

Faculteit Industriële
Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
bouwkunde

Masterthesis

Gateway-ontwerp voor Overgang van Hogesnelheidsgebieden naar
Lagesnelheidsgebieden op Wegen: Een Rijsimulatorstudie

Maarten Mantels
Thibaut Spooren

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

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

PROMOTOR :

Dhr. Thomas STIEGLITZ

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen | Agoralaan Gebouw H - Gebouw B | BE 3590 Diepenbeek

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



2024
2025

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
bouwkunde

Masterthesis

***Gateway-ontwerp voor Overgang van Hogesnelheidsgebieden naar
Lagesnelheidsgebieden op Wegen: Een Rijsimulatorstudie***

Maarten Mantels

Thibaut Spooren

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

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

PROMOTOR :

Dhr. Thomas STIEGLITZ



KU LEUVEN

Woord vooraf

Bij het afronden van deze masterproef willen we graag een aantal personen bedanken die een bijdrage hebben geleverd aan het tot stand komen van dit werk.

Onze dank gaat in de eerste plaats uit naar onze interne begeleider aan de Universiteit Hasselt, Prof. dr. ir. Ali Pirdavani, voor zijn deskundige begeleiding, waardevolle feedback en de vlotte communicatie gedurende het hele traject. Zijn ondersteuning en advies waren onmisbaar voor de ontwikkeling en voltooiing van deze masterproef.

Verder wensen we Thomas Stieglitz van het Instituut voor Mobiliteit (IMOB) te bedanken voor zijn praktische ondersteuning tijdens de proeven met de rijnsimulator. Zijn hulp bij de voorbereiding, uitvoering en opvolging van de testen heeft in grote mate bijgedragen aan het vlotte verloop van het experimentele luik van dit onderzoek.

Tot slot willen we ook de deelnemers bedanken die bereid waren om deel te nemen aan de rijnsimulatorproeven. Hun inzet en medewerking waren van essentieel belang voor het verzamelen van de data waarop dit onderzoek is gebaseerd.

Inhoud

Woord vooraf.....	
Lijst van figuren	5
Lijst van tabellen	7
Abstract (NL)	9
Abstract (ENG)	11
1 Inleiding.....	13
2 Verkeersremmers	15
2.1 Verticale remmers.....	15
2.1.1 Drempels.....	15
2.1.2 Verhoogd zebrapad	16
2.2 Laterale remmers.....	17
2.2.1 Slingerremmer	17
2.2.2 Wegversmalling	18
2.3 Psychologische remmers	19
2.3.1 Wegmarkeringen.....	19
2.3.2 Begroeiing.....	20
3 Methode	21
3.1 Doelstelling	21
3.2 Overzicht van geteste ontwerpen.....	21
3.2.1 Ontwerp R: Referentie	23
3.2.2 Ontwerp W: Wegversmalling.....	24
3.2.3 Ontwerp S: Slingerremmer	24
3.2.4 Ontwerp WS: Wegversmalling met slingerremmer	25
3.2.5 Ontwerp W_A: Wegversmalling en afremmingsstrepen	26
3.2.6 Ontwerp W_L: Wegversmalling en laanbeplanting	26
3.2.7 Ontwerp WS_A: Wegversmalling met slingerremmer en afremmingsstrepen.....	27
3.2.8 Ontwerp WS_L: Wegversmalling met slingerremmer en laanbeplanting.....	27
3.3 Simulator.....	27
3.4 Procedure.....	29
3.5 Dataverzameling en -verwerking	29
3.5.1 STISIM Drive 3	29
3.5.2 Google Forms	31
4 Resultaten	33

