Figuur 13: Selectiegebied van de ongevallen in de Kennedytunnel (Google Inc., 2013)

Figuur 13 toont het selectiegebied van de ongevallen waarop de analyses in deze paragraaf gebaseerd zijn.

	Totaal ongevallen	Ongevallen met stoffelijke schade
Voorperiode OL	77	57
Naperiode OL	263	211
Voorperiode vgl groep	1677	1112
Naperiode vgl groep	4588	3196
Naperiode / Voorperiode (OL)	3,42	3,70
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,74	2,87
EFFECTIVITEIT	1,25	1,29
S²	0,02	0,02
Ondergrens	0,96	0,95
Bovengrens	1,62	1,74

TABEL 7: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen in de Kennedytunnel

Tabel 7 geeft de effectiviteit van de maatregel op het totaal aantal ongevallen en het aantal ongevallen met stoffelijke schade in de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen weer. "OL" staat voor onderzoekslocatie en "vgl groep" staat vergelijkingsgroep.

Voor zowel het totaal aantal ongevallen, als het aantal ongevallen met stoffelijke schade, is de effectiviteit groter dan 1. Dit wil zeggen dat het aantal ongevallen toch nog gestegen is na invoering van de maatregel. Het totaal aantal ongevallen is gestegen met 25% en het aantal ongevallen met stoffelijke schade is gestegen met 29%. Maar hierbij moet wel vermeld worden dat deze effectiviteitscijfers niet significant zijn aangezien dat 1 voor beide effectiviteitscijfers binnen het betrouwbaarheidsinterval valt. Er is dus nog steeds een kleine kans dat het aantal ongevallen toch licht is afgenomen aangezien dat de ondergrens kleiner is dan 1.

	Letselongevallen zonder RTM- correctie	Letselongevallen met RTM-correctie
Voorperiode OL	20	14,7331899
Naperiode OL	52	52
Voorperiode vgl groep	565	565
Naperiode vgl groep	1392	1392
Naperiode / Voorperiode (OL)	2,60	3,53
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,46	2,46
EFFECTIVITEIT	1,06	1,43
S ²	0,07	0,09
Ondergrens	0,62	0,80
Bovengrens	1,78	2,58

TABEL 8: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen in de Kennedytunnel

Tabel 8 laat de effectiviteitscijfers zien voor de letselongevallen in de Kennedytunnel. Enerzijds is er een effectiviteit berekend waar er geen correctie voor regressie naar het gemiddelde werd toegepast (= "Letselongevallen zonder RTM-correctie"). En anderzijds is er een effectiviteit berekend waarbij deze correctie wel is doorgevoerd (= "Letselongevallen met RTM-correctie"). Dit om na te gaan of er veel verschil tussen de effectiviteitscijfers zit. Er kan zo ook nagekeken worden of er daadwerkelijk een hoog aantal ongevallen plaatsvond in de Kennedytunnel. In dit geval is er duidelijk sprake van een hoog aantal ongevallen op de onderzoekslocatie in de voorperiode aangezien het aantal ongevallen voor en na de correctie bijna met één derde daalt (van 20 naar 14).

Beide effectiviteitscijfers geven aan dat het aantal letselongevallen gestegen is in de naperiode. De stijging van het aantal ongevallen waarbij gecorrigeerd is voor regressie naar het gemiddelde is wel veel groter dan bij de ongevallen waar deze correctie niet is doorgevoerd. Zonder correctie is de stijging namelijk 6% en met correctie is de stijging 43%. Dit verschil is te verklaren doordat het aantal ongevallen in de voorperiode veel kleiner is geworden na deze correctie. Het

aantal ongevallen is hier gedaald van 20 naar 14,73. Toch dienen deze effectiviteitscijfers met een korrel zout genomen te worden want het betrouwbaarheidsinterval geeft aan dat deze cijfers niet significant zijn. De lage ongevals aantallen zorgen ervoor dat het betrouwbaarheidsinterval zeer breed is. Maar het is uiteraard een goede zaak dat het aantal ongevallen laag is.

	Kop-staart ongevallen	Zijdelingse ongevallen
Voorperiode OL	48	13
Naperiode OL	156	69
Voorperiode vgl groep	672	268
Naperiode vgl groep	1996	881
Naperiode / Voorperiode (OL)	3,25	5,31
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,97	3,29
EFFECTIVITEIT	1,09	1,61
S²	0,03	0,10
Ondergrens	0,78	0,88
Bovengrens	1,53	2,97

TABEL 9: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen in de Kennedytunnel

Tabel 9 toont de effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en de zijdelingse ongevallen. Het gaat om het totaal aantal ongevallen (ongevallen met stoffelijke schade + letselongevallen) die gebeurden door een kop-staart aanrijding of een zijdelingse aanrijding. Ook voor de komende analyses in deze thesis waarbij deze 2 types aanrijdingen geanalyseerd worden is dit het geval.

Het aantal ongevallen is met 9% toegenomen voor de kop-staart ongevallen en met 61% voor de zijdelingse aanrijdingen. Maar de betrouwbaarheidsintervallen zijn net als bij de letselongevallen zeer breed wat ervoor zorgt dat de resultaten niet significant zijn. Vooral het interval van de zijdelingse ongevallen is zeer groot omdat de ongevallencijfers laag zijn.

	Te korte volgafstand
Voorperiode OL	35
Naperiode OL	123
Voorperiode vgl groep	339
Naperiode vgl groep	1290
Naperiode / Voorperiode (OL)	3,51
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	3,81
EFFECTIVITEIT	0,92
S²	0,04
Ondergrens	0,62
Bovengrens	1,37

TABEL 10: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand in de Kennedytunnel

Tabel 10 geeft de effectiviteit weer van de snelheidsverlaging op de ongevallen die te wijten zijn aan een te korte volgafstand.

Hier kan voor de eerste keer worden vastgesteld dat de maatregel voor een daling van het aantal ongevallen gezorgd heeft, al is deze wel slechts 8%. Een mogelijke reden waarom deze daling plaatsvindt is dat een lagere snelheid ervoor zorgt dat men sneller tot stilstand kan komen. Hierdoor gebeuren er dus minder ongevallen. Maar ook in dit geval is het berekende effectiviteitscijfer niet significant.

