

2017 • 2018
Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

Signalisatie van bochten in verkeerswisselaars, van stappenplan tot
standaardisatie

PROMOTOR :

prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

PROMOTOR :

Dhr. Kristof MOLLU

Mevr. Veerle SCHOUTTEET

Maïte Croux, Karen Laermans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

De transnationale Universiteit Limburg is een uniek samenwerkingsverband van twee universiteiten in twee landen: de Universiteit Hasselt en Maastricht University.



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE-3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE-3500 Hasselt



2017 • 2018

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

Signalisatie van bochten in verkeerswisselaars, van stappenplan tot
standaardisatie

PROMOTOR :

prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

PROMOTOR :

Dhr. Kristof MOLLU

Mevr. Veerle SCHOUTTEET

Maïte Croux, Karen Laermans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde



KU LEUVEN

Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van onze opleiding Industriële Ingenieurswetenschappen bouwkunde aan de Universiteit Hasselt – KU Leuven. De keuze voor dit onderwerp komt voort uit een succesvolle samenwerking tijdens onze bachelorproef vorig jaar waarin we “Self Explaining Roads” behandelden. Door dit onderwerp werd onze interesse voor de wegenbouw gewekt.

Deze thesis kwam tot stand met steun en hulp vanuit verschillende hoeken. Graag willen wij via deze weg dan ook een aantal mensen bedanken.

Ten eerste zouden wij onze externe promotoren Veerle Schoutteet en Kristof Mollu van het Agentscha Wegen en Verkeer willen bedanken voor de mogelijkheid tot het uitvoeren van dit onderzoek, maar ook voor de hulp en begeleiding gedurende het thesisproces. Hun expertise in het vakgebied zorgde voor een grote meerwaarde voor deze masterproef. Ook onze interne promotor prof. dr. ir. Ali Pirdavani verdient een persoonlijke bedanking voor zijn begeleiding. Onze dank gaat ook naar onze ouders voor de nooit aflatende steun en motivatie gedurende onze studie.

Daarnaast willen wij graag ‘de bouwvakkers’ bedanken, niet alleen voor de vele uren die wij samen in de bib zaten, maar ook voor het luisterend oor. Bedankt voor alles boys. Jullie hebben allemaal stuk voor stuk een betekenisvolle bijdrage geleverd aan onze masterproef! Tot slot willen wij elkaar bedanken voor de goede samenwerking en het aangename partnerschap.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen	7
Lijst van Figuren	9
Abstract	11
Abstract in English	13
1. Inleiding	15
2. Ontwerp ideale bocht	17
2.1 Horizontaal alignement.....	17
2.1.1 Horizontale rechtstand.....	17
2.1.2 De horizontale boog en verkanting	18
2.1.3 Overgangsboog.....	19
2.1.4 Bochtverbreding	21
2.2 Verticaal alignement.....	21
2.2.1 De verticale rechtstand	21
2.2.2 Cirkelbogen	23
2.3 Snelheid	23
2.3.1 V85-snelheid	23
2.3.2 Toegelaten snelheid.....	23
2.3.3 Ontwerpsnelheid.....	23
2.4 Zicht.....	24
2.4.1 Zicht bij horizontale bogen	26
2.5 Verkanting	27
3. Praktisch ontwerp bocht.....	29
3.1 Ruimtelijk alignement	29
3.1.1 Horizontale boog in verticale rechtstand.....	30
3.1.2 Verticale boog in horizontale boog	30
3.2 Fouten in het ruimtelijk alignement.....	31
3.2.1 Geen vloeiend verloop van de weg	31
3.2.2 Misleiding in wegbeeld	32
4. Discontinuïteit.....	35
4.1 Ontwerpparameters discontinuïteiten	35
4.2 Aspecten van discontinuïteiten	37
5. Oorzaken van ongevallen.....	39
5.1 Oorzaken van overdreven snelheid.....	40

5.2	Invloed menselijke factoren.....	40
6.	Signalisatiemethoden	43
6.1	Signalisatie van bochten in Nederland	44
6.2	Snelheidslimitering.....	45
6.2.1	Plaatsing snelheidslimitering.....	46
6.3	Verkeersbord A1: scherpe bocht	46
6.3.1	Plaatsing verkeersbord A1	47
6.4	Bochtschilden	47
6.4.1	Type van bochtschilden.....	48
6.4.2	Plaatsing van bochtschilden	48
6.5	Dwarsmarkeringen.....	49
6.5.1	Dwarsmarkeringen met verkleinend interval	50
6.5.2	Transversale rumble strips	50
6.5.3	Lengteprofiel	51
6.5.4	Plaatsing dwarsmarkeringen	51
6.6	Reflectoren.....	52
6.7	Bocht met veranderlijke bochtstraal	54
7.	Verkeerswisselaars.....	55
7.1	Categoriseren	55
7.2	Keuze verkeerswisselaar.....	57
7.3	Types verkeerswisselaars	57
7.3.1	Vierarmige verkeerswisselaars.....	57
7.3.2	Driearmige verkeerswisselaars.....	66
8.	Huidige signalisatie.....	73
8.1	Driearmige knooppunten	73
8.1.1	Trompet	73
8.1.2	Turbine	77
8.1.3	Ster	80
8.2	Vierarmige knooppunten	80
8.2.1	Klaverblad	80
8.2.2	Turbine	81
8.2.3	Klaverturbine.....	84
9.	Uitwerken oplossingen.....	85
9.1	Stappenplan	85
	Besluit.....	89

Bibliografie.....	93
Bijlagen	99

Lijst van Tabellen

Tabel 1 Grenzen Clothoïde	20
Tabel 2 Richtwaarde helling verticale rechtstand	22
Tabel 3 Snelheid met bijhorende zichtlengte	24
Tabel 4 Minimale maatgevende zichtlengte.....	25
Tabel 5 Toepassingen van gecombineerd horizontaal en verticaal alignement.....	30
Tabel 6 Afstand tussen de bocht en de eerste reflector	52
Tabel 7 Afstand tussen de reflectoren in een bocht met niet-gekende radius	52

Lijst van Figuren

Figuur 1 Horizontale rechtstand	17
Figuur 2 Wiskundige voorstelling clothoïde	20
Figuur 3 Uitvoegstrook met puntstuk.....	37
Figuur 4 Aantal ongevallen in functie van de radius	39
Figuur 5 Niet-conforme signalisatie: Signalisatie op verkeerswisselaars	44
Figuur 6 Verkeersbord A1.....	47
Figuur 7 Gebruik van bochtschilden	48
Figuur 8 Gebruik van bochtschilden, richtlijnen uit Texas.....	49
Figuur 9 TRS en HP.....	51
Figuur 10 Resultaten simulatorstudie.....	51
Figuur 11 Plaatsing reflectoren	53
Figuur 12 Afstand tussen reflectoren in een bocht.....	54
Figuur 13 Verkeerswisselaars in Vlaanderen.....	55
Figuur 14 Verschillende soorten verbindingswegen.....	56
Figuur 15 Klaverblad verkeerswisselaar	58
Figuur 16 Verkeerswisselaar: Aalbeke	59
Figuur 17 Verkeerswisselaar: Brugge.....	59
Figuur 18 Verkeerswisselaar: Moorsele.....	60
Figuur 19 Turbine verkeerswisselaar	60
Figuur 20 Verkeerswisselaar: Groot-Bijgaarden.....	61
Figuur 21 Verkeerswisselaar: Lummen	62
Figuur 22 Verkeerswisselaar: Machelen	62
Figuur 23 Sint-Stevens-Woluwe	63
Figuur 24 Verkeerswisselaar: Zaventem.....	63
Figuur 25 Verkeerswisselaar: Zwijnaarde.....	64
Figuur 26 Klaverblad verkeerswisselaar	64
Figuur 27 Verkeerswisselaar: Destelbergen.....	65
Figuur 28 Trompet verkeerswisselaar	66
Figuur 29 Verkeerswisselaar: Antwerpse haven.....	67
Figuur 30 Verkeerswisselaar: Beveren	67
Figuur 31 Verkeerswisselaar: Heverlee	68
Figuur 32 Verkeerswisselaar: Merelbeke.....	68
Figuur 33 Turbine verkeerswisselaar	69
Figuur 34 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Noord	70
Figuur 35 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Oost	70
Figuur 36 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Zuid	71
Figuur 37 Ster verkeerswisselaar	71
Figuur 38 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Zuid	72
Figuur 39 Verkeerswisselaar: Ranst.....	72
Figuur 40 Schematische voorstelling van een directe bocht	73
Figuur 41 Standaardvoorbeeld indirecte bocht	75
Figuur 42 Standaardvoorbeeld semidirecte bocht.....	76
Figuur 43 Schematische voorstelling van een semidirecte bocht	82

Abstract

Tot op heden is er geen richtlijn met betrekking tot de signalisatie van verbindingswegen binnen de verkeerswisselaars in Vlaanderen. Dit heeft als gevolg dat verschillende oplossingen in het wegbeeld aanwezig zijn. Het doel van dit onderzoek is het ontwerp van een stappenplan dat leidt tot een standaardisatie van de signalisatie van de bochten in deze verbindingswegen. Om tot het stappenplan te komen, werd in de eerste stap het ontwerp van een bocht bestudeerd. Dit gebeurde met behulp van binnen- en buitenlandse richtlijnen. In een tweede stap werden de signalisatiemethoden onderzocht. Als laatste werd een indeling van de verkeerswisselaars en de verbindingswegen gemaakt. Door combinatie van deze hoofdstukken werd een stappenplan opgesteld. Dit stappenplan bestaat uit de volgende stappen. In de eerste plaats wordt het type verbindingsweg bepaald. Vervolgens wordt de zichtafstand behandeld. Uit deze stappen kan de noodzakelijkheid van een snelheidslimitering worden afgeleid. Reflectoren worden geplaatst ter verbetering van de zichtbaarheid. In de volgende stap wordt de stroefheid gecontroleerd. Hierop volgend worden bochtschilden en verkeersbord A1 toegepast. Als laatste wordt het ontwerp van de bocht gecontroleerd. Indien de bochtstraal afwijkend is, worden rumble strips of hermarkeringen doorgevoerd. Een alternatief hiervoor zijn stijgende bochtschilden. Naar deze toepassing is verder onderzoek wenselijk.

Abstract in English

Until now, there is no guideline regarding the signalization of ramps and loops at highways interchanges in Flanders. As a result, different solutions are used in the road image. This study aims to provide a phased plan that leads to standardization of the signalization of these curves. By analyzing national and international guidelines, the design of a curve was studied. In a second step, this study investigates signaling methods. Finally, a classification of the junction and the connecting roads was made. The phased plan was drawn up by combining these chapters and consists of the following steps. In the first step, the type of link road was determined. The following step treated the sight distance. Using these steps the necessity of speed limitation could be deduced. To improve visibility, reflectors should be used. In the next step the coefficient of friction is studied. In the following step, chevron signs and traffic sign A1 are implemented. Finally, the design of the curve is checked. If the curve radius changes, rumble strips or re-markings will be added. An alternative to this are rising chevron signs, but further research is recommended to identify the effect of chevron signs on road safety.

1. Inleiding

Een onderzoek van het BIVV stelde vast dat er tussen 2009 en 2013 maar liefst 28 dodelijke ongevallen op de verkeerswisselaars in België gebeurden. De omgeving net voorafgaand aan een verkeerswisselaar leidt vaak tot gevaarlijke situaties omwille van rijstrookveranderingen en of weefbewegingen. Ongevallen die in de omgeving voor de verkeerswisselaar plaatsvonden, werden in het onderzoek van het BIVV niet in kaart gebracht, maar vermoedelijk zouden deze ervoor zorgen dat het aantal ongevallen op en rond verkeerswisselaars veel hoger liggen (Slootmans & De Schrijver, 2015).

Het Agentschap Wegen en Verkeer wil daarom een onderzoek uitvoeren naar de signalisatie die gebruikt wordt bij bochten in verbindingswegen binnen verkeerswisselaars. Hiervan wil het een stappenplan voor standaardisatie opstellen. Naast de signalisatie in en voor de bochten, zal ook de opbouw en structuur van bochten bekeken worden.

De nood aan standaardisatie ligt bij het feit dat elke provincie een eigen oplossingsmethode hanteert, dewelke binnen die provincie niet consequent wordt toegepast. Bij de verschillende bochten die binnen eenzelfde provincie liggen, worden verschillende vormen van signalisatie gebruikt. Dit heeft als gevolg dat momenteel voor elke bocht afzonderlijk een eigen signalisatiemethode wordt gehanteerd. Dit maakt dat veel verschillende oplossingen in het wegbeeld aanwezig zijn. Deze verschillende vormen van signalisatie en verschillende methodes zorgen in combinatie met de steeds toenemende verkeersdruk voor verwarring en onduidelijkheid bij weggebruikers.

Daarom heeft het Agentschap Wegen en Verkeer de vraag gesteld of onderzoek kan worden verricht naar een uniforme aanduiding van bochten in verkeerswisselaars. Met behulp van de beschikbare gegevens, informatie en voorgaande onderzoeken wordt getracht een oplossing te vinden op de vraag van het Agentschap Wegen en Verkeer.

Het doel van deze masterproef is het opstellen van een stappenplan tot standaardisatie van de signalisatie van verkeerswisselaars. Om tot dit uiteindelijke stappenplan te komen, worden verschillende stappen doorlopen. In de eerste plaats wordt een literatuurstudie uitgevoerd waarin wordt gekeken naar het ideale en het praktische ontwerp van een bocht. Daarbij worden ook toepassingen en richtlijnen van het buitenland bekeken. Vervolgens wordt een studie gemaakt van verschillende signalisatiemethoden die kunnen worden toegepast. Om een duidelijk overzicht van de verkeerswisselaars te krijgen, worden deze ingedeeld volgens de theoretische modellen. Ook de verbindingswegen worden hierbij ingedeeld volgens theoretische ontwerpen. In de voorlaatste stap wordt gekeken naar de huidige situaties.

De laatste stap is het opstellen van een stappenplan. Hierbij is het de bedoeling dat de verschillende stappen op een relatief eenvoudige manier te controleren zijn. Dit wil zeggen dat de stappen zonder grote impact of speciale methode kunnen worden uitgevoerd. Hierdoor wordt getracht eenvoudige methodes toe te passen.

2. Ontwerp ideale bocht

Om een volledig beeld te krijgen over bochten aanwezig op de verschillende types van verkeerswisselaars wordt eerst bekeken hoe het ontwerp van een ideale bocht eruit ziet. Voor de indeling van de verschillende types van bochten, aanwezig op de verkeerswisselaars, werd vooral gebruik gemaakt van de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen of ROA en het Vademecum weginfrastructuur deel autosnelwegen. Dit laatste werd opgesteld door het Vlaamse Agentschap Wegen en Verkeer, De Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen werd opgesteld door het Nederlands ministerie van Infrastructuur en Milieu, maar wordt ook in België gebruikt. Niet alle landen gebruiken dezelfde richtlijnen, er zijn wel overkoepelende richtlijnen van de verschillende continenten, zoals AASHTO in Amerika en AGR in Europa, maar landen zijn vrij hun eigen richtlijnen te schrijven en gebruiken. Omdat de formules uit deze richtlijnen afkomstig zijn uit de fysica zullen ze bij veel landen overeen komen maar zullen de parameters die gebruikt worden bij berekening van deze formules vaak verschillen. Dit omdat deze parameters afhankelijk zijn van onder andere klimaat en terreintype.

Het ontwerp van een bocht is opgebouwd uit een horizontaal en verticaal alignement. Hierbij zijn de ontwerpsnelheid, het zicht en de verkanting belangrijke factoren van het ontwerp. Onderstaand worden de verschillende aspecten en bijhorende richtlijnen voor een ideaal ontwerp onderzocht.

2.1 Horizontaal alignement

Het horizontaal verloop van een weg is opgebouwd door de combinatie van de volgende drie elementen: de horizontale rechtstand, de horizontale boog en de overgangsboog (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Om een goede balans in het wegontwerp te krijgen, moeten alle hiervoor genoemde elementen, zo ontworpen worden dat ze zorgen voor een veilige en continue rijervaring aan een snelheid passend bij de rijbaan (AASHTO, 2004). Hieronder worden de verschillende elementen en hun bijhorende criteria opgesomd.

2.1.1 Horizontale rechtstand

Een horizontale rechtstand wordt opgebouwd door een rechte as aan te leggen in de weg. Deze heeft als functie de verschillende elementen van het horizontaal alignement met elkaar te verbinden. Bij lange rechte trajecten worden rechtstanden zo veel mogelijk vermeden. Lange rechtstanden zorgen voor een monotoon en vermoeiend wegbeeld waardoor bestuurders vaak minder oplettend zijn. Ook kunnen ze ervoor zorgen dat bestuurders met een overdreven snelheid rijden en 's nachts kunnen ze zorgen voor verblinding van bestuurders door de koplampen van bestuurders uit de tegengestelde richting (Lamm & Smith, 1994). Onderstaande Figuur 1 Horizontale rechtstand geeft een voorbeeld weer van een situatie met een zeer lange horizontale rechtstand. In deze gevallen gaat de voorkeur uit naar het vervangen van de rechtstanden door bogen met boogstralen van 40 000 meter of groter (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).



Figuur 1 Horizontale rechtstand (Van den Bossche, 2014)

Binnen het aspect van verkeerswisselaars worden rechtstanden echter regelmatig toegepast om twee opeenvolgende horizontale bogen met elkaar te verbinden. Aan het ontwerp van een rechtstand zijn enkele ontwerprichtlijnen verbonden. In deze ontwerprichtlijnen worden een maximum- en minimumlengte opgesteld. De maximumafstand is bij verkeerswisselaars minder van toepassing gezien de beperkte afmetingen van de verkeerswisselaar. De minimumlengte is echter meer van toepassing. Voor de bepaling van de minimumlengte wordt een onderscheid gemaakt tussen gelijkgerichte en tegengestelde bochten. Voor gelijkgerichte bochten bedraagt de minimale lengte vier maal de ontwerpsnelheid. Voor tegengestelde bochten is de minimumlengte gelijk aan twee maal de ontwerpsnelheid. Hierbij wordt de ontwerpsnelheid telkens in km per uur uitgedrukt (ROA, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

2.1.2 De horizontale boog en verkanting

De bocht met bijhorende straal gelegen binnen het horizontaal alignement wordt gedefinieerd als een horizontale boog (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Binnen de verschillende types van verkeerswisselaars worden horizontale bogen voornamelijk aangelegd om een richtingsverandering mogelijk te maken. Andere functies van een horizontale boog zijn het verbeteren van het zicht op stroomafwaarts verkeer, het verhogen van de concentratie van bestuurders door het creëren van een afwisselend wegbeeld en het verbinden van wegen met verschillende rijrichtingen (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Bij het ontwerp en de aanleg van horizontale bogen zijn er volgens de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen drie criteria waaraan een ideaal ontwerp moet voldoen. Deze drie criteria worden omschreven als de bochtherkenning, de aanwezige zichtbaarheid in de bocht en de berijdbaarheid van de bocht (ROA, 2017). Het Vademecum weginfrastructuur deel autosnelwegen stelt dat de booglengte en boogstraal de twee belangrijkste ontwerpparameters zijn (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). The American Association of State Highway and Transportation Officials beschrijft dat bij het ontwerpen van bochten, het ontwerp gebaseerd moet worden op de relatie tussen ontwerpsnelheid en bochtstraal en hun gedeelde relatie met verkanting en wrijving (AASHTO, 2004). Deze relaties komen voort uit de mechanica, de waardes nodig om deze berekeningen te maken zijn afhankelijk van verschillende parameters en kunnen per land verschillen.

Het eerste criterium volgens de ROA voor het ontwerp van bochten is de bochtherkenning. Voor de veiligheid van de weggebruikers is het belangrijk dat de aanwezige bogen als zelfstandige componenten worden herkend. Hiervoor moet er voldoende zichtbaarheid aanwezig zijn. Dit zowel vooraleer de bocht wordt ingereken als in de bocht zelf (ROA, 2017). Ook het Vademecum stelt dat boogherkenning een belangrijk element is, dit voor de eerste ontwerpparameter, de bochtlengte. De voorgeschreven minimale bochtlengte wordt verkregen op basis van drie rijseconden dewelke nodig zijn om een horizontale bocht als een zelfstandig element te herkennen (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Het tweede criterium van de ROA is de berijdbaarheid van de horizontale bocht. Bij de berijdbaarheid spelen vooral de boogstraal en de aanwezige verkanting een belangrijke rol. Zowel bij de Nederlandse ontwerprichtlijnen als de Amerikaanse is de minimale boogstraal afhankelijk van de ontwerpsnelheid en de maximale verkanting en wordt ook de maximale wrijvingsweerstand voor het ontwerp in rekening gebracht (ROA, 2017; AASHTO, 2004). Maar ook moet bij het ontwerpen van de boogstraal rekening worden gehouden met de bochtherkenning, inschatting van de bocht en een goed verloop van het wegbeeld. Daarnaast moeten eisen voor zicht en comfort ook in rekening worden gebracht (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Voor de verkanting die nodig is in een horizontale bocht wordt er in de eerste

stap een onderscheid gemaakt tussen hoofdbanen en niet-hoofdbanen. Voor een bocht die wordt ontworpen binnen het traject van een hoofdbaan wordt een standaard verkanting van 2,5% dwarshelling aangenomen. Bochten ontworpen binnen het traject van niet-hoofdbanen zijn voor dit onderzoek belangrijker. Een bocht in een verkeerswisselaar valt echter onder de categorie van bochten binnen het traject van niet-hoofdbanen. Bij bochten gelegen op het tracé van een niet-hoofdbaan worden de verkanting en bochtstraal beïnvloed door de centrifugaalkracht en de zijdelingse wrijvingsweerstand. De maximale verkanting bij horizontale bogen op niet-hoofdbanen is 7%, algemeen wordt een verkanting tussen 2,5 en 5% toegepast (ROA, 2017; TUDelft, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Het Vlaams vademecum schrijft voor de minimale boogstraal bij niet-hoofdbanen volgende formule voor:

$$R_{min} = \frac{v_0^2}{127 * (n * f_d + \frac{i}{100})}$$

De hierbij gebruikte factoren zijn:

- R_{min} : minimale horizontale boogstraal (m),
- v_0 : ontwerpsnelheid (km/h),
- f_d : dwarswrijvingscoëfficiënt,
- n : reductiefactor,
- i : verkanting (%) (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Dezelfde formule wordt gebruikt in de Amerikaanse richtlijnen, hierbij wordt zoals eerder aangegeven, gebruik gemaakt van een iets andere benaming van factoren en andere parameters.

$$R_{min} = \frac{V^2}{15(0.01 * e_{max} + f_{max})}$$

De hierbij gebruikte factoren zijn:

- R_{min} : minimale horizontale boogstraal (m),
- V : ontwerpsnelheid (km/h),
- f_{max} : maximale dwarswrijvingscoëfficiënt,
- e_{max} : maximale verkanting (%) (AASHTO, 2004).

2.1.3 Overgangsboog

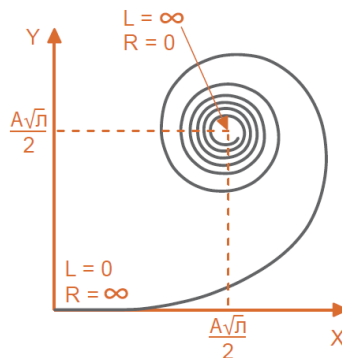
Binnen het horizontaal alignement volgen bochten elkaar regelmatig op. Om de overgang tussen deze bochten op te vangen wordt een overgangsboog toegepast. Dergelijke overgangsbogen worden ook toegepast als verbinding tussen een rechtstand en een horizontale boog. Door het tussenvoegen van een overgangsboog tracht de ontwerper een vloeiend wegbeeld te creëren. De bestuurder krijgt hierdoor de kans om het stuur geleidelijk van positie te veranderen en hierdoor wordt het rijcomfort van de weggebruiker verhoogd (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). De ontwerper aan de andere kant heeft door het tussenvoegen van een overgangsboog meer mogelijkheden met betrekking tot verkantingsovergangen en voor de voorziening van eventueel noodzakelijke bochtverbredingen (De Winne, 2015).

Voor het ontwerp van een overgangsboog wordt gebruik gemaakt van een clothoïde. Een clothoïde is wiskundig beschreven door de formule:

$$A^2 = R_x * L_x$$

Hierbij stelt A de clothoïdeparameter voor. Voor de bepaling van R_x wordt er gekeken naar de waarde van de straal op dat bepaalde punt x en voor de bepaling van L_x wordt de lengte tussen het bepaalde punt x en de oorsprong bepaald. De wiskundige voorstelling van de clothoïde is in onderstaande Figuur 2 Wiskundige voorstelling clothoïde weergegeven.

Aan het ideale ontwerp van een clothoïde zijn verschillende richtlijnen verbonden. Deze richtlijnen zijn voornamelijk verbonden aan de waarde die aan de clothoïdeparameter A moet worden toegekend. De richtlijnen hebben zowel betrekking op zicht als op comfort. Op het gebied van zicht is het enerzijds belangrijk dat de voorliggende richtingsveranderingen eenvoudig kunnen worden waargenomen. Aan de andere kant is het belangrijk dat op elk moment voldoende zichtlengte aanwezig is. Op het vlak van comfort moeten de aanpassingen van de verkantingen die worden doorgevoerd omwille van bochtveranderingen, geleidelijk gebeuren zodanig dat ook de middelpuntvliedende kracht geleidelijk wordt aangepast. Onderstaande Tabel 1 Grenzen Clothoïde geeft de grenzen die worden opgesteld voor de clothoïdeparameter weer (ROA, 2017; Van den Bossche, 2014).



Figuur 2 Wiskundige voorstelling clothoïde (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018, p. 76)

Tabel 1 Grenzen Clothoïde (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018, p. 78)

ontwerpsnelheid (km/h)	ondergrens clothoïdeparameter A		bovengrens
	zichtbaarheid	comfort (m)	
120	1/3 R ₁	270	R ₁
100	1/3 R ₁	205	
90	1/3 R ₁	175	
70	1/3 R ₁	95	
50	1/3 R ₁	60	

Als deze waarden uit bovenstaande Tabel 1 Grenzen Clothoïde vergeleken worden met die uit het AGR, dit is het European Agreement on Main International traffic Arteries, valt op dat die waardes voor elke snelheid behalve 70 km/h overeen komen. Het verschil bij 70 km/h is te wijten aan het feit dat in het AGR gebruik gemaakt wordt van 80 km/h. Aangezien dit richtlijnen

voor alle Europese hoofdwegen zijn, kan er dus gesteld worden dat de parameters voor landen in Europa overeen komen (United Nations, Economic and Social Council, 2004). Ook de ROA gebruikt dezelfde waardes. Toch worden deze overgangsbogen niet overal gebruikt, zo stelt The American Association of State Highway and Transportation Officials dat er geen bewijs is dat deze bogen een essentiële positieve invloed hebben op de veiligheid bij bochtovergangen. In sommige Amerikaanse staten wordt hier echter toch gebruik van gemaakt om een geleidelijke overgang van verkanting mogelijk te maken. Hierbij geldt dat de lengte van de boog gelijk moet zijn aan de lengte die nodig is om de overgang van de verkanting te voorzien. De gewenste lengte van de overgangsbocht dient ook gelijk te zijn aan de te verwachte lengte van de bestuurders, anders leidt dit tot misleidingen in het wegbeeld (AASHTO, 2004).

2.1.4 Bochtverbreding

Bij het berijden van een bocht volgen de achterwielen van het betreffende voertuig een andere baan dan de voorwielen. De positie van de achterwielen zal meer naar de binnenkant van de bocht zijn gelegen. Hiermee moet vooral rekening gehouden worden voor langere voertuigen zoals vrachtwagens, deze hebben een zekere uitwijking. Wanneer het bochten met een krappe bochtstraal betreft moet hiermee rekening worden gehouden en indien nodig een bochtverbreding worden aangebracht. Een bochtverbreding wordt steeds aan de binnenkant van de bocht voorzien. Wanneer dit wordt omgezet naar concrete getallen, wordt waargenomen dat een bochtverbreding niet moet worden toegepast indien de boogstraal van de betreffende bocht groter is dan 300 meter (ROA, 2017; Van den Bossche, 2014; Great Britain: The Highways Agency, 2002).

2.2 Verticaal alignement

Om het verschil in hoogte in het landschap op te vangen wordt een verticaal alignement toegepast. Een combinatie van verticale rechtstanden en cirkelbogen zijn hierbij gebruikt. Bij het ideale ontwerp wordt voor elk punt van het ontwerp gewaakt over de beschikbare zichtbaarheid van de bestuurder. Daarnaast spelen de aanwezige hellingspercentages een belangrijke rol (ROA, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). In landen met grote hoogteverschillen wordt er bij het ontwerpen van het verticaal alignement onderscheid gemaakt tussen drie verschillende types terrein, vlak, glooiend en bergachtig terrein (AASHTO, 2004). In Vlaanderen is het overwinnen van hoogteverschillen eerder een ondergeschikte functie van het verticaal alignement, hierbij is de indeling van verschillende soorten terrein niet nodig aangezien heel Vlaanderen vrij vlak is (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). In onderstaande paragrafen worden de verschillende elementen van het verticaal alignement aangehaald en toegelicht.

2.2.1 De verticale rechtstand

De functie van de verticale rechtstand bestaat eruit de verbinding van twee verticale bogen met elkaar te maken. Bij het ontwerp speelt vooral de helling van de rechtstand een belangrijke rol. Om de grenzen van de helling te definiëren, wordt een combinatie gemaakt van de hellinglengte en het hellingspercentage. Binnen de literatuur in verband met het ontwerp van wegen wordt vaak het begrip langshelling gebruikt. De begrippen langshelling en hellingspercentage betekenen echter hetzelfde maar beide begrippen worden in een andere grootheid uitgedrukt. Zo wordt een langshelling uitgedrukt in de tangens van de hoek tussen de as van de weg en de horizontaal. Een hellingspercentage is de verhouding van het hoogteverschil en de hellinglengte en wordt uitgedrukt in percentages. Binnen deze masterproef wordt er verder gewerkt met het begrip hellingspercentage (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018; ROA, 2017).

Wanneer specifiek wordt gekeken naar het ontwerp van een autosnelweg gaat bij een hoogteverschil van 12 meter de voorkeur uit naar een ontwerp met rechtstreekse combinatie van holle en bolle bogen. Dit zonder extra toevoegen van een rechtstand. Door op deze manier te ontwerpen tracht de ontwerper, net zoals bij het horizontaal alignement, een vloeiender wegbeeld te creëren (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Wanneer er in een dergelijke situatie toch een verticale rechtstand gewenst is, wordt gekeken naar de combinatie van het hellingspercentage en de hellinglengte die moet worden overbrugd. Voor het ideale ontwerp is volgende vuistregel toegepast: hoe hoger de ontwerpsnelheid is, hoe kleiner de toepasbare hellingspercentages. De achterliggende gedachte is dat op deze manier wordt getracht de snelheid van het verkeer zo constant mogelijk te houden (ROA, 2017). Deze gedachtegang wordt niet enkel in de ROA, maar ook in AGR en de Australische richtlijnen voor ontwerpen, Austroads RRD, gebruikt. AGR stelt dat alle wegen met snelheden 120 en 90 km/h een maximale helling van 3 % mogen hebben, bij Austroads zijn de maximale hellingen respectievelijk 3-5 en 3-6 %. Waar in de ROA beschreven is dat de maximale helling bij 120 km/h en 90 km/h 3 % is (United Nations, Economic and Social Council, 2004; Austroads, 2013). Ook in Geometric Design of Highways and Streets wordt beschreven dat de maximale helling afhankelijk is van de ontwerpsnelheid, maar schrijft ook dat een maximaal hellingspercentage op zich geen volledige ontwerpcontrole is. Het stelt dat een andere mogelijkheid om het bekomen van een helling de kritieke hellinglengte is. Bij snelheden van 110 km/h wordt een maximale helling van 5n% voorgeschreven, voor snelheden van 50 km/h bedraagt de maximale helling 7-8 %. Wanneer grotere hellingspercentages worden toegepast, zal voornamelijk vrachtverkeer hier nadelen van ondervinden, maar toch is het niet de bedoeling dat de maximale snelheden frequent toegepast worden. Het is beter om hellingspercentages lager dan de maximale te gebruiken (AASHTO, 2004).