4.1	Deelnemers	33
4.2	Snelheid	36
4.2.1	Gemiddelde snelheid binnen het ontwerp	36
4.2.2	Effect van verkeersremmers	38
4.2.3	Verkeersremmers vóór de overgangszone.....	40
4.2.4	Verkeersremmers op de overgangszone	41
4.2.5	Tegenliggend verkeer op slingerremmer.....	43
4.3	Versnelling.....	44
4.3.1	Gemiddelde versnelling doorheen het ontwerp	44
4.3.2	Effect van verkeersremmers	46
4.3.3	Verkeersremmers vóór de overgangszone.....	47
4.3.4	Verkeersremmers op de overgangszone	48
4.4	Uitwijking.....	50
4.4.1	Globale analyse	50
4.4.2	Analyse per ontwerp.....	51
5	Discussie	55
5.1	Impact van gateway-ontwerpen.....	55
5.1.1	Algemene effecten	55
5.1.2	Effect slingerremmer.....	55
5.1.3	Effect wegversmallings	56
5.1.4	Effect afremmingsstrepen	57
5.1.5	Effect laanbeplanting	57
5.2	Deelnemers	58
5.3	Meetpunten	59
5.4	Aanbeveling ontwerp.....	59
5.5	Verder onderzoek.....	60
6	Conclusie	63
	Referentielijst.....	65
	Bijlagen.....	67
	Bijlage A: Voor- en nabevraging.....	67
	Bijlage B: Pairwise Comparisons van de ontwerpen (snelheid als variabele)	71
	Bijlage C: Tests of within-subjects effects slingerremmer en wegversmallings.....	73
	Bijlage D: Tests of within-Subjects Effects Auto	77
	Bijlage E: Pairwise Comparisons van de ontwerpen (versnelling als afhankelijke variabele) ...	78

Bijlage F: Tests of within-subjects effects versnelling.....	80
--	----

Lijst van figuren

Figuur 1: Positionering van het gateway-ontwerp	13
Figuur 2: Technische tekening van een verkeersdrempel	16
Figuur 3: Verhoogd zebrapad.....	17
Figuur 4: Slingerremmer met verschillende situaties bij tegenliggend verkeer.....	17
Figuur 5: Invloed van de lengte van een wegversmalling met de snelheid i.f.v. de afstand	19
Figuur 6: Visualisatie afremmingsstreep met bijhorende afmetingen	20
Figuur 7: Globaal overzicht van alle ontwerpen met aanduiding van lengtes	22
Figuur 8: Rijstrookbreedtes i.f.v. de snelheid en opbouw van de weg	23
Figuur 9: Referentieontwerp met afstanden binnen het ontwerp (afmetingen in meter).....	23
Figuur 10: Wegversmalling ontwerp (afmetingen in meter)	24
Figuur 11: Afmetingen van slingerremmer in meter met aanduiding doorsnede AA'	25
Figuur 12: Dwarsdoorsnede AA' met afmetingen van slingerremmer (in meter).....	25
Figuur 13: Slingerremmer in combinatie met een wegversmalling (afmetingen in meter).....	26
Figuur 14: Wegversmalling in combinatie met afremmingsstrepen (afmetingen in meter)	26
Figuur 15: Wegversmalling in combinatie met laanbeplanting (afmetingen in meter)	26
Figuur 16: Slingerremmer in combinatie met een wegversmalling en afremmingsstrepen (afmetingen in meter)	27
Figuur 17: Slingerremmer in combinatie met een wegversmalling en laanbeplanting (afmetingen in meter)	27
Figuur 18: Rijsimulator van IMOB	28
Figuur 19: Schematische weergave dataverwerking	29
Figuur 20: Aanduiding van de meetpunten voor snelheid	36
Figuur 21: Snelheid i.f.v. de meetpunten van de verschillende ontwerpen.....	37
Figuur 22: Snelheidsvergelijking aanwezigheid van afremmingsstrepen versus de afwezigheid ervan	40
Figuur 23: Vergelijking van snelheden met en zonder laanbeplanting	41
Figuur 24: Snelheidsverloop per meetpunt met en zonder slingerremmer	42
Figuur 25: Snelheidsverloop per meetpunt met en zonder wegversmalling.....	42
Figuur 26: Snelheidspatroon met/zonder tegenligger op de slingerremmer	43
Figuur 27: Aanduiding meetpunten voor acceleratie/deceleratie	44
Figuur 28: Versnelling i.f.v. de meetpunten	45
Figuur 29: Versnelling in functie van meetpunten voor verschillende verkeersremmers voor de gateway	47
Figuur 30: Versnelling met en zonder slingerremmer	48
Figuur 31: Versnelling met en zonder wegversmalling.....	49
Figuur 32: Aanduiding meetpunten voor uitwijking	50
Figuur 33: Overzicht van de strategieën bij de slingerremmer bij de verschillende ontwerpen....	53