Vanuit Gent richting Antwerpen



Figuur 14: Selectiegebied van de ongevallen in Kennedytunnel vanuit Gent richting Antwerpen (Google Inc., 2013)

Figuur 14 toont de afstand waarover de ongevals aantallen voor de volgende analyses verzameld zijn. Het gaat om de ongevallen in de Kennedytunnel tussen kilometerpunt 13,5 en 14,2 op de R1 vanuit Gent richting Antwerpen.

	Totaal ongevallen	Ongevallen met stoffelijke schade
Voorperiode OL	37	28
Naperiode OL	158	133
Voorperiode vgl groep	1677	1112
Naperiode vgl groep	4588	3196
Naperiode / Voorperiode (OL)	4,27	4,75
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,74	2,87
EFFECTIVITEIT	1,56	1,65
S ²	0,03	0,04
Ondergrens	1,09	1,09
Bovengrens	2,24	2,50

TABEL 11: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen.

Tabel 11 toont dat het totaal aantal ongevallen en het aantal ongevallen met stoffelijke schade sterk zijn toegenomen in de richting van Antwerpen. Het totaal aantal ongevallen is gestegen met 56% en het aantal ongevallen met stoffelijke schade met 65%. De resultaten zijn hier ook niet significant, wat logisch is aangezien dat de aantallen hier nog lager zijn dan voor beide richtingen samen.

	Letselongevallen zonder RTM	Letselongevallen RTM
Voorperiode OL	9	6,76771448
Naperiode OL	25	25
Voorperiode vgl groep	565	565
Naperiode vgl groep	1392	1392
Naperiode / Voorperiode (OL)	2,78	3,69
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,46	2,46
EFFECTIVITEIT	1,13	1,50
S ²	0,15	0,19
Ondergrens	0,52	0,64
Bovengrens	2,43	3,53

TABEL 12: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

In tabel 12 is te zien dat het aantal letselongevallen is toegenomen met 50% indien de ongevallen uit de voorperiode gecorrigeerd zijn voor regressie naar het gemiddelde. De lage aantallen zorgen er echter voor dat dit resultaat niet significant is.

	Kop-staart ongevallen	Zijdelingse ongevallen
Voorperiode OL	24	4
Naperiode OL	92	47
Voorperiode vgl groep	672	268
Naperiode vgl groep	1996	881
Naperiode / Voorperiode (OL)	3,83	11,75
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,97	3,29
EFFECTIVITEIT	1,29	3,57
S ²	0,05	0,28
Ondergrens	0,82	1,28
Bovengrens	2,04	10,01

TABEL 13: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Tabel 13 laat de effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen zien in de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen.

Ook hier kan men vaststellen dat het aantal ongevallen voor beiden is toegenomen, ondanks de invoering van de maatregel. De effectiviteit is hier echter niet significant voor de kop-staart ongevallen aangezien 1 binnen het interval ligt. Ook de effectiviteit van de zijdelingse ongevallen moet met een korrel zout genomen worden want het betrouwbaarheidsinterval is zeer ruim. In tegenstelling tot het resultaat voor beide richtingen samen, kan er hier voor de zijdelingse ongevallen wel met zekerheid gezegd worden dat het aantal is toegenomen. Maar het is moeilijk om vast te stellen hoe groot deze toename exact was, aangezien dat het betrouwbaarheidsinterval zo groot is.

	Te korte volgafstand
Voorperiode OL	25
Naperiode OL	72
Voorperiode vgl groep	339
Naperiode vgl groep	1290
Naperiode / Voorperiode (OL)	2,88
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	3,81
EFFECTIVITEIT	0,76
S²	0,06
Ondergrens	0,47
Bovengrens	1,21

TABEL 14: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand in de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Tabel 14 toont aan dat de effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand in de Kennedytunnel kleiner is dan 1. Het aantal ongevallen is dus met 24% afgenomen na invoering van de maatregel.

Maar hier is de effectiviteit niet significant aangezien 1 in het betrouwbaarheidsinterval ligt. Maar er is wel een duidelijke indicatie van een daling aangezien dat de effectiviteits waarde 0,76 onder 1 ligt.

Vanuit Antwerpen richting Gent



Figuur 15: Selectiegebied van de ongevallen in Kennedytunnel vanuit Antwerpen richting Gent (Google Inc., 2013)

Figuur 15 toont de afstand waarover de ongevals aantallen van volgende analyses verzameld zijn. Het gaat om de ongevallen in de Kennedytunnel tussen kilometerpunt 13,5 en 14,2 op de R1 vanuit Antwerpen richting Gent.

	Totaal ongevallen	Ongevallen met stoffelijke schade
Voorperiode OL	40	29
Naperiode OL	105	78
Voorperiode vgl groep	1677	1112
Naperiode vgl groep	4588	3196
Naperiode / Voorperiode (OL)	2,63	2,69
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,74	2,87
EFFECTIVITEIT	0,96	0,94
S²	0,04	0,05
Ondergrens	0,66	0,61
Bovengrens	1,39	1,44

TABEL 15: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Gent

Tabel 15 toont er in de richting van Gent een lichte afname was van het totaal aantal ongevallen en het aantal ongevallen met stoffelijke schade. De effectiviteit is voor beiden net iets kleiner dan 1, wat wil zeggen dat het aantal ongevallen licht gedaald is. Vermoedelijk hebben vooral de ongevallen in de richting van Antwerpen ervoor gezorgd hebben dat er een stijging plaatsvond van het aantal ongevallen voor beide richtingen samen.

De effectiviteitswaarden uit tabel 15 zijn echter niet significant.

	Letselongevallen zonder RTM	Letselongevallen RTM
Voorperiode OL	11	7,965475425
Naperiode OL	27	27
Voorperiode vgl groep	565	565
Naperiode vgl groep	1392	1392
Naperiode / Voorperiode (OL)	2,45	3,39
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,46	2,46
EFFECTIVITEIT	1,00	1,38
S ²	0,13	0,17
Ondergrens	0,49	0,62
Bovengrens	2,02	3,05

TABEL 16: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Gent

Tabel 16 laat zien dat het aantal letselongevallen voor en na de maatregel constant gebleven is, indien men niet corrigeert voor regressie naar het gemiddelde. Anders is er sprake van een stijging met 38%. De aantallen zijn net als bij de vorige analyses van letselongevallen zeer laag, wat ervoor zorgt dat de resultaten ook hier niet significant zijn.