Analoog aan voorgaande alinea zal bij een lange, steile helling het vrachtverkeer veel snelheid verliezen. Daarentegen geldt het omgekeerde voor een neergaande helling. Hierbij zal voor het zware vrachtverkeer de snelheid aanzienlijk toenemen en bijgevolg de remafstand verlengen. Als ontwerprichtlijn wordt aangenomen dat de snelheidsvermindering die het verkeer ondervindt kleiner moet zijn dan 20 km/h. Wanneer dit niet het geval is, dient het ontwerp te worden aangepast of dienen er extra aanpassingen te worden voorzien (ROA, 2017).

Wanneer de hellinglengte beperkt is, zoals zeer vaak het geval binnen verkeerswisselaars, zijn iets grotere hellingspercentages toegestaan. Onderstaande Tabel 2 Richtwaarde helling verticale rechtstand geeft een overzicht van de maximale hellingspercentages en de maximale hellinglengte bij bijhorende ontwerpsnelheid. Binnen deze masterproef is vooral de tweede kolom “bij grote kunstwerken” van belang (ROA, 2017).

Tabel 2 Richtwaarde helling verticale rechtstand (ROA, 2017, p. 73)

ontwerpsnelheid (km/h)	standaardwaarden		bij grote kunstwerken	
	maximaal hellingspercentage	maximale lengte	maximaal hellingspercentage	maximale lengte
120	3 %	1300 m	5 %	500 m
90				
70	4 %	700 m	6 %	350 m
50			7 %	250 m

2.2.2 Cirkelbogen

Cirkelbogen in het verticaal alignement worden samengesteld uit holle en bolle bogen of voet- en topbogen. Naar verkeersveiligheid toe zijn bolle bogen bepalender dan holle bogen. Door toepassing van beide types van bogen kunnen hoogteverschillen worden overbrugd. Afhankelijk van de grootte van het hoogteverschil en bijhorend de hellingspercentages is het nodig van een rechtstand extra toe te voegen (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018; ROA, 2017).

Voor het ontwerp van een holle boog zijn voornamelijk het comfort en het zicht van de weggebruiker belangrijk. Enerzijds moet het deel van de rijbaan duidelijk en eenvoudig leesbaar zijn. Anderzijds moet de verandering van snelheid die het voertuig ondervindt, worden beperkt (Great Britain: The Highways Agency, 2002; ROA, 2017).

Afhankelijk van in welke specifieke situatie een bolle boog zich bevindt, is het anticipatie-, het stop- of het wegverloopzicht bepalend, maar er moet altijd rekening gehouden worden met de comfortcriteria voor de bestuurder. Algemeen kan worden gesteld dat bij bolle bogen het wegverloopzicht bepalend is. Toch is zicht meestal geen probleem bij voetbogen, behalve wanneer er sprake is van bijvoorbeeld overbrugging van de weg (Great Britain: The Highways Agency, 2002; ROA, 2017).

2.3 Snelheid

Time is money is een uitdrukking die ook op het verkeer van toepassing is, zo is snelheid de belangrijkste factor in de trajectkeuze van een bestuurder. De aantrekkelijkheid van een weg is afhankelijk van tijd, gemak en uitgespaard geld. Snelheid is voor een bestuurder belangrijk maar het zorgt ook voor een vermindering van het gezichtsveld en beperkt de tijd die bestuurders hebben om informatie te ontvangen en verwerken.

De snelheid van voertuigen is naast de mogelijkheden van het voertuig zelf en van de bestuurders, afhankelijk van vier verschillende factoren. Als eerste speelt het weer een belangrijke rol, mensen gaan hun snelheid aanpassen wanneer de weeromstandigheden slechter zijn door regen of sneeuw. Verder heeft ook de aanwezigheid van ander verkeer een impact op de snelheid van een bestuurder, zo zal een bestuurder zijn snelheid aan druk verkeer moeten aanpassen. Als derde is het ontwerp van een weg ook belangrijk, bij lange rechtstanden zal er sneller gereden worden terwijl bestuurders bij bochten de snelheid gaan aanpassen. Als laatste zijn de opgelegde snelheidslimiteringen zeer belangrijk (AASHTO, 2004; Great Britain: The Highways Agency, 2002).

2.3.1 V85-snelheid

De snelheid die 85% van de bestuurders als aangenaam en veilig beschouwen bij ideale weersomstandigheden op een bepaalde weg, wordt de V85 snelheid genoemd. Deze snelheid zal door de meerderheid van de bestuurders gereden worden (AASHTO, 2004; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

2.3.2 Toegelaten snelheid

De toegelaten snelheid, ook wel maximumsnelheid genoemd, is de hoogst toegelaten snelheid op een gedeelte of over het hele wegvlak. Deze snelheid kan kleiner zijn dan de ontwerpsnelheid (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

2.3.3 Ontwerpsnelheid

De ontwerpsnelheid is de snelheid dewelke maatgevend is bij het dimensioneren van een weg (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Bij de keuze van een ontwerpsnelheid hoort rekening

gehouden te worden met de wegomgeving, het type weg en het moet een afspiegeling van de V85-snelheid zijn (AASHTO, 2004). Bij autosnelwegen wordt er een onderscheid gemaakt tussen hoofd en niet-hoofdbanen. Deze niet-hoofdbanen zijn verbindingswegen, parallelbanen en rangeerwegen. Omdat deze thesis zich focust op verkeerswisselaars zijn vooral de verbindingswegen van groot belang. Ontwerpsnelheden die in België worden toegepast zijn 120, 100, 90, 70 en 50 km/h.

Ook de verbindingswegen kunnen opgesplitst worden in verschillende types wegen, de directe-, indirecte- en semidirecte verbindingswegen. Voor directe verbindingswegen geldt 90 km/h als standaard ontwerpsnelheid en zal in uitzonderlijke gevallen 70 km/h toegepast worden. Indirecte verbindingswegen hebben een minimum ontwerpsnelheid van 50 km/h. Voor semidirecte verbindingswegen geldt de ontwerpsnelheid van 70 km/h als standaard- en minimaal toegepaste waarde van snelheid (Agentschap Wegen en Verkeer, 2017).

2.4 Zicht

Het vermogen van een bestuurder om de voorliggende weg goed te zien, is het belangrijkste voor de veilige en efficiënte werking van een voertuig op een snelweg (AASHTO, 2004). De minimale zichteis dient zo te zijn ontworpen dat bestuurders voldoende tijd hebben om een potentieel conflict te kunnen opmerken, hierop te reageren en indien nodig te stoppen (Land Transport Safety Authority, 1993). Bij het ontwerpen van de ideale bochten moet met drie zichtcriteria rekening worden gehouden. Deze drie criteria zijn: het anticipatiezicht, het wegverloopzicht en het stopzicht (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Hieronder worden de drie criteria kort opgesomd en toegelicht.

Het eerste criterium is het rijzicht of anticipatiezicht. Dit is de lengte van de weg voor de bestuurder waarover deze de aanwezige wegelementen kan waarnemen, interpreteren en vervolgens reageren. Door een bocht te ontwerpen met een voldoende hoog anticipatiezicht heeft de bestuurder de mogelijkheid het wegbeeld op een comfortabele manier te lezen en bijgevolg correct te anticiperen. De afstand wordt voornamelijk bepaald door de lengte die nodig is om de weg te herkennen. Bijgevolg is de afstand hoofdzakelijk bepaald door de ontwerpsnelheid van de rijbaan (TUDelft, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Door de ROA zijn enkele richtlijnen opgesteld in verband met de minimale zichtlengte. In onderstaande Tabel 3 Snelheid met bijhorende zichtlengte, worden de minimale zichtlengtes bij bijhorende ontwerpsnelheid weergegeven zoals deze in de ROA te vinden zijn, ook in AGR worden dezelfde zichtlengtes per snelheid gebruikt. (ROA, 2017; United Nations, Economic and Social Council, 2004; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Tabel 3 Snelheid met bijhorende zichtlengte (ROA, 2017, p. 58)

ontwerpsnelheid	maatgevende zichtlengte
120 km/h	165 m
90 km/h	120 m
70 km/h	80 m

Het tweede criterium is het wegverloopzicht. Dit omvat alles in verband met het verloop van de weg en het zicht hierover door de bestuurder. Het is belangrijk dat deze lengte voldoende lang is zodat de bestuurder op een comfortabele manier kan reageren op een situatie die zich voor hem voordoet. Hierdoor wordt de veiligheid vergroot. Voor de bepaling van de nodige lengte zijn

zowel de perceptie-reactietijd als de herkenning lengte belangrijk (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018; Broeren, 2004; ROA, 2017).

Het derde criterium is het stopzicht. Dit houdt in de tijd en hieraan de gekoppelde afstand die een bestuurder nodig heeft om het stilstaande object waar te nemen, te reageren en vervolgens tot stilstand te komen. Het effectief tot stilstand komen van een voertuig is afhankelijk van een combinatie van het remvermogen van een voertuig, de wrijving met de weg, dewelke op zijn beurt afhankelijk is van de toestand van de weg en de weersomstandigheden. Het opmerken van een object waarvoor gestopt moet worden en het reageren hierop is afhankelijk van menselijke factoren, dit is eveneens de belangrijkste factor in het hele stopproces. Zo speelt het rijgedrag en de aandacht van een bestuurder de grootste rol in de effectieve afstand stoplengte (Arcadis, SWOV, TRL, TNO & prof. Weber, 2015; AASHTO, 2004). Een voorbeeld waarbij deze stoplengte zeer belangrijk is, is bij filevorming. De lengte wordt hierbij gedefinieerd als de lengte tussen het waarnemende voertuig en het achterlicht van het voertuig dat ervoor aanwezig is. Bij de berekening van de lengte van het stopzicht wordt ook rekening gehouden met het hellingspercentage van het wegdeel. Zo zal de stoplengte langer worden wanneer een negatief hellingspercentage aanwezig is (TU Delft, 2017). Op de volgende pagina wordt in Tabel 4 Minimale maatgevende zichtlengte met enkele richtlijnen van minimale nodige zichtlengtes, de volgens de ROA bijhorende ontwerpsnelheid weergegeven. Niet overal in Europa zijn dezelfde waarden voorgeschreven, dit is een gevolg van het feit dat niet elk land dezelfde parameters gebruikt bij de berekening van de verschillende zichtlengtes. Bijvoorbeeld voor de berekening van het stopzicht, varieert de voorgeschreven wrijvingscoëfficiënt in Zwitserland tussen 0.30 en 0.49, terwijl deze bij andere Europese landen tussen 0.35 en 0.40 ligt. Toch is er nog verschil tussen deze landen, zo daalt de wrijvingscoëfficiënt bij een stijgende snelheid in Frankrijk, Zwitserland en Nederland, bijgevolg ook in België aangezien dezelfde richtlijnen gevolgd worden. In Denemarken geldt hetzelfde bij bochten. Voor rechte delen van een weg verandert de coëfficiënt in dit land niet mee met de snelheid en blijft deze constant, ook in Duitsland blijft deze constant maar dan voor elk type wegdeel (Arcadis, SWOV, TRL, TNO & prof. Weber, 2015).

Tabel 4 Minimale maatgevende zichtlengte (ROA, 2017, p. 55)

ontwerpsnelheid	minimale maatgevende zichtlengte		
	anticipatiezicht	wegverloopzicht	stopzicht
120 km/h	335 m	165 m	260 m
90 km/h	230 m	120 m	135 m
70 km/h	170 m	80 m	80 m

Voor het ideale ontwerp van een bocht moet aan deze drie criteria worden voldaan. Om de totale afstanden van deze drie criteria te bepalen wordt een onderscheid gemaakt tussen de herkenning lengte, de perceptie-reactietijd en de operationele taak. Deze drie begrippen worden hieronder toegelicht.

De herkenning lengte is de afstand die een bestuurder nodig heeft om de bocht als een zelfstandig element te identificeren. Door identificatie van de bocht is de bestuurder beter in staat om de bochten juist in te schatten. Als standaardwaarde wordt aangenomen dat een bestuurder een afstand nodig heeft voor de herkenning van de bocht die overeenkomt met de afstand die wordt afgelegd wanneer drie seconden aan de ontwerpsnelheid wordt gereden.

De perceptie-reactietijd is de lengte die overeenkomt met de nodige tijd om een bepaalde situatie waar te nemen en vervolgens hierop te reageren (ROA, 2017). De perceptie- reactietijd kan opgedeeld worden in vier componenten. Als eerste is er de perceptie, dit is de tijd nodig om een object of gebeurtenis te herkennen. Een tweede belangrijk component is de intelligentie, dit is de tijd die nodig is om de gevolgen van het object te begrijpen. Vervolgens maakt ook de emotie van een bestuurder deel uit van de perceptie-reactietijd, deze bepaalt de tijd nodig om te beslissen hoe op een het object of de gebeurtenis te reageren en als laatste de wil van een bestuurder, deze lijkt tot de tijd om de actie te starten, deze actie is in dit geval het remmen (Layton & Dixon, 2012). Algemeen wordt gesteld dat naarmate de ontwerpsnelheid hoger is en een monotone situatie zich voordoet zoals het geval bij autosnelwegen de perceptie-reactietijd van de bestuurder groter wordt omdat deze minder alert is.

Als laatste is er de operationele taak. Dit houdt in de tijd en bijhorende afstand die een bestuurder nodig heeft om een actie of correctie uit te voeren.

Om de totale afstand van de zichtcriteria te bepalen wordt een som van deze drie lengtes gemaakt. Afhankelijk van het te bepalen criteria zal een andere lengte bepalend zijn. Dit wordt per situatie onderzocht en berekend (ROA, 2017).

2.4.1 Zicht bij horizontale bogen

Om te controleren of horizontale bogen aansluiten en passen binnen het samengestelde ontwerp, moeten deze bochten op drie plaatsen gecontroleerd worden. Dit op het weggedeelte voorafgaand aan de boog, in de boog en bij het einde van de boog (ROA, 2017). Om een voor de bestuurder zo aangenaam mogelijk wegbeeld te creëren is het belangrijk dat het irriteren van de bestuurder door optische illusies en in het oog springende en afleidende objecten vermeden wordt (Borsos, Vollpracht, & Birth, 2015).

2.4.1.1 Zicht voor de horizontale boog

Voldoende zicht bij het voorafgaande weggedeelte aan een boog is zeer belangrijk om de boog op een correcte manier te kunnen inschatten en waarnemen. Om voldoende zicht te hebben voor de boog mag deze niet beginnen net voor of na een kunstwerk, net voor of na een verticale boog en moet het centrale deel binnen het gezichtsveld van de bestuurder liggen.

Bij horizontale bogen waarbij de ontwerpsnelheid in de boog zelf lager ligt dan de ontwerpsnelheid van het voorgaande wegvlak, moet de boog extra geaccentueerd worden zodat de bestuurder een betere boogherkenning kan krijgen. De middelen waarmee de boog extra geaccentueerd kan worden zullen in dit stuk niet verder besproken worden, maar verder in Signalisatiemethoden uitvoerig aan bod komen.

Verder is het zeer belangrijk dat de bestuurders voldoende zichtlengte hebben zodat ze de aankomende boog op een correcte manier kunnen inschatten. Het maatgevende zichtcriterium voor deze bochten is het wegverloopzicht. Hierbij moet de kantstreep van de buitenbocht continu en over de volledige zichtlengte helemaal zichtbaar zijn.

Per ontwerpsnelheid kan zo een standaardwaarde voor het zicht in de (krappe) boog berekend worden, uitgangspunten van deze bepaling zijn een verlaagde perceptie-tijdreactie en een remvertraging van $2,0 \text{ m/s}^2$ (ROA, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

2.4.1.2 Zicht in de horizontale boog

Een goed zicht in de boog is belangrijk zodat de bestuurder het verloop van de boog op een correcte manier kan inschatten. Zichtproblemen in de boog kunnen zich voordoen als gevolg van

het alignment, maar ook als gevolg van zichtbelemmerende elementen naast de rijbaan. Bestuurders ervaren de beste rijervaring doorheen de bocht wanneer er aan de buitenzijde van de bocht een continue optische afbakening geplaatst is parallel aan de rijweg en de bestuurder een ongehinderd zicht heeft op de binnenkant van de bocht (PIARC, 2012).

Het eerste zichtprobleem wordt bepaald door het zicht op het verloop van de kantstreep van de binnenboog. Bij goed zicht zal deze kantstreep goed en altijd te zien zijn. Het probleem wordt gevormd bij het wegspringen van deze kantstreep in verkantingsovergangen. In dit geval dient de kantstreep van de binnenboog als wentelingsas voor de verkantingsovergang te worden gekozen.

Het tweede zichtprobleem is het gevolg van zichtbelemmerende elementen naast de rijbaan. Voor deze geldt er een minimale afstand die behouden moet worden tussen het element in kwestie en de binnenkant van de kantstreep. Deze afstand, die gerelateerd is aan de boogstraal, moet ervoor zorgen dat er voldoende zichtlengte is in de boog. Onderstaande formule bepaalt de nodige afstand:

$$\text{minimale boogstraal} = \frac{(L_z)^2}{2 * (\sqrt{d_z + d_w} + \sqrt{d_z + d_c})^2}$$

Onderstaande opsomming geeft alle factoren van bovenstaande formule, deze zijn allemaal uitgedrukt in meter:

- L_z : zichtlengte,
- d_z : afstand tussen binnenkant kantstreep en zichtbelemmerend object;
- d_w : afstand tussen binnenkant kantstreep en waarneempunt bestuurder;
- d_c : afstand tussen binnenkant kantstreep en controleobject (ROA, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Een ander probleem bij zichtbelemmerende elementen is dat deze kunnen leiden tot optische illusies. Het is daarom belangrijk dat wanneer er bomen of gebouwen naast de weg geplaatst worden, deze parallel met de rand van de weg staan. Ze moeten dus altijd de vorm van de weg volgen, op deze manier wordt de vorm van de weg extra aangegeven. Wanneer bijvoorbeeld bomen naast de weg niet de vorm van de weg volgen maar er samenkomen, zal het lijken alsof de bocht zich verder bevindt en gaan bestuurders niet voldoende afremmen waardoor ze met een te hoge snelheid de bocht ingaan (Borsos, Vollpracht, & Birth, 2015; PIARC, 2012).

2.4.1.3 Zicht op het einde van de horizontale boog

Aan het einde van een horizontale boog moet het zicht optimaal zijn om zo de verkeerssituatie stroomafwaarts en de booghoek goed te kunnen inschatten (ROA, 2017).

2.5 Verkanting

Bij het ontwerp van een bocht wordt een dwarshelling ontworpen die verkanting wordt genoemd. Deze verkanting heeft meerdere functies en de waarde ervan is afhankelijk van verschillende factoren. Zo hebben de klimaatcondities, het terreintype, het gebied waarin de weg gelegen is en als laatste de mate waarin zeer traag rijdende voertuigen, die een invloed van de verkanting kunnen ondervinden, een invloed op de mate van verkanting (AASHTO, 2004).

Een eerste functie van verkanting is de afvoer van water. Bij het ontwerp van een weg wordt steeds een afschot voorzien. Een afschot is de definitie die wordt toegekend aan de helling die wordt aangebracht aan het oppervlak van de rijbaan om het water af te voeren. Voor een goede afvoer is een minimale helling van 2,5 % nodig (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). De

maximale helling van verkanting is afhankelijk van het gebied waarin de weg ligt, het type weg en de klimaatomstandigheden van het gebied waarin de weg gevestigd is. Hierdoor is er een verschil in maximale helling, zo is de maximale helling volgens de ROA 5 %, ook volgens de algemene Europese richtlijnen is de maximale helling van een verkanting 5 %, maar niet overal ter wereld wordt dit maximum gebruikt (United Nations, Economic and Social Council, 2004; ROA, 2017). In Australië ligt het maximum op 6 % en in de Amerikaanse staat North Dakota is de maximaal gebruikte dwarshelling voor wegen 8 % behalve wegen gelegen in berggebieden hier is het maximum 6 % omdat hier rekening gehouden is met de verhoogde mogelijkheid van sneeuw en ijs (Austroads, 2013; The North Dakota Department of Transportation, 2011). De algemeen grootst gebruikte verkanting is niet meer dan 10 %, toch wordt per uitzondering soms gebruik gemaakt van een verkanting van 12 %. Een verkanting van meer dan 8 % wordt enkel gebruikt in gebieden zonder sneeuw of ijs, gebieden met ijs en sneeuw krijgen meestal een verkanting van 6 % of kleiner. Dit omdat voertuigen die met een lage snelheid rijden of stoppen in bochten met een verkanting groter dan 6 % de neiging hebben om naar het middelpunt van de bocht te glijden. (AASHTO, 2004; Washington State Department of Transportation, 2017).

Bij het ontwerp van de ideale bocht is een goede afvoer van water ook belangrijk. Daarom wordt als ondergrens van de verkanting een helling van 2,5 % vastgelegd (ROA, 2017). Naast de afvoer van water heeft de verkanting nog andere functies. Een tweede functie is het opvangen van de middelpuntvliedende kracht. Deze kracht wordt door bestuurders ondervonden bij het inrijden van een bocht. Algemeen kan worden gesteld: hoe kleiner de boogstraal, hoe groter de middelpuntvliedende kracht, hoe groter de toegepaste verkanting. Bij snelheid is het net omgekeerd, hoe hoger de snelheid van een in een bocht rijdend voertuig, hoe meer invloed het in een bocht ondervindt. Hierbij is een gepaste verkanting nodig om het voertuig de juiste laterale positie op de weg te laten behouden (The North Dakota Department of Transportation, 2011). Als laatste functie zorgt de aanleg van een verkanting voor een continuïteit in het wegbeeld. Door deze continuïteit kunnen bestuurders de bochten beter inschatten (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Voor de aanleg van een verkanting zijn er twee mogelijkheden. Wanneer een krappe bochtstraal aanwezig is, wordt een verkanting toegepast die aflopend is naar de binnenkant van de bocht. Door de verkanting op deze manier aan te leggen worden niet alleen de middelpuntvliedende krachten opgenomen maar zorgt de verkanting ook voor de afvoer van water. Wanneer een zeer ruime bochtstraal aanwezig is, kan omwille van ontwerpredenen ook een tegenverkanting worden toegepast. Hierbij is de verkanting oplopend naar de binnenzijde van de bocht (ROA, 2017).

3. Praktisch ontwerp bocht

Om een volledig beeld te kunnen krijgen over de bochten die aanwezig zijn op de verschillende types van verkeerswisselaars werd eerst besproken hoe het ontwerp van een ideale bocht eruit ziet. Bij deze ideale bocht worden alle componenten op zich op een zo ideaal mogelijke manier ontworpen zonder rekening te houden met de samenhang van de ontworpen delen. Na het ontwerpen van deze verschillende componenten is het dus zeer belangrijk een controle uit te voeren op de samenhang van de te combineren elementen. Dit dient te gebeuren op basis van overkoepelende randvoorwaarden. Na elke aanpassing, dit zijn aanpassingen van de maatvoeringen van een bepaald individueel deel, moet opnieuw een controle uitgevoerd worden. Wanneer deze controle niet wordt uitgevoerd, kunnen fouten in het wegbeeld ontstaan. Deze worden in Fouten in het ruimtelijk alignement besproken.

Algemeen wordt aangenomen dat veel ongevallen te wijten zijn aan menselijke fouten (Slootmans & De Schrijver, 2015). Weggebruikers schatten het verloop van de weg vooral in op basis van visuele waarnemingen en rijervaring (Cornu, Brijs, Daniels, Hermans, & Wets, 2016). Juist daarom is het belangrijk om een bocht, maar ook andere wegdelen, op de beperkingen van de mens af te stemmen. Naast de rijtechnische eisen, is dus ook het wegbeeld zeer belangrijk om rekening mee te houden tijdens het ontwerp. Enkel de ontwerprichtlijnen strikt toepassen kan niet (Borsos, Vollpracht, & Birth, *The Role of Human Factors in Road Design*, 2015).

Beeldelementen die vlot en goed op elkaar aansluiten geven een wegbeeld een goede visuele kwaliteit en zorgen dus het voor een goed wegbeeld. Die visuele kwaliteit heeft niet enkel betrekking op het ontwerp van de weg zelf, maar ook op de omgeving, de inschattingen en de tijdige waarneming van veranderingen door de bestuurder (ROA, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

3.1 Ruimtelijk alignement

De samenstelling van het horizontale en verticale alignement van een snelweg wordt het ruimtelijk alignement genoemd. Zoals al eerder vermeld moeten de afzonderlijk ontworpen componenten na het samenvoegen gecontroleerd worden op samenhang en een goed wegbeeld. Dit is belangrijk omdat aanpassingen aan het alignement na uitvoering zeer kostelijk zijn (Hanno, 2004). Bij deze controle gelden enkele randvoorwaarden. Zo mag het wegbeeld niet te saai en te eentonig zijn, dit leidt tot concentratieverlies en onoplettendheid door een lagere activiteit van het centrale zenuwstelsel, wat op zijn beurt weer leidt tot ongevallen (Borsos, Vollpracht, & Birth, 2015). Om een eentonig wegbeeld te voorkomen moet in een wegontwerp minstens één gekromd element toegepast worden. Ook een te druk wegbeeld is problematisch, daardoor moet het aantal gelijktijdig toegepaste ruimtelijke elementen beperkt worden tot drie. Als laatste is het wenselijk dat de tangentialpunten van horizontale en verticale bogen samenvallen (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018; ROA, 2017). The American Association of State Highway and Transportation Officials gebruikt echter een andere aanpak. Zij zijn van mening dat het horizontaal en verticaal alignement niet afzonderlijk ontworpen mogen worden omdat beide alignementen elkaar aanvullen. Zij gaan dus beide naast elkaar ontwerpen en niet afzonderlijk zoals in België en Nederland gebeurt (AASHTO, 2004).

In onderstaande Tabel 5 Toepassingen van gecombineerd horizontaal en verticaal alignement, is een overzicht gegeven van de mogelijkheden waarmee componenten uit het horizontale en verticale alignement gecombineerd kunnen worden. Onder de tabel zullen sommige van deze combinaties verder toegelicht worden. Omdat deze thesis onderzoek verricht naar bochten op

autostrades zullen enkel de combinaties met betrekking tot bogen besproken worden (ROA, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Tabel 5 Toepassingen van gecombineerd horizontaal en verticaal alignement (ROA, 2017, pp. 106-107)

situatie	toepasbaarheid					
	horizontale rechtstand	horizontale rechtstand	horizontale rechtstand	horizontale boog	horizontale boog	horizontale boog
	verticale rechtstand	bolle boog	holle boog	verticale rechtstand	bolle boog	holle boog
gestrekte tracégedeelten	vermijden (tenzij dwangpunten)	bruikbaar (tenzij rijstrook-beëindiging)	vermijden (tenzij onderdoorgang)	goed bruikbaar bij zeer royale bogen	goed bruikbaar	goed bruikbaar
gebogen tracégedeelten	vermijden	bruikbaar (tenzij rijstrook-beëindiging)	vermijden (tenzij onderdoorgang)	bruikbaar	goed bruikbaar	goed bruikbaar
hoofdbanen bij knooppunten en aansluitingen	vermijden (tenzij parallax)	vermijden	vermijden	bruikbaar	Bruikbaar bij zeer royale bogen	goed bruikbaar bij royale horizontale bogen
toe- en afritten op verbindingswegen	bruikbaar	bruikbaar	bruikbaar	vermijden	goed bruikbaar	goed bruikbaar bij royale horizontale bogen

3.1.1 Horizontale boog in verticale rechtstand

Een rechte lijn in het verticaal alignement gecombineerd met een boog in het horizontaal alignement is wat een horizontale boog in het verticaal alignement genoemd wordt. De horizontale boog, het basiselement van het autosnelwegontwerp, is te onderscheiden in drie klassen bogen:

- zeer ruime stralen die als functie het vervangen van rechte tracégedeelten hebben;
- standaard stralen gebruikt bij gebogen tracégedeelten;
- krappe stralen toegepast buiten de hoofdbaan bij knooppunten en aansluitingen (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018; ROA, 2017).

3.1.2 Verticale boog in horizontale boog

De samengestelde boog is een combinatie van een horizontale boog met een holle of bolle boog waarbij de beide bogen gelijk moeten zijn om een duidelijk wegbeeld te geven. De combinatie van beide types bogen leidt bij een correct ontwerp tot een aangename rijervaring (AASHTO, 2004; ROA, 2017). Om aan dit correct ontwerp te kunnen voldoen moet met enkele eisen rekening gehouden worden. Zo moeten snelle opeenvolgingen van holle en bolle bogen vermeden worden. De straal van de bolle of holle boog moet passen binnen de omgeving, hoe platter de omgeving, hoe groter de bochtstralen moeten zijn (Lamm & Smith, 1994).

Bij de combinatie van een bolle en horizontale boog, wordt de horizontale boog door bestuurders vaak krappere ingeschat dan die werkelijk is. Bij het ontwerpen van de holle boog is het

aangewezen grote boogstralen te gebruiken. Deze zorgen voor het verhogen van het veiligheidsgevoel en het zicht van de bestuurder (AASHTO, 2004). Dit geldt deels ook voor de horizontale boogstralen, horizontale bogen met een minimale straal mogen niet gecombineerd worden met een bolle boog (Austroads, 2013). Het toepassen van deze combinatie is ook niet altijd mogelijk. Dit kan enkel wanneer de eisen voor zichtlengte het toelaten. Een andere beperking is dat tegengesteld draaiende bogen niet op dit type aangesloten kunnen worden (ROA, 2017). Als laatste mag de horizontale boog nooit te dicht bij het hoogste punt van de bolle boog gelegen zijn. Hierdoor is het mogelijk dat een bestuurder de verandering in horizontaal alignement niet waarneemt. Dit is vooral 's nachts gevaarlijk (AASHTO, 2004).

De combinatie van een holle met een horizontale boog geeft in tegenstelling tot het vorige type een goed zicht op het verloop van de rijweg en dan wordt de boog ruimer ingeschat dan in werkelijkheid het geval is (Hanno, 2004). Het te ruim inschatten kan leiden tot een te hoge snelheid in de boog. Om de overschatting te voorkomen dient de boog van de holle boog minstens vijf keer groter te zijn dan die van de horizontale boog. De verhouding van de straal van de horizontale en bolle boog mag maximaal één tiende zijn (Lamm & Smith, 1994). Wanneer dit niet het geval is, overheerst de bolle boog in het wegbeeld en zorgt het voor een verkeerde interpretatie van de weg. Om bij afritten waarbij deze samenstelling gebruikt wordt misleiding te voorkomen, moet een zo kort mogelijke clothoïde ($A=R$) toegepast worden. In tegenstelling tot de vorige combinatie is deze wel geschikt om andere ontwerpcomponenten op aan te sluiten (ROA, 2017). Als laatste mag de horizontale boog nooit te dicht bij het laagste punt van de holle boog gelegen zijn, dit zorgt voor een te beperkt zicht voor de bestuurder (Lamm & Smith, 1994; AASHTO, 2004).

3.2 Fouten in het ruimtelijk alignement

Het belang van de controle van een ontwerp werd eerder al aangehaald. In dit stuk worden de twee mogelijke fouten in het wegbeeld besproken die voorkomen bij onvoldoende of geen controle. Deze fouten in het ruimtelijk alignement zijn in tegenspraak met twee van de drie basisregels in verband met veiligheid op de weg. Als eerste moet een ontwerp een betrouwbaar beeld van de weg geven zodat er een gepaste snelheid en een laterale positie van het voertuig aangehouden kan worden. De tweede basisregel die in dit geval overtreden wordt, is dat een weg moet voldoen aan de verwachtingen van bestuurders. De weg moet met andere woorden op een correcte manier afgesteld zijn op de acties van bestuurders (PIARC, 2012).