Lijst van tabellen

Tabel 1: Exterieur afmetingen voertuig	28
Tabel 2 : Input Excel voor strategie van deelnemers bij slingerremmer (in meter)	31
Tabel 3: Criteria voor rijervaring	32
Tabel 4: Gebruikte afkortingen in de ontwerpen	33
Tabel 5: Indeling deelnemers volgens leeftijdscategorieën	33
Tabel 6: Indeling geslacht van proefpersonen met bijhorende procentuele verdeling	33
Tabel 7: Resultaten uit One-Way ANOVA test	34
Tabel 8: Independent Samples Test resultaten	35
Tabel 9: Indeling van proefpersonen naar ervaring met bijhorende procentuele verdeling	35
Tabel 10: Type III Testen van vaste effecten tabel met snelheid als afhankelijke variabele	36
Tabel 11: Geschatte waarden voor het gemengde model met vaste effecten met snelheid als afhankelijke variabele	38
Tabel 12: Overzicht van de invloed van verkeersremmende maatregelen.....	39
Tabel 13 : Resultaten ANOVA voor de effecten van verkeersremmers op snelheid.....	39
Tabel 14: Geschatte gemiddelden per ontwerp (km/u).....	39
Tabel 15: Percentage van de deelnemers dat aangaf het gevoel te hebben om te vertragen	40
Tabel 16: Type III Tests of Fixed Effects met snelheid als afhankelijke variabele	45
Tabel 17: Estimates of Fixed Effects met versnelling als afhankelijke variabele	46
Tabel 18: Resultaten ANOVA – effecten van verkeersremmers op versnelling.....	47
Tabel 19: Globaal overzicht strategie bij de slingerremmer	51
Tabel 20: Strategie slingerremmer	51
Tabel 21: Strategie slingerremmer en wegversmallings	51
Tabel 22: Strategie slingerremmer, wegversmallings en afremmingsstrepen met een tegeligger ..	52

Abstract (NL)

Deze masterproef richt zich op de analyse van diverse gateway-ontwerpen om de rijsnelheid van weggebruikers te verlagen bij de overgang van 70 km/u (buiten de bebouwde kom) naar 50 km/u (binnen de bebouwde kom), met als doel de meest effectieve combinaties van fysieke en visuele maatregelen te identificeren.

Er werden zeven gateway-ontwerpen opgesteld, naast een referentieontwerp. Deze ontwerpen maken vóór de overgangszone gebruik van afremmingsstrepen of laanbeplanting, en op de overgangszone van een wegversmalling, een slingerremmer of een combinatie daarvan. Met een rijsimulator legden 54 deelnemers elk een traject van 14 km af waarin alle ontwerpen in willekeurige volgorde voorkwamen onder gestandaardiseerde condities. Objectieve rijdata (snelheid, laterale positie, versnelling, etc.) werden vastgelegd met STISIM3 en verwerkt in Python, Excel en SPSS. Subjectieve beleving en voorkeuren werden verzameld via Google Forms.

Laanbeplanting bleek geen significant effect te hebben, terwijl afremmingsstrepen, wegversmalling en slingerremmer wel de snelheid verlaagden. Slingerremmers leverden de grootste snelheidsdaling maar veroorzaakten de meest abrupte rembewegingen. Afremmingsstrepen gecombineerd met wegversmalling zorgden voor een gelijkmatige vertraging vóór het bord 'bebouwde kom' waardoor bestuurders onder de snelheidslimiet reden bij het binnenrijden van de bebouwde kom. Na het passeren van de gateway-ontwerpen waren de snelheden binnen de bebouwde kom voor alle ontwerpen gelijk.