	Kop-staart ongevallen	Zijdelingse ongevallen
Voorperiode OL	24	9
Naperiode OL	64	22
Voorperiode vgl groep	672	268
Naperiode vgl groep	1996	881
Naperiode / Voorperiode (OL)	2,67	2,44
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,97	3,29
EFFECTIVITEIT	0,90	0,74
S ²	0,06	0,16
Ondergrens	0,56	0,34
Bovengrens	1,45	1,63

TABEL 17: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen in de Kennedytunnel in de richting van Gent

Tabel 17 geeft weer dat het aantal kop-staart en zijdelingse ongevallen respectievelijk met 10% en 26% gedaald is. Hier kan dus ook verondersteld worden dat vooral de ongevallen richting Antwerpen ervoor gezorgd hebben dat er een stijging van dit soort ongevallen is vóór de Kennedytunnel in zijn geheel. De resultaten uit tabel 17 zijn niet significant.

	Te korte volgafstand
Voorperiode OL	10
Naperiode OL	51
Voorperiode vgl groep	339
Naperiode vgl groep	1290
Naperiode / Voorperiode (OL)	5,10
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	3,81
EFFECTIVITEIT	1,34
S²	0,12
Ondergrens	0,67
Bovengrens	2,67

TABEL 18: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand in de Kennedytunnel in de richting van Gent.

Het aantal ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand blijkt met 34% toegenomen te zijn na invoering van de maatregel, zoals tabel 18 laat zien. Maar ook dit resultaat is niet significant, omwille van de lage cijfers op de onderzoekslocatie.

6.3.2. Ongevallen vanaf 2km voor het begin van de Kennedytunnel

In dit hoofdstuk zal het effect van de maatregel berekend worden vanaf 2 km tot het begin van de Kennedytunnel. Dit omdat dit ongeveer de plaats is waar de snelheidsafbouw van 100 km/u naar 70 km/u begint.

Beide richtingen samen



Figuur 16: Selectiegebied van de ongevallen vanaf 2 km voor het begin van de Kennedytunnel

Voor de komende analyses zijn de ongevallen voor beide richtingen vanaf 2 km vóór de Kennedytunnel geselecteerd, zoals figuur 16 laat zien. Vanuit Gent worden de ongevallen vanaf de oprit Antwerpen west. Vanuit Antwerpen worden de ongevallen geselecteerd vanaf de oprit in Berchem. De ongevallen op de oprit zelf worden niet meegenomen.

	Totaal ongevallen	Ongevallen met stoffelijke schade
Voorperiode OL	179	146
Naperiode OL	915	829
Voorperiode vgl groep	1677	1112
Naperiode vgl groep	4588	3196
Naperiode / Voorperiode (OL)	5,11	5,68
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,74	2,87
EFFECTIVITEIT	1,87	1,98
S ²	0,01	0,01
Ondergrens	1,58	1,64
Bovengrens	2,21	2,39

TABEL 19: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel

Tabel 19, die de effectiviteit van de maatregel op de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel laat zien, toont dat zowel het totaal aantal ongevallen als het aantal ongevallen met stoffelijke schade zijn gestegen in de naperiode. Het totale aantal steeg met 87% en de ongevallen met stoffelijke schade stegen met 98%.

	Letselongevallen zonder RTM	Letselongevallen RTM
Voorperiode OL	33	29,47505362
Naperiode OL	86	86
Voorperiode vgl groep	565	565
Naperiode vgl groep	1392	1392
Naperiode / Voorperiode (OL)	2,61	2,92
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,46	2,46
EFFECTIVITEIT	1,06	1,18
S ²	0,04	0,05
Ondergrens	0,70	0,77
Bovengrens	1,60	1,82

TABEL 20: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel

Tabel 20 laat de effectiviteit van de snelheidsverlaging zien op de letselongevallen vanaf 2 km voor de tunnel tot het begin van de tunnel.

Voor zowel de cijfers met correctie naar het gemiddelde als zonder, is er een lichte stijging van het aantal ongevallen. De cijfers die niet gecorrigeerd zijn voor regressie naar het gemiddelde hebben een stijging van 6 % en diegene die wel gecorrigeerd zijn hebben een stijging van 18%. Maar deze cijfers zijn niet significant.

	Kop-staart ongevallen	Zijdelingse ongevallen
Voorperiode OL	92	48
Naperiode OL	399	470
Voorperiode vgl groep	672	268
Naperiode vgl groep	1996	881
Naperiode / Voorperiode (OL)	4,34	9,79
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,97	3,29
EFFECTIVITEIT	1,46	2,98
S ²	0,02	0,03
Ondergrens	1,15	2,15
Bovengrens	1,86	4,13

TABEL 21: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel

Tabel 21 geeft weer dat de kop-staart ongevallen zijn toegenomen met 46% na invoering van de maatregel. De zijdelingse ongevallen zijn nog harder toegenomen, namelijk met 98%. Voor beide types ongevallen kan men met 100% zekerheid zeggen dat ze zijn toegenomen, al is het interval voor de zijdelingse ongevallen zeer groot. Dit maakt het moeilijk om in te schatten in welke mate deze ongevallen nu juist zijn toegenomen.

	Te korte volgafstand
Voorperiode OL	57
Naperiode OL	209
Voorperiode vgl groep	339
Naperiode vgl groep	1290
Naperiode / Voorperiode (OL)	3,67
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	3,81
EFFECTIVITEIT	0,96
S²	0,03
Ondergrens	0,70
Bovengrens	1,32

TABEL 22: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel

Het aantal ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand is licht afgenomen door de snelheidsverlaging. Dit met 4%, zoals in tabel 22 te zien is. De bekomen effectiviteit is niet significant.

Vanuit Gent richting Antwerpen



Figuur 17: Selectiegebied van de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen (Google Inc., 2013)

Voor de komende analyses zijn de ongevallen in de richting van Antwerpen vanaf 2 km vóór de Kennedytunnel geselecteerd, zoals figuur 17 laat zien. Het gaat om de ongevallen tussen kilometerpunt 14,2 en 15,5 op de R1 en tussen kilometerpunt 99,8 tot 100,5 op de E17.