3.2.1 Geen vloeiend verloop van de weg

Een niet vloeiend verloop van de weg is een gevolg van foute keuzes in het ruimtelijk alignement. Het is mogelijk dat hierdoor een horizontale knik ontstaat. Dit is een kleine horizontale richtingsverandering van minder dan 6 graden tussen twee horizontale rechtstanden. Een horizontale knik kan ook een korte horizontale rechtstand tussen twee gelijkgerichte horizontale bogen zijn. Dit kan opgelost worden door de vervanging van de korte horizontale rechtstand door een horizontale boog tussen de twee gelijkgerichte horizontale bogen. Hierdoor zal een beter wegbeeld verkregen worden (Lamm & Smith, 1994; Agentschap Wegen en Verkeer, 2017).

Ook een verticale knik kan ontstaan wanneer er vanuit een horizontale rechtstand of zeer flauwe horizontale boog een verticale holle boog benaderd wordt. De knik in het wegbeeld kan verminderd worden door voor de verticale boog een kleine verticale rechtstand toe te passen of door de knik in een horizontale boog te laten uitkomen (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). De verticale knik kan ook ontstaan wanneer er een korte rechtstand tussen twee holle verticale

bogen gebruikt is, dit misleidt en zal er als een bolle boog uitzien. Een gepaste oplossing hiervoor is het toepassen van een lange holle boog. Omgekeerd geldt dit ook, een korte horizontale rechtstand tussen twee bolle bogen, kan op een holle boog lijken. De oplossing is gelijkaardig aan de vorige. Hier is het gebruik van een grote bolle boog aangeraden. Aangenomen wordt dat hoe langer een holle boog, hoe groter het zicht van de bestuurder en hoe kleiner de kans op knikken (Lamm & Smith, 1994).

Een andere mogelijke fout in het ruimtelijke alignement zijn de verticale- en horizontale S-vorm. Verticale S-vormen ontstaan door kleine hoogteverschillen rond ooghoogte of net iets lager. Verhogingen of verlagingen van 0,5 % worden als een storend element ervaren. Beter is hellingen van 0,1 of 0,2 % te gebruiken en bij een verticale rechtstand te combineren met kleine boven- en onderafrondingen. Belangrijk is dat de langshelling niet groter mag zijn dan de helft van de maximale helling op het overgangspunt van holle naar bolle boog (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018; ROA, 2017).

De horizontale S-vorm is een verschuiving van de as van de rijbaan. Om geen vreemd beeld te vormen moet deze verschuiving een zo groot mogelijke straal hebben en moet verborgen zitten in een zwak gebogen tracé. Een andere oplossing is om twee korte horizontale bogen die een ruime straal bezitten met elkaar te combineren. Een andere mogelijkheid om een storende horizontale S-bocht te creëren is wanneer een verkantingsovergang zich aan het begin van een overgangsboog bevindt (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018) (ROA, 2017).

Een voorlaatste storend wegbeeld, de dubbele horizontale S-vorm, wordt verkregen wanneer er een kleine zijdelingse verplaatsing van de weg plaatsvindt en deze verplaatsing nog binnen de zichtlengte weer hersteld wordt. Beter zou zijn dat de verschuiving opgenomen werd door een gebogen deel.

Als laatste kan ook een dubbele verticale S-vorm leiden tot een niet vloeiend verloop van een weg. Plaatselijke verlagingen tot 1,5 meter dienen enkel onder viaducten toegepast te worden, verlagingen groter dan 1,5 meter dienen toegepast te worden in een grote holle boog. Door het toepassen van die grote holle boog zal een geknikt beeld voorkomen worden, door de grootte van de stralen van de bogen verbetert het beeld niet. Plaatselijke verlagingen dienen ten alle tijden vermeden te worden, ook een terras van twee achter elkaar verschillende niveaus, is geen correcte oplossing (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018; ROA, 2017).

3.2.2 Misleiding in wegbeeld

Een misleidend wegbeeld ontstaat door slechte combinaties van ontwerpcomponenten wat aanleiding kan geven tot rijgedrag dat niet overeenkomt met het beoogde rijgedrag bij ontwerpen. Een voorbeeld hiervan is de overschatting van een horizontale boog. Wanneer deze samenvalt met een bolle boog, kan deze door een bestuurder krapper ingeschat worden dan hij daadwerkelijk is (Hanno, 2004; Lamm & Smith, 1994; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Een ander probleem vormt zich wanneer een horizontale boog samenvalt met een holle boog. Het probleem hierbij is dat de bestuurder de horizontale boog ruimer gaat inschatten dan deze werkelijk is. Dit fenomeen is onderschatting van een horizontale boog (Hanno, 2004; Lamm & Smith, 1994; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Vervolgens kan er ook sprake zijn van parallax. Dit is het geval wanneer een bestuurder bij het einde van een horizontale boog elementen kan zien van een baan parallel met zijn rijbaan en deze elementen of baan beschouwt als vervolg van zijn rijbaan. Dit doet zich voor bij

onvoldoende zicht op het vervolg van de eigen baan. Bochten kunnen hierdoor ruimer geschat worden dan ze werkelijk zijn of er kan een verkeerde richting van de bocht gesuggereerd worden (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018; ROA, 2017).

Als laatste kan er verwarring over de richtingsverandering ontstaan. Deze onduidelijkheid is mogelijk bij een afrit met een linksdraaiende bocht, wanneer de tangentialpunten van een verticale en horizontale boog niet samenvallen of wanneer de verkantingsovergang in het begin van een overgangsboog is gesitueerd (ROA, 2017).

4. Discontinuïteit

Omdat in deze masterproef enkel wordt gefocust op bochten in verkeerswisselaars is het aspect discontinuïteit zeer belangrijk omwille van de vele rijstrookveranderingen en weefbewegingen.

Volgens de definitie van het Agentschap Wegen en Verkeer is een discontinuïteit in het wegontwerp een overgang tussen twee verschillende wegvakken. Deze kunnen voorkomen op plaatsen waar rijbanen uit elkaar gaan of samenkomen en waar er een vermeerdering of vermindering van het aantal rijbanen plaatsvindt. Hierbij wordt gesproken over convergentie en divergentie (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Omdat in deze masterproef bochten in verkeerswisselaars onderzocht worden, is hier vooral de divergentie van belang, deze treedt op in het begin van de bocht. Bochten eindigen vaak in een convergentiepunt, maar hier zal niet verder op in worden gegaan.

In onderstaande opsomming van de verschillende soorten discontinuïteiten zijn de drie bovenste een voorbeeld van convergentie, het vierde is een combinatie van convergentie en divergentie en zijn de laatste drie enkel divergent. Zoals eerder aangehaald is enkel divergentie belangrijk voor deze masterproef en zullen ook enkel de belangrijkste van deze verder besproken worden.

- invoeging,
- samenvoeging,
- strookbeëindiging,
- weefvlak,
- uitvoeging,
- splitsing,
- extra rijstrook.

Discontinuïteiten worden gedimensioneerd op basis van algemene eigenschappen van voertuigen en verkeersstromen. Hieronder een opsomming van alle ontwerpparameters waar rekening mee gehouden moet worden:

- acceleratie- en deceleratielengte,
- bewegwijzeringsafstand,
- puntstuk,
- gaping,
- turbulentieafstand.

Voor de volledigheid staan hierboven alle verschillende ontwerpparameters uit de ROA opgesomd, enkel degene die in Vlaanderen toegepast worden en die van verder belang voor deze thesis zullen in onderstaande alinea's verder uitgediept worden (ROA, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

4.1 Ontwerpparameters discontinuïteiten

De deceleratielengte is de afstand die een bestuurder nodig heeft om op comfortabele wijze de snelheid van zijn voertuig te verlagen tot degene die gewenst is (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Snelheden op de meest linkse rijstroken zijn, rekening houdend met de wegcode die voorschrijft dat een bestuurder zo dicht mogelijk bij de rechterrijrand van de rijbaan dient te rijden (Belgische Staatsblad, 1975), hoger dan die op de meest rechtste rijstroken. Daardoor zijn afritten meestal gelegen aan de rechterzijde van de rijweg en worden linkse afritten slechts heel beperkt toegepast (Zhou, Zhou, & Fang, 2013).

De benodigde afstand van een deceleratielengte is afhankelijk van verschillende factoren, zo moet er rekening gehouden worden met de ontwerpsnelheid en het gemiddelde hellingspercentage van de afbuigende baan, de snelheidsvermindering van het vertragende voertuig en moet er bij een puntstuk rekening gehouden worden met de snelheid van het uitvoegende voertuig (Preston, 2010; ROA, 2017). De deceleratieafstand is ook bij bochten zeer belangrijk, een bestuurder moet op veilige wijze kunnen afremmen om met een correcte en aangepaste snelheid een bocht in te gaan.

Voor de berekening van de deceleratielengte moet er rekening gehouden worden met twee mogelijke stadia. Het eerste stadium is wanneer de bestuurder tijdig uitvoegt naar de uitrijstrook en deze gebruikt om af te remmen. Hierbij laat de bestuurder het gaspedaal los en vertraagt constant met 1.0-1.5 m/s² (Zhou, Zhou, & Fang, 2013). Voorbij het puntstuk zal de bestuurder een snelheid hebben die één snelheids categorie lager is dan de ontwerpsnelheid van de rijbaan (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

Het tweede stadium is wanneer de bestuurder niet tijdig genoeg uitvoegt en dit pas vlak voor het puntstuk doet. Hierdoor zal de uitvoegstrook niet gebruikt kunnen worden om comfortabel af te remmen en zal er uitgegaan worden van een vertraging van 2.5 m/s². Als gevolg van het laat verlaten van de rijbaan, zal de snelheid van het voertuig aan het begin van het puntstuk nog dezelfde zijn als de ontwerpsnelheid van de oorspronkelijke rijbaan (ROA, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Het tweede stadium kan ook voorkomen wanneer een bestuurder vindt dat zijn vertraging niet voldeed. Er zal dan gebruik gemaakt worden van het rempedaal, hierdoor wordt een vertraging van 1.5-3.5 m/s² verkregen (Zhou, Zhou, & Fang, 2013).

De berekening van de deceleratielengte zal voor beide scenario's uit het Vademecum moeten gebeuren. Het verschil tussen beide berekeningen zit in d , de remvertraging, en in v_0 , de aanvangssnelheid in het begin van het puntstuk.

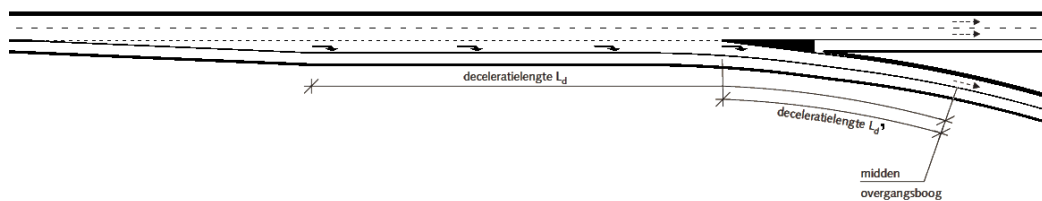
$$L_d = \frac{v_0^2 - v_a^2}{254 * \left(\frac{d}{g} + \frac{p}{100} \right)}$$

Hieronder zijn de verschillende factoren van de berekening besproken:

- L_d : deceleratielengte (m),
- v_0 : maatgevende aanvangssnelheid bij het puntstuk (km/h),
- v_a : ontwerpsnelheid afbuigende baan (km/h),
- d : vertraging van het voertuig,
- g : zwaartekrachtversnelling (9.8 m/s²),
- p : gemiddeld hellingspercentage van de weg (%) (positief bij stijgend) (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).

In bovenstaande alinea's werd al vaak over een puntstuk gesproken zonder hier verder uitleg bij te geven. Een puntstuk wordt gebruikt ter aanduiding van een convergentie of divergentiepunt en is een in een wit vlak uitgevoerde wegmarkering, op Figuur 3 Uitvoegstrook met puntstuk is het puntstuk aangeduid in het zwart. Een puntstuk zoals afgebeeld in Figuur 3 Uitvoegstrook met puntstuk wordt in Vlaanderen echter niet toegepast. Belangrijk is dat een puntstuk een bestuurder de mogelijkheid geeft om bij een koerscorrectie alsnog de rijbaan te kunnen verlaten door over het puntstuk te rijden. Hierdoor heeft een puntstuk dezelfde dwarshelling en wordt op gelijke hoogte met aanliggende zijbanen gerealiseerd. Een verandering van verkanting is wel mogelijk

na het puntstuk, zo zal bij een afbuigende rijbaan de verkanting veranderen stroomafwaarts van het punt waar de verharding van de afbuigende en doorgaande rijbaan van elkaar los komen (ROA, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018).



Figuur 3 Uitvoegstrook met puntstuk (ROA, 2017, p. 123)

De hoek waarmee beide rijbanen van elkaar gescheiden worden is afhankelijk van het type discontinuïteit, waarvan de belangrijkste in het volgende deel besproken zullen worden. Deze hoek zal voorzien worden van een afronding die gaping genoemd wordt. Dit wordt gedaan om de verandering van rijbaan opvallender aan te duiden en om er voor te zorgen dat de vormgeving van het divergentiepunt vloeiender verloopt.

Rondom convergentie- en divergentiepunten zullen bestuurders hun rijgedrag aanpassen als gevolg van deze punten, dit fenomeen wordt turbulentie genoemd. De afstanden rond de convergentie- en divergentiepunten waar de turbulentie optreedt, zijn de turbulentieafstanden of turbulentielengtes. Deze afstanden worden in een ontwerp toegepast om ervoor te zorgen dat de verkeersveiligheid en doorstroming op peil blijft tussen twee discontinuïteiten (ROA, 2017).

4.2 Aspecten van discontinuïteiten

Zoals eerder aangegeven zal deze thesis enkel de discontinuïteiten uitdiepen die van belang zijn voor het onderwerp “Bochten bij verkeerswisselaars”, hierdoor zal enkel de uitvoeging verder besproken worden.

Het divergentiepunt waar een rijbaan zich afscheidt van een andere rijbaan, wordt een uitvoeging genoemd. Hier is het een afbuigende baan die zich in één of meerdere uitrijstroken splitst van de doorgaande baan dewelke de hoofdbaan is.

Een uitvoeging bestaat uit drie onderdelen, de uitrijstrook, het puntstuk en de afbuigende baan. De uitrijstrook, dit kunnen er ook meerdere zijn, sluit als extra rijstrook aan op de rechterzijde van de doorgaande baan. Bij de spitse punt van een puntstuk is de overgang van de uitrijstrook naar de afbuigende baan (ROA, 2017; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Zoals in het deel Ontwerpparameters discontinuïteiten eerder werd vermeld, hangt de hoek tussen de doorgaande en afwijkende baan af van het type discontinuïteit. In de meeste gevallen ligt de hoek tussen twee en vijf graden (AASHTO, 2004). Wanneer bij een uitvoeging de afbuigende rijbaan een horizontale boog is, dient de hoek tussen de afbuigende en doorgaande baan zo gekozen te worden dat er een duidelijke afwijking van het alignement te zien is. Hiervoor is een hoek groter dan 5 % nodig, wanneer de hoek kleiner is, zal er onvoldoende verschil zijn en is de kans op ongevallen groter. Zoals geschreven in het onderzoek “The Role of Human Factors in Road Design” door Attila Borsos, Sybille Birth en Hans-Joachim Vollpracht, moeten weggebruikers de rijbaan van de bocht duidelijk kunnen onderscheiden van andere omliggende rijbanen (Borsos, Vollpracht, & Birth, 2015). Omdat een slechte inschatting en perceptie van de aankomende bocht leidt tot ongevallen (ROA, 2017).

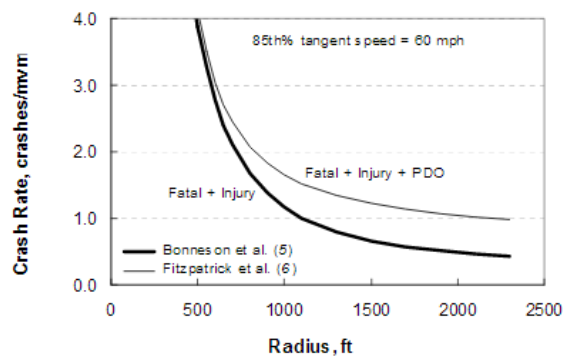
5. Oorzaken van ongevallen

Uit onderzoek van het BIVV is gebleken dat er tussen 2009 en 2013 28 dodelijke ongevallen op verkeerswisselaars in België zijn gebeurd, dit is 5,5 % van het totaal aantal Belgische ongevallen op snelwegen. Echter in de nabije omgeving voorafgaand aan een verkeerswisselaar doen zich vaak gevaarlijke situaties voor omwille van de vele rijstrookveranderingen of weefbewegingen. Ongevallen die vlak voor de verkeerswisselaar plaatsvonden werden bij het onderzoek niet apart in kaart gebracht. Het totale aantal ongevallen ligt dus vermoedelijk nog hoger (Slootmans & De Schrijver, 2015).

Om het aantal ongevallen te reduceren, is het belangrijk de oorzaken van deze ongevallen te achterhalen. Uit onderzoek van Ariën is gebleken dat er drie veel voorkomende oorzaken van ongevallen in bochten zijn. Ten eerste speelt het aspect onaangepaste snelheid of verkeerde inschatting van de snelheid een belangrijke rol (Ariën, et al., 2016). In een onderzoek van de Rijkswaterstaat over adviessnelheden werd onderzoek gevoerd betreffende ongevallen in bochten. Uit dit onderzoek is gebleken dat in bochten vooral enkelvoudige ongevallen voorkomen. Hierbij gaat het over ongelukken met vaste objecten zoals bomen, verlichtingspalen, vangrails, ... en zijn er geen andere voertuigen betrokken. De oorzaak hiervan bleek vaak een onaangepaste snelheid (Wegman, 1982). Het aspect onaangepaste snelheid wordt in het volgende hoofdstuk Oorzaken van overdreven snelheid verder besproken.

Het tweede aspect dat het risico op ongevallen in bochten verhoogt, is een slechte positie of zijn de afwijkingen van de rijbaan. Het laatste aspect dat een belangrijke rol speelt, is een verminderde oplettendheid van de chauffeur. Deze drie factoren hebben betrekking op de bestuurder en behoren tot het menselijke aspect (Ariën, et al., 2016). In het volgende hoofdstuk Invloed menselijke factoren wordt hier verder op ingegaan.

Naast het menselijke aspect is er ook de kant van het ontwerp. Daarbij zijn er verschillende factoren die de kans op ongevallen significant vergroten. Zo heeft in de eerste plaats de bochtstraal een belangrijke invloed met betrekking tot ongevallen. Wanneer bochten worden ontworpen met een kleine bochtstraal, hierbij gaat het over een bochtstraal kleiner dan 200 meter, wordt het risico op ongevallen sterk vergroot (Ariën, et al., 2016). In een artikel van het departement van transport in Texas werd onderzoek gevoerd naar ongevallen die zich voordoen op de snelwegen gelegen in Texas. Daarbij werd het verband tussen de bochtstraal en het risico op ongevallen bekeken. De resultaten van dit onderzoek zijn in de grafiek van Figuur 4 Aantal ongevallen in functie van de radius uitgezet. Uit deze grafiek blijkt dat naarmate de bochtstraal daalt, het risico op ongevallen exponentieel toeneemt (Bonneson, Pratt, Miles, & Carlson, 2007).



Figuur 4 Aantal ongevallen in functie van de radius (Bonneson, Pratt, Miles, & Carlson, 2007)

Het risico wordt versterkt door een ontwerp met onvoldoende verkanting of te smalle rijstroken. Door te kiezen voor een ontwerp dat goed binnen de rijomgeving past en op een correcte manier door bestuurders wordt geïnterpreteerd, kan het risico op ongevallen worden verminderd (Ariën, et al., 2016).

Uit een onderzoek van de universiteit van Loughborough en de universiteit van Chalmers naar de oorzaken van ongevallen op snelwegen in Europa, uitgevoerd in zes verschillende landen, blijkt dat menselijke fouten de voornaamste oorzaak van ongevallen zijn (Thomas, Morris, Talbot, & Fagerlind, 2013). Uit een Amerikaans onderzoek waar de snelwegen in Florida werden bestudeerd, kunnen analoge conclusies worden getrokken. Dit onderzoek stelt dat het menselijke aspect de belangrijkste factor is. In een tweede fase waren de zichtlengte, het wegontwerp, een gebrek aan signalisatie of een foute plaatsing van de signalisatie factoren die het risico op ongevallen vergroten (Spainhour, Brill, Sobanjo, Wekezer, & Mtenga, 2005).

5.1 Oorzaken van overdreven snelheid

De voornaamste oorzaak van ongevallen in bochten gebeurt door onderschatting van de snelheid. Vaak hanteren bestuurders een snelheid die veel hoger is dan de eigenlijk toegelaten snelheid (Charlton, 2004). Vooral bij jonge of onervaren bestuurders blijkt dit een belangrijke rol te spelen. Door het plaatsen van een snelheidslimitering verkleint de onzekerheid bij bestuurders wanneer deze een snelheidskeuze moeten maken. Hierdoor wordt een groter verkeersveiligheidsgevoel verkregen (Wegman, 1982).

Het probleem doet zich echter voor dat deze verkeersborden of waarschuwborden niet altijd worden opgemerkt door bestuurders. De voornaamste oorzaak hiervan is dat bestuurders te weinig aandacht besteden aan borden langs de kant van de rijweg (Fischer, 1992; Johansson & Backlund, 2007; Macdonald & Hoffmann, 1991; Summala & Hietamäki, 1984). Uit testen is gebleken dat ondanks dat bestuurders niet konden aangeven welk verkeersborden ze hadden waargenomen, ongeveer 40 % van de weggebruikers hun rijgedrag onbewust aan het voorbijgereden verkeersbord hadden aangepast (Fischer, 1992).

Naast de toepassing van verkeersborden kunnen elementen in de omgeving of optische illusies worden gebruikt voor het reduceren van de snelheid. Door de aanleg van beplating langs de rijbaan, het creëren van optisch smallere wegen, kan een gevoel van overdreven snelheid bij bestuurders worden ontwikkeld. Hierdoor gaan ze hun snelheid automatisch aanpassen (Charlton, 2004).

Algemeen kan worden gesteld dat de keuze van de gehanteerde snelheid in bochten wordt bepaald door een combinatie van zowel expliciet aandachtige signalen als impliciet perceptuele signalen (Charlton, 2004).

5.2 Invloed menselijke factoren

Uit onderzoeken is gebleken dat menselijke factoren in ongeveer 50 % van alle ongevallen een rechtstreekse invloed hebben. Wanneer naar een onrechtstreekse invloed wordt gekeken, loopt dit percentage op tot 90% (Treat, et al., 1977). Dit hoge ongevallenpercentage is te wijten aan limiteringen van het menselijk waarnemingsvermogen, informatieverwerkingsvermogen en het vermogen tot het maken van beslissingen (Birth, 2013; Borsos, Birth, & Vollpracht, 2015).

Om met deze menselijke factoren meer rekening te kunnen houden tijdens het ontwerp van wegen heeft het Nederlandse Ministerie van Transport tien gouden regels omtrent dit onderwerp vastgelegd (Wildervanck, 2008). Later zijn deze regels samengevoegd tot vijf domeinen. Deze

domeinen zijn: informatie aangebracht langs de rijbaan zoals verkeersborden, interactie tussen de aangebrachte elementen, context van de situatie, taken tijdens het rijden en kenmerken van de weggebruiker (Lambers, 2008; Theeuwes, van der Horst, & Kuiken, 2012). Het “World Road Association” voerde soortgelijk onderzoek uit. Zij stelden drie basisregels betreffende veiligheid op. Deze drie basisregels zijn: zorgen voor voldoende anticipatietijd voor de weggebruikers, zorgen voor een goede interpretatie van de wegomgeving en rekening houden met de verwachtingen van de bestuurders (PIARC, 2012).

Gebaseerd op de wetgeving van Yerkes-Dodson kan een verband tussen aantal taken tijdens het rijden en veiligheid van de bestuurders worden gedefinieerd. Het aantal taken waarmee een bestuurder wordt geconfronteerd, wordt bepaald door de omgeving langs de weg, de omgeving in de wagen en de bestuurder zelf. Indien het aantal taken te laag is, zullen weggebruikers gaan versnellen. Indien het aantal taken te hoog is, zullen bepaalde informatiedelen niet worden waargenomen (Theeuwes, van der Horst, & Kuiken, 2012).

Om een bestuurdersvriendelijk ontwerp te creëren, zijn volgende aspecten van belang. Een eerste punt is het aanduiden van kritische situaties zoals de aankondiging van een verandering van het wegverloop. Een tweede aspect is een tijdige signalering van bochten, zodanig dat deze bochten op een correcte manier worden geïnterpreteerd. Een volgend aspect is het vermijden van optische illusies waardoor de weggebruiker een vertekend beeld van het wegverloop krijgt. Als laatste is een goede waarneming van wegmarkeringen en waarschuwingsborden belangrijk. Uit onderzoek is gebleken dat weggebruikers waarschuwingsborden boven het hoofd beter waarnemen dan borden aan de zijkant van de rijbaan (Borsos, Birth, & Vollpracht, 2015).

Een ander aspect is de tijd en afstand die weggebruikers nodig hebben ter voorbereiding, anticipatie en aanpassing van een naderende situatie (Birth, 2013). Hierbij geldt dat hoe complexer de situatie is, hoe meer tijd er nodig is voor anticipatie. Interactie tussen de omgeving, de infrastructuur, de wagen en de bestuurder kan zorgen voor veiligere situaties (Borsos, Birth, & Vollpracht, 2015).

Algemeen kan worden besloten dat steeds moet worden getracht dezelfde signalisatie in soortgelijke bochten toe te passen zodanig dat bestuurders deze signalisatie herkennen en zodanig op een correcte manier gaan handelen (RIPCORN ISEREST Project, 2006).

6. Signalisatiemethoden

Zoals in de vorige hoofdstukken beschreven gaan bestuurders bij het naderen van een bocht een inschatting van de te hanteren snelheid maken. Signalisatie die de scherpte van de bocht benadrukt, is hierbij belangrijk voor een correcte inschatting. Door een verhoging van de visuele scherpte zullen bestuurders onbewust gaan vertragen en met de gewenste snelheid de bocht inrijden (Charlton, 2008). Door volgens dit principe te werken, worden “self explaining roads” gecreëerd. Hierbij is het doel van de wegbeheerder de weg zodanig te ontwerpen en bouwen dat deze het gewenste gedrag bij bestuurders bereikt. In een perfect ontwerp moeten geen waarschuwborden of snelheidslimitering worden voorzien (De Ceunynck).

Om een mogelijke signalisatiemethode voor de verschillende bochten te selecteren worden eerst de verschillende bestaande signalisatiemethoden onderzocht. Hierbij wordt er gekeken naar de voor- en nadelen, de vermoedelijke impact en het toepassingsgebied van de methoden. Bij het onderzoeken van signalisatiemethoden wordt er zowel gekeken naar snelheid reducerende methoden als naar signalisatie voor het beperken van het aantal overschrijdingen van de wegmarkeringen.

Om een globaal overzicht te krijgen, werden de verschillende huidige situaties van verkeerswisselaars en de aanwezige signalisatiemethoden bestudeerd. Bij het bestuderen van de verkeerswisselaars werd duidelijk dat verschillen in signalisatie tussen de bochten zijn waar te nemen. De meest toegepaste methoden zijn bochtschilden, snelheidsaanduiding en het verkeersbord A1 dat bestuurders waarschuwt voor een naderende scherpe bocht.

Visgraatmarkeringen daarentegen worden veel minder toegepast. Daarnaast werd gekeken naar maatregelen uitgevoerd in het verleden en de huidige richtlijnen opgesteld door het Agentschap Wegen en Verkeer.

In het dienstorder MOW/AWV 2008/16 worden enkele richtlijnen met betrekking tot de huidige signalering van bochten weergegeven. Deze signalisatie gebeurt met behulp van verschillende niveaus. In totaal zijn vier verschillende niveaus te onderscheiden. Voor verkeersknooppunten worden niveau drie en vier verder gespecificeerd. Om een onderscheid tussen deze niveaus te maken, speelt vooral de zichtbaarheid en de bochtstraal een belangrijke rol. Zo worden bochten met een boogstraal die kleiner is dan 100 meter en waarbij bestuurders een volledig overzicht hebben bij het inrijden van de bocht geclassificeerd als een bocht niveau 3. Voor dergelijke bochten zijn vangrails toegevoegd en worden visgraten aan het begin van de bocht geplaatst. Soortgelijke bochten maar met een beperkte zichtbaarheid worden toebedeeld onder niveau 4 en hierbij worden enkelvoudige bochtschilden geplaatst. Bochten met een nog slechtere zichtbaarheid of bochten waarin zich een groot aantal ongevallen situeren, worden voorzien van een snelheidslimitering. Deze snelheidslimitering wordt voor de bocht geplaatst. Daarnaast zijn de richtlijnen in verband met de positionering en de plaatsing van bochtschilden en visgraatborden opgenomen (Agentschap Wegen en Verkeer).

In het verleden werden reeds enkele maatregelen in bochten toegepast voor een verbetering van de veiligheid. De exacte impact van deze maatregelen wordt voor de betreffende bochten onder het hoofdstuk Huidige signalisatie besproken. Hieronder worden de verschillende maatregelen kort opgesomd:

- invoeren van een snelheidslimiet;
- verhogen van de zichtbaarheid door snoeien, verwijderen van zicht-belemmerende elementen;
- verhogen van de stroefheid;
- niet-conforme signalisatie zoals het extra benadrukken van verkeersbord A1. Een voorbeeld van een dergelijke situatie is weergegeven op Figuur 5 Niet-conforme signalisatie: Signalisatie op verkeerswisselaars (Agentschap Wegen en Verkeer).



Figuur 5 Niet-conforme signalisatie: Signalisatie op verkeerswisselaars (Agentschap Wegen en Verkeer)

Daarnaast worden buitenlandse onderzoeken over de impact, toepassing en plaatsing van de verschillende signalisatiemethoden bestudeerd.

6.1 Signalisatie van bochten in Nederland

Voor de signalering van bochten in Nederland zijn enkele richtlijnen opgesteld. De belangrijkste richtlijnen die van toepassing zouden kunnen zijn in Vlaanderen worden hieronder kort beschreven. Zo wordt er in Nederland naast de traditionele methode van signalering geopteerd voor een visuele geleiding. Deze geleiding kan worden bekomen door planten of bomen langs de rijbaan te plaatsen (Agentschap Wegen en Verkeer, 2017).

Naast het aspect van de geleiding, vormen planten en bomen steeds een obstakel langs de rijbaan. Zoals in het vorige hoofdstuk beschreven zijn menselijke fouten vaak de oorzaak van ongevallen. Om de impact van het ongeval te beperken, wordt er toegeleigd op vergevingsgezinde wegen. Door dit principe toe te passen wordt getracht bestuurders op een gecontroleerde manier tot stilstand te brengen en zodanig het risico op ernstige ongevallen te reduceren. Dit principe kan ook worden toegepast op planten en bomen die aanwezig zijn langs de rijbaan. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen struikgewas en bomen. Struikgewassen worden beschouwd als positieve elementen wanneer een voertuig na een ongeval gecontroleerd tot stilstand wordt gebracht. Bij bomen wordt er een onderscheid gemaakt

naargelang de omtrek van de stam. Indien de omtrek van de stam groter is dan 31,5 cm worden deze bomen als botsongevaarlijk en bijgevolg potentieel gevaarlijk obstakel beschouwd (Expertise Verkeer en Telematica, 2014).

Naast de geleiding met behulp van struikgewas en bomen dienen in samenwerking steeds schilden te worden voorzien. Dit voor geleiding van bestuurders tijdens de duisternis. Voor de noodzakelijkheid van een snelheidsaanduiding wordt gekeken naar de opbouw van de bocht. Indien sterke afwijkingen ten opzichte van het ideale ontwerp plaatsvinden die tot gevaarlijke situaties kunnen leiden, wordt een adviesnelheid meegegeven. Deze adviesnelheid ligt 20 km/h lager dan de algemene snelheidslimiet en wordt door middel van een verkeersbord aangegeven. De aangegeven snelheid is afhankelijk van het type van voertuig, de lading van het voertuig, de banden en de toestand van het wegdek. Bij de signalering is het belangrijk dat voertuigen de gewenste snelheid bereiken voor het begin van de bocht zodat de bocht op een veilige manier kan worden genomen (Agentschap Wegen en Verkeer).