Abstract (ENG)

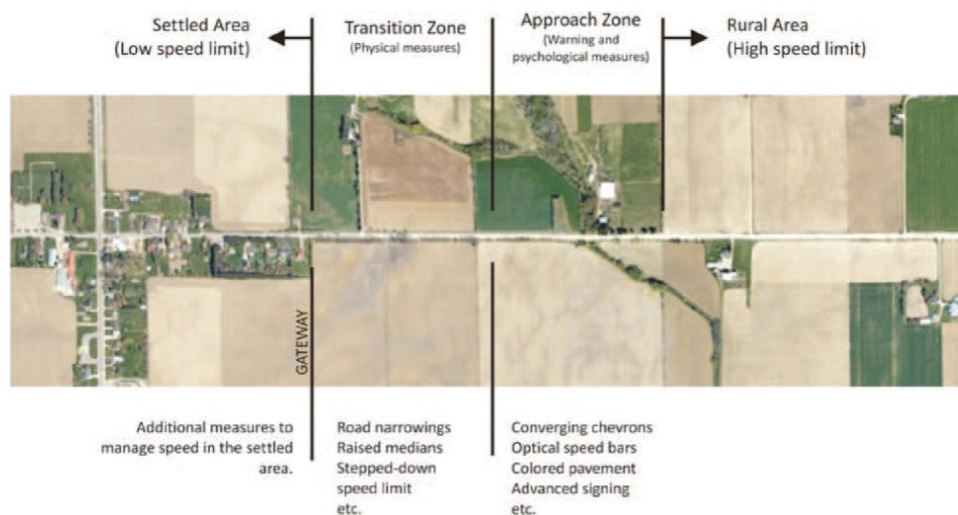
This master's thesis focuses on analysing various gateway designs with the aim of reducing vehicle speeds during the transition from 70 km/h (outside urban areas) to 50 km/h (within urban areas), with the objective of identifying the most effective combinations of physical and visual measures.

Seven gateway designs were developed, alongside a reference design. These designs incorporated transverse road markings or avenue planting before the transition zone, and road narrowing, a chicane, or a combination of both within the transition zone. Using a driving simulator, 54 participants completed a 14 km route in which all designs were presented in a randomised order under standardised conditions. Objective driving data (speed, lateral position, acceleration, etc.) were recorded using STISIM3 and processed with Python, Excel, and SPSS. Subjective experiences and preferences were collected through Google Forms.

Avenue planting had no significant effect, whereas transverse road markings, road narrowing, and chicanes all contributed to reduced speeds. Chicanes resulted in the greatest reduction in speed. However, they caused the most abrupt braking. Transverse road markings combined with road narrowing facilitated a smooth deceleration before the "urban area" sign, causing drivers to enter the area below the speed limit. After passing the gateway designs, speeds within the urban area were similar across all designs.

1 Inleiding

Deze masterproef richt zich op het analyseren van diverse *gateway*-ontwerpen om de rijsnelheid van weggebruikers te verlagen bij de overgang van een gebied met hoge snelheidslimiet naar een gebied met lage snelheidslimiet. Zoals weergegeven in Figuur 1 vindt de snelheidsovergang plaats op de overgang van het gebied buiten de bebouwde kom (BUBEKO) naar dat binnen de bebouwde kom (BIBEKO)[1]. Bij deze overgang (*gateway*) worden snelheidsremmers toegepast. Er wordt gebruikgemaakt van fysieke snelheidsremmers omdat verkeersborden onvoldoende invloed hebben op de rijsnelheid. Slechts 32,06% van de snelheidsborden wordt waargenomen door bestuurders [2]. In overgangszones komt overschrijding van de snelheidslimiet vaker voor doordat bestuurders hun snelheid moeten aanpassen [3]. Snelheid is de maatgevende oorzaak van verkeersongevallen. Naarmate de rijsnelheid toeneemt, neemt zowel de kans op een verkeersongeval als de ernst van de gevolgen significant toe [4].



Figuur 1: Positionering van het gateway-ontwerp [1, p. 7]

Er zijn twee types snelheidsremmers die gebruikt kunnen worden op de overgangszone. Dit zijn verticale en laterale remmers [5]. Verticale remmers omvatten drempels, plateaus en verkeersrichels. Laterale remmers bestaan uit asverspringingen, middengeleiders en chicanes.

In deze studie wordt gebruikgemaakt van een rijsimulator om verschillende ontwerpen te testen. Een rijsimulator is een krachtig hulpmiddel om de interactie tussen bestuurder en weg te analyseren. Het biedt de mogelijkheid om verschillende wegconfiguraties te testen zonder bestuurders in gevaarlijke situaties te brengen [6].