	Totaal ongevallen	Ongevallen met stoffelijke schade
Voorperiode OL	133	108
Naperiode OL	637	585
Voorperiode vgl groep	1677	1112
Naperiode vgl groep	4588	3196
Naperiode / Voorperiode (OL)	4,79	5,42
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,74	2,87
EFFECTIVITEIT	1,75	1,88
S²	0,01	0,01
Ondergrens	1,44	1,52
Bovengrens	2,13	2,34

TABEL 23: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Op basis van tabel 23 de conclusie gemaakt worden dat het totaal aantal ongevallen en het aantal ongevallen met stoffelijke schade is gestegen met respectievelijk 75% en 88%. Er kan met 95% zekerheid gezegd worden dat deze ongevallen minstens met 44% (totale ongevallen) en 52% (ongevallen met stoffelijke schade) zijn toegenomen.

	Letselongevallen zonder RTM	Letselongevallen RTM
Voorperiode OL	25	21,05021225
Naperiode OL	52	52
Voorperiode vgl groep	565	565
Naperiode vgl groep	1392	1392
Naperiode / Voorperiode (OL)	2,08	2,47
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,46	2,46
EFFECTIVITEIT	0,84	1,00
S ²	0,06	0,07
Ondergrens	0,52	0,60
Bovengrens	1,37	1,68

TABEL 24: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Tabel 24 toont dat het aantal letselongevallen zonder correctie voor regressie naar het gemiddelde, is gedaald met 16%. Indien men dit cijfer corrigeert voor regressie naar het gemiddelde kan er worden geconcludeerd dat het aantal ongevallen constant is gebleven na invoering van de maatregel. De resultaten zijn echter niet significant.

	Kop-staart ongevallen	Zijdelingse ongevallen
Voorperiode OL	69	41
Naperiode OL	246	370
Voorperiode vgl groep	672	268
Naperiode vgl groep	1996	881
Naperiode / Voorperiode (OL)	3,57	9,02
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,97	3,29
EFFECTIVITEIT	1,20	2,75
S ²	0,02	0,03
Ondergrens	0,91	1,93
Bovengrens	1,59	3,90

TABEL 25: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Tabel 25 laat zien dat zowel het aantal kop-staart botsingen als het aantal zijdelingse ongevallen is toegenomen. Het resultaat voor de kop-staart botsingen is echter niet significant, maar het resultaat voor de zijdelingse ongevallen is dit wel.

Deze zijn met 175% toegenomen sinds dat de snelheidslimiet van 100 naar 70 km/u is gegaan in de Kennedytunnel. Maar over het traject waarop deze gegevens gebaseerd zijn is de snelheidslimiet niet overal 70 km/u er is namelijk een afbouw van 100 naar 70 km/u. De reden van de stijging van het aantal zijdelingse ongevallen kan zijn dat E17 hier samenkomt met de E34 en overgaat in de R1. Daardoor moeten bestuurders invoegen en ritsen, wat de kans op een zijdelingse aanrijding doet toenemen.

	Te korte volgafstand
Voorperiode OL	35
Naperiode OL	112
Voorperiode vgl groep	339
Naperiode vgl groep	1290
Naperiode / Voorperiode (OL)	3,20
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	3,81
EFFECTIVITEIT	0,84
S^2	0,04
Ondergrens	0,56
Bovengrens	1,25

TABEL 26: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Tabel 26 toont een afname van 26% het aantal ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand, maar dit resultaat is niet significant.

Vanuit Antwerpen richting Gent



Figuur 18: Selectiegebied van de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Gent (Google Inc., 2013)

Voor de komende analyses zijn de ongevallen in de richting van Gent vanaf 2 km vóór de Kennedytunnel geselecteerd, zoals figuur 18 laat zien. Het gaat om de ongevallen tussen kilometerpunt 11,5 en 13,5 op de R1 in de richting van Gent.

	Totaal ongevallen	Ongevallen met stoffelijke schade
Voorperiode OL	46	38
Naperiode OL	278	244
Voorperiode vgl groep	1677	1112
Naperiode vgl groep	4588	3196
Naperiode / Voorperiode (OL)	6,04	6,42
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,74	2,87
EFFECTIVITEIT	2,21	2,23
S²	0,03	0,03
Ondergrens	1,61	1,58
Bovengrens	3,03	3,17

TABEL 27: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Gent

Tabel 27 laat zien dat de stijging van het aantal ongevallen in de richting van Gent opvallend hoger is dan de andere richting (zie tabel 24). Hier steeg het totaal aantal ongevallen met 121% na invoering van de maatregel, terwijl dat dit in de richting van Antwerpen "slechts" 75% was.

	Letselongevallen zonder RTM	Letselongevallen RTM
Voorperiode OL	8	8,424841368
Naperiode OL	34	34
Voorperiode vgl groep	565	565
Naperiode vgl groep	1392	1392
Naperiode / Voorperiode (OL)	4,25	4,04
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,46	2,46
EFFECTIVITEIT	1,73	1,64
S ²	0,16	0,15
Ondergrens	0,79	0,77
Bovengrens	3,75	3,50

TABEL 28: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Gent

Het aantal letselongevallen, waarbij niet gecorrigeerd werd voor regressie naar het gemiddelde, is toegenomen met 73%. maar dit resultaat is niet significant. Na correctie voor regressie naar het gemiddelde bedraagt de stijging 64%. Het feit dat de stijging na correctie kleiner wordt, is opvallend. Bij voorgaande analyses (zoals in tabel 8, 12, 16, 20 en 24) was er namelijk sprake van een nog grotere stijging nadat er gecorrigeerd werd voor regressie naar het gemiddelde. Het feit dat dit in tabel 28 niet het geval is, kan verklaard worden doordat het aantal ongevallen in de voorperiode toegenomen is na correctie voor regressie naar het gemiddelde. Men gaat namelijk van 8 ongevallen voor de correctie naar 8,42 ongevallen na de correctie. Dit wil zeggen dat het gemeten aantal ongevallen op deze locatie lager is dan het aantal dat men zou kunnen verwachten op dergelijke locatie.