6.2 Snelheidslimitering

Een regelmatig toegepast verkeersbord is de snelheidslimitering. Een snelheidslimitering wordt aangebracht vóór de bocht. Hierdoor worden bestuurders geïnformeerd over een naderende verandering in het alignment en hebben ze de mogelijkheid hun snelheid te reduceren. Dit zodanig dat de opgelegde snelheid is bereikt bij het inrijden van de bocht. In het verleden zijn al verschillende onderzoeken over de impact van het verkeersbord met een snelheidslimitering op het gedrag van bestuurders onderzocht. Onderstaande alinea's geven enkele onderzoeken en bijhorende resultaten weer.

Het onderzoek betreffende snelheidslimitering van Retting en Farmer stelt dat bestuurders hun snelheid op positieve manier aanpassen bij het waarnemen van een snelheidslimitering (Retting & Farmer, 1998). In het onderzoek van De Saeger betreffende "De impact van snelheid reducerende maatregelen in scherpe bochten van verkeerswisselaars" werden verschillende mogelijkheden tot snelheidslimitering getest. In de studie werden drie mogelijke signaleringsmethoden op de bocht van de E19 Antwerpen-Brussel naar de R0 onderzocht. In de eerste situatie werden enkel bochtschilden geplaatst. In de tweede situatie werd een combinatie van bochtschilden en een snelheidsbeperking ingevoerd. In de laatste situatie werden dwarsmarkeringen en bochtschilden gecombineerd. Uit de resultaten bleek dat door het plaatsen van deze verkeersborden bestuurders hun snelheid significant laten dalen. De gemiddelde vertraging was bij de snelheidslimitering groter dan bij de dwarsmarkeringen. De effectiviteit van deze maatregel is tegelijk een nadeel. Naast de grotere vertraging konden uit de gegevens ook duidelijke rempunten worden onderscheiden bij het naderen van de borden. Bij dwarsmarkeringen gebeurde deze vertraging eerder geleidelijk. Hierdoor worden dwarsmarkeringen beschouwd als veiliger (De Saeger, 2015).

Een tweede nadeel aan het gebruik van deze signalisatie is dat door de drukte in de omgeving of door onoplettendheid van de bestuurder verkeersborden echter niet altijd worden opgemerkt waardoor het effect van de borden verloren gaat (Charlton, 2004). Een laatste beperking aan deze borden is de bepaling van de toegelaten snelheid. Voor deze bepaling kan naar verschillende factoren worden gekeken. Zo kan worden gekozen voor een bepaling volgens algemeen beeld, kunnen vrachtwagens een bepalende factor zijn of kunnen andere omgevingsfactoren een rol spelen. Ook moet naar de verschillende (weers-)omstandigheden worden gekeken. Aan de hand van deze verschillende factoren wordt bepaald welke snelheid aan te bevelen is. Hierdoor moet voor elke bocht de situatie worden bekeken (Agentschap Wegen en Verkeer).

De hierboven besproken onderzoeken stellen de effectiviteit van deze maatregel voor. Andere studies zoals het onderzoek van Ritchie stelt dat bestuurders bij het waarnemen van de snelheidsborden hun snelheid juist gaan verhogen. Volgens deze studie hebben snelheidsborden geen of een omgekeerd effect (Ritchie, 1972). Over de exacte impact van het opleggen van een snelheidslimitering bestaat er binnen de verschillende al gevoerde onderzoeken discussie. Hierdoor dienen de resultaten uit de vorige alinea's op een kritische manier te worden benaderd.

Uit onderzoek van Charlton is gebleken dat snelheidsborden een belangrijke richtlijn zijn voor het inschatten van snelheid in bochten voor niet-overtredende bestuurders. Bestuurders die bewust de wetgeving negeren, laten zich meer leiden door de inrichting van de bocht (Charlton, 2008). Als algemene richtlijn wordt door het Agentschap Wegen en Verkeer het volgende principe gehanteerd: een snelheidslimitering wordt toegepast indien het om een bocht gaat met een hoog aantal ongevallen of indien de bocht slecht zichtbaar is voor bestuurders voor het begin van de bocht (Agentschap Wegen en Verkeer).

6.2.1 Plaatsing snelheidslimitering

In Vlaanderen zijn geen richtlijnen in verband met de plaatsing van verkeersborden met snelheidslimiteringen. Bij het opleggen van een snelheidslimitering is het belangrijk dat de naderende voertuigen hun gewenste snelheid bereiken vóór het begin van de bocht. Dit zodanig dat bestuurders op een veilige manier in de bocht kunnen rijden (Agentschap Wegen en Verkeer). In de Canadese richtlijnen worden richtlijnen met betrekking tot de plaatsing van snelheidslimiteringen weergegeven. In de eerste stap wordt er hier gekeken of er een verschil is tussen de toegelaten snelheid in de bocht en de snelheid waarmee bestuurders de bocht naderen. Wanneer dit niet van toepassing is, is de snelheid waarmee bestuurders de bocht naderen bepalend. Als de snelheid groter is dan 70 km/h worden de borden op een afstand tussen 150 en 200 meter voor de bocht geplaatst (Alberta, Infrastructure and transportation, 2006).

Indien een verschil aanwezig is tussen de snelheid waarmee bestuurders de bocht naderen en de toegelaten snelheid in de bocht wordt de afstand bepaald aan de hand van de reactie-afstand en de afstand die nodig is voor een veilige vertraging. Op de Belgische autosnelwegen is de toegelaten snelheid 120 km/h. Wanneer een bocht wordt genaderd waar de toegelaten snelheid 90 km/h bedraagt, dienen de borden op een afstand van 250 tot 300 meter voor het begin van de bocht te worden geplaatst. Bij een bocht met een toegelaten snelheid van 70 km/h bedraagt deze afstand 300 tot 400 meter afhankelijk van de randomstandigheden (Alberta, Infrastructure and transportation, 2006).

6.3 Verkeersbord A1: scherpe bocht

Een ander signalisatiebord dat regelmatig in het Vlaamse wegbeeld is terug te vinden, is het verkeersbord A1 voor de aanduiding van een scherpe bocht. Dit waarschuwbord wordt toegepast om bestuurders te verwittigen voor de verandering van het wegverloop. Het doel is het beperken van het verrassingseffect (Charlton, 2008). Volgens de huidige wetgeving van de wegbeheerder mag dit bord enkel worden toegepast voor bochten die onverwacht verschijnen of voor bochten waar een aanzienlijke snelheidsvermindering is aan te raden voor de veiligheid van de bestuurders en omgeving. Volgens het implementeren van deze wetgeving vallen bochten waar de maximaal toegelaten snelheid kan worden gehanteerd buiten deze regel en dienen deze niet te worden voorzien van verkeersbord A1 (Agentschap Wegen en Verkeer).

Uit onderzoek is gebleken dat voor bochten met een bochtstraal kleiner dan 200 meter het risico op ongevallen sterk vergroot. Bochten met een bochtstraal kleiner dan 200 meter worden in dit

onderzoek als krappe bochten gedefinieerd (Ariën, et al., 2016). Een ander onderzoek toonde aan dat bochten met een straal van 300 meter en kleiner als krappe bochten ervaren worden (Nuyts, Hannes, & Dreesen, 2004). De beperkte bochtstraal is hierbij geen probleem zolang de weggebruiker de bocht op een correcte manier kan waarnemen en interpreteren (Wegman, 1982). Voor de toepassing van verkeersbord A1 dient beperktheid van gebruik te worden opgemerkt. Door overmatig of niet correct gebruik wordt de efficiëntie van het verkeersbord gereduceerd. Dit met als gevolg dat bestuurders de situatie niet meer correct zullen inschatten en het rijgedrag niet naar de omstandigheden zullen aanpassen (Charlton, 2008). Onderstaande Figuur 6 Verkeersbord A1 geeft de verschillende types van verkeersbord A1 weer.



Figuur 6 Verkeersbord A1 (Agentschap Wegen en Verkeer)

6.3.1 Plaatsing verkeersbord A1

Volgens de huidige regels van de wegbeheerder mag het verkeersbord A1 enkel worden toegepast voor signalering van bochten waarbij een duidelijke vertraging noodzakelijk is of indien de bocht zich onverwachts voordoet.

De afstand van de borden tot de bocht is afhankelijk van de snelheid waarmee bestuurders de bocht naderen. Dezelfde richtlijnen als bij de snelheidslimitering worden hier toegepast.

6.4 Bochtschilden

Bochtschilden zijn vaak toegepaste verkeersborden langs de zijkant van een bocht. Door de plaatsing van deze bochtschilden ervaart de bestuurder een betere geleiding in de bocht zelf. Daarnaast zorgen de borden ervoor dat bestuurders de bocht beter kunnen waarnemen. Uit gegevens is gebleken dat bij de plaatsing van bochtschilden de overschrijdingen van wegmarkeringen 90 % lager liggen dan in dezelfde situatie zonder bochtschilden (De Saeger, 2015). Daarnaast daalt het aantal ongevallen sterk door de plaatsing van bochtschilden. Deze daling kan worden toegeschreven aan een verhoogde aandachtigheid van de bestuurders. Deze verhoogde aandachtigheid is het gevolg van een bochtstraal die als scherper wordt ervaren. Deze borden zorgen ook voor een optische versmalling van de weg. Als laatste genereren de bochtschilden een illusie van een hogere snelheid bij de bestuurders (Agent & Creasey, 1986).

Om de snelheid reducerende maatregel te versterken, kan worden geopteerd voor het gebruik van stijgende bochtschilden. Aan deze toepassing zijn echter enkele beperkingen verbonden. Zo kunnen stijgende bochtschilden enkel worden toegepast indien het totaal aantal te plaatsen borden en de afstand waarover deze worden geplaatst, beperkt is. In een situatie waarin te veel borden op elkaar volgen, zou de hoogte van de laatste borden te hoog zijn om nog door bestuurders te worden waargenomen (De Saeger, 2015). In verschillende onderzoeken werd bekeken wat de invloed is van een reeks borden langs de bocht. Hieruit is gebleken dat door toepassing van een reeks, de bochtschilden voor een betere geleiding van het voertuig doorheen de bocht zorgen. Daarnaast functioneerde de reeks ook als snelheid reducerende maatregel (Gates, Carlson, & Hawkins, 2004; Herrstedt & Greibe, 2001; Jennings & Demetsky, 1985; Nielson & Greibe, 1998)

De regels betreffende de toepasbaarheid van bochtschilden zijn afhankelijk van land tot land. In Spanje mogen bochtschilden enkel worden toegepast indien het verschil tussen de snelheid

waarmee de bocht wordt benaderend en de richtsnelheid voor het nemen van bochten voldoende groot is. In Duitsland en Nederland zijn richtwaarden opgesteld in functie van bochtstraal en vorm van de bocht (Brenac). Algemeen wordt gesteld dat bochtschilden vooral effectief toepasbaar zijn in bochten met een beperkte radius (Cuyvers, Nuyts, & Reekmans, 2004).

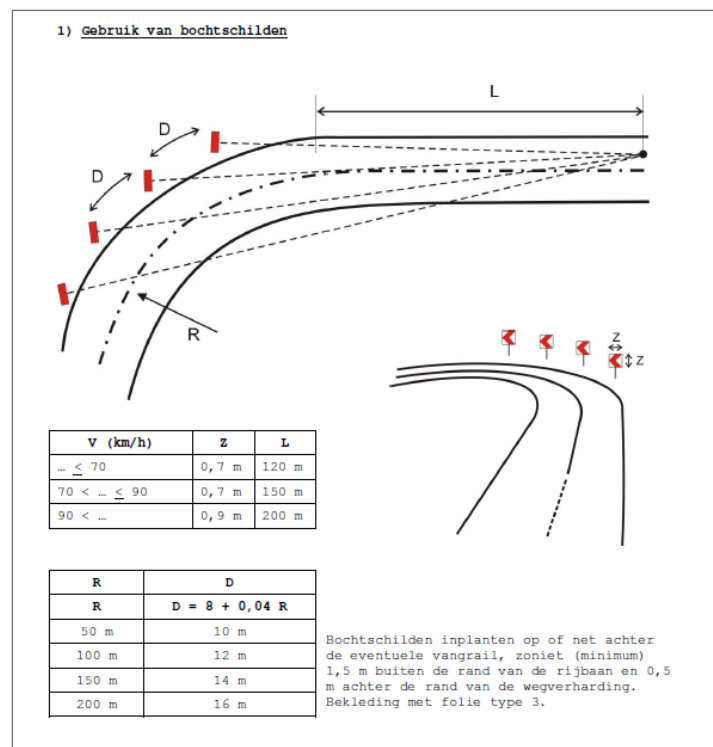
6.4.1 Type van bochtschilden

Naast de traditionele bochtschilden zijn er nog enkele varianten. Zo bestaan er borden met ingewerkte rode lichten, een bochtschild met rondom een extra gele rand of schilden met bovenaan twee rode lampen.

Een bochtschild met een gele rand wordt toegepast in situaties waarbij zichtbaarheid is vereist of in een situatie waar het bord omwille van de achtergrond minder goed kan worden waargenomen (Department for Transport, 2013). Ook de schilden met ingewerkte lichten en lichten bovenaan hebben als doel een extra alertheid van de bestuurder te bereiken. Om de exacte impact van deze verschillende types te kennen, is nog te weinig onderzoek uitgevoerd.

6.4.2 Plaatsing van bochtschilden

Voor de plaatsing van bochtschilden zijn verschillende richtlijnen terug te vinden. Er zijn zowel richtlijnen voor Vlaanderen als buitenlandse richtlijnen terug te vinden. Hieronder worden de verschillende richtlijnen besproken en met elkaar vergeleken. In onderstaande Figuur 7 Gebruik van bochtschilden worden de richtlijnen van het Agentschap Wegen en Verkeer weergegeven. In deze richtlijn wordt de grootte van de borden, de zichtafstand van het begin van de bocht tot aan de bestuurder en de tussenafstand weergegeven. De plaatsing van de bochtschilden is afhankelijk van de snelheid en de radius.

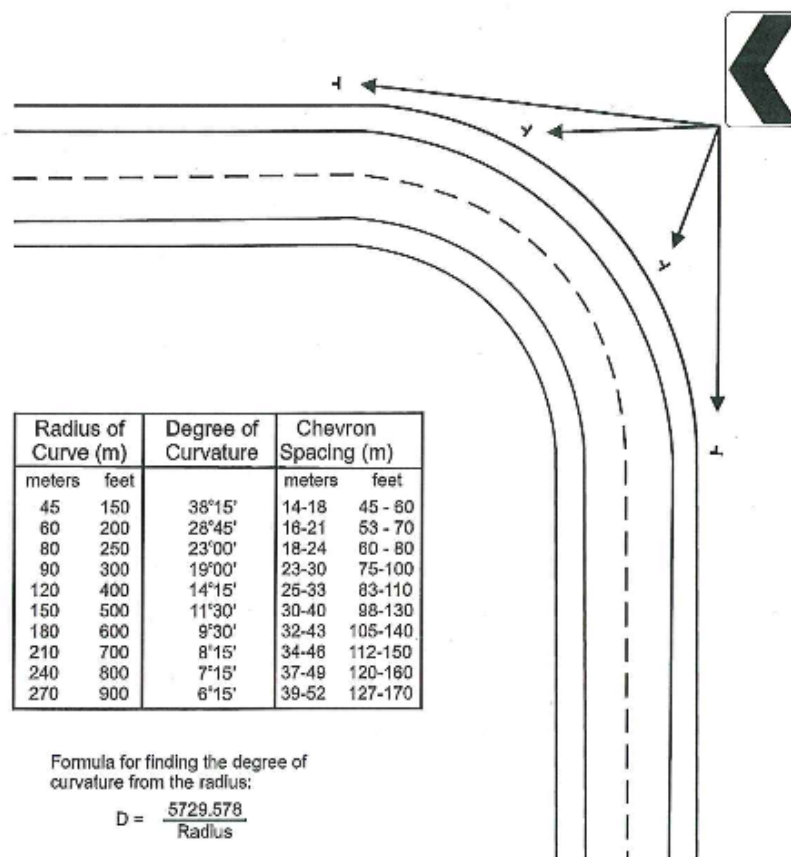


Figuur 7 Gebruik van bochtschilden (Roelants, 2014)

In de Nederlandse richtlijnen samengevoegd in de CROW zijn nog enkele andere specifieke maatregelen weergegeven. De verschillende richtlijnen zijn:

- in een bocht worden minimaal drie bochtschilden geplaatst;
- de borden worden op een hoogte van 1 meter geplaatst. Hierbij wordt de hoogte gemeten vanaf het wegdek tot aan de onderkant van het verkeersbord;
- de bochtschilden worden langs de kant van de bocht op een afstand van 1,50 meter geplaatst (Commissie Bebakening en Markering van Wegen, 1991).

In Amerikaanse richtlijnen wordt de tussenafstand tussen de bochtschilden bepaald aan de hand van de bochtstraal van de bocht. Onderstaande Figuur 8 Gebruik van bochtschilden, richtlijnen uit Texas geeft een verband tussen de radius van de bocht en de afstand tussen de bochtschilden. Algemeen kan worden waargenomen dat de afstand tussen de bochtschilden hier groter is dan in de Vlaamse richtlijnen.



Figuur 8 Gebruik van bochtschilden, richtlijnen uit Texas (Hanson & Eastvold, 2008)

6.5 Dwarsmarkeringen

Een andere signalering voor het naderen van bochten is het aanbrengen van dwarsmarkeringen op het wegdek. Door het aanbrengen van deze dwarsmarkeringen kan een beduidende snelheidsvermindering worden waargenomen. Deze snelheidsdaling gebeurt eerder gelijkmatig waardoor er geen duidelijke rempunten zijn te onderscheiden. Dit heeft als gevolg dat deze methode beschouwd wordt als een signalisatiemethode met een hoge verkeersveiligheid (De Saeger, 2015). De afstand tussen de dwarsmarkeringen wordt aan de hand van de opgelegde snelheid bepaald (Agent & Creasey, Delineation of Horizontal Curves, 1986). Naast de

traditionele dwarsmarkeringen bestaan hierop enkele varianten. Deze varianten kunnen zowel afzonderlijk als gecombineerd worden toegepast (De Saeger, 2015).

6.5.1 Dwarsmarkeringen met verkleinend interval

Een eerste type zijn dwarsmarkeringen met een verkleinend interval. Bij deze toepassing wordt er vooral aan de optische wijziging en bijgevolg aan een visuele ervaring gewerkt. Door de markeringen korter bij elkaar te leggen, ervaren bestuurders een versnelling vanuit de naderende markeringen. Hierdoor zullen ze intuïtief gaan vertragen. Uit onderzoek is gebleken dat deze methode het traagste effect op bestuurders heeft waardoor bestuurders pas laat effectief beginnen te vertragen (Agent & Creasey, 1986). Als tweede is er gebleken dat deze techniek vooral efficiënt is voor bochten met een kleine bochtstraal en daarbij horend voor bochten met een lage toegelaten snelheid. Wanneer dezelfde techniek voor bochten met grote bochtstralen of hoge toegelaten snelheden wordt toegepast, blijkt de effectiviteit verloren te gaan (Charlton, 2004).

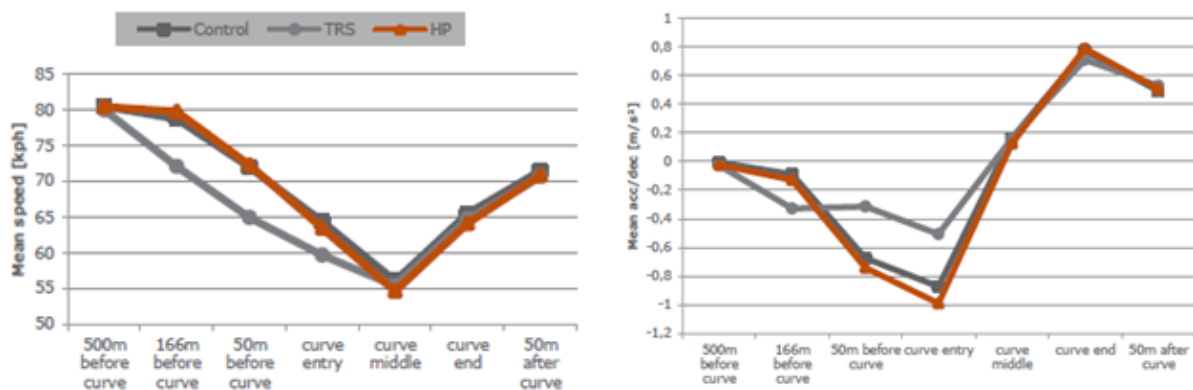
6.5.2 Transversale rumble strips

Een tweede toepassing zijn de transversale rumble strips of afgekort TRS. De rumble strips worden voor het begin van de bocht aangelegd en hebben invloed op de gemiddelde snelheid, versnelling en vertraging. De snelheidsvermindering vindt bij deze methode plaats vóór de bocht en net zoals bij de gewone dwarsmarkeringen heeft deze methode een geleidelijke invloed. De transversale rumble strips geven bestuurders de kans om de naderende bocht beter in te schatten en heeft het grootste effect in bochten waarbij de grootste ongevalconcentratie aan het begin van de bocht is gelegen. Uit onderzoek is gebleken dat de vertraging start voor het inrijden van de bocht en zich dan verderzet tot in het midden. Hierbij wordt de laagste snelheid op het eerste kwart van de bocht waargenomen. Sommige bestuurders hadden de impuls na het midden van de bocht terug te versnellen. Om dit te vermijden is uit onderzoek gebleken dat een visuele connectie tussen de rumble strips en het verloop van de bocht belangrijk is (Ariën, et al., 2016). Analoog aan de vorige paragraaf kunnen TRS met verkleinend interval worden toegepast. Hierbij wordt zowel op visuele als auditieve waarneming van de bestuurder ingezet (Agent & Creasey, 1986).

Naast de transversale rumble strips kunnen ook Chevrons markeringen of HP-markeringen worden toegepast. Onderstaande Figuur 9 TRS en HP geeft beide types van markeringen weer. Naar de efficiëntie van beide markeringen is onderzoek verricht betreffende het gedrag van bestuurders. Uit de studie is gebleken dat bij beide markeringen een reductie betreffende de gemiddelde snelheid en de gemiddelde versnelling is waar te nemen. Bij de Chevron markeringen bleek de gemiddelde vertraging in het eerste deel van de bocht echter minder groot dan bij de rumblestrips. Daarenboven bleek uit het onderzoek de variatie van de gemiddelde vertraging groter te zijn. Uit onderzoek is gebleken dat door het toepassen van deze markeringen het aantal ongevallen op het einde van de bocht sterk wordt gereduceerd (Ariën, et al., 2016). Een vergelijking van de gegevens van beide markeringen resulteert in een voorkeur van rumble strips. Onderstaande Figuur 10 Resultaten simulatorstudie geven de resultaten uit de simulatorstudie weer (Agentschap Wegen en Verkeer).



Figuur 9 TRS en HP (Agentschap Wegen en Verkeer)



Figuur 10 Resultaten simulatorstudie (Agentschap Wegen en Verkeer)

6.5.3 Lengteprofiel

Naast het aanleggen van rumble strips in de dwarsrichting, kunnen deze ribbelstroken ook in de langsrichting worden aangebracht. Deze markeringen hebben als doel bestuurders te alarmeren wanneer deze van de rijbaan afwijken. Hierdoor generen ze een verhoogde alertheid. In de huidige situatie worden dergelijke markeringen vooral toegepast in situaties met beperkte bermen of een beperkte objectafstand. (Dienst Beheer Infrastructuur, 2012).

6.5.4 Plaatsing dwarsmarkeringen

Dwarsmarkeringen of ribbelstroken worden aangelegd voor het begin van de bocht. De lengte waarover deze worden aangelegd is afhankelijk van de snelheid en de nodige vertraging. Voor de bepaling van de afstand is een algemene formule opgesteld in een onderzoek van Agent, 1972. Deze formule wordt als volgt weergegeven:

$$D = \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2 * d}$$

Hier worden de verschillende factoren gedefinieerd: de hoofdletter D stelt de totale lengte waarover de dwarsmarkeringen worden aangebracht voor. V_1 en V_2 zijn respectievelijk de snelheid waarmee bestuurders de dwarsmarkeringen naderen en de snelheid aan het einde van de dwarsmarkeringen waarmee de bocht wordt ingereden. De laatste factor is de kleine d en deze stelt de vertraging van het voertuig voor. Hierbij wordt vaak een vertraging gebruikt die kan worden bereikt zonder dat bestuurders extra moeten remmen.

Om de tussenafstand tussen de verschillende lijnen te bepalen wordt naar de V_1 en V_2 gekeken. Aan de hand van deze snelheden wordt het aantal lijnen dat per seconde wordt overschreden bepaald. Door de snelheid om te zetten in meter per seconde kan de tussenafstand van de dwarsmarkeringen worden bepaald (Agent, 1975).

6.6 Reflectoren

Reflectoren worden geplaatst ter ondersteuning van bestuurders in situaties met een matige zichtbaarheid zoals bij slechte weersomstandigheden of tijdens duisternis. Daarnaast worden ze toegepast in situaties waar snelle en exacte manoeuvres dienen te worden uitgevoerd. Een voorbeeld van dergelijke situaties zijn bochten op verkeerswisselaars (Dienst Beheer Infrastructuur, 2012).

Volgens de wetgeving dienen reflectoren te worden opgesteld zodanig dat het witte vlak zich aan de linkerkant aan de bestuurder bevindt en het rode of oranje vlak aan de rechterkant van de bestuurder. In Vlaanderen wordt de voorkeur gegeven voor reflectoren met oranje vlakken in plaats van rood. Voor de signalisatie van bochten zijn specifieke richtlijnen opgesteld. In de eerste stap wordt er gekeken naar de eerste reflector die aan het begin van de bocht wordt geplaatst. De afstand tussen de bocht en de reflector wordt bepaald door de snelheid opgelegd in de bocht. De verschillende snelheden en hun bijhorende afstanden worden in onderstaande Tabel 6 Afstand tussen de bocht en de eerste reflector weergegeven (Roelants, 2014).

Tabel 6 Afstand tussen de bocht en de eerste reflector (Commissie Bebakening en Markering van Wegen, 1991)

zone	afstand eerste reflector tot de bocht
50 km/h	40 m
70 km/h	60 m
90 km/h	75 m
120 km/h	100 m

In de volgende fase wordt gekeken naar de plaatsing van de reflectoren in de bocht zelf. Hier wordt in de eerste stap gekeken of de bochtstraal van de bocht gekend is. Indien deze gekend is, wordt de algemene formule hieronder beschreven toegepast voor de bepaling van de tussenafstand. De formule wordt gedefinieerd als:

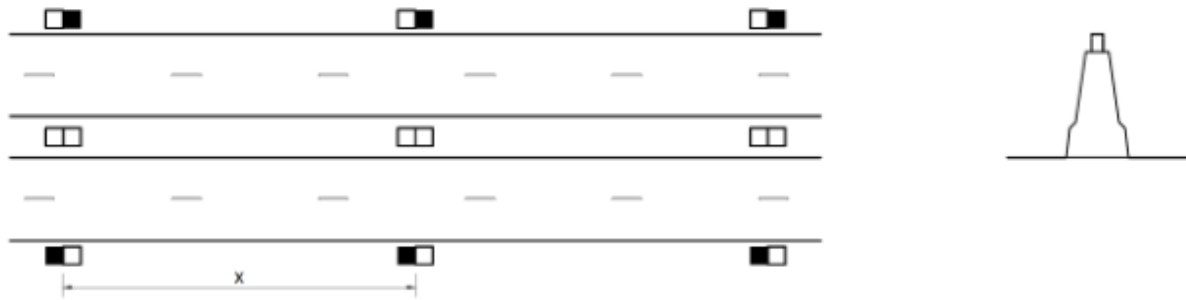
$$T = 8 + 0,04 * R$$

Hierbij is R de bochtstraal van de bocht en T de afstand tussen de reflectoren uitgedrukt in meter. In situaties waar de bochtstraal niet gekend is, wordt een algemene aanname in functie van de snelheid gemaakt. Onderstaande Tabel 7 Afstand tussen de reflectoren in een bocht met niet-gekende radius geeft de verschillende snelheden en bijhorende afstanden weer (Roelants, 2014).

Tabel 7 Afstand tussen de reflectoren in een bocht met niet-gekende radius (Commissie Bebakening en Markering van Wegen, 1991)

zone	onderlinge afstand van de reflectoren
50 km/h	12,5 m
70 km/h	
90 km/h	
120 km/h	25,0 m

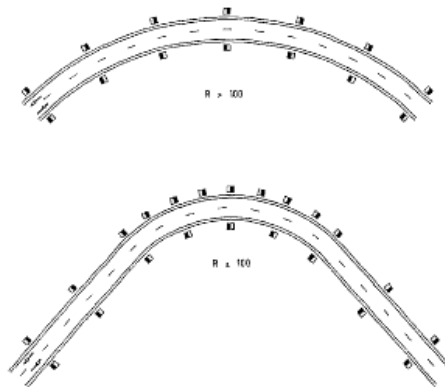
In het dwarsprofiel is de plaatsing van de reflectoren afhankelijk van de inrichting van de rijbaan. Binnen de bochten van verkeerswisselaars is voornamelijk de situatie met een afschermende constructie langs de rand van de rijbaan van toepassing. Wanneer twee bochten langs elkaar gelegen zijn, dient extra aandacht aan de plaatsing van de reflectoren te worden besteed en dienen in het midden van de rijbaan reflectoren met aan twee zijden witte reflectoren te worden voorzien zodanig dat geen verwarring bij de bestuurders wordt gecreëerd. Onderstaande Figuur 11 Plaatsing reflectoren geeft een schematische weergave van de inplanting van de reflectoren (Roelants, 2014).



Figuur 11 Plaatsing reflectoren (Commissie Bebakening en Markering van Wegen, 1991)

In de “Richtlijnen voor de bebakening en markering van Wegen” uit Nederland zijn richtlijnen met betrekking tot het plaatsen van reflectoren opgenomen. Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen horizontale en verticale bogen. Daarnaast wordt de tussenafstand tussen de reflectoren uitgedrukt in functie van de radius van de bocht. Er kan worden waargenomen dat de gehanteerde tussenafstand in Nederland kleiner is dan in Vlaanderen. Zo bedraagt de minimale afstand in Nederland slechts drie meter, terwijl deze in Vlaanderen minimaal acht meter bedraagt. Onderstaande Figuur 12 Afstand tussen reflectoren in een bocht geeft een overzicht van de verschillende waardes en een inplantingsplan van de reflectoren.

Horizontale buitenbogen		Verticale bovenafronstingen	
Straal in meters	Onderlinge afstand in de boog in meters	Straal in meters	Onderlinge afstand in de boog in meters
20	3	100	5
30	3	150	6
40	4	200	7
50	5	250	8
60	6	300	9
70	7	400	11
80	8	500	12
90	9	600	13
100	10	800	15
200	16	1.000	17
300	20	1.500	21
400	30	2.000	25
500	35	2.500	28
600	40	3.000	30
> 600	50	4.000	34
		5.000	38
		6.000	40
		> 6.000	50



Figuur 12 Afstand tussen reflectoren in een bocht (Commissie Bebakening en Markering van Wegen, 1991)

6.7 Bocht met veranderlijke bochtstraal

Verschillende achtereenvolgende bochten in gelijke richting met een veranderlijke bochtstraal zijn bij voorkeur te vermijden. Binnen het Vlaamse wegbeeld zijn echter enkele bochten met een veranderlijke bochtstraal waar te nemen. Door een verandering in bochtstraal worden vaak gevaarlijke situaties gecreëerd. Wanneer een kleine radius onmiddellijk volgt op een bocht met een grote radius ondervinden bestuurders vaak problemen in deze bochten. Dit komt omdat bestuurders hun stuurpositie en snelheid hebben gekozen in functie van de bocht met de grote radius en deze niet is aangepast aan de bocht met de kleine radius (Commissie Bebakening en Markering van Wegen, 1991). Dit probleem is het grootst wanneer wordt overgegaan van een grote naar een kleine bochtstraal. Omgekeerd, wanneer wordt overgegaan van een kleine naar grote radius is het veiligheidsrisico eerder beperkt (Caestecker, 2008).