In het eerste hoofdstuk worden de verschillende types verkeersremmers besproken die relevant zijn in de gebruikte gateway-ontwerpen. Vervolgens wordt toegelicht welke ontwerpen getest worden, welke methode daarbij wordt toegepast en welke materialen worden gebruikt. Daarna worden de resultaten besproken die voortvloeien uit de toegepaste onderzoeksmethode. In het daaropvolgende hoofdstuk worden deze bevindingen kritisch besproken in de context van de bestaande literatuur. Tot slot worden de belangrijkste inzichten samengevat in de conclusie.

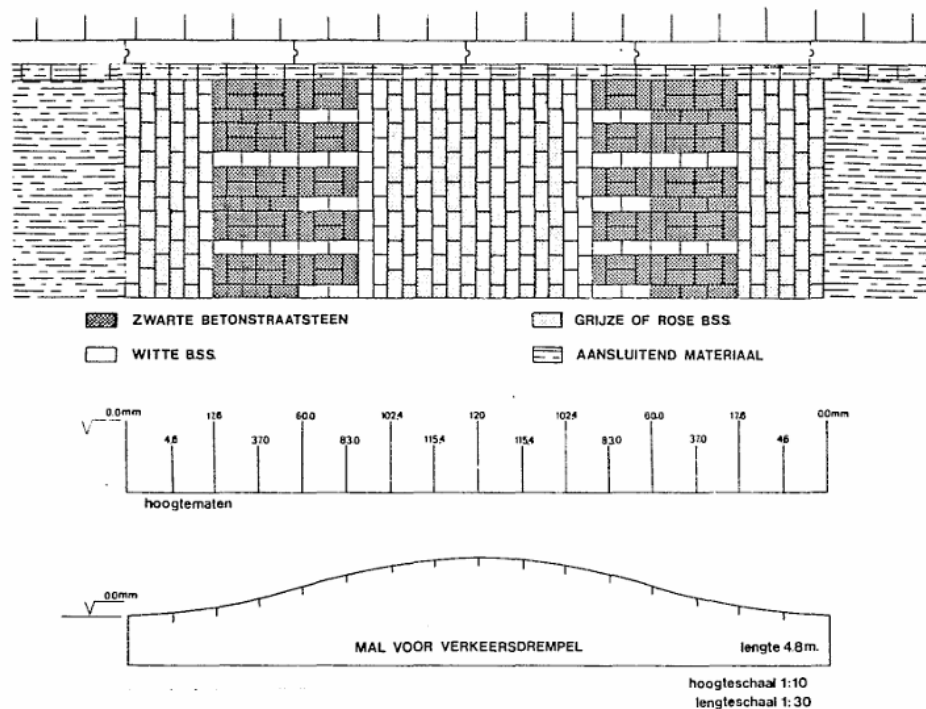
2 Verkeersremmers

Voor snelheidsverminderingen bij snelheden tot 50 km/u zijn fysieke maatregelen zoals wegversmallingen, verhogingen en verandering in wegdekstructuur het meest geschikt. Voor snelheidsverminderingen bij snelheden boven 50 km/u hebben visuele of psychologische maatregelen, zoals markeringen en groenaanleg, de voorkeur [7]. In deze studie worden zowel fysieke als visuele maatregelen onderzocht. De snelheidslimiet BIBKO 50 km/u behoort tot beide gevallen.

2.1 Verticale remmers

2.1.1 Drempels

Een verkeersdrempel is een verhoogd element op het wegdek dat bedoeld is om de snelheid van voertuigen te verlagen. Het verkeer kan er overheen rijden door een aan beide zijden aangebrachte op- en afrit. De afmetingen van de drempel beperken de rijnsnelheid van voertuigen tot een matig niveau. Verkeersdrempels hebben een aanbevolen hoogte van 12 cm en een aanbevolen lengte van 4,5 m. Korte drempels met een grote hoogte kunnen leiden tot gevaarlijke situaties. Een weergave van een verkeersdrempel is terug te vinden in Figuur 2. Een drempel zorgt ervoor dat snelheden van 25 tot 50 km/u kunnen teruggebracht worden tot een gemiddelde van 25 km/u [8]. Wanneer een verkeersdrempel niet goed zichtbaar is, kan het een gevaar vormen. Bij te hoge snelheden kan schade aan het voertuig ontstaan. Ook wanneer met de juiste snelheid over de drempel gereden wordt, lopen voertuigen met een geringe bodemvrijheid gevaar om met hun onderzijde de drempel te raken. Om dezelfde reden maken brandweer- en ambulancediensten bezwaar tegen drempels. De drempels doen de bereikbaarheid en het comfort afnemen.