	Kop-staart ongevallen	Zijdelingse ongevallen
Voorperiode OL	23	7
Naperiode OL	153	100
Voorperiode vgl groep	672	268
Naperiode vgl groep	1996	881
Naperiode / Voorperiode (OL)	6,65	14,29
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,97	3,29
EFFECTIVITEIT	2,24	4,35
S ²	0,05	0,16
Ondergrens	1,43	2,00
Bovengrens	3,50	9,46

Tabel 29: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Gent

Het aantal kop-staart en zijdelingse ongevallen is toegenomen in de richting van Gent, dit is weergegeven in tabel 29. De kop-staart ongevallen zijn toegenomen met 124% en het aantal zijdelingse ongevallen met 335%. Maar het aantal zijdelingse ongevallen zijn laag, waardoor de sterkte van de stijging een vertekend beeld kan geven. Maar het staat vast dat deze zijn toegenomen want de resultaten zijn significant.

	Te korte volgafstand
Voorperiode OL	22
Naperiode OL	97
Voorperiode vgl groep	339
Naperiode vgl groep	1290
Naperiode / Voorperiode (OL)	4,41
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	3,81
EFFECTIVITEIT	1,16
S^2	0,06
Ondergrens	0,72
Bovengrens	1,87

TABEL 30: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand. Dit vanaf 2 km tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Gent.

Tabel 31 laat een niet significante stijging zien van het aantal ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand.

6.3.3. Ongevallen vanaf het begin van de dynamische rijstrooksignalisatie op de E17



Figuur 19: Selectiegebied van de ongevallen vanaf het begin van de dynamische rijstrooksignalisatie tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Voor de komende analyses zijn de ongevallen in de richting van Antwerpen vanaf het begin van de dynamische rijstrooksignalisatie op de E17 geselecteerd, zoals figuur 19 laat zien. Deze signalisatie begint op kilometerpunt 93,2.

De rijstrooksignalisatie vóór de Kennedytunnel in de richting van Gent (op de R1) zal niet onderzocht worden. Dit omdat de R1 een complex gegeven is en er veel factoren van invloed kunnen zijn op een eventuele stijging of daling van de ongevallen. Hierdoor kan de effectiviteit die bekomen wordt incorrect zijn.

	Totaal ongevallen	Ongevallen met stoffelijke schade
Voorperiode OL	196	154
Naperiode OL	959	848
Voorperiode vgl groep	1677	1112
Naperiode vgl groep	4588	3196
Naperiode / Voorperiode (OL)	4,89	5,51
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,74	2,87
EFFECTIVITEIT	1,79	1,92
S²	0,01	0,01
Ondergrens	1,52	1,59
Bovengrens	2,11	2,30

TABEL 31: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen vanaf het begin van de rijstrooksignalisatie op de E17 tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Net als alle effectiviteitwaarden die hiervoor reeds besproken zijn, kan men op basis van tabel 31 dezelfde conclusie trekken. Het totaal aantal ongevallen en het aantal ongevallen met stoffelijke schade is sterk toegenomen in de naperiode.

	Letselongevallen zonder RTM	Letselongevallen RTM
Voorperiode OL	42	41,32336283
Naperiode OL	111	111
Voorperiode vgl groep	565	565
Naperiode vgl groep	1392	1392
Naperiode / Voorperiode (OL)	2,64	2,69
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,46	2,46
EFFECTIVITEIT	1,07	1,09
S ²	0,04	0,04
Ondergrens	0,74	0,75
Bovengrens	1,55	1,58

TABEL 32: Effectiviteit van de maatregel op de letselongevallen vanaf het begin van de rijstrooksignalisatie op de E17 tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Tabel 32 toont dat het aantal letselongevallen lichtjes gestegen is, namelijk met 7 % voor de ongevallen zonder correctie en 9 % voor de ongevallen met correctie voor regressie naar het gemiddelde. Maar deze resultaten zijn niet significant omwille van de lage waarden.

	Kop-staart ongevallen	Zijdelingse ongevallen
Voorperiode OL	107	53
Naperiode OL	425	473
Voorperiode vgl groep	672	268
Naperiode vgl groep	1996	881
Naperiode / Voorperiode (OL)	3,97	8,92
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	2,97	3,29
EFFECTIVITEIT	1,34	2,71
S ²	0,01	0,03
Ondergrens	1,06	1,98
Bovengrens	1,68	3,72

TABEL 33: Effectiviteit van de maatregel op de kop-staart en zijdelingse ongevallen. Dit vanaf het begin van de rijstrooksignalisatie op de E17 tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Uit tabel 33 kan men wat betreft kop-staart en zijdelingse ongevallen ongeveer dezelfde vaststellingen maken als eerder in deze paper. De zijdelingse ongevallen zijn in de naperiode zeer sterk gestegen. Maar in vergelijking met tabel 25 is deze stijging kleiner. Toen werd er gezegd dat de hoge stijging van 335% te wijten is aan de lage aantallen. In tabel 28 is deze stijging “maar” 171% omdat de aantallen groter zijn. Het betrouwbaarheidsinterval is ook kleiner.

	Te korte volgafstand
Voorperiode OL	58
Naperiode OL	231
Voorperiode vgl groep	339
Naperiode vgl groep	1290
Naperiode / Voorperiode (OL)	3,98
Naperiode / Voorperiode (vgl groep)	3,81
EFFECTIVITEIT	1,05
S²	0,03
Ondergrens	0,77
Bovengrens	1,43

TABEL 34: Effectiviteit van de maatregel op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand. Dit vanaf het begin van de rijstrooksignalisatie op de E17 tot en met het begin van de Kennedytunnel in de richting van Antwerpen

Het aantal ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand, dat in tabel 34 wordt getoond, is na invoering van de maatregel nagenoeg constant gebleven. Het kan echter ook gedaald zijn met 23% (ondergrens) of gestegen met 43% (bovengrens). Vandaar dat de bekomen effectiviteit niet significant is.