In situaties met bochten en een veranderlijke bochtstraal gaat de voorkeur uit naar een structurele verbetering van de situatie. Voor deze verbetering kan de betreffende bocht worden vervangen door een bocht met één bochtstraal of door twee bochtgedelen die met elkaar worden verbonden door een overgangsboog met een lengte van minimaal 200 meter (Asian Highway Network, 2017). Wanneer dergelijke verbetering niet mogelijk is, kan het opleggen van een adviessnelheid zorgen voor een veiligere situatie. Dezelfde oplossing kan toegepast worden in bochten met korte overgangsbogen (Commissie Bebakening en Markering van Wegen, 1991).

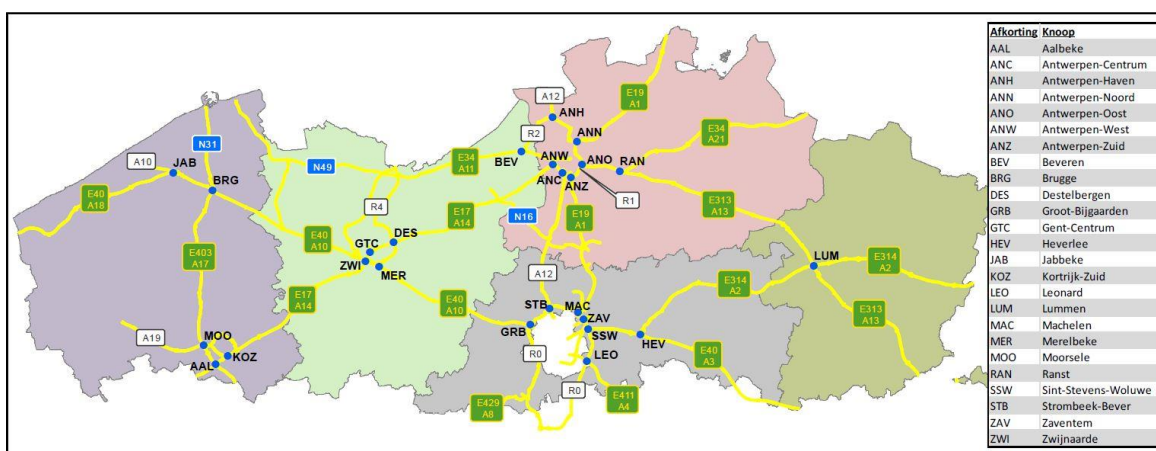
7. Verkeerswisselaars

Het Agentschap Wegen en Verkeer is verantwoordelijk voor 25 verkeerswisselaars. Een verkeerswisselaar wordt als volgt gedefinieerd:

“Een verkeerswisselaar is een kruispunt van wegen voor doorgaand gemotoriseerd verkeer, waarbij de hoofdverkeersstromen elkaar meestal ongelijkvloers kruisen en de verbindingen om af te slaan vaak ook kruisingsvrij zijn uitgevoerd”

(Slootmans & De Schrijver, 2015).

Het zijn deze verkeerswisselaars die in onderstaande paragrafen zullen worden bestudeerd en behandeld. Onderstaand in Figuur 13 Verkeerswisselaars in Vlaanderen zijn alle verkeerswisselaars in Vlaanderen in kaart gebracht (Hoornaert, 2016). Binnen deze masterproef worden enkel de verkeerswisselaars behandeld die binnen de theoretische ontwerpen passen.



Figuur 13 Verkeerswisselaars in Vlaanderen (Hoornaert, 2016)

7.1 Categoriseren

Om een duidelijk beeld te krijgen van de aanwezige bochten in verkeerswisselaars worden met behulp van eigenschappen van de verkeerswisselaars categorieën opgesteld. In de eerste stap wordt een onderscheid gemaakt tussen een vierarmig of een driearmig knooppunt. Daarnaast zijn er nog speciale categorieën maar deze worden binnen deze masterproef niet behandeld. Onderstaand worden een vierarmig en driearmig knooppunt beschreven.

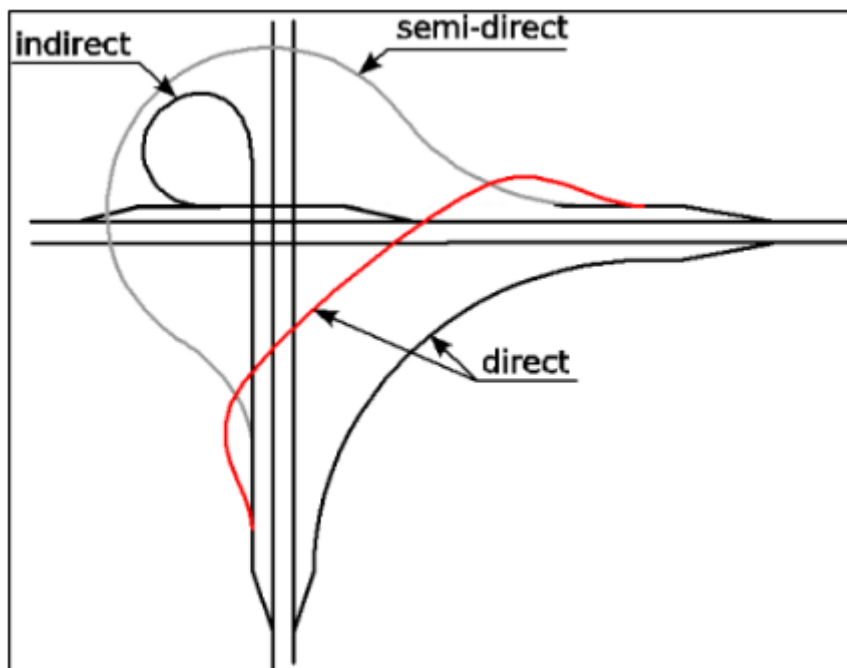
Een vierarmig knooppunt of verkeerswisselaar wordt gedefinieerd als de kruising van twee doorgaande autosnelwegen waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen een standaardconfiguratie en een onvolledig knooppunt. Bij een standaardconfiguratie zijn alle richtingsveranderingen mogelijk. Bij een onvolkomen knooppunt is dit niet het geval (ROA, 2017).

De definitie van een driearmige verkeerswisselaar is als volgt : het samenkomen van het begin of einde van een autosnelweg met een andere doorgaande autosnelweg. Ook hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen een standaardconfiguratie en een onvolledig knooppunt. In een standaardconfiguratie zijn alle verkeersbewegingen mogelijk en bestaat de doorgaande autosnelweg uit een rechte lijn. Bij een onvolkomen aansluiting zijn alle verkeersbewegingen niet mogelijk (ROA, 2017).

In de tweede stap worden de verschillende knooppunten bij hun bijhorende configuratie opgesteld. Mogelijke configuraties zijn: klaverblad, turbine, trompet, ster en klaverturbine. Onderstaand worden de verschillende configuraties en hun voor- en nadelen voorgesteld. Daarbij worden telkens de bijhorende verkeerswisselaars in Vlaanderen aangegeven. De keuze van het type verkeerswisselaar is afhankelijk van verschillende factoren. Deze factoren worden in het volgende hoofdstuk Keuze verkeerswisselaar verder toegelicht.

In een derde stap wordt gekeken naar de verschillende verbindingswegen die binnen de verkeerswisselaar aanwezig zijn. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen directe, semidirecte en indirecte verbindingswegen. Bij directe verbindingswegen gebeurt de verandering van richting met een draai van ongeveer 45° . Deze loopt voor de kruising van de verbindingswegen. Een semidirecte verbinding gebeurt op soortgelijke manier maar loopt achter de verbindingswegen door. Een indirecte verbinding bestaat uit een bocht met beperkte boogstraal en een draai van ongeveer 270° (ROA, 2017).

Onderstaande Figuur 14 Verschillende soorten verbindingswegen geeft de drie soorten verbindingswegen schematisch weer.



Figuur 14 Verschillende soorten verbindingswegen (ROA, 2017, p. 18)

7.2 Keuze verkeerswisselaar

Voor de keuze van het type verkeerswisselaar wordt de situatie bekeken samen met volgende vijf voorwaarden. Zo wordt nagegaan wat de functie is in het netwerk en het daarbij horende gevraagde niveau. Dit resulteert in een al dan niet hoogwaardig knooppunt.

In een tweede stap wordt de gevraagde robuustheid bekeken. Net zoals in de vorige stap speelt de hoogwaardigheid van het knooppunt hier een belangrijke rol. Zo zal een hoogwaardiger knooppunt minder gevoelig zijn voor storingen.

Een volgend aspect is de verkeersveiligheid. Om de veiligheid zo groot mogelijk te houden, wordt getracht de snelheid binnen een verkeerswisselaar zo constant mogelijk te houden. Daarnaast wordt het snelle en het langzame verkeer zo veel mogelijk gescheiden. Bij de toepassing van een indirecte verbinding is dit echter niet mogelijk. Om de veiligheid toch zo hoog mogelijk te houden, wordt daarom een extra rijstrook aangelegd, een rangeerbaan. Een rangeerbaan is gedefinieerd als een rijbaan die evenwijdig ligt met de hoofd baan en hierop aansluit waarop verschillende weefbewegingen kunnen worden uitgevoerd en de snelheidsverschillen worden opgevangen.

Een vierde aspect is de belangrijkheid van afbuiging. Hoe meer verkeer in een bepaalde richting moet afbuigen, hoe hoogwaardiger de verbindingsslus moet zijn. Voorbeelden van hoogwaardige verbindingen zijn: de semidirecte en directe verbinding.

Een laatste aspect is de beschikbare ruimte. Afhankelijk van de situatie wordt de beschikbare ruimte bekeken en hieruit wordt de meest geschikte vorm van het knooppunt geselecteerd.

In de voorgaande alinea's worden hoogwaardige en minder hoogwaardige knooppunten aangehaald. Types van verkeerswisselaars waarbij wordt gesproken over een minder hoogwaardige verbinding zijn klaverbladknooppunten. Een voorbeeld van een hoogwaardige knooppunt is een turbine. Beide verkeerswisselaars worden in de volgende hoofdstukken verder besproken (ROA, 2017).

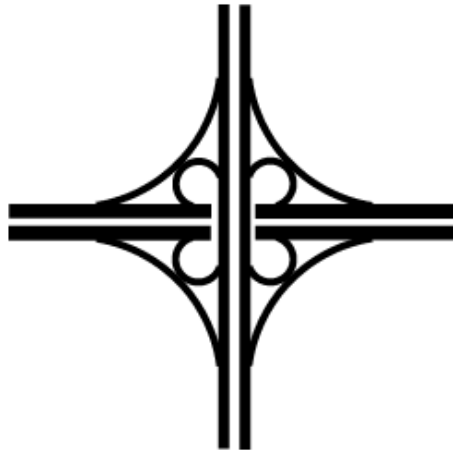
7.3 Types verkeerswisselaars

Om een beter inzicht over de huidige verkeerswisselaars in Vlaanderen te krijgen, worden de aanwezige knooppunten in categorieën ingedeeld. Deze indeling wordt in het volgende hoofdstuk gebruikt voor het bestuderen en de bespreken van de huidige situatie.

7.3.1 Vierarmige verkeerswisselaars

Bij de vierarmige verkeerswisselaars zijn drie verschillende types van configuraties aanwezig binnen het Vlaamse wegbeeld. Voor de verschillende categorieën worden de opbouw van de configuratie samen met hun voor- en nadelen besproken. Daarnaast worden ook de verschillende verbindingswegen aangeduid.

7.3.1.1 Klaverblad



*Figuur 15 Klaverblad verkeerswisselaar
(ROA, 2017, p. 29)*

Ontwerp

Bovenstaande Figuur 15 Klaverblad verkeerswisselaar geeft een schematische voorstelling van een klaverblad weer. Uit deze opbouw is waar te nemen dat bij een klaverblad vier directe en vier indirecte verbindingswegen aanwezig zijn. Algemeen wordt bij de opbouw van een verkeerswisselaar getracht een zo continue en vlot mogelijke doorstroming te bekomen. Dit om de verkeersveiligheid zo hoog mogelijk te houden. Door gebruik te maken van indirecte verbindingswegen is de straal van deze bochten beperkt. Dit heeft als gevolg dat de snelheid op deze verbindingswegen beperkt is.

Daarnaast wordt getracht een ontwerp te creëren met een zo vlot mogelijke doorstroming. Dit wil zeggen dat het snelle en trage verkeer zo veel mogelijk van elkaar worden gescheiden. Bij een indirecte verbindingsweg is dit echter niet zo eenvoudig. Daarom wordt een extra strook namelijk een rangeerstrook voorzien (ROA, pg 19).

Dit is meteen een nadeel dat aan een klaverblad verbonden is. Namelijk voor een goede opbouw is een rangeerbaan noodzakelijk. Daaraan verbonden is er een beperkte capaciteit van het aantal voertuigen op de weefvakken die aanwezig zijn tussen de verschillende lussen. Daartegenover staan de voordelen die aan dit type verkeerswisselaar zijn verbonden. Als naar het ontwerp van een klaverblad wordt gekeken, kan worden vastgesteld dat dit een relatief eenvoudige ontwerp is wat maakt dat een klaverblad een relatief goedkope oplossing voor een knooppunt is. Dit maakt het zeker op economisch vlak een aantrekkelijke oplossing is (ROA, 2017; TUDelft, 2017; De Coen, 2008).

Locaties

Van de configuratie klaverblad zijn verschillende knooppunten in het Vlaamse wegbeeld terug te vinden. De drie verkeerswisselaars in de vorm van een klaverblad zijn allemaal gelegen in de provincie West-Vlaanderen. Meer bepaald ter hoogte van Aalbeke, Brugge en Moorsele. In Aalbeke is een overgang tussen de E403, Brugge-Doornik, en de E17, Antwerpen-Rijsel, mogelijk. In Brugge is een kruising gecreëerd tussen de E40, Brussel-Oostende, en de E403, Brugge-Doornik. De laatste verkeerswisselaar in de vorm van een klaverblad is terug te vinden in Moorsele waar een verbinding tussen de E403 en de A19, Kortrijk Ieper, wordt gecreëerd.

Onderstaande Figuur 16 Verkeerswisselaar: Aalbeke, Figuur 17 Verkeerswisselaar: Brugge en Figuur 18 Verkeerswisselaar: Moorsele geven de verschillende locaties weer.



Figuur 16 Verkeerswisselaar: Aalbeke (Google Maps)

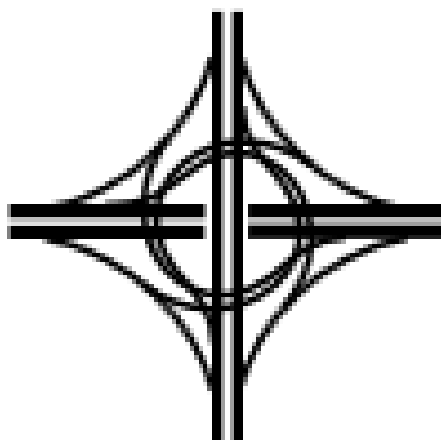


Figuur 17 Verkeerswisselaar: Brugge (Google Maps)



Figuur 18 Verkeerswisselaar: Moorsele (Google Maps)

7.3.1.2 Turbine



Figuur 19 Turbine verkeerswisselaar (ROA, 2017, p. 29)

Ontwerp

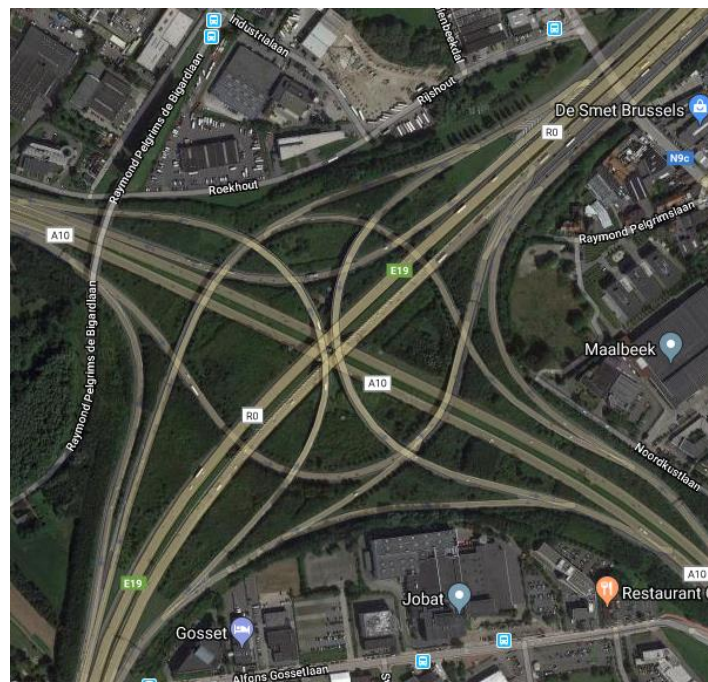
Een tweede verkeerswisselaar die binnen het Vlaamse wegbeeld is terug te vinden, is de configuratie van een turbine. De schematische opbouw wordt in bovenstaande Figuur 19 Turbine verkeerswisselaar afgebeeld. Bij een turbine zijn er vier directe en vier semidirecte verbindingen aanwezig.

Bij de aanleg van een semidirecte verbinding is de boogstraal van de bocht groter dan bij het ontwerp van een indirecte verbinding. Dit heeft als gevolg dat bij de ontwerpsnelheid van de bocht een hogere waarde kan worden gehanteerd. Door het vermijden van vertragingen en versnellingen is een vlottere en meer continue doorstroming van het verkeer mogelijk. Hierdoor wordt een turbine als een hoogwaardigere verkeerswisselaar gezien.

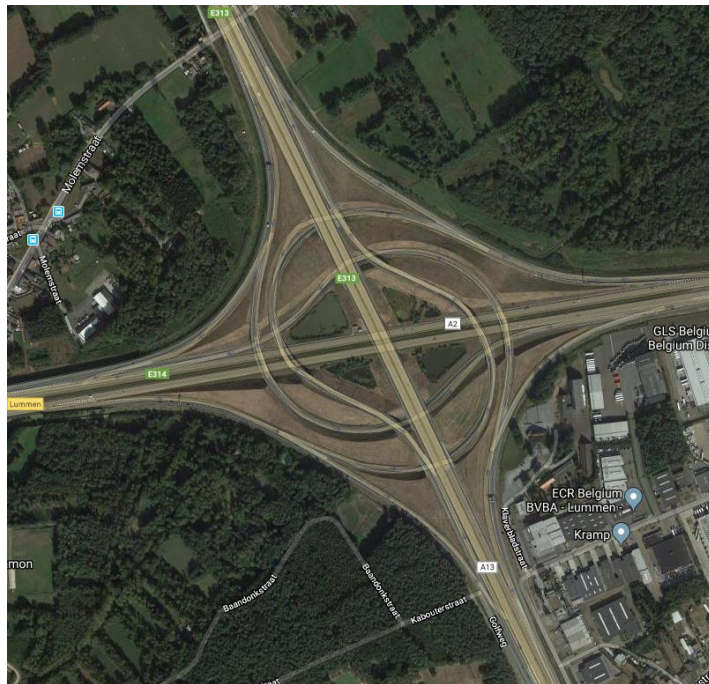
Door te kiezen voor een turbine zijn er echter ook een paar nadelen aan het ontwerp verbonden. Door de verschillende semidirecte verbindingen zijn vijf kunstwerken nodig. Hierdoor is de geometrie van een turbine complexer dan de geometrie van een klaverblad. Daarnaast wordt het geheel van het ontwerp van een turbine duurder, waardoor het economisch minder interessant is (ROA, 2017; TUDelft, 2017; De Coen, 2008).

Locaties

Bij de vergelijking van de verschillende verkeerswisselaars in Vlaanderen kan worden waargenomen dat de configuratie van de turbine bij de vierarmige knooppunten de meest voorkomende verkeerswisselaar is. Dit type is vooral terug te vinden op de ring rond Brussel. Ook in Limburg en Oost-Vlaanderen is een knooppunt in de vorm van een turbine gelegen. Meer bepaald zijn de verkeerswisselaars terug te vinden in: Groot-Bijgaarden, Lummen, Machelen, St. Stevens-Woluwe, Zaventem en Zwijnaarde. In Groot-Bijgaarden wordt de verbinding tussen de E19, Antwerpen-Bergen, en de A10, Brussel-Oostende gecreëerd. Het tweede knooppunt is gelegen in Lummen en zorgt voor de verbinding tussen E313, Antwerpen-Luik, en de E314, Leuven-Nederland. Het derde knooppunt is de verkeerswisselaar in Machelen waar de E19, Antwerpen-Brussel, en de E40, Brussel-Luik samenkomen. Verder is het knooppunt St. Stevens-Woluwe waar de E40, Brussel-Luik en de R0 of de ring rond Brussel elkaar kruisen. Daarnaast is de verkeerswisselaar in Zaventem een turbine met een kruising tussen de A201, Brussel-Luchthaven Zaventem, en de Brusselse ring. Het laatste knooppunt van dit type is de verkeerswisselaar in Zwijnaarde waar de E17, Antwerpen-Rijsel, en de E40, Oostende-Brussel, samenkomen. Onderstaande Figuur 20 Verkeerswisselaar: Groot-Bijgaarden, Figuur 21 Verkeerswisselaar: Lummen, Figuur 22 Verkeerswisselaar: Machelen, Figuur 23 Sint-Stevens-Woluwe, Figuur 24 Verkeerswisselaar: Zaventem en Figuur 25 Verkeerswisselaar: Zwijnaarde geven de verschillende locaties weer.



Figuur 20 Verkeerswisselaar: Groot-Bijgaarden (Google Maps)



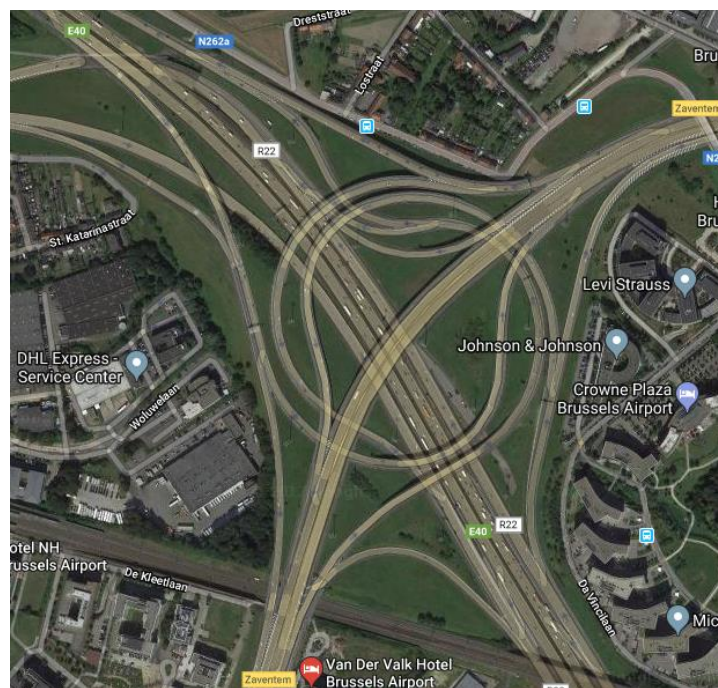
Figuur 21 Verkeerswisselaar: Lummen (Google Maps)



Figuur 22 Verkeerswisselaar: Machelen (Google Maps)



Figuur 23 Sint-Stevens-Woluwe (Google Maps)

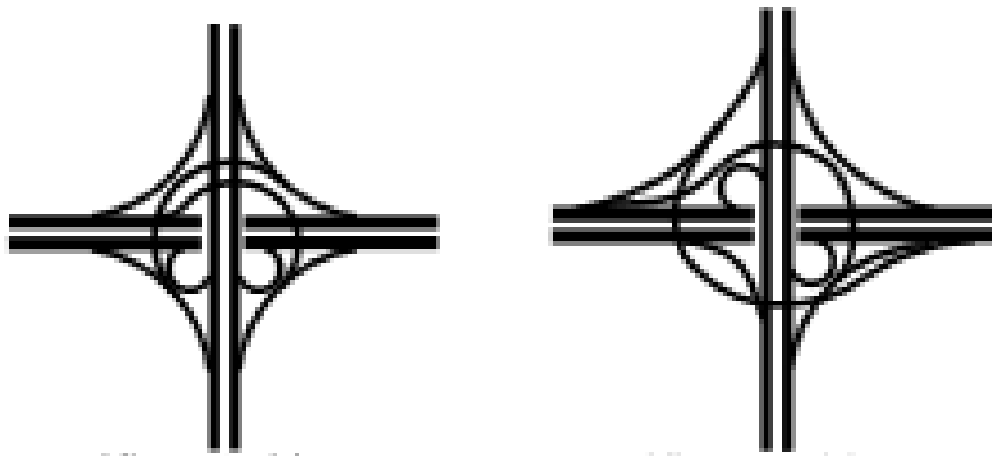


Figuur 24 Verkeerswisselaar: Zaventem (Google Maps)



Figuur 25 Verkeerswisselaar: Zwijnaarde (Google Maps)

7.3.1.3 Klaverturbine



Figuur 26 Klaverblad verkeerswisselaar (ROA, 2017, p. 29)

Ontwerp

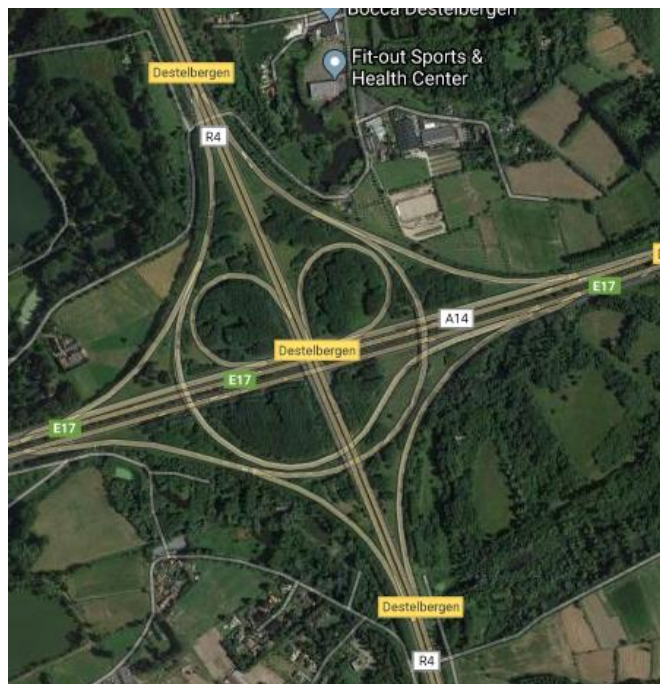
Daarnaast is er ook de configuratie van een klaverturbine. Hierbij worden een klaverblad en een turbine gecombineerd zoals in bovenstaande Figuur 26 Klaverblad verkeerswisselaar weergegeven. Bij het ontwerp van een klaverturbine zijn er vier directe, twee semidirecte en twee indirecte verbindingswegen aanwezig.

Door een combinatie van beide configuraties te maken worden de voor- en nadelen van een klaverblad en een turbine zoals hierboven beschreven gecombineerd. Vaak worden dergelijke configuraties gekozen wanneer afbuigingen van bepaalde richtingen belangrijker zijn dan afbuigingen in een andere richting. Voor de belangrijkste afbuigingen en bijgevolg de bochten die de grootste capaciteit aan voertuigen moeten verwerken, wordt voor een semidirecte verbinding gekozen. Voor bochten die minder belangrijk zijn wordt een indirecte verbinding

gekozen. De afweging tussen een semidirecte en indirecte verbinding verklaart het verschil in configuratie van bovenstaande Figuur 26 Klaverblad verkeerswisselaar (De Coen, 2008; TUDelft, 2017; ROA, 2017).

Locatie

Van de Vlaamse verkeerswisselaars is slechts één configuratie een klaverturbine. Deze verkeerswisselaar is gelegen in Destelbergen. De verkeerswisselaar in Destelbergen maakt wisselen tussen de E17, Antwerpen-Rijsel, en de R4, de ring rond Gent, mogelijk. Zoals kan worden afgeleid uit de Figuur 27 Verkeerswisselaar: Destelbergen, bevindt het belang van afbuiging zich hier vooral bij het wisselen van de E17 richting het noorden van de R4 en bij het wisselen van het noorden van R4 naar de E17 richting Brussel.



Figuur 27 Verkeerswisselaar: Destelbergen (Google Maps)

7.3.2 Driearmige verkeerswisselaars

Analoog aan de vierarmige verkeerswisselaars worden onderstaand de verschillende vormen van driearmige verkeerswisselaars die aanwezig zijn in het Vlaamse wegbeeld besproken. In totaal zijn er vier verschillende categorieën te onderscheiden.

7.3.2.1 Trompet



Figuur 28 Trompet verkeerswisselaar (ROA, 2017, p. 29)

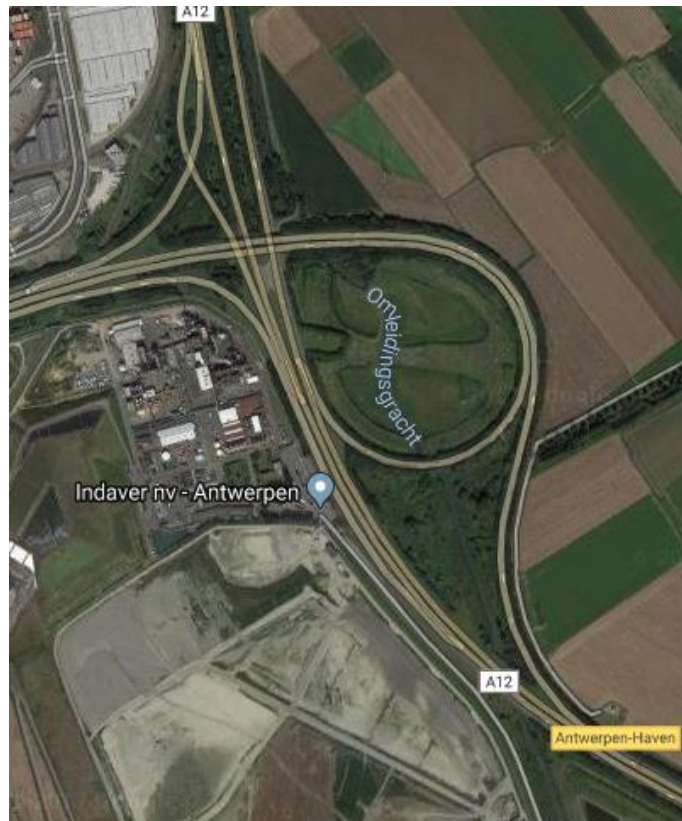
Ontwerp

Een eerste configuratie is de trompet. Een trompet is opgebouwd uit twee directe verbindingswegen, dit is te zien in bovenstaande Figuur 28 Trompet verkeerswisselaar. De buitenste boog is een semidirecte verbinding en de binnenste bocht is omgebouwd uit een indirecte bocht. Door de beperkte boogstraal van de indirecte verbinding, is de ontwerpsnelheid beperkt. Hierdoor is een trompetknooppunt ook de minst hoogwaardige vorm van verkeerswisselaar (ROA, 2017).

Locatie

In het Vlaamse wegbeeld zijn er verschillende knooppunten aanwezig die opgebouwd zijn volgens de configuratie van een trompet. Antwerpen-Haven, Beveren, Heverlee en Merelbeke zijn voorbeelden van dergelijke configuratie, deze worden afgebeeld op Figuur 29

Verkeerswisselaar: Antwerpse haven, Figuur 30 Verkeerswisselaar: Beveren, Figuur 31 Verkeerswisselaar: Heverlee en Figuur 32 Verkeerswisselaar: Merelbeke. In Antwerpen-Haven wordt zo de overgang tussen de R2, de ring rond Antwerpen en de A12, Antwerpen-Bergen op Zoom mogelijk. De verkeerswisselaar in Beveren verbindt de R2 en de E34, Zelzate-Antwerpen. In Heverlee vindt de aansluiting van het begin of het einde van de E314, Leuven-Lummen op de E40, Brussel-Luik, plaats. Het laatste knooppunt volgens deze configuratie is de verkeerswisselaar in Merelbeke die de wisseling tussen de E40, Oostende-Brussel en de B403, de verbinding met de R4 of met de ring van Gent, mogelijk maakt.