Figuur 2: Technische tekening van een verkeersdrempel [8, p. 34]

Er zijn verschillende variaties van verkeersdrempels. Zo wordt een verkeersplateau gebruikt op kruispunten. Een verkeersplateau bestaat uit twee halve drempels met ertussen een langer bovenvlak. Een verkeershobbel beschikt dan weer niet over een horizontaal gedeelte. Een verkeersrichel is een type verkeersdrempel zonder op- of afritconstructies. In tegenstelling tot traditionele verkeersdrempels, die doorgaans een hoogte van 12 cm hebben, bedraagt de hoogte van een verkeersrichel tussen de 3 en 5 cm. Een verkeersrichel is minder geschikt voor fiets- en bromfietsverkeer. Een andere vorm van de standaard drempel is een wegdekschotel. Dit is een semi-bolvormige verhoging van 2,5 cm met een diameter van 25 cm. Een wegdekschotel heeft effect bij snelheden tussen 30 en 45 km/u. Bij snelheden boven 60 km/u is er geen effect meer [8].

2.1.2 Verhoogd zebrapad

Verhoogde zebrapaden worden steeds vaker ingezet als verkeersremmende maatregel in stedelijke gebieden, waar voetgangers een groot deel van het verkeer zijn. Deze infrastructuur is ontworpen om de veiligheid van voetgangers te vergroten door voertuigen te laten vertragen. Het vertragen gebeurt door middel van een helling en verhoogd platform. Dit zorgt voor een vermindering van de impact bij eventuele botsingen [9]. Voetgangers kunnen de weg op hetzelfde niveau als het trottoir oversteken waardoor het eveneens toegankelijker is voor rolstoelgebruikers. Zo draagt een verhoogd zebrapad bij aan een betere toegankelijkheid en inclusiviteit. Een verhoogd zebrapad wordt geïllustreerd in Figuur 3.



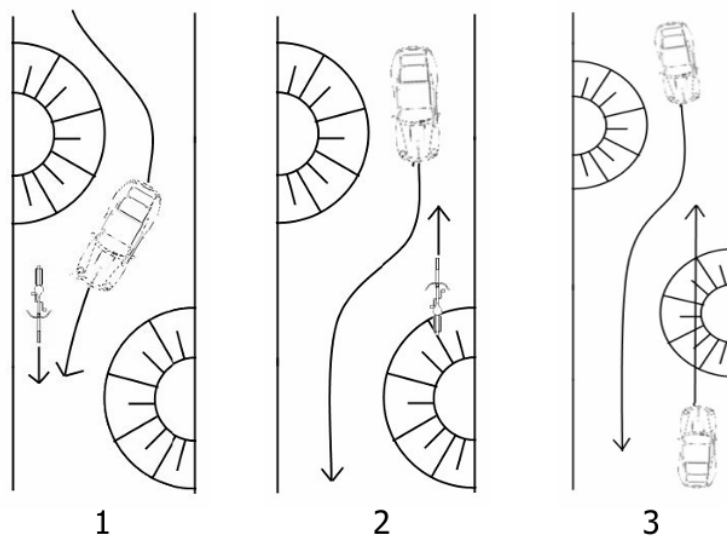
Figuur 3: Verhoogd zebrapad [9, p. 6]

Dit type infrastructuur speelt een belangrijke rol in de verbetering van de ‘wandelbaarheid’ van buurten en draagt bij aan het verminderen van het aantal ongevallen tussen voertuigen en kwetsbare weggebruikers [9].