7. Interpretatie van de cijfers

7.1. Algemene analyse van de ongevallen

Uit de analyses blijkt dat de Kennedytunnel een onveilige locatie is in vergelijking met andere locaties op de ring. Hoewel de Kennedytunnel slechts voor 4 % deel uitmaakt van de Antwerpse ring, gebeurden hier toch 6% procent van alle ongevallen op de Antwerpse ring tussen juli 2004 en december 2011. Voor de letselongevallen maakte de Kennedytunnel voor 8% deel uit van het totale aantal letselongevallen op de Antwerpse ring.

Doorheen de jaren (tussen 2005 en 2011) was de stijging van het totaal aantal ongevallen wel kleiner in de Kennedytunnel dan de R1 in zijn geheel. De piek van het aantal ongevallen in de Kennedytunnel lag in 2007. In dit jaar gebeurden er, in verhouding, veel meer ongevallen in de Kennedytunnel dan op de rest van Antwerpse ring. Dit jaar geeft waarschijnlijk de doorslag waarom de Kennedytunnel in totaal, over de jaren heen, procentueel een groter aantal ongevallen heeft in vergelijking met andere locaties op de Antwerpse ring. Hier moet wel worden bijverteld dat de Kennedytunnel in het eindjaar 2011 slechts 4% meer ongevallen heeft dan in 2005 terwijl dat de stijging voor de hele ring 51% is.

Wat het aantal letselongevallen betreft, kan er worden vastgesteld dat deze gehalveerd zijn in 2011 ten opzichte van 2005. Het aantal ongevallen in de Kennedytunnel is tussen juli 2004 en 2011 wel toegenomen, maar de ongevallen zijn minder ernstig geworden. Op de ring in zijn geheel is het aantal letselongevallen wel gestegen. De Kennedytunnel heeft op dit vlak dus een betere evolutie doorgemaakt dan de rest van de ring.

In de Kennedytunnel komen vooral kop-staart botsingen en zijdelingse aanrijdingen voor. De voornaamste oorzaak van de ongevallen in de Kennedytunnel is een te korte volgfstand, terwijl dat de voornaamste oorzaak op de hele Antwerpse ring het niet verlenen van voorrang is. De te korte volgfstand verklaart grotendeels waarom de kop-staart botsingen vaker voorkomen dan zijdelingse aanrijdingen in de Kennedytunnel. Op de rest van de ring komen kop-staart botsingen en zijdelingse aanrijdingen namelijk in gelijke aantallen voor. Zijdelingse ongevallen in de tunnel zullen vermoedelijk vaker

voorkomen naar het einde van de tunnel toe, aangezien er afritten aanwezig zijn na de tunnel en men zeker wil zijn dat men zich op de juiste rijstrook bevindt om een afrit te nemen. De vele op- en afritten op de Antwerpse ring verklaren ook waarom de zijdelingse aanrijdingen in gelijke mate voorkomen met de kop-staart botsingen, terwijl dat dit in de Kennedytunnel niet het geval is. Op de ring zijn er door de aanwezigheid van op- en afritten meer weefbewegingen dan in de Kennedytunnel, wat de kans op zijdelingse aanrijding doet stijgen.

Indien er naar de locatie van de ongevallen gekeken wordt, kan er worden vastgesteld dat er in de richting van Antwerpen (56% van de ongevallen) meer ongevallen gebeuren dan in de richting van Gent (44% van de ongevallen). Ongeveer de helft van de ongevallen in de Kennedytunnel vinden plaats binnen de eerste 200 m vanaf de tunnel ingang. In hoofdstuk 5.2 werd duidelijk dat de ogen van de bestuurders een aanpassingsperiode nodig hebben om de omschakeling van licht naar donker te verwerken. Dit kan een oorzaak zijn van het hoge aantal ongevallen in het begin van de tunnel. Een andere reden die werd aangehaald is dat bestuurders zich reeds enige afstand voor de tunnel louter concentreren op de tunnelingang en minder op het verkeer dat zelf. Vandaar dat de kans bestaat dat men te laat reageert op een manoeuvre van een andere wagen.

Een opvallend feit was dat, in de richting van Antwerpen, het aantal ongevallen terug stijgt in de laatste 100m. Een verklaring hiervoor kan zijn dat men in de laatste 100 meter versnelt omdat het einde van de tunnel in zicht is en men denkt dat de snelheidslimiet hoger ligt eens dat men de tunnel verlaat. Maar het is algemeen geweten dat de R1 vaak te maken heeft met congestie dus de kans bestaat dat men niet tijdig kan afremmen indien men met hoge snelheid uit de tunnel komt. Een andere mogelijkheid is dat men moet afremmen voor het verkeer dat de afrit neemt na de Kennedytunnel.

7.2. Bespreking van de effectiviteit van de maatregel

7.2.1. In de Kennedytunnel

Het effect van de snelheidsverlagende maatregel op het totaal aantal ongevallen in de Kennedytunnel, is negatief. Het totaal aantal ongevallen is gestegen met 25% en het aantal ongevallen met stoffelijke schade steeg met 29%. Het aantal letselongevallen is nagenoeg constant gebleven in de naperiode. Dit is opvallend want bij de algemene analyses in de vorige paragraaf was er sprake van een halvering van het aantal letselongevallen tussen 2005 en 2011. Dit wil dus zeggen dat deze halvering ook plaatsvond bij de ongevallen in de vergelijkingsgroep. Na correctie voor regressie naar het gemiddelde was er echter sprake van een stijging van 43% van het aantal ongevallen, maar de ongevallen in de voorperiode zijn hier zeer laag wat ervoor zorgt dat dit resultaat niet significant is.

Voor de kop-staart ongevallen en de zijdelingse aanrijdingen viel er eveneens een stijging vast te stellen van het aantal ongevallen. De snelheidsverlaging blijkt dus niet het gewenste effect te hebben op deze types van ongevallen, al waren de resultaten hiervan niet significant. De enige positieve noot van de vermindering van de snelheidslimiet was de daling van het aantal ongevallen ten gevolge van een te korte volgfstand in de Kennedytunnel. Het blijkt dus dat bestuurders bij een lagere snelheid minder snel botsen met de wagen voor zich. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat men bij lagere snelheden sneller tot stilstand komt waardoor een aanrijding vermeden kan worden. Toch moet de daling van dit soort ongevallen met een korrel zout genomen worden want de bekomen effectiviteit bleek niet significant voor een 95% betrouwbaarheidsinterval.