Figuur 29 Verkeerswisselaar: Antwerpse haven (Google Maps)



Figuur 30 Verkeerswisselaar: Beveren (Google Maps)

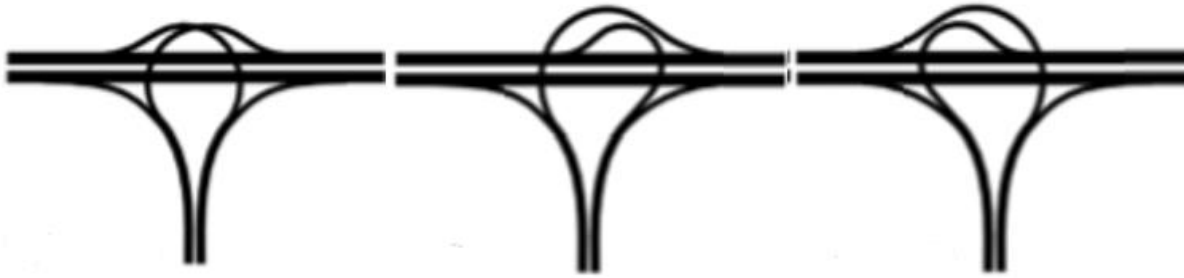


Figuur 31 Verkeerswisselaar: Heverlee (Google Maps)



Figuur 32 Verkeerswisselaar: Merelbeke (Google Maps)

7.3.2.2 Turbine



Figuur 33 Turbine verkeerswisselaar (ROA, 2017, p. 29)

Ontwerp

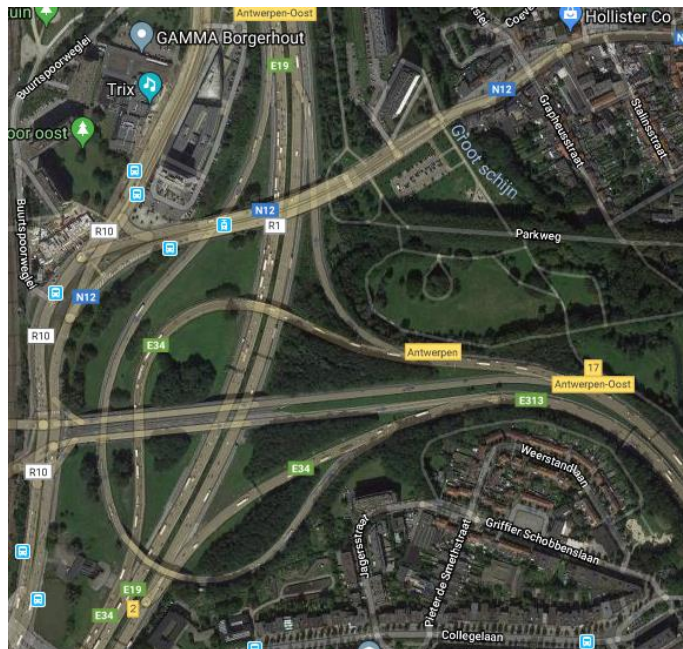
Een tweede configuratie van een driearmige verkeerswisselaar is de turbine. Bovenstaande figuren geven de schematische voorstelling van de opbouw van een turbine weer. Zoals uit de Figuur 33 Turbine verkeerswisselaar kan worden afgeleid zijn twee directe en twee semidirecte bochten aanwezig. Door gebruik te maken van twee semidirecte in plaats van indirecte bochten wordt de turbine gezien als een hoogwaardigere verbinding als de verkeerswisselaar met configuratie van een trompet (ROA, 2017).

Locatie

De configuratie van een turbine is vooral terug te vinden in de verkeerswisselaars aanwezig in de buurt van Antwerpen. Voorbeelden van knooppunten die opgebouwd zijn volgens een turbine zijn Antwerpen-Noord, Antwerpen-Oost en Antwerpen-Zuid. Het eerste knooppunt dat is opgebouwd volgens de configuratie van een turbine is de verkeerswisselaar in Antwerpen-Noord. Hier vindt de samenvoeging van de A12, Antwerpen-Bergen op Zoom met de E19, Breda-Antwerpen plaats. Naar het zuiden toe wordt overgegegaan naar de R1 of de ring rond Antwerpen. De verkeerswisselaar is weergegeven in Figuur 34 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Noord. Het knooppunt Antwerpen-Oost, Figuur 35 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Oost, geeft de kruising tussen de ring rond Antwerpen en de E34 vanuit Luik. Het laatste knooppunt is Figuur 36 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Zuid de verkeerswisselaar in Antwerpen-Zuid waar de overgang tussen de E19, Brussel-Antwerpen en de A12, Brussel-Boom-Antwerpen, richting de ring rond Antwerpen mogelijk is.



Figuur 34 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Noord (Google Maps)



Figuur 35 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Oost (Google Maps)



Figuur 36 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Zuid (Google Maps)

7.3.2.3 Ster



Figuur 37 Ster verkeerswisselaar (ROA, 2017, p. 29)

Ontwerp

De laatste configuratie die te onderscheiden is, is de sterverkeerswisselaar. Bovenstaande Figuur 37 Ster verkeerswisselaar geeft de schematische opbouw van dergelijke verkeerswisselaars weer. Bij een sterknooppunt zijn vier directe verbindingswegen aanwezig. Hierdoor wordt een sterknooppunt als de meest hoogwaardige knooppuntvorm beschouwd. Wanneer de bochten goed worden gedimensioneerd, kan de volledige ontwerpsnelheid van de verkeerswisselaar worden gedimensioneerd op 120 km/h. Op deze manier moet het verkeer niet vertragen en is een vlotte doorstroming mogelijk (ROA, 2017).

Situaties

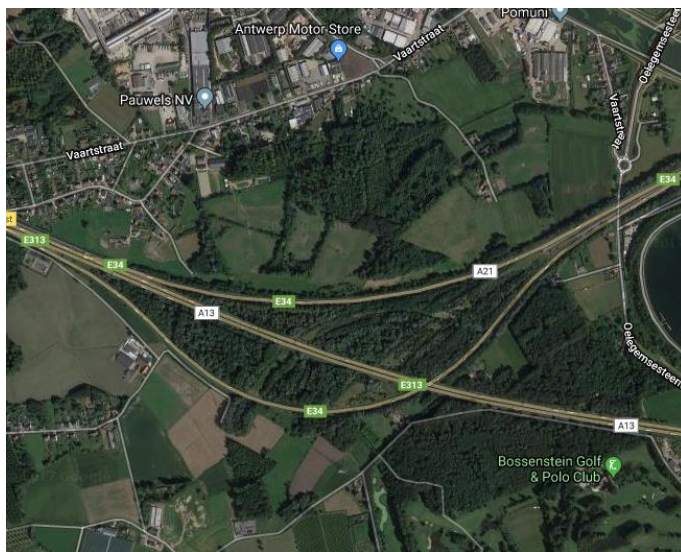
De configuratie van een sterknooppunt wordt maar op één locatie teruggevonden namelijk op het knooppunt van Antwerpen-West. Onderstaande Figuur 38 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Zuid geeft een luchtfoto van het knooppunt en de situatie van Antwerpen-Zuid. Op dit knooppunt komt de E17, Antwerpen-Rijsel samen met de R1 of de ring rond Antwerpen.



Figuur 38 Verkeerswisselaar: Antwerpen-Zuid (Google Maps)

7.3.2.4 Onvolkomen

Naast de volkomen standaardconfiguraties zijn er ook onvolledige knooppunten. Bij de opbouw van deze knooppunten zijn niet alle verkeersbewegingen mogelijk. Een dergelijk onvolledig knooppunt is terug te vinden in Ranst. Onderstaande Figuur 39 Verkeerswisselaar: Ranst geeft een luchtbeeld weer van de situatie in Ranst.



Figuur 39 Verkeerswisselaar: Ranst (Google Maps)

Uit het luchtbeeld is af te leiden dat de verbindingen van de E313 naar de E34 in de richting van Antwerpen in beide richtingen mogelijk is. De verkeersbeweging van de E313 van de richting van Hasselt naar de E34 is in beide richtingen niet mogelijk. Daarom wordt dergelijke configuratie een onvolkomen knooppunt genoemd (ROA, 2017).

8. Huidige signalisatie

Binnen de verschillende verkeerswisselaars zijn er grote verschillen in signalering waar te nemen. Om een overzicht van de huidige gebruikte signaleringsmethoden te krijgen, worden in het volgende hoofdstuk de verschillende types van verkeerswisselaars bestudeerd. Met behulp van gegevens, ter beschikking gesteld door het Agentschap Wegen en Verkeer, wordt getracht inzicht te verkrijgen in het ontwerp, de toepassing van markering, het snelheidsregime en de opgemeten snelheid. Voor het bestuderen van de snelheid werd gebruik gemaakt van de V85 en de V95. De V85 wordt gedefinieerd als de snelheid waar 85 procent van de bestuurders zich aan houden. Analoog hieraan wordt V95 gedefinieerd als de snelheid waar 95 procent van de bestuurders zich aan houden (Agentschap Wegen en Verkeer). Ook het aantal ongevallen en de locatie van deze ongevallen worden bestudeerd. De verschillende verkeerswisselaars met bijhorende gegevens zijn achteraan als bijlage toegevoegd.

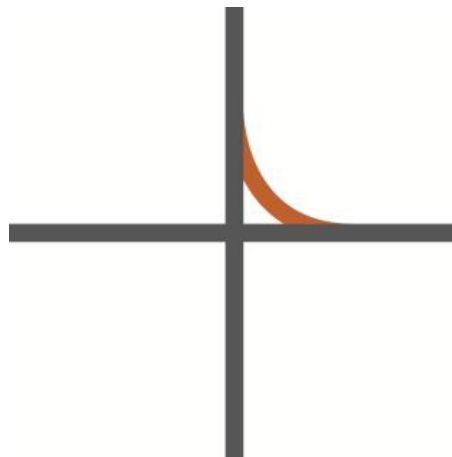
8.1 Driearmige knooppunten

8.1.1 Trompet

Binnen een trompetverkeerswisselaar zijn twee directe, één indirecte en één semidirecte bocht aanwezig. Voor de vier driearmige verkeerswisselaars met de vorm van een trompet worden de verschillende bochten bekeken. Op deze manier kan een overzicht worden gemaakt met daarin de overeenkomsten en verschillen.

8.1.1.1 Directe bocht

Binnen de trompet zijn er twee directe bochten aanwezig. Elk van deze bochten maakt een hoek van ongeveer 90°. Niet alle autosnelwegen komen loodrecht samen waardoor lichte afwijkingen mogelijk zijn. Onderstaande Figuur 40 Schematische voorstelling van een directe bocht geeft de schematische voorstelling van een directe bocht.



Figuur 40 Schematische voorstelling van een directe bocht (Agentschap Wegen en Verkeer)

Voor de verkeerswisselaar in Antwerpen-Haven kan uit de luchtafbeeldingen worden waargenomen dat de twee bochten volgens bovenstaande Figuur 40 Schematische voorstelling van een directe bocht zijn opgebouwd. De bochtstraal in de noordelijke bocht is hierbij groter dan de bochtstraal van de zuidelijke bocht. Zoals waar te nemen op de luchtfoto zijn in de zuidelijke bocht zes bochtschilden startend van het begin tot het einde van de bocht geplaatst. Aan het begin van de bocht is een snelheidslimitering en verkeersbord A1 geplaatst. Bij de noordelijke bocht zijn geen extra maatregelen voorzien. Voor beide bochten geldt een snelheidsregime van 120 km/h. De toegelaten snelheid in de zuidelijke bocht bedraagt 70 km/h.

Aan het begin van deze bocht wordt de V85-waarde van bestuurders opgemeten. Uit deze resultaten blijkt dat de V85-waarde voor personenwagens 71 km/h bedraagt. Voor vrachtwagens is deze waarde gelijk aan 75 km/h.

Het tweede knooppunt is gelegen in Beveren. Hier is het ontwerp van de directe bochten ligt afwijkend van de Figuur 40 Schematische voorstelling van een directe bocht hierboven. Beide bochten zijn opgebouwd uit twee korte bochten met daartussen een boog met een zeer grote radius. Door deze verandering in bochtstraal moeten bestuurders stuurveranderingen toepassen en is alertheid van de bestuurder gewenst. Voor de oostelijke bocht zijn zowel voor het inrijden, bij het uitrijden en in het midden van deze bocht ongevallen geregistreerd. Aan het begin en het einde van de bocht zijn telkens drie visgraatmarkeringen aangebracht. In het midden van de bocht zijn aan beide zijde van de rijbaan betonblokken afwisselend wit geel geverfd. Ook in deze bocht is een meetpost in het begin aanwezig. De gereden V85 bedraagt hier 84,5 km/h voor wagens en 68,5 km/h voor vrachtverkeer. In de westelijke bocht zijn geen extra signalisatieborden toegevoegd. De V85 en toegelaten snelheid liggen hier zeer kort bij elkaar.

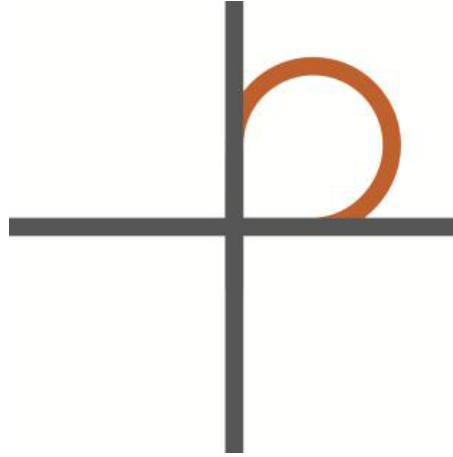
De derde verkeerswisselaar is gelegen in Heverlee. Net zoals de verkeerswisselaar in Beveren zijn de verbindingswegen opgebouwd uit bochten en overgangsbogen. Bestuurders dienen bij het nemen van deze bochten stuurveranderingen door te voeren. Voor de oostelijke bocht situeren de ongevallen zich in het midden van de bocht waarbij uit de luchtafbeeldingen een kleine verandering in het verloop van de verbindingsweg is waar te nemen. Voor de westelijke bocht is een soortgelijke situatie op het einde van de verbindingsweg waar te nemen. Hier is de zichtbaarheid van het midden tot het einde van de bocht beperkt door bomen aan de zijkant van de rijbaan. De vangrail die aan de rechterkant van de rijbaan aanwezig is, is wit en geel geverfd. Voor beide bochten is in het begin van de bocht een meetpost aanwezig. De V85 bedraagt voor de oostelijke bocht 88 en 79 km/h voor personen- en vrachtverkeer en voor de westelijke bocht 111 en 95 km/h.

De laatste verkeerswisselaar is gelegen in Merelbeke. De westelijke verbindingsweg is opgebouwd uit een krappe bocht naar rechts en overgangsbogen. Binnen deze bocht is geen specifieke signalisatie toegevoegd om een naderende bocht aan te duiden. Voor deze bocht zijn geen ongevallen geregistreerd. De V85 bedraagt 49 en 41 km/h. De oostelijke bocht is opgebouwd uit de combinatie van een flauwe bocht naar rechts, een flauwe bocht naar links gevolgd door een scherpe bocht naar rechts. Daartussen worden de verbindingen gemaakt met overgangsbogen. In het midden van de bocht is een niet-conforme signalisatie aangebracht. Het betreft hier een geel verkeersbord met daarop de boodschap voor het matigen van de snelheid en de aanduiding voor een naderende scherpe bocht naar rechts. In de scherpe bocht zijn zes bochtschilden geplaatst. In de oostelijke bocht is het aantal ongevallen beperkt. De ongevallen situeren zich in het midden van de verbindingsweg. De V85 bedraagt 87 en 78 km/h voor personen- en vrachtverkeer.

Algemeen kan worden gesteld dat verschillen in ontwerp, signalisatie en snelheid tussen de verschillende bochten zijn waar te nemen. Voor het ontwerp is onderscheid te maken tussen het standaardontwerp van 90° zoals weergegeven in Figuur 40 Schematische voorstelling van een directe bocht en het ontwerp waarbij twee bochten door een overgangsbog worden verbonden. Voor de signalisatie zijn zowel bochtschilden, visgraten, geschilderde vangrails als niet-conforme signalering waar te nemen. Het snelheidsregime varieert tussen de 50 en 120 km/h.

8.1.1.2 Indirecte bocht

Binnen een trompet is steeds één indirecte bocht waar te nemen. Deze bocht maakt een hoek van 270°. Afhankelijk van de ligging van de snelwegen ten opzichten van elkaar kan hierop een lichte afwijking aanwezig zijn. Onderstaande Figuur 41 Standaardvoorbeeld indirecte bocht geeft de standaardconfiguratie van een indirecte bocht.



Figuur 41 Standaardvoorbeeld indirecte bocht (Agentschap Wegen en Verkeer)

Voor het knooppunt Antwerpen-Haven heeft het tweede deel van de boog een bochtstraal van ongeveer 185 meter. Uit de luchtfoto's en onderzoek is een verandering van bochtstraal in het midden van de bocht waar te nemen. Het betreft hier slechts een klein verschil in waarde. Omdat wordt overgegaan van een kleine naar een grote bochtstraal is het probleem beperkt. Voor het inrijden van deze bocht zijn een snelheidslimitering en een waarschuwingsbord A1 geplaatst. De toegelaten snelheid in deze bocht bedraagt 70 km/h. Aan het einde van de verbindingsweg zijn vier bochtschilden toegevoegd. Tussen deze bochtschilden bevindt zich telkens een relatief grote afstand. Binnen de bocht zijn geen ongevallen waar te nemen. De meetpost voor de bepaling van de snelheid ligt voor de opgelegde snelheidslimitering waardoor de waarde van V85 veel hoger ligt dan de toegelaten snelheid in de verbindingsweg zelf.

Het tweede knooppunt is de verkeerswisselaar in Beveren. In de bocht geldt een snelheidsregime van 50 km/h. Dit houdt in dat bestuurders sterk moeten vertragen. Voor het begin van de bocht is een snelheidslimitering aanwezig. Aan het begin van de verbindingsweg is geen waarschuwingsbord voor een krappe bocht aanwezig en in de bocht zelf zijn geen bochtschilden geplaatst. De ongevallen situeren zich in het midden van de bocht. De meetpost bevindt zich op ongeveer 500 meter voor de bocht. De V85 op deze locatie gemeten bedraagt 114 en 88 km/h. Deze snelheid is dubbel zo groot als de snelheid toegelaten in de bocht. Op een korte afstand is dus een sterke vertraging nodig.

De derde verkeerswisselaar is deze van Heverlee. De radius van deze boog bedraagt ongeveer 70 meter. Ook hier gaat het over een relatief krappe boog. Het toegepaste snelheidsregime is 90 km/h. Ter aankondiging van de bocht wordt het verkeersbord A1 op 200 meter voor de bocht geplaatst. Daarnaast wordt twee maal een snelheidsverlaging doorgevoerd. In de eerste stap wordt de snelheid tot 90 km/h verlaagd, in de tweede stap tot 70 km/h. Bochtschilden zijn aangebracht van het begin tot voorbij het midden van de bocht. De bochtschilden zijn op beperkte afstand van elkaar geplaatst. Het aantal ongevallen is beperkt en deze situeren zich in het midden van de bocht. De meetpost is gelegen voor de eerste snelheidslimitering. De snelheid

die bestuurders hier hanteren ligt op deze locatie nog hoger dan de toegelaten snelheid in de bocht.

De laatste verkeerswisselaar is gelegen in Merelbeke. De bocht is opgebouwd uit twee bochtdelen. De bochtstraal van beide delen is hierbij beperkt. De radius van de eerste bocht bedraagt bij benadering 44 meter, die van de tweede bocht 65 meter. In de verbindingsweg geldt een snelheidsregime van 90 km/h. Bij het naderen van de bocht geeft verkeersbord A1 een waarschuwing voor een naderende scherpe bocht weer. Daarnaast zijn bochtschilden geplaatst vanaf het midden van het eerste bochtdeel tot op het einde van de bocht. Langs de buitenkant van de bocht hebben de betonnen geleiders een witte en gele kleur gekregen. De zichtbaarheid in de bocht is beperkt door planten aan de binnenkant. Op dit knooppunt is de meetpost gelegen aan het begin van de bocht. Uit de resultaten kan worden afgelezen dat de V85 voor personenwagens 53 km/h bedraagt. De V85 voor vrachtwagens bedraagt 43 km/h. De snelheid die bestuurders hanteren in deze bochten is bijgevolg eerder beperkt.

Algemeen bezitten deze bochten een beperkte bochtstraal en maken ze een hoek van 270° . De signalisatie van de bochten is verschillend. Zo worden sommige bochten aangekondigd door verkeersbord A1 en worden soms bochtschilden toegepast. De plaatsing van de borden varieert tussen de verschillende verbindingswegen. Voor sommige verbindingswegen wordt enkel het einde van de bocht aangeduid met behulp van bochtschilden, voor andere bochten enkel het begin.

8.1.1.3 Semidirecte bocht

Binnen de trompet is één semidirecte bocht waar te nemen. Deze bocht maakt net zoals de indirecte bocht een hoek van ongeveer 270° . Onderstaande Figuur 42 Standaardvoorbeeld semidirecte bocht toont het schematisch verloop van een semidirecte bocht.



Figuur 42 Standaardvoorbeeld semidirecte bocht (Agentschap Wegen en Verkeer)

De verkeerswisselaar in Antwerpen-Haven bestaat uit een bocht naar rechts en een bocht naar links met daartussen een overgangsboog. De bocht naar rechts heeft een radius van ongeveer 400 meter. De radius van de bocht naar links bedraagt iets meer dan 200 meter. Naar analogie met de indirecte verbindingsweg is in de bocht naar rechts een lichte wijziging in de bochtstraal waar te nemen. Het absolute verschil in waarde tussen deze twee bochtstralen is echter beperkt maar omdat wordt overgegaan van een grote naar een kleine bochtstraal blijkt dit een gevaarlijk punt wat betreft ongevallen. Ter hoogte van dit punt zijn dan ook verschillende ongevallen waar te nemen. Voor de bocht naar rechts is weinig signalering aangebracht. Voor de bocht naar links

wordt tweemaal verkeersbord A1 geplaatst om aan te geven dat het over een scherpe bocht gaat. Daarnaast wordt een snelheidslimitering van 70 km/h opgelegd. In de bocht zelf gebeurt een geleiding met behulp van bochtschilden.

Het tweede type van deze bocht is gelegen in Beveren. Ook hier is de bocht opgebouwd uit een bocht naar rechts, een overgangsboog en een bocht naar links. Beide bochten hebben een radius groter dan 100 meter. Het snelheidsregime van beide delen bedraagt 50 km/h. In de verbindingsweg zelf is weinig signalering aanwezig. Binnen de bocht zijn de vangrails aan één of beide kanten wit geel geverfd. Voor de bocht wordt een snelheidslimitering van 50 km/h opgelegd. In de overgangsboog tussen de twee bochten is een meetpost gelegen. Aan de hand van deze resultaten kan worden afgeleid dat de V85 voor personenvoertuigen 83 km/h bedraagt. Voor vrachtwagens bedraagt deze waarde 67 km/h. Beide waarden liggen veel hoger dan de toegelaten snelheid.

De derde bocht is gelegen in Heverlee. De opbouw van de bocht is analoog aan deze in Beveren. Enkel de waarde van de bochtstralen is verschillend. In deze verkeerswisselaar bedraagt de waarde van de bochtstralen bij benadering 310 en 85 meter. In beide bochtdelen geldt een snelheidsregime van 90 km/h. De toegelaten snelheid bedraagt 70 km/h. In het eerste deel van de bocht is een meetpost aanwezig. Uit de resultaten van de meetpost kan worden afgelezen dat de V85 voor personenwagens 83,5 km/h bedraagt en voor vrachtwagens 76,5 km/h. Ter signalisatie is enkel een snelheidslimitering geplaatst.

De laatste semidirecte bocht op een trompet is de verkeerswisselaar van Merelbeke. Ook deze bocht is opgebouwd uit twee bochtdelen. Beide bochten hebben een radius kleiner dan 100 meter. In de eerste bocht zijn 13 bochtschilden met beperkte tussenafstand geplaatst. Aan het begin van de bocht is de niet-conforme signalering met verkeersbord A1 ingewerkt in een geel bord geplaatst. Dit bord geeft als boodschap het matigen van de snelheid.

Algemeen kan worden gesteld dat het aantal ongevallen binnen semidirecte bochten beperkt is. Uitzondering is de verkeerswisselaar in Antwerpen-Haven. De bochten zijn opgebouwd met een beperkte bochtstraal. Uit de resultaten van de bochten met meetposten kan afgeleid worden dat de V85 vaak hoger ligt dan de toegelaten snelheid. In twee van de vier bochten zijn bochtschilden in het midden van de bocht aangebracht en worden bestuurders geïnformeerd voor de naderende bocht. In de twee andere bochten wordt enkel een snelheidslimitering voor de bocht geplaatst.

8.1.2 Turbine

Er zijn drie turbines op de Vlaamse snelwegen terug te vinden. Al deze turbines zijn in Antwerpen gelegen. Binnen de turbine zijn twee directe en twee semidirecte bochten terug te vinden. De standaardconfiguratie van deze bochten is analoog aan de bovenstaande figuren. Afhankelijk van de ligging van de kruisende snelwegen kunnen afwijkingen ten opzichte van het standaardmodel ontstaan.

8.1.2.1 Directe bochten

Op de verkeerswisselaar Antwerpen-Noord zijn twee directe bochten aanwezig. De westelijke bocht heeft een bochtstraal van bij benadering 280 meter en hier geldt een snelheidsregime van 70 km/h. Aan het begin van de bocht is een verkeersbord met snelheidslimitering van 70 km/h toegevoegd. Ter hoogte van deze snelheidslimitering is een meetpost gelegen. Deze meetpost neemt een snelheid van 105 km/h waar voor personenwagens en een snelheid van 87 km/h voor vrachtwagens. De ongevallen situeren zich in het midden van de bocht. De noordelijke bocht

bestaat uit twee ruime bochten met bochtstralen van ongeveer 500 meter. Deze bochten worden met een overgangsboog met elkaar verbonden. Het snelheidsregime in beide bochten bedraagt 120 km/h. De ongevallen situeren zich in het midden van de bocht. Zowel in de noordelijke als de westelijke bocht is weinig signalisatie geplaatst.

In de verkeerswisselaar in Antwerpen-Oost is een noordelijke en zuidelijke directe bocht waar te nemen. Vanuit het oosten komt de E313 op dit knooppunt toe. De autosnelweg eindigt ter hoogte van deze verkeerswisselaar. Het einde van deze snelweg is verbonden met de R10 waardoor bestuurders het centrum van Antwerpen kunnen bereiken. De noordelijke bocht geeft mogelijkheid om te wisselen naar de E19 en richting het noorden van Antwerpen. Op het einde van de zuidelijke bocht komt de E19 vanuit het Noorden en de E34 samen en lopen ze tezamen naar de E313.

De noordelijke bocht heeft bij benadering een bochtstraal van 144 meter en hier geldt een snelheidsregime van 80 km/h. In het midden van de bocht is een meetpost aanwezig. Deze meetpost registreert een waarde van 84 km/h voor de V85 van de personenwagens en 71 km/h voor de vrachtwagens. In het midden van de bocht zijn drie bochtschilden geplaatst. Er zijn ongevallen bij de splitsing, in het midden en op het einde van de bocht vastgesteld. De zuidelijke bocht is opgebouwd uit twee bochtdelen met hiertussen een overgangsboog. In beide delen is een snelheidsregime van 100 km/h van toepassing. Zowel in het begin als het midden, net na de samenvoeging, zijn meetposten gelegen. De eerste meetpost meet een V85 van 95 km/h voor personenwagens en 85 km/h voor vrachtverkeer. De waarden van de tweede meetpost bedragen 91 en 80 km/h. Er zijn ongevallen aan het einde van het eerste bochtdeel en ter hoogte van de samenvoeging waar te nemen.

Het laatste knooppunt met de configuratie van een turbine is Antwerpen-Zuid. Beide bochten bezitten ruime bochtstralen. Het snelheidsregime bedraagt voor beide verbindingswegen 120 km/h. Op het einde van de westelijke bocht wordt de semidirecte bocht met de directe bocht samengevoegd. Over de volledige bocht is geen speciale signalisatie aanwezig. Zowel in het begin als bij het uitrijden van de bocht is een meetpost aanwezig. Uit deze metingen blijkt dat de V85 voor personenwagen in het begin van de bocht 100 km/h bedraagt en op het einde 106 km/h. Voor de vrachtwagens is de snelheid op de eerste meetpost gelijk aan 87 km/h en op de tweede meetpost 94 km/h. Voor de oostelijke bocht is de opbouw analoog en vertrekt de semidirecte bocht vanuit de directe verbinding. Voor deze bocht is een verkeersbord A1 geplaatst. In het begin zijn zeven bochtschilden toegevoegd voor geleiding doorheen de bocht.

Algemeen kan worden gesteld dat een groot aantal ongevallen op deze bochten is waar te nemen. De meerderheid van deze ongevallen situeren zich in het midden van de bocht. Dit type van bochten is algemeen ontworpen voor grote snelheden met enkele uitzonderingen zoals in Antwerpen-Noord. De signalisatie is beperkt en bochtschilden ter geleiding in de bocht zijn zelden toegepast.

8.1.2.2 Semidirecte bochten

In het knooppunt van Antwerpen-Noord komen de A12 en de E19 samen. Doordat de snelwegen niet loodrecht bij elkaar samenkomen, is de hoek van de ene bocht groter dan de andere. Als eerste wordt de bocht van de A12 naar de E19 richting Breda besproken. Deze bocht bestaat uit drie bochtdelen die met een overgangsboog worden verbonden. De bochtstralen zijn tussen 250 en 350 meter gelegen. Het snelheidsregime bedraagt 120 km/h. In de bocht is geen speciale signalisatie voorzien. De tweede bocht maakt de verbinding tussen de E19 vanuit Brussel naar de

A12. In deze verbindingsweg zijn verschillende signalisatiemethoden waar te nemen. In het eerste bochtdeel zijn twee bochtschilden aangebracht. Verder volgt de aankondiging voor een naderende snelheidslimitering en een waarschuwbord A1. Het verkeersbord A1 wordt na 150 meter opnieuw aangebracht. Ongeveer 50 meter verder wordt een snelheidslimitering van 90 km/h ingevoerd en wordt verkeersbord A1 herhaald. Naar het einde van de bocht toe wordt deze snelheidsbeperking beëindigd.

Bij de verkeerswisselaar van Antwerpen-Oost gebeurt de splitsing en samenvoeging van de semidirecte bochten binnen de directe bochten. De eerste bocht is de wissel van de E313 naar de E34/E19 richting het zuiden van Antwerpen. De gehele bocht bestaat uit drie bocht delen. Deze delen worden met behulp van overgangsbogen aan elkaar verbonden. De bochtstraal bedraagt ongeveer 120 meter. Centraal in deze verbindingsweg zijn enkele ongevallen waar te nemen. In het midden van de verbindingsweg zijn tien bochtschilden geplaatst. Verder wordt voor de bocht een snelheidslimitering van 70 km/h opgelegd en verkeersbord A1 toegevoegd. Voor de snelheidslimitering is een meetpost gelegen. Uit deze gegevens blijkt dat de V85 voor wagens op dit punt 90 km/h bedraagt en voor vrachtwagens 78 km/h.