2.2 Laterale remmers

2.2.1 Slingerremmer

Een slingerremmer is een bocht die bewust in de rijbaan wordt aangebracht om de snelheid van het verkeer te reduceren. Een slingerremmer bestaat uit verhoogde verkeerseilanden waarbij bestuurders hun snelheid moeten verlagen en een slingerende beweging maken of moeten afremmen om de obstakels te passeren. De slingerende beweging zorgt ervoor dat zwakke weggebruikers in gevaar worden gebracht [10]. Voertuigen zullen een slingerende beweging maken richting de zwakke weggebruikers. Figuur 4 geeft deze manoeuvres weer. Er zijn twee soorten slingerremmers, namelijk de overrijdbare en de niet-overrijdbare variant.



Figuur 4: Slingerremmer met verschillende situaties bij tegenliggend verkeer [10, p. 11]

De overrijdbare slingerremmer biedt een verhoogde mate van flexibiliteit doordat bestuurders, in geval van tegenliggend verkeer, over de verhoogde elementen kunnen rijden. Dit bevordert de doorstroming van het verkeer tijdens drukke tijdstippen. Aangezien bestuurders op die momenten worden gedwongen om de verhoogde taluds te benutten, resulteert dit in een natuurlijke snelheidsreductie bij verhoogde verkeersdrukke. Uit onderzoek blijkt dat 82% van de bestuurders een slingerbeweging maakt bij afwezigheid van tegenliggend verkeer, terwijl bij aanwezigheid van tegenliggend verkeer 89% van de bestuurders rechtdoor rijdt. Bovendien remt 57% van de bestuurders af zonder tegenligger, terwijl dit percentage oploopt tot 85% wanneer er wel sprake is van tegenliggend verkeer [10].

Ook voor hulpdiensten biedt de overrijdbare slingerremmer voordelen.

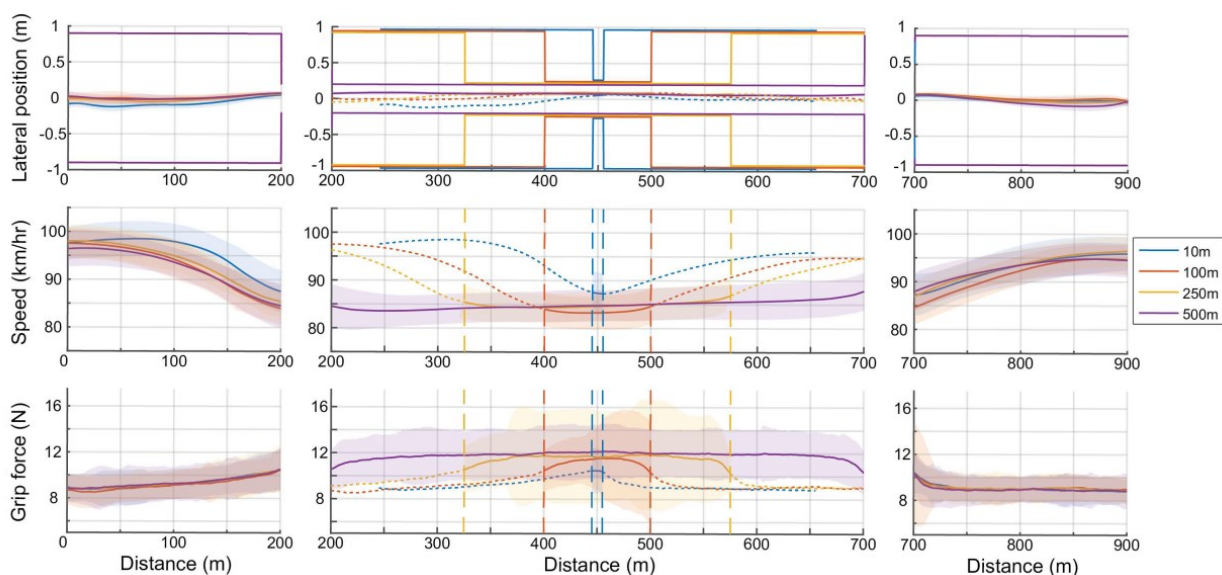
Hulpverleningsvoertuigen kunnen de gateway passeren met een verhoogde snelheid door in het midden tussen de verhogingen te rijden, hetgeen een verbetering vormt ten opzichte van klassieke verkeersdrempels of verhoogde zebrapaden. De snelheid waarmee de slingerremmer kan worden gepasseerd, neemt toe naarmate de afstand tussen de verhoogde eilanden groter is en de overlap tussen deze elementen afneemt [10]. Hoewel dit gunstig is voor noodvoertuigen, is het voor reguliere bestuurders minder wenselijk vanuit het oogpunt van snelheidsbeheersing.