Indien de ongevallen per richting bekeken worden, kan er geconcludeerd worden dat vooral de ongevallen in de richting van Antwerpen ervoor gezorgd hebben dat er een stijging plaatsvond van het totaal aantal ongevallen in de Kennedytunnel. De ongevallen in de richting van Gent bleven nagenoeg constant in de naperiode. Maar deze constatactie is zeker niet 100% betrouwbaar aangezien dat de bekomen effectiviteitswaarden voor elke richting apart niet significant zijn omwille van de lage ongevals aantallen.

7.2.2. Vanaf 2 km vóór de Kennedytunnel

Het totaal aantal ongevallen vóór de Kennedytunnel is na invoering van de maatregel nog meer toegenomen als het aantal ongevallen in de tunnel zelf. Het totaal aantal ongevallen steeg met 87% en het aantal ongevallen met stoffelijke schade met 98%. Dit terwijl dat de stijging in de tunnel zelf respectievelijk 25% en 29% bedroeg. Dit wil dus zeggen dat de snelheidsverlaging een beter effect had op de verkeersveiligheid in de tunnel dan vóór de tunnel. Hierbij moet wel de kanttekening gemaakt worden dat de percentages van in de tunnel niet significant zijn terwijl dat de percentages van vóór de tunnel dit wel zijn omdat de ongevals aantallen hier hoger zijn.

Wat de letselongevallen betreft, kan dezelfde conclusie gemaakt worden voor de ongevallen in de Kennedytunnel als voor de ongevallen vóór de Kennedytunnel. Het aantal letselongevallen bleef namelijk na invoering van de snelheidsverlaging nagenoeg constant bij de ongevallen vóór de tunnel. Indien men het aantal ongevallen in de voorperiode corrigeert voor regressie naar het gemiddelde, is er sprake van een stijging van het aantal ongevallen. Deze stijging is echter wel kleiner als bij de ongevallen in de Kennedytunnel. Het zijn vooral de ongevallen vóór de Kennedytunnel in de richting van Gent die sterk gestegen zijn. In de richting van Antwerpen is er namelijk een daling. Dit zorgt ervoor dat de ongevallen vóór de Kennedytunnel voor beide richtingen samen constant gebleven zijn (indien men niet corrigeert voor regressie naar het gemiddelde) want beide richtingen heffen elkaar op. Maar het effect van de maatregel op de letselongevallen vóór de Kennedytunnel is, net als bij de letselongevallen in de tunnel, niet significant omwille van de lage aantallen waarmee de effectiviteit berekend werd.

Ook voor de kop-staart botsingen en de zijdelingse aanrijdingen werd er een sterkere (significante) stijging vastgesteld bij de ongevallen vóór de tunnel dan bij de (niet significante) stijging van de ongevallen in de tunnel. De kans op dergelijke ongevallen is vanzelfsprekend groter vóór de tunnel dan er in aangezien er voor de tunnel op- en afritten zijn waardoor er meer manoeuvres plaatsvinden op de rijbaan. Maar toch is het opvallend dat deze ongevallen nog sterker gestegen zijn vóór de tunnel aangezien deze soort ongevallen daar vaker voorkwamen en er dus een groter aantal ongevallen vermeden kon worden door de maatregel.

De afname van het aantal ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand is bij de ongevallen vóór de Kennedytunnel ongeveer even groot als de afname van dit soort ongevallen in de tunnel. Dit kan er op wijzen dat bestuurders hun afstand ten opzichte van hun voorligger behouden zowel buiten de tunnel als in de tunnel.

Een verschil tussen de ongevallen in de Kennedytunnel en de ongevallen ervoor is dat in de Kennedytunnel de stijging van het aantal ongevallen het grootst is in de richting van Antwerpen terwijl dat bij de ongevallen vóór de tunnel de stijging het grootst is in de richting van Gent.

7.2.3. Vanaf begin signalisatie E17 tot Kennedytunnel

Voor de ongevallen die plaatsvonden binnen het gebied van de rijstrooksignalisatie op de E17 in de richting van Antwerpen zijn dezelfde trends aanwezig als die voor de ongevallen in de Kennedytunnel en als die van de ongevallen vanaf 2 km vóór de Kennedytunnel. De ongevallen zijn minder ernstig geworden, maar zijn wel nog gestegen in de naperiode.

Het enige verschil dat kan worden vastgesteld heeft betrekking op de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand. Alleen hier zijn deze, zij het "slechts" met 5%, gestegen. Dit valt enigszins te verklaren doordat de snelheidslimiet op deze locatie grotendeels dezelfde is gebleven (100 km/u) in de voorperiode als de naperiode. Enkel de laatste 2 km voor de Kennedytunnel begint de snelheidslimiet te zakken van 100 km/u naar 70 km/u. Het feit dat er hier als enige locatie een stijging van dit soort ongevallen plaatsvindt, bevestigt dat de snelheid wel degelijk een invloed heeft op de ongevalsrisico's. Men kan bij lagere snelheden sneller tot stilstand komen ondanks het feit dat men zich bij lagere snelheden vaak korter bij zijn voorligger bevindt.

8. Besluit

Op basis van dit onderzoek kunnen verschillende conclusies gemaakt worden. Deze conclusies worden in dit hoofdstuk beknopt besproken.

De Kennedytunnel is een relatief onveilige locatie op de Antwerpse ring. Hier vonden 3% à 4% meer ongevallen plaats dan dat men gemiddeld zou mogen verwachten. Dit komt vooral doordat de Kennedytunnel in 2007 ver boven het gemiddelde zat. Want in het eindjaar 2011 was het aantal ongevallen nagenoeg gelijk aan het aantal van het beginjaar 2005. Dit terwijl dat het aantal ongevallen in de Kennedytunnel in 2011 met 51% gestegen is ten opzichte van 2005. De ongevallen in de Kennedytunnel zijn wel minder ernstig geworden doorheen de jaren. Het aantal letselongevallen is gehalveerd in tegenstelling tot het totaal aantal ongevallen die gelijk gebleven zijn.