De tweede bocht verbindt de E19 vanuit het noorden van Antwerpen met de E313 richting Wommelgem. In het eerste deel van de bocht worden verschillende bocht delen met overgangsbogen toegepast. Het tweede deel van de verbindingsweg wordt opgebouwd uit een combinatie van bocht delen. Deze delen hebben een radius van ongeveer 265 en 120 meter. Door deze verandering van bochtstraal zijn bestuurders verplicht stuurcorrecties door te voeren. Binnen deze bocht zijn enkele ongevallen waar te nemen. Ter signalisatie zijn acht bochtschilden ter hoogte van dit deel geplaatst. De betonnen geleiders aan de zijkant van de bocht zijn wit en geel geverfd. Aan het tweede deel wordt een snelheidslimiet van 70 km/h opgelegd en een verkeersbord A1 toegevoegd.

Het laatste knooppunt is Antwerpen-Zuid. De eerste bocht leidt de E19 vanuit het oosten naar het zuiden. Centraal in de bocht zijn ongevallen geregistreerd. Uit de luchtfoto's zijn vermoedelijke onregelmatigheden in het verloop van de bocht waar te nemen. Om een juiste inschatting over de exacte grootte van de bochtstralen te kunnen maken, is verder onderzoek aangewezen. Ter signalisatie van de bocht zijn in het midden zes bochtschilden geplaatst, een snelheidslimitering van 70 km/h ingevoerd en een verkeersbord A1 toegevoegd.

De tweede bocht maakt een verbinding van de E19 vanuit het zuiden naar de E34. Deze bocht is opgebouwd uit twee bocht delen met daartussen een overgangsboog. Net na de overgang tussen deze twee delen en in het midden van het tweede deel zijn ongevallen waar te nemen. Ook aan het einde van de daaropvolgende overgangsboog zijn verschillende ongevallen waar te nemen. Aan het begin van de bocht worden bestuurders gewaarschuwd voor de naderende bocht met behulp van verkeersbord A1. Ter hoogte van deze borden is een meetpost aanwezig. Uit de gegevens van de meetpost is af te lezen dat de V85 voor wagen 80 km/h en voor vrachtwagen 71 km/h bedraagt.

Het grootste deel van de semidirecte bochten binnen de turbines worden aangeduid met behulp van bochtschilden, waarschuwborden en snelheidslimiteringen. Daarnaast zijn binnen dit type verbindingsweg verschillende ongevallen waar te nemen. Deze ongevallen situeren zich voornamelijk in het midden van de bocht.

8.1.3 Ster

De laatste configuratie van driearmige verkeerswisselaars die is terug te vinden is het ster-knooppunt. Een verkeerswisselaar in de vorm van een ster is terug te vinden in Antwerpen-West. Binnen deze vorm zijn vier directe bochten terug te vinden.

De eerste bocht die hieronder wordt besproken is de westelijke verbindingsweg. Het gaat hier over een ruime bocht met een radius van meer dan 500 meter. Het aantal beschikbare rijstroken gaat over van twee naar drie en vervolgens terug naar twee rijstroken. Aan het begin van de bocht is een meetpost aanwezig. Deze meet een waarde V85 111,5 en 87,5 km/h voor personen- en vrachtwagens. Het snelheidsregime voor deze bocht bedraagt 120 km/h. In het oosten van het knooppunt is een bocht met dezelfde vorm gelegen. Deze bocht bezit een radius van meer dan 700 meter. Hier wordt het aantal rijstroken van twee naar één teruggebracht. De meetpost aan het begin van de bocht meet de waarden 112,5 en 86 km/h. Op beide bochten werden tijdens de metingen geen ongevallen geregistreerd.

Naast de twee uiterste bochten zijn er twee bochten meer centraal gelegen. De eerste van deze twee bochten maakt de verbinding tussen Sint-Anna en Zwijndrecht. Aan het begin wordt een snelheidslimitering van 90 km/h opgelegd. Ter hoogte van dit verkeersbord is een meetpost aanwezig. Deze geeft voor de V85 de waarden 102,5 en 86,5 km/h weer. Daarnaast is geen extra signalisatie in de bocht voorzien. Zowel in het midden als op het einde van de bocht zijn enkele ongevallen waar te nemen. De laatste bocht vertrekt vanuit Sint-Anna richting de Schelde. Net zoals bij de vorige bochten is de signalisatie en het aantal ongevallen hier beperkt.

Algemeen kan worden gesteld dat het aantal ongevallen en de toegepaste signalisatie binnen deze verkeerswisselaar eerder beperkt is. De verbindingswegen aanwezig binnen deze verkeerswisselaar bezitten allemaal relatief grote bochtstralen.

8.2 Vierarmige knooppunten

8.2.1 Klaverblad

Binnen de configuratie van een klaverblad zijn vier directe en vier indirecte bochten waar te nemen. De verschillende verkeerswisselaars en hun bochten worden hieronder besproken.

8.2.1.1 Directe bochten

De vier directe bochten gelegen op de verkeerswisselaar van Aalbeke hebben allemaal dezelfde opbouw. De bochten zijn opgebouwd uit twee bochten verbonden met overgangsbogen en rechtstanden. De radius van deze bochten is in elk deel verschillend en varieert tussen 160 en 400 meter. Voor alle bochten geldt een snelheidsregime van 120 km/h. Een uitzondering is het tweede deel van de bocht in het westen. In dit deel geldt een snelheidsregime van 90 km/h. Ter hoogte van dit deel zijn 10 bochtschilden met gele rand geplaatst. In de andere bochten zijn geen speciale signaleringen aangebracht. Het aantal ongevallen in deze bochten is beperkt.

De tweede verkeerswisselaar is gelegen in Brugge. De opbouw van de directe bochten is analoog aan deze van Aalbeke. De oostelijke bocht is de enige bocht waar in het begin twee rijstroken aanwezig zijn. Naar het einde van de bocht wordt dit herleid tot één rijstrook. In elke verbindingsweg zijn 10 bochtschilden zijn geplaatst. Hierbij zijn de bochtschilden geplaatst als vijf schilden langs elkaar en telkens twee boven elkaar. In drie van deze bochten zijn geen ongevallen waargenomen. In het midden van de oostelijke bocht zijn een aantal ongevallen geregistreerd. Het laatste knooppunt is in Moorsele gelegen. De opbouw van de bochten is analoog aan deze van de verkeerswisselaar in Aalbeke. De verbindingen zijn opgebouwd uit

bochten en overgangsbogen. In tegenstelling tot de directe bochten in Aalbeke zijn hier geen bochtschilden geplaatst. In de directe bochten van dit knooppunt zijn geen ongevallen geregistreerd.

Algemeen kan worden gesteld dat het aantal ongevallen en de toegepaste signalisatie bij deze bochten beperkt is. De meest gebruikte signalisatiemethode is de toepassing van bochtschilden. Hierbij zijn verschillen tussen de plaatsing, uitvoering en positionering op te merken. Zo zijn schilden aan het begin of einde van de bocht op te merken of een toepassing van meerdere schilden boven elkaar.

8.2.1.2 Indirecte bochten

Naast de vier directe bochten zijn er vier indirecte bochten aanwezig. Voor de verkeerswisselaar in Aalbeke is symmetrie tussen de verschillende bochten waar te nemen. Voor de vier bochtstralen is de waarde rond 95 meter gelegen. Binnen de vier bochten geldt een snelheidsregime van 120 km/h. In het midden van het knooppunt zijn bomen en struiken aanwezig. Hierdoor is de zichtbaarheid op sommige plaatsen beperkt. De toegepaste signalisatie is in drie van de vier bochten beperkt. De zuidelijke bocht vormt hierop de uitzondering. In deze bocht zijn over de volledige lengte bochtschilden geplaatst. In totaal gaat het over 40 bochtschilden waarbij telkens twee bochtschilden boven elkaar worden geplaatst.

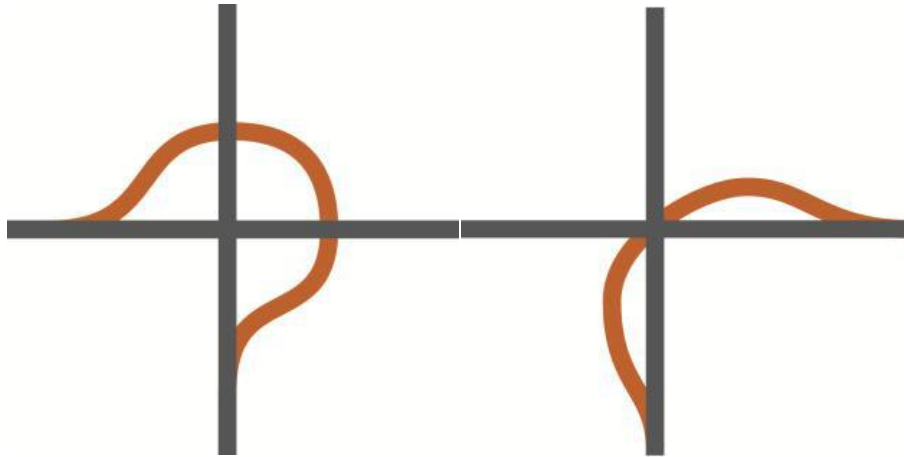
Bij het knooppunt van Brugge is de radius van de indirecte bochten rond 80 meter gelegen. Voor de westelijke bocht is een snelheidslimitering van 70 km/h geplaatst. In deze verkeerswisselaar wordt voor elke indirecte bocht bochtschilden aan het begin van de verbindingsweg geplaatst. Net zoals in Aalbeke worden telkens twee schilden boven elkaar geplaatst.

De laatste verkeerswisselaar is gelegen in Moorsele. Op dit knooppunt hebben de vier bochten een bochtstraal van ongeveer 87 meter. Het snelheidsregime binnen deze bochten bedraagt 120 km/h. Er is geen specifieke signalisatie zoals bochtschilden toegevoegd. Centraal in de verschillende bochten zijn planten en bomen aanwezig waardoor de zichtbaarheid op sommige plaatsen beperkt is. Op de indirecte bochten in Moorsele zijn verschillende ongevallen waar te nemen. Deze ongevallen situeren zich vooral in het midden en op het einde van de bocht.

Analoog aan de directe bochten zijn er grote verschillen in de toegepaste signalisatie. Sommige bochten worden over de volledige lengte voorzien van bochtschilden, andere enkel in het begin. Bij nog andere bochten worden helemaal geen bochtschilden geplaatst. In de bochten waar geen schilden werden geplaatst, is het risico op ongevallen beduidend groter.

8.2.2 Turbine

Binnen de turbine zijn vier directe en vier semidirecte bochten waar te nemen. De semidirecte bochten maken een bocht van 270°. Er zijn twee verschillende vormen waar te nemen. De twee vormen zijn hieronder in Figuur 43 Schematische voorstelling van een semidirecte bocht schematisch weergegeven.



Figuur 43 Schematische voorstelling van een semidirecte bocht (Agentschap Wegen en Verkeer)

8.2.2.1 Directe bochten

De directe bochten op de verkeerswisselaar van Groot-Bijgaarden zijn opgebouwd uit verschillende bochtdelen en overgangsbogen. De bochtstralen variëren tussen 160 en 425 meter. Enkel in het midden van de noordelijke bocht zijn acht bochtschilden geplaatst. Aan de andere bochten is geen specifieke signalisatie toegevoegd. Afhankelijk van de bocht en de locatie in de bocht zijn betonnen geleiders of vangrails geplaatst. Het aantal ongevallen is beperkt en deze situeren zich in het begin of het midden van de bocht.

De directe bochten in Lummen zijn opgebouwd uit bochtdelen en overgangsbogen. De bochtstraal varieert tussen 290 en 450 meter. Binnen de verschillende bochten zijn meetposten aanwezig. Deze meetposten bevinden zich achter het verkeersbord met snelheidslimitering van 90 km/h. Enkel in de westelijke bocht is de V85 kleiner dan de opgelegde snelheid. De V85 bedraagt hier 87 en 78 km/h voor personenwagens en vrachtverkeer. In de zuidelijke bocht is de V85 het grootst. Hier zijn de waarden 110 en 91 km/h geregistreerd. In de bochten zijn verschillende ongevallen geregistreerd. Deze bevinden zich vooral in het begin en midden van de bocht.

De derde verkeerswisselaar is in Machelen gelegen. De opbouw is analoog aan de bochten in Groot-Bijgaarden. De kleinste waar te nemen radius bedraagt 285 meter. Voor de noordelijke en de zuidelijke bocht geldt een snelheidsregime 90 km/h. De oostelijke en westelijke bocht geldt een snelheidsregime van 120 km/h. In deze twee bochten zijn meetposten aan het begin van de bocht voorzien. Deze meetposten registreren een waarde V85 van 103 en 109 km/h voor wagens. Voor vrachtverkeer bedraagt de V85 89 en 92,5 km/h. De toegepaste signalisatie voor de aanduiding van de bochten is beperkt.

Analoog aan de verkeerswisselaar in Lummen zijn de bochten van de verkeerswisselaar in St. Stevens-Woluwe opgebouwd uit bochten en overgangsbogen. De bochtstralen variëren tussen 200 en 485 meter. De geplaatste signalisatie is beperkt. Enkel op het einde van de bocht gelegen in het zuidwesten zijn vijf bochtschilden toegevoegd. Langs de zijkant van de rijbaan staan planten en bomen. Hierdoor is de zichtbaarheid op sommige plaatsen in de bocht beperkt.

De directe bochten van de verkeerswisselaar in Zwijnaarde zijn analoog aan de verkeerswisselaar in Lummen opgebouwd. In de oostelijke bocht zijn over de hele lengte van de bocht en de overgangsboog bochtschilden voorzien. Daarnaast is een niet-conforme signalisatie van een geel bord met daarin verkeersbord A1 verwerkt toegevoegd. In de vier bochten zijn

meetposten geplaatst. De hoogste snelheid wordt waargenomen in de westelijke bocht met een V85 voor wagens van 96 km/h. De laagste snelheid is waar te nemen in de noordelijke bocht met een snelheid V85 voor wagens van 85 km/h.

De laatste verkeerswisselaar is in Zaventem gelegen. Hier zijn variaties tussen de vormen van de bochten waar te nemen. De westelijke bocht heeft een zeer ruime bochtstraal. De zuidelijke bocht heeft een beperkte bochtstraal. In deze zuidelijke bocht zijn 14 bochtschilden geplaatst. Hierbij zijn zowel traditionele als bochtschilden met een gele rand geplaatst. In de andere bochten zijn geen speciale markeringen aangebracht.

Algemeen kan worden gesteld dat de gehanteerde signalisatiemethodes eerder beperkt zijn. Wel zijn verschillen in signalisatie en toegelaten snelheid tussen de bochten waar te nemen. De geregistreerde ongevallen situeren zich eerder in het begin of in het midden van de bocht.

8.2.2.2 Semidirecte bochten

In Groot-Bijgaarden komen beide bochttypes zoals in de Figuur 43 Schematische voorstelling van een semidirecte bocht voorgesteld voor. Tussen de bochten is een symmetrie terug te vinden. De bochten opgebouwd volgens de bovenste afbeelding van Figuur 43 Schematische voorstelling van een semidirecte bocht bezitten een radius van 160 meter. De twee andere bochten bezitten een radius van 194 meter. Voor alle bochten geldt een snelheidsregime van 120 km/h. De aanwezige signalisatie is eerder beperkt. Zo zijn geen bochtschilden of snelheidslimiteringen geplaatst. In de periode waarin de metingen werden uitgevoerd werden op drie van de vier bochten geen ongevallen waargenomen. Op de bocht van de A10 naar de E19 in de richting Zellik werden enkele ongevallen aan het einde van de bocht geregistreerd.

De semidirecte bochten in Lummen hebben een bochtstraal tussen 150 en 180 meter. Voor alle bochten geldt een snelheidsregime van 90 km/h. Binnen de verschillende bochten zijn weinig signalisatiemiddelen toegevoegd. Aan het begin van twee van deze bochten zijn meetposten geplaatst. Op deze meetposten wordt een waarde van 93 en 97 km/h voor personenwagens waargenomen. Voor vrachtwagens is de V85 waarde in beide gevallen gelijk aan 83 km/h. De geregistreerde ongevallen situeren zich hoofdzakelijk in het midden van de bocht.

Voor de semidirecte bochten in Machelen is analogie met de verkeerswisselaar in Groot-Bijgaarden waar te nemen. Binnen deze verkeerswisselaar is de bocht van de E19 naar de R0 gelegen. Deze bocht werd als zeer gevaarlijk beschouwd omwille van de vele ongevallen die hier plaatsvonden. In deze bocht zijn 44 bochtschilden geplaatst. In 2015 werden enkele maatregelen voor het creëren van een veiligere bocht uitgevoerd. Zo werd een snelheidsbeperking ingevoerd, werden planten en struiken aan de zijkant van de bocht gesnoeid en werd de rijbaan voorzien van een stroeve asfaltlaag. Uit de resultaten na toepassing van deze maatregel blijkt dat het aantal ongevallen significant was gedaald (Deknudt, 2015).

De opbouw van de semidirecte bochten van de verkeerswisselaar in St. Stevens-Woluwe zijn analoog aan de verkeerswisselaar in Lummen. De bochtstralen variëren tussen 150 en 200 meter. In twee van de vier bochten zijn bochtschilden toegevoegd. De eerste bocht waarin bochtschilden zijn geplaatst zorgt voor de verbinding tussen de R0 en de E40. Hier zijn 27 bordschilden over het eerste deel van de bocht te vinden. De betonnen geleiders aan de rechterkant van de rijbaan zijn in geel en wit geverfd. De tweede bocht waarin bochtschilden zijn geplaatst, maakt de verbinding tussen de E19 en de R0. Hier zijn 12 bochtschilden in het midden van de bocht te vinden. Langs de verschillende bochten staan bomen en struiken. Hierdoor is de zichtbaarheid op sommige plaatsen beperkt.

De semidirecte bochten van de verkeerswisselaar in Zwijnaarde hebben een bochtstraal van 160 tot 170 meter. In de bocht tussen de aansluiting van de E40 van de kust naar de E17 zijn verschillende bochtschilden over het eerste deel van de bocht geplaatst. Hierbij gaat het over bochtschilden met een gele rand. In de bocht van de E40 vanuit Brussel naar de E17 zijn visgraatmarkeringen aangebracht. Tussen de signalisatie van de verschillende bochten binnen deze verkeerswisselaar zijn grote variaties terug te vinden. Ook het totale aantal ongevallen ligt hier zeer hoog. Uitschieter is de bocht van de E40 van de kust richting de E17. Hier zijn tientallen ongevallen geregistreerd. De ongevallen situeren zich voornamelijk aan het begin van de bocht. De vier semidirecte bochten op de verkeerswisselaar van Zaventem hebben een bochtstraal tussen 125 en 200 meter. Op deze verkeerswisselaar zijn geen extra bochtschilden of visgraatmarkeringen aangebracht. Deze ongevallen bevinden zich in het midden van de bocht.

Algemeen zijn variaties tussen de verschillende knooppunten terug te vinden zowel in de opbouw als in de signalering. De meest gebruikte signalisatiemethoden zijn bochtschilden en snelheidslimiteringen. De uitvoering en het type van bochtschild varieert van knooppunt tot knooppunt. De ongevallen situeren zich vooral in het midden van de bocht.

8.2.3 Klaverturbine

Er is slechts één klaverturbine in Vlaanderen terug te vinden en deze verkeerswisselaar is gelegen in Destelbergen. Hier zijn vier directe, twee indirecte en twee semidirecte bochten aanwezig. De directe bochten zijn opgebouwd uit bochten en overgangsbogen. De bochtstralen hebben allemaal een waarde rond de 400 meter. In de noordoostelijke bocht zijn vier bochtschilden aan het begin van de bocht geplaatst. In het midden van deze bocht wordt de semidirecte verbinding samengevoegd met de directe bocht. Ter hoogte van deze samenvoeging is een hoog aantal ongevallen geregistreerd. In de andere bochten is het aantal ongevallen beperkt.

Daarnaast zijn twee semidirecte bochten aanwezig. De eerste bocht maakt de verbinding tussen de R4 en de E17 richting Antwerpen. De bocht is opgebouwd met bocht delen en overgangsbogen. De tweede bocht maakt de verbinding tussen de E17 vanuit Gent naar de R4. In het midden van de verbindingsweg zijn 19 bochtschilden geplaatst. Aan het begin van de bocht is verkeersbord A1 toegevoegd. Daarachter is een snelheidslimitering van 70 km/h ingevoerd. De waargenomen ongevallen situeren zich vooral in het midden en het einde van de bocht.

De twee laatste bochten zijn twee indirecte bochten. De bochten hebben een radius van 85 meter. De vangrails aan de zijkant zijn afwisselend in een witte en gele kleur geverfd. In het midden van de bochten zijn planten en bomen aanwezig. Hierdoor is de zichtbaarheid op sommige plaatsen in de bocht beperkt. Het aantal ongevallen in deze bochten is beperkt. Omdat er slechts één verkeerswisselaar van dit type aanwezig is, is het maken van een vergelijking met andere soortgelijke knooppunten niet mogelijk.

9. Uitwerken oplossingen

Aan de hand van het ideale ontwerp, het praktische ontwerp, het onderzoek over de signalisatiemethoden en de huidige situaties wordt getracht nieuwe oplossingen uit te werken dewelke in een stappenplan gegoten zijn. Deze oplossingen leggen zich in de eerste plaats toe op korte of middellange termijn. Ingewikkelde of kostenintensieve oplossingen zoals een volledig nieuwe aanleg van een bocht worden hierbij zo veel mogelijk vermeden. Indien het niet anders mogelijk is, wordt dit bij de oplossingen vermeld.

Om een gemakkelijk toepasbare oplossing te ontwerpen die het aantal ongevallen met 75% zal verminderen, wordt gewerkt aan de hand van een stappenplan. De keuze voor een ongevallenvermindering van 75% in de bochten van verkeerswisselaars komt voort uit het Mobiliteitsplan Vlaanderen dat streeft naar een veiliger en slachtoffervrij verkeerssysteem. In het stappenplan worden de verschillende stappen naar prioriteit beschreven. Het stappenplan dient enkel volledig doorlopen te worden wanneer de voorgaand beschreven stappen niet de gewenste daling van het aantal ongevallen als gevolg hebben.

9.1 Stappenplan

De eerste stap bij de controle van bochten in verkeerswisselaars, is het bepalen van het type verbindingsweg. Hierbij is er keuze uit een directe-, indirecte- of semidirecte verbinding. Dit is nodig om de ontwerpsnelheid te kunnen bepalen. Wanneer de bocht gelegen is in een directe verbindingsweg, is de standaard ontwerpsnelheid 90 km/h, uitzonderlijk zal hier een ontwerpsnelheid van 70 km/h toegepast worden. Deze uitzonderlijke snelheid zal enkel toegepast worden bij bochten met een radius kleiner dan 300 m. Bochten met een radius kleiner dan 300 m worden als krappe bochten beschouwd (Nuyts, Hannes, & Dreesen, 2004). Bij een bocht in een semidirecte verbindingsweg is de minimale ontwerpwaarde 70 km/h, dit is eveneens de standaardwaarde voor dit type verbindingsweg. Als laatste heeft de indirecte verbindingsweg een minimale waarde van ontwerpsnelheid van 50 km/h (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Bovenstaande snelheden moeten gecontroleerd worden met de boogstralen, er moet nagekeken worden of deze overeenkomen met de ontwerpsnelheid van de aanwezige boogstraal. Wanneer de radius van de 'probleembocht' niet gekend is, dient deze gemeten te worden met behulp van een luchtfoto. Hierbij moet op het luchtbeeld een zo goed mogelijk aansluitende cirkel getrokken worden over de bocht. Deze cirkel dient geplaatst te worden op de linkerrand van de markering. Met behulp van deze cirkel kan de boogstraal bepaald worden.

De volgende stap is het bekijken van de zichtafstanden in een bocht. Hierbij zijn het anticipatie- en wegverloopzicht de twee belangrijkste parameters voor de controle van het zicht. De minimale maatgevende zichtlengte van beide parameters vergroot naarmate de snelheid verhoogt. Zo geldt voor het anticipatiezicht dat bij een snelheid van 70 km/h een zichtlengte van 170 meter vereist is, voor 90 km/h dient 230 meter en voor 120 km/h moet 335 meter anticipatiezicht voorzien zijn. Ook voor het wegverloopzicht geldt hetzelfde, hierbij moet bij 70 km/h een zichtlengte van 80 meter, bij 90 km/h 120 meter en 120 km/h 165 meter voorzien worden (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Aan deze lengtes dient steeds zo veel mogelijk te worden voldaan. Indien dit niet het geval is, moeten de hiervoor zorgende obstakels zo veel mogelijk verplaatst of verwijderd worden. Dit kan gebeuren door het verplaatsen van borden of het snoeien van bomen. Wanneer het verplaatsen van obstakels niet mogelijk of te kostelijk is, is het verlagen van de toegepaste snelheid de oplossing. Deze toegepaste snelheid wordt dan lager dan de ontwerpsnelheid van de bocht in de verbindingsweg.

De snelheidslimitering dient aangegeven te zijn voor de bocht. De afstand tot het begin van de bocht is afhankelijk van het verschil in snelheid tussen de toegelaten snelheid en de opgelegde snelheid in de bocht. Bij een bocht met een ontwerpsnelheid van 90 km/h worden de snelheidslimiteringsborden op een afstand van 250 tot 300 meter voor het begin van de bocht geplaatst. Voor een bocht met een ontwerpsnelheid van 70 km/h, is deze afstand 300 tot 400 meter. Indien een sterke snelheidsverlaging nodig is, moet deze in verschillende stappen gebeuren. Zo mag er niet rechtstreeks van 120 km/h naar 70 km/h gegaan worden, maar zal er eerst een vertraging naar 90 km/h aangegeven worden (Alberta, Infrastructure and transportation, 2006).

Alsook zal in stap twee het verloop van de bocht beter in beeld gebracht worden. Dit door voor en in de bocht reflectoren te plaatsen. De afstand van de eerste reflector tot het begin van de bocht is afhankelijk van de opgelegde snelheid in de bocht. Zo zal bij bochten met opgelegde snelheid van 70 km/h, de eerste reflector op 60 meter van het begin van de bocht geplaatst worden, bij opgelegde snelheid van 90 km/h is de aangewezen afstand 75 meter. Ten slotte zal bij een opgelegde snelheid van 120 km/h een afstand van 100 meter gebruikt moeten worden. Ook in de bocht dienen reflectoren voorzien te worden, de hoeveelheid en afstand tussen de reflectoren is afhankelijk van de bochtstraal en wordt bepaald volgens volgende formule:

$$T = 8 + 0.04 * R$$

Voor bochten met een onbekende bochtstraal wordt verwezen naar het Dienstorder MOW/AWV/2014/6 (Roelants, 2014).

In de derde stap dient de stroefheid van de bocht te worden gecontroleerd. Best worden de stroefheidsmetingen periodiek uitgevoerd. De periode tussen de verschillende metingen is afhankelijk van de ontwerpwaarden van de bocht, de eerste controle dient altijd vier weken na openstelling aan het verkeer te gebeuren. De stroefheid in de bochten dient te voldoen aan een stroefheid variërend van 0.20 tot 0.50 elke hm bij een variërende snelheid van 50 tot 120 km/h. Indien hier niet aan voldaan wordt, is het nodig de stroefheid van het wegdek te verbeteren. Bij asfalt is de meest duurzame methode het affrezen en heraanleggen van de toplaag. Andere mogelijkheden zijn het oppervlak afsputten met water onder hoge druk, het wegdek opruwen met een diamant of het aanbrengen van een dunne overlaging. Wanneer de toplaag van het wegdek beton is, kan het best geherstructureerd worden door te beitelen. Een andere oplossing hiervoor is het aanbrengen van langsgroeven (Van Troyen, 2018; Loubele, 2016).

De vierde stap is het plaatsen van bochtschilden, deze dienen enkel geplaatst te worden bij krappe bochten. Dit zijn bochten met een bochtstraal van 300m of kleiner. Indien dit het geval is moeten er minstens drie bochtschilden geplaatst worden in de bocht zelf, hierbij is het belangrijk dat deze bij het inrijden van de bocht alle drie zichtbaar zijn en mogen slechts een maximale tussenafstand van 30 meter hebben.

Bij stap vijf dient een A1-verkeersbord geplaatst te worden, dit op dezelfde afstand voor de bocht als het hierboven besproken snelheidsbord. Verder dient over de hele bocht bordschilden geplaatst te worden, deze met een tussenafstand in functie van de bochtstraal. De formule voor de berekening is dezelfde als die voor de tussenafstand van de reflectoren.

Als zesde stap zal onderzoek gedaan worden naar de bochtbouw. Indien deze volgens het ideale ontwerp is, zullen volgende stappen niet meer worden uitgevoerd. Indien er afwijkingen zijn vastgesteld, speelt de impact van de fout een belangrijke rol. Zo is het risico op ongevallen

bij een vergrotende bochtstraal kleiner dan bij een verkleinende bochtstraal. Bij een verkleinende bochtstraal zijn dus aanpassingen nodig en zal stap zeven toegepast worden.

Stap zeven en volgende stappen dienen enkel gevolgd te worden wanneer in de bocht de bochtstraal niet constant is. Normaal is de laatste stap het aanbrengen van rumblestrips over de markeringen in het lengteprofiel zodanig dat bestuurders gealarmeerd worden bij het afwijken van hun rijvak. Deze rumblestrips dienen enkel aangebracht te worden op de 100 meter voor de radiusverandering tot 100 meter erna. Bij het plaatsen van de rumblestrips wordt nagegaan of een hermarkering van de bocht mogelijk is. Indien het mogelijk is door hermarkering de fout in de bocht te verkleinen of volledig op te lossen, dient hieraan de voorkeur te worden gegeven.

Een alternatief voor bovenstaande maatregel of een eventueel bijkomende maatregel is het plaatsen van stijgende bordschilden over een beperkte lengte van de bocht, dit vanaf 100 meter voor de bochtstraalverandering tot 100 meter na de verandering van radius. Omwille van een beperkte hoeveelheid onderzoek die gedaan werd naar deze bordschilden, is voor gebruik verder onderzoek naar deze toepassing aanbevolen.

Indien de ontwerpfouten niet gecamoufleerd kunnen worden door de aanpassingen hierboven, zal er op lange termijn toch een structurele aanpassing van de bocht nodig zijn. Dit is echter een oplossing die enkel gebruikt dient te worden wanneer bovenstaande maatregelen het aantal ongevallen niet met 75% naar beneden brengt.

Besluit

Tot op heden bestaan er geen algemene richtlijnen betreffende de signalisatie van bochten in verkeerswisselaars. Dit heeft een grote heterogeniteit in het wegbeeld als gevolg. Hierdoor kwam de vraag van het Agentschap Wegen en Verkeer om een onderzoek uit te voeren naar de signalisatie van deze bochten en deze te standaardiseren.

Om tot een antwoord op deze vraag te komen, werd er gestart met een literatuurstudie over het ideale en praktische ontwerp van een bocht. Voor het ideale ontwerp werd er gekeken naar het horizontale alignement, het verticale alignement, de snelheid, de zichtbaarheid binnen een bocht en de nodige verkanting. Voor het praktische ontwerp werd het ruimtelijk alignement en werden de bijhorende fouten onderzocht.

Voor een verhoging van de verkeersveiligheid werd onderzoek uitgevoerd naar de oorzaken van ongevallen. Uit dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat zowel het menselijke aspect als het ontwerp een rol spelen bij het risico op ongevallen. Bij het ontwerp heeft de bochtstraal een rechtstreekse invloed op het risico op ongevallen. Daarbij wordt het risico versterkt door onvoldoende verkanting of smalle rijstroken. Voor het menselijke aspect spelen een onaangepaste snelheid, een slechte positie op de rijbaan en een verminderde oplettendheid van de bestuurder een belangrijke rol. Om een oplossing voor deze aspecten aan te reiken werd op het aspect overdreven snelheid en de invloed van menselijke factoren verder ingegaan.

Voor het reduceren van snelheid werden twee belangrijke aspecten aangehaald. Ten eerste worden verkeersborden met de aangewezen snelheid geplaatst. Het probleem bij deze borden is dat ze niet altijd door bestuurders worden opgemerkt. Uit het onderzoek is gebleken dat voor kritische situaties de snelheidslimitering in samenwerking met de omgeving of optische illusies kunnen worden gebruikt. Hierdoor wordt zowel op indirecte als directe manier het gedrag van bestuurders gestimuleerd om een minder hoge snelheid te hanteren.