Indien gekeken wordt naar het type aanrijding, blijkt dat de meeste ongevallen kop-staart ongevallen zijn, gevolgd door ongevallen in de vorm van een zijdelingse aanrijding. Dit contrasteert wel met de situatie op de rest van de ring, waar deze types van ongevallen in gelijke aantallen voorkomen. Indien er naar de richting gekeken wordt, kan er besloten worden dat de meeste ongevallen in de richting van Antwerpen gebeurden. Hier vonden namelijk 56% van de ongevallen plaats. In de tunnel zelf gebeurden de meeste ongevallen binnen de eerste 200m in de tunnel.

Het effect van de snelheidsverlaging op de ongevallen is overwegend negatief. In de Kennedytunnel is het totaal aantal ongevallen na de snelheidsverlaging nog gestegen met 25%. Het enige positieve hieraan is dat de ongevallen minder ernstig geworden zijn want het aantal letselongevallen is nagenoeg constant gebleven. Een tweede positief punt is dat de ongevallen ten gevolge van een te korte volgafstand licht gedaald zijn. Toch dienen alle resultaten betreffende het effect van de maatregel op de ongevallen met een korrel zout genomen te worden. Doordat er met lage aantallen van ongevallen gerekend diende te worden, zijn de bekomen resultaten niet significant.

Voor het effect van de maatregel op de ongevallen vanaf 2 km vóór de tunnel tot het begin van de tunnel kan eveneens geen positief effect waargenomen worden. De ongevallen stegen hier zelfs met 87%, wat 62% meer is als de stijging in de Kennedytunnel.

Maar hier kan eveneens besloten worden dat de letselongevallen slechts licht stegen. De ongevallen zijn hier toegenomen maar zijn wel minder ernstig geworden. Al zijn de resultaten van de letselongevallen niet significant terwijl dat de resultaten van het totaal aantal ongevallen dit wel zijn. Men kan dus met zekerheid zeggen dat het totaal aantal ongevallen gestegen is. De ongevallen die gebeurden ten gevolge van een korte volgafstand zijn, net als in de tunnel, licht gedaald. Maar dit resultaat is niet significant.

Globaal kan er dus besloten worden dat de vermindering van de snelheidslimiet enkel een positieve invloed gehad heeft op de ernst van de ongevallen, maar niet op het aantal ongevallen. Veel resultaten bleken niet significant aangezien dat "1" binnen het 95% betrouwbaarheidsinterval viel. Dit wil zeggen dat de mogelijkheid, al is deze vaak heel klein, bestaat dat het aantal ongevallen toch zou afgenomen zijn terwijl dat het berekende effectiviteitscijfer een stijging aangeeft. Het feit dat bepaalde resultaten niet significant waren kan volledig toegeschreven worden aan de lage ongevals aantallen. Uiteraard is het positief dat de ongevals aantallen (te) laag zijn maar daardoor konden er aan de hand van de Empirical Bayes methode weinig uitspraken gedaan worden die voor 100% zeker juist waren. Er kon enkel gesproken worden van sterke vermoedens omtrent de effectiviteit van de snelheidsverlaging.

9. Geciteerde werken

- Aarts, L., & van Schagen, I. (2005). *Driving speed and the risk of road crashes: A review.*
- Aljanahi, Rhodes, & Metcalfe. (2013). *Speed, speed limits and road traffic accidents under free flow conditions.*
- Amundsen, F., & Raner, G. (2000). *Studies on Traffic Accidents in Norwegian Road Tunnels.*
- Calvi, A. (2012). *An Empirical Study of the Effects of Road Tunnel on Driving Performance.*
- De Pauw, E., Daniëls, S., Brijs, T., Hermans, E., & Wets, G. (2013). An evaluation of the traffic safety effect of fixed speed cameras. *Safety Science*. Diepenbeek: Elsevier.
- Eurotest. (2007). *The future of tunnel testing.* Opgehaald van <http://www.eurotestmobility.net/eurotap.php?itemno=169&lang=EN#Kennedy>
- Evans, L., & Wasieleski, P. (1983). *Risky driving related to driver and vehicle characteristics.*
- Google Inc. (2013). *Google Maps.* Opgehaald van maps.google.be
- Manser, M., & Hancock, P. (2007). *The influence of perceptual speed regulation on speed perception, choice, and control: Tunnel wall characteristics and influences.*
- Martens, M., & Kaptein, N. (1997). *Effects of tunnel design: characteristics on driving behaviour and traffic safety.*
- Nuyts, E., & Cuyvers, R. (2003). *Effectiviteitsmeting bij Voor-Na studies met een vergelijkingsgroep.*
- Ramney, T. (2000). *Psychological factors that influence car-following and car-following model development.*

- Shin, K., & Washington, S. (2006). *The impact of red light cameras on safety in Arizona*.
- Soole, D., Watson, B., & Fleiter, J. (2013). *Effects of average speed enforcement on speed compliance and crashes*.
- SWOV. (2012). *SWOV Factsheet - Volgtijd en verkeersveiligheid*.
- VAB. (2013, Oktober). *Hoe goed werken onze dynamische verkeersborden?*
Opgehaald van <http://www.vab.be/nl/nieuws/2013/10/16/dynamische-verkeersborden>
- VAB. (sd). *VAB Dossiers: Kennedytunnel: Problemen deels veroorzaakt door rijgedrag*.
Opgehaald van <http://www.vab.be/nl/actueel/dossiers/printdossier.aspx?Id=227>
- Van Hout, K., Daniëls, S., Brijs, T., Hermans, E., & Wets, G. (2013). *Network Safety Management*. Steunpunt Verkeersveiligheid.
- Vlaams Verkeerscentrum. (2012). *Rijstrooksignalisatie*. Opgehaald van http://www.verkeerscentrum.be/verkeersinfo/verkeerscentrum/vc_middel_en_rss
- Vlaams Verkeerscentrum. (2014). *Veelgestelde vragen over rijstrooksignalisatie*.
Opgehaald van <http://www.verkeerscentrum.be/verkeersinfo/faq/rijstrooksignalisatie#hoe>

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Verkeersveiligheid in de Kennedytunnel: Effectiviteit van de snelheidverlaging van 100 km/u naar 70 km/u

Richting: **master in de mobiliteitswetenschappen-verkeersveiligheid**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Page, Niels

Datum: **2/06/2014**