Verschillende signalisatiemethoden werden in een volgende stap onderzocht. Hierbij werd er gekeken naar de voor- en nadelen, het toepassingsgebied en het gebruik van de methoden. Voor de snelheidslimitering kan worden afgeleid dat dit verkeersbord voor de bocht wordt geplaatst. De exacte afstand is hierbij afhankelijk van de toegelaten snelheid. Verder kan uit het onderzoek worden geconcludeerd dat de maatregel zeer effectief is wanneer ze door bestuurders wordt waargenomen. Door de drukte in de omgeving is dit echter niet altijd het geval. De tweede signalisatiemethode die werd bestudeerd is verkeersbord A1. Dit verkeersbord wordt net als de snelheidslimitering voor de bocht geplaatst en waarschuwt bestuurders voor een naderende scherpe bocht. De plaatsing van dit verkeersbord blijkt uit onderzoek vooral aan te raden voor bochten waar een duidelijke vertraging noodzakelijk is of waar bochten zich onverwachts voordoen.

Vervolgens werd de toepassing van de bochtschilden bestudeerd. Uit onderzoek is gebleken dat door de plaatsing van bochtschilden bestuurders een betere geleiding doorheen de bocht ondervinden. De aanwezigheid van deze schilden zorgt ervoor dat bestuurders de bochten als scherper gaan ervaren waardoor ze alerter zullen zijn. Als gevolg van deze verhoogde alertheid zal het aantal ongevallen dalen. Bij de bochtschilden aanwezig langs de rijbaan zijn verschillende types waar te nemen. Zo bestaan er bochtschilden met een gele rand of met ingewerkte lichten. Naar de exacte invloed van deze verschillende types van borden op het rijgedrag van bestuurders is nog weinig onderzoek uitgevoerd. Om de juiste invloed te kennen, is het aan te raden verder onderzoek uit te voeren. Daarnaast kon uit de literatuurstudie worden

afgeleid dat voor de plaatsing van de bochtschilden de richtlijnen verschillen van land tot land. Volgens de Vlaamse richtlijnen wordt de tussenafstand bepaald volgens de snelheid. In de Amerikaanse richtlijnen wordt de tussenafstand bepaald door de radius van de bocht.

Een andere signaleringsmethode is de toepassing van dwarsmarkeringen. Er kon worden geconcludeerd dat er verschillende vormen en toepassingen van dwarsmarkeringen zijn. Zo kunnen dwarsmarkeringen met een verkleinend interval of rumblestrips worden toegepast. De markeringen worden voor het begin van de bocht geplaatst. Beide verhogen de alertheid van de bestuurder en geven de bestuurder de kans de bocht beter in te schatten. De plaatsing van de markeringen is afhankelijk van de snelheid waarmee bestuurders de bocht naderen en de toegelaten snelheid binnen de bocht.

Een laatste signalisatiemethode zijn reflectoren. Hierbij kon worden afgeleid dat deze langs de zijkant van de bocht worden geplaatst en de bestuurders doorheen de bocht geleiden. In de Vlaamse en Nederlandse richtlijnen wordt de tussenafstand tussen de reflectoren bepaald door de radius van de bocht. Voor bochten met een niet-gekende radius wordt in Vlaanderen de tussenafstand aan de hand van de snelheid bepaald.

Vervolgens werden de verschillende verkeerswisselaars die te vinden zijn in het Vlaamse wegbeeld bestudeerd. De verkeerswisselaars werden ingedeeld in verschillende categorieën naargelang het een driearmige of vierarmige verkeerswisselaar betreft. Vervolgens werd een indeling gemaakt naargelang de configuratie van het knooppunt. Uit onderzoek is gebleken dat hierbij een klaverblad, een turbine, een trompet, een ster en een klaverturbine zijn te onderscheiden. Daarna werd gekeken welke verbindingen binnen het knooppunt aanwezig waren. Er werd een onderscheid gemaakt tussen een directe, semidirecte en indirecte verbindingsweg. Verder werd voor de verschillende verkeerswisselaars en de bijhorende bochten naar de huidige situatie gekeken. Daarbij werd de toegelaten snelheid, de V85-snelheid, de aanwezige signalisatiemethoden, de opbouw van de bocht en het aantal ongevallen bestudeerd. Op deze manier werd getracht verbanden tussen de verschillende bochten te vinden.

Om een antwoord op de onderzoeksvraag te formuleren, werd gebruik gemaakt van een stappenplan. Hierbij worden de verschillende stappen naar prioriteit beschreven, het doel van dit stappenplan is het verminderen van ongevallen met 75%. Bij het uitwerken van deze oplossingen werd er in de eerste stap gekeken naar oplossingen op korte termijn. Ingewikkelde of kostenintensieve oplossingen zoals een volledig nieuwe aanleg van een bocht worden hierbij zo veel mogelijk vermeden. Indien de oplossing op korte termijn niet toereikend is, wordt dit bij de oplossingen vermeld. De volledige uitwerking van het stappenplan is terug te vinden onder Stappenplan. Onderstaand wordt een korte samenvatting van de verschillende stappen weergegeven.

In stap één wordt het type verbindingsweg en de radius van de bocht bepaald, dit is nodig om de ontwerpsnelheden voor de bochten te kunnen controleren. De mogelijke types verbindingswegen zijn een directe, indirecte en semidirecte verbinding en elk heeft eigen eisen voor ontwerpsnelheden.

Stap twee controleert de zichtafstanden van de bocht. Hierbij zijn het anticipatiezicht en het wegverloopzicht bepalend voor de totale zichtafstand. De afstand vergroot naargelang de toegelaten snelheid. Daarnaast worden reflectoren zowel vóór als in de bocht voorzien. De positionering van de reflectoren gebeurt in functie van de bochtstraal. Wanneer nodig wordt ook een snelheidslimitering ingevoerd, hierdoor zal de toegepaste snelheid lager zijn dan de

ontwerpsnelheid. De afstand waarop het snelheidslimiteringsbord van de bocht geplaatst wordt, is afhankelijk van de toegepaste snelheid. Hoe hoger de snelheid hoe dichter het bord bij het begin van de bocht geplaatst moet worden.

In de derde stap wordt een controle naar de stroefheid van het wegdek uitgevoerd. Bij de vierde stap wordt gecontroleerd of het een krappe bocht is. Wanneer dit het geval is, moeten er bochtschilden geplaatst worden. Bij stap vijf dient een A1-verkeersbord geplaatst te worden, dit op dezelfde afstand vóór de bocht als het snelheidslimiteringsbord. Verder moeten in deze stap ook bordschilden geplaatst worden. De tussenafstand tussen de bordschilden wordt op dezelfde manier berekend als die van de reflectoren.

Vervolgens dient in de zesde stap de bochtopbouw onderzocht te worden. Enkel wanneer de bochtstraal in de bocht verkleint, dient stap zeven gevolgd te worden. In stap zeven moeten rumblestrips in de lengterichting aangebracht worden op de markering van 100 meter vóór de veranderende bochtstraal tot 100 meter erna. Een alternatief voor deze maatregel is het hermarkeren van de bocht of het plaatsen van stijgende bochtschilden. Omdat naar de impact van deze laatste maatregel beperkt onderzoek is gevoerd, wordt aanbevolen hiernaar verder onderzoek te verrichten.

Indien de ontwerpfouten niet gecamoufleerd kunnen worden door de bovenstaande aanpassingen, zal er op lange termijn toch een structurele aanpassing van de bocht nodig zijn. Dit is echter een oplossing die enkel gebruikt dient te worden wanneer bovenstaande maatregelen het aantal ongevallen niet met 75% naar beneden brengt.

Bibliografie

- AASHTO. (2004). *A policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Verenigde Staten, Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Agent, K. R. (1975). *Transverse, Pavement Markings for Speed Control and Accident Reduction*. Kentucky: Kentucky Transportation Center Research.
- Agent, K. R., & Creasey, T. (1986). Delineation of Horizontal Curves. *University of Kentucky*, 1-48.
- Agentschap Wegen en Verkeer. (2017). *Over het Agentschap Wegen en Verkeer*. Retrieved from Wegen en Verkeer: www.wegenenverkeer.be
- Agentschap Wegen en Verkeer. (2018). *Vademecum weginfrastructuur (VWI) deel autosnelwegen*. België: Agentschap Wegen en Verkeer (AWV).
- Agentschap Wegen en Verkeer. (n.d.). Signalisatie op verkeerswisselaars. *Signalisatie op verkeerswisselaars* (p. 47). Brussel: Vlaamse overheid.
- Alberta, Infrastructure and transportation. (2006). *TURN AND CURVE SIGNS*. Canada: Alberta, Infrastructure and transportation.
- Arcadis, SWOV, TRL, TNO & prof. Weber. (2015). *European Sight Distances in perspective – EUSight*. Nederland, Duitsland, Verenigd Koninkrijk en Ierland: Conference of European Directors of roads.
- Ariën, C., Brijs, K., Vanroelen, G., Ceulemans, W., Jongen, E. M., Daniels, S., . . . Wets, G. (2016). The effect of pavement markings on driving behaviour in curves: a simulator study. *Ergonomics*, 1-13.
- Asian Highway Network. (2017). *DESIGN GUIDELINES*. Asian: Asian Highway Network.
- Austroroads. (2013, November 21). Probabilistic Road Deterioration Model Development. Australië.
- Belgische Staatsblad. (1975, december 1). *Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg*. Retrieved from Wegcode: www.wegcode.be
- Birth, S. (2013). Human factors for safer road infrastructure. *Routes-Roads*, 30-39.
- Bonneson, J., Pratt, M., Miles, J., & Carlson, P. (2007). *HORIZONTAL CURVE SIGNING HANDBOOK*. Austin, Texas: Texas Department of Transportation.
- Borsos, A., Birth, S., & Vollpracht, H.-J. (2015). *The Role of Human Factors in Road Design*. ResearchGate.
- Borsos, A., Vollpracht, H.-J., & Birth, S. (2015). *The Role of Human Factors in Road Design*.
- Brenac, T. (n.d.). *Curves on two-lane roads*. Leidschendam: SWOV Institute for Road Safety Research.
- Broeren, P. (2004, september 3). *Zichtlengtes in het wegontwerp*. Retrieved from Toepassing van de applicatie zicht: <https://www.google.be/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=13&cad=rja&uact>

=8&ved=0ahUKEwit96yx6u3XAhWdKVAKHeCRBn0QFghfMAw&url=http%3A%2F%2Fpublicaties.minienm.nl%2Fdownload-bijlage%2F14887%2Fbeoordelen-van-het-wegontwerp-op-basis-van-zichtlengte.ppt&usg

- Caestecker, C. (2008). *Dienstorder MOW/AWV 2008/16: Het ontwerpen en signaleren van bochten*. Brussel: Agentschap Wegen en Verkeer.
- Charlton, S. G. (2004). Perceptual and attentional effects on drivers' speed selection at curves. *ELSEVIER*, 877-884.
- Charlton, S. G. (2008). *The role of attention in horizontal curves: A comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments*. Elsevier Ltd.
- Commissie Bebakening en Markering van Wegen. (1991). *Richtlijnen voor de bebakening en markering van wegen*. Nederland: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Verkeerskunde.
- Cornu, Brijs, Daniels, Hermans, & Wets. (2016). *A DRIVING SIMULATOR STUDY ON THE INFLUENCE OF SPEED REDUCING MEASURES AT HIGHWAY INTERCHANGES*. Hasselt: Universiteit Hasselt.
- Cuyvers, R., Nuyts, E., & Reekmans, S. (2004). *Effectiviteit van infrastructurele verkeersveiligheidsmaatregelen*. Diepenbeek: Steunpunt Verkeersveiligheid bij Stijgende Mobiliteit.
- De Ceunynck, T. (n.d.). *Self-explaining roads: de 'leesbare' weg*. Retrieved from Self-explaining roads: de 'leesbare' weg: http://www.vsv.be/sites/default/files/1._wat_maakt_een_weg_onleesbaar.pdf
- De Coen, S. (2008, augustus 30). *Ontwerp en evaluatie van een nieuw type verkeerswisselaar met flexibele verkeersafwikkeling*. Retrieved from KULeuven faculteit ingenieurswetenschappen: <https://www.mech.kuleuven.be/cib/verkeer/dwn/E2008G.pdf>
- De Saeger, T. (2015). *Invloed van snelheidsreducerende maatregelen in scherpe bochten van verkeerswisselaars*. Hasselt: UHasselt.
- De Winne, P. (2015, april 28). *Grondbeginselen van het wegebouwkundige ontwerp*. Retrieved from AWV Kennisdag: <http://kennisdag.wegenenverkeer.be/sites/default/files/presentaties/Kennisdag%202015%20-%20GRONDBEGINSELEN%20VAN%20HET%20WEGENBOUWKUNDIGE%20ONTWERP%20-%20P.%20De%20Winne.pdf>
- Deknudt, P. (2015). Snelheidsbeperkingen in knooppuntbochten: case Machelen. (p. 9). Brussel: Agentschap Wegen en Verkeer.
- Department for Transport. (2013). *Traffic Signs Manual*. United Kingdom: TSO.
- Dienst Beheer Infrastructuur. (2012). *Handboek Ontwerpcriteria Wegen*. Zuid-Holland: Den Haag.
- Expertise Verkeer en Telematica. (2014). *Handboek vergevingsgezinde wegen*. Brussel: Agentschap Wegen en Verkeer.

- Fischer, J. (1992). Testing the Effect of Road Traffic Signs' Informational Value on Driver Behavior. *Human Factors*, 231-237.
- Gates, T., Carlson, P., & Hawkins, H. J. (2004). Field Evaluations of Warning and Regulatory Signs with Enhanced Conspicuity Properties . *Transportation Research record*, 64-76.
- Google Maps. (n.d.). *Luchtafbeelding*.
- Great Britain: The Highways Agency. (2002). *Design Manual for Roads and Bridges*. Verenigd Koninkrijk: TSO.
- Hanno, D. (2004). *Effect of the combination of horizontal and vertical alignment on road safety*. Columbia: The university of British Columbia.
- Hanson, C., & Eastvold, B. (2008). *Horizontal Curve Signing Guidance*. Texas, Verenigde Staten: Department of Transportation Minnesota.
- Herrstedt, L., & Greibe, P. (2001). Safer signing and marking of horizontal curves on rural roads. *Traffic Engineer Control*, 82-87.
- Hoornaert, S. (2016). *Verkeersindicatoren snelwegen Vlaanderen 2015*. Vlaams Verkeerscentrum, Vlaamse Overheid.
- Jennings, B. E., & Demetsky, M. J. (1985). Evaluation of curve delineation signs. *Transportation Research Record*, 53-61.
- Johansson, G., & Backlund, F. (2007). Drivers and Road Signs. *Ergonomics*, 749-759.
- Lambers, M. (2008). *Human factors and human error as part of the system: A psychological approach*. Ljubljana: Transport Research Arena Europe.
- Lamm, R., & Smith, B. (1994). *Coordination of Horizontal and Vertical Alinement with Regard to Highway Esthetics* . Washington DC: TRansportation Research Record.
- Land Transport Safety Authority. (1993). *Guidelines for visibility at driveways*. Nieuw-Zeeland : Ministry of Transport New Zealand.
- Layton, R., & Dixon, K. (2012). *Stopping Sight Distnace*. Verenigde Staten, Oregon: The Kiewit Centre fot Infrastructure and Transportation.
- Logghe, S., & Vanhove, F. (2004). *Het Belgisch verkeer in cijfers*. Leuven: Transport & Mobility Leuven.
- Loubele, L. (2016). *“De weg” anders bekeken Wegauscultatie en Asset Management*. België: Sweco.
- Macdonald, W. A., & Hoffmann, E. R. (1991). Drivers' awareness of traffic sign information. *Ergonomics*, 585-612.
- Nielson, M., & Greibe, P. (1998). Signing and marking of substandard horizontal curves on rural roads. *Proceedings of the 26th European Transport Conference*, 165-178.
- Nuyts, E., Hannes, E., & Dreesen , A. (2004). *Risicoanalyse autosnelwegen*. Diepenbeek: Steunpunt Verkeersveiligheid bij Stijgende Mobiliteit.

- PIARC. (2012). *Human factors in road design. Review of design standards in nine countries.* The World Road Association.
- PIARC. (2012). *Human Factors in Road Design. Review of Design Standards in Nine Countries.* PIARC.
- Preston, H. (2010). *Design of Turn Lane Guidelines.* Minnesota: CTS Transportation Research Conference .
- Retting, R. A., & Farmer, C. M. (1998). Use of Pavement Markings to Reduce Excessive Traffic Speeds on Hazardous Curves. *ITE JOURNAL*, 30-36.
- RIPCORDER ISEREST Project. (2006). *Human Factors in Road Design. State of the art and empirical evidence.*
- Ritchie, M. L. (1972). Choice of Speed in Driving Through Curves as a Function of Advisory Speed and Curve Signs. *Human Factors*, 533-538.
- ROA. (2017, november 27). Retrieved from Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen 2017: https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/roa2017_tcm21-125807.pdf
- Roelants, T. (2014). *Dienstorder MOW/AWV/2014/6* . Brussel: Agentschap Wegen en Verkeer.
- Slootmans, F., & De Schrijver , G. (2015). *Doden op de snelweg, Diepteanalyse van de dodelijke verkeersongevallen op de Belgische autosnelwegen van 2009 tot 2013.* BIVV.
- Slootmans, F., & De Schrijver, G. (2015). *Doden op de snelweg. Diepte-analyse van de dodelijke verkeersongevallen op de Belgische autosnelwegen van 2009 tot 2013.* Brussel, België: Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid - Kenniscentrum.
- Spainhour, L. K., Brill, D., Sobanjo, J. O., Wekezer, J., & Mtenga, P. V. (2005). *Evaluation of Traffic Crash Fatality Causes and Effects.* Florida: Florida A&M University-Florida State University.
- Summala, H., & Hietamäki, J. (1984). Drivers' immediate responses to traffic signs. *Ergonomics*, 205-216.
- The North Dakota Department of Transportation. (2011). *Appendix D.* North Dakota, Verenigde Staten : The North Dakota Department of Transportation.
- Theeuwes, J., van der Horst, R., & Kuiken, M. (2012). *Designing Safe Road Systems.* Burlington, USA: Ashgate Publishing Limited.
- Thomas, P., Morris, A., Talbot, R., & Fagerlind, H. (2013). *Identifying the causes of road crashes in Europe.* <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3861814/pdf/ffile043.pdf>: SafetyNet project.
- Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., . . . Castellan, N. J. (1977). *Tri-level study of the causes of traffic accidents.* Washington: National Highway Traffic Safety Administration.
- TU Delft. (2017). *Geometrisch Wegontwerp.* Retrieved from Geometrisch Wegontwerp: https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/TP_CT2710__III.pdf

- United Nations, Economic and Social Council. (2004). *European Agreement on International Traffic Arteries*. Geneve.
- Van den Bossche, J. (2014, april 28). *Ontwerp van Verkeersinfrastructuur*. Retrieved from Horizontaal en verticaal alignement:
http://www.vsv.be/sites/default/files/dag_1_4_horizontaal_en_vertikaal_alignement_jan_van_den_bossche.pdf
- Van Troyen, D. (2018, mei 8). Stroefheid autosnelwegen.
- Washington State Department of Transportation. (2017). *Design Manual*. Washington State Department of Transportation.
- Wegman, F. (1982). *Adviessnelheden, Beschouwingen over een verruiming van de toepassing*. Leidschendam: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, SWOV.
- Wildervanck, C. (2008). *10 Gouden regels om rekening te houden met de weggebruiker*. Nederland: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Zhou, R.-g., Zhou, J., & Fang, J. (2013). *Study on the safety length of acceleration and deceleration lane of left-side ramp on freeway*. China, Beijing: Road Safety on Four Continents Conference.

Bijlagen



Bijlage C: Trompet verkeerswisselaar Heverlee



Bijlage E: Turbine verkeerswisselaar Antwerpen-Noord



Bijlage F: Turbine verkeerswisselaar Antwerpen-Oost



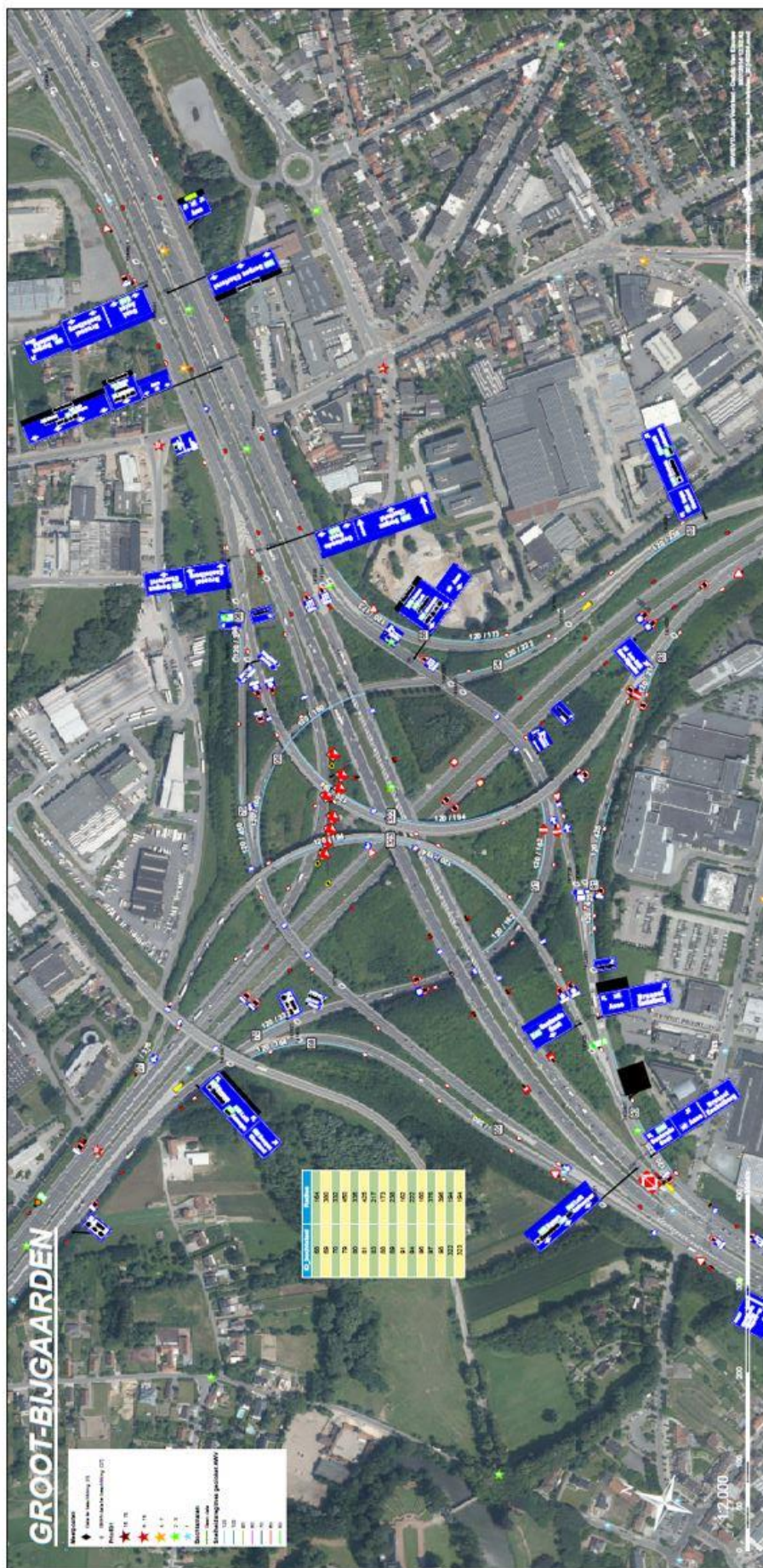
Bijlage H: Ster verkeerswisselaar Antwerpen-West



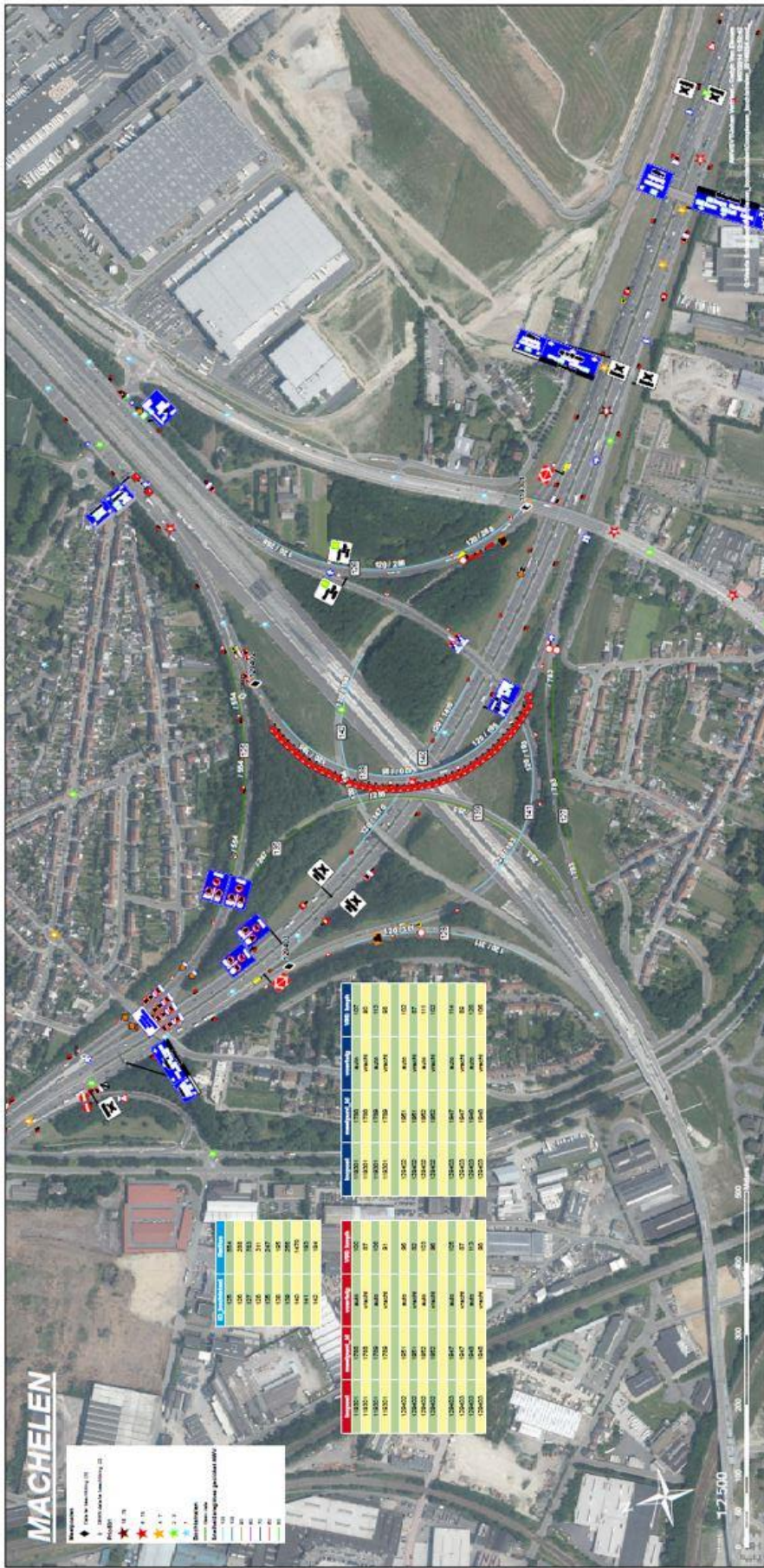
Bijlage I: Klaverblad verkeerswisselaar Aalbeke



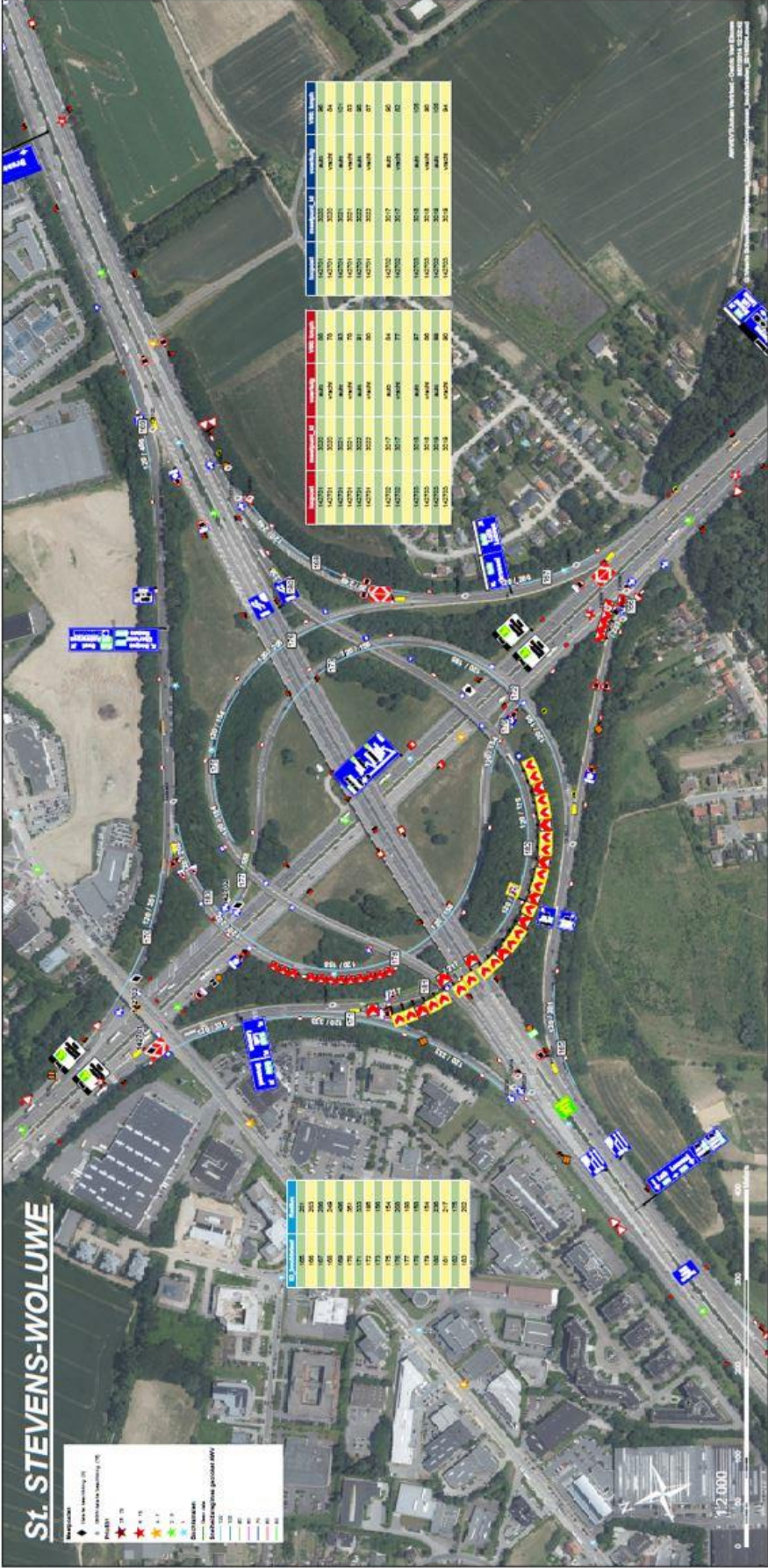
Bijlage K: Klaverblad verkeerswisselaar Moorsele



Bijlage L: Turbine verkeerswisselaar Groot-Bijgaarden



Bijlage N: Turbine verkeerswisselaar Machelen



Bijlage O: Turbine verkeerswisselaar St. Stevens-Woluwe



Bijlage R: Klaverturbine verkeerswisselaar Destelbergen

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Signalisatie van bochten in verkeerswisselaars, van stappenplan tot standaardisatie

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2018**

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,

Croux, Maïte

Laermans, Karen

Datum: **2/06/2018**