Een optimale configuratie van de overrijdbare slingerremmer omvat het plaatsen van de eerste verhoging aan de rechterzijde van de weg. Daarnaast blijkt een verhoogd oppervlak van ten minste 30% van de totale wegbreedte noodzakelijk om een effectief snelheidsreducerend effect te bereiken. De maximale snelheid waarmee bestuurders over de verhogingen kunnen rijden, wordt daarbij voornamelijk bepaald door de steilheid van het talud in dwarsrichting [10].

Verder moet bij het ontwerp van de slingerremmers aandacht worden besteed aan de duurzaamheid van het wegdek. Door de slalombewegingen van voertuigen kan verhoogde slijtage optreden als gevolg van wringing. Bovendien is een wegdek met voldoende grip essentieel om wegglijden, vooral bij natte omstandigheden, te voorkomen. Tot slot dient ook rekening gehouden te worden met mogelijke nadelige effecten zoals verlies aan rijcomfort voor verkeersdeelnemers en geluid- en trillingsoverlast voor omwonenden [10].

2.2.2 Wegversmalling

Een wegversmalling houdt in dat de breedte van de rijbaan wordt verkleind. Deze versmalling kan fysiek worden aangebracht door de asfaltbreedte te verminderen of psychologisch door de randmarkering meer naar het midden te brengen. Dit heeft als gevolg dat bestuurders hun positie op de rijstrook nauwkeuriger moeten beheersen, wat doorgaans leidt tot een vermindering van de rijnsnelheid [11]. Een wegversmalling beïnvloedt de rijnsnelheid en gripkracht op het stuur van bestuurders, maar niet hun laterale positie. Figuur 5 geeft dit weer.



Figuur 5: Invloed van de lengte van een wegversmalling met de snelheid i.f.v. de afstand [12, p. 3237]

De invloed van een wegversmalling op het rijgedrag is sterk afhankelijk van het verkeersvolume. Bij een lage verkeersintensiteit heeft een fysieke wegversmalling een positief effect op de verkeersveiligheid. Dit komt doordat bestuurders hun snelheid verlagen door de beperkte bewegingsruimte. De beperkte bewegingsruimte zorgt in situaties met hoge verkeersdruk voor een negatief effect op de verkeersveiligheid. De verminderde ruimte tussen voertuigen verhoogt de kans gespannen stuurbewegingen door spanningsvolle interacties tussen weggebruikers [12]. Daarnaast heeft de lengte van een wegversmalling over het algemeen weinig invloed op de mate van de snelheidsreductie. Alleen bij een lengte van 10 m is de verlaging van de snelheid significant kleiner. De tijd die voertuigen nodig hebben om de versmalling te passeren neemt toe naarmate de versmalling langer wordt. Lange wegversmallingen zorgen daardoor voor een verminderde doorstroming van het verkeer [11].

2.3 Psychologische remmers

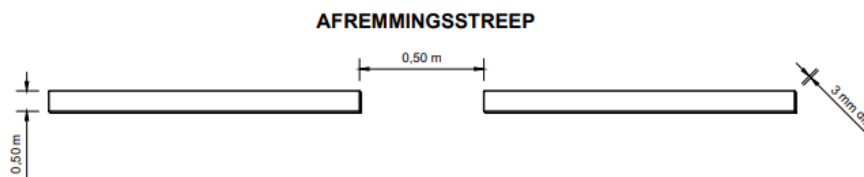
Psychologische remmers zijn verkeersmaatregelen die het rijgedrag beïnvloeden zonder fysieke obstakels op de weg aan te brengen. Deze remmers veranderen de weg enkel visueel.

2.3.1 Wegmarkeringen

Enkele voorbeelden van wegmarkeringen als psychologische remmers zijn dikkere randmarkeringen, haaiantanden, afremmingsstrepen en vissengraatpatronen [13]. Deze markeringen geven de illusie van een smallere rijbaan, waardoor bestuurders geneigd zijn hun snelheid te reduceren.

Transversale ribbelstroken, ook wel afremmingsstrepen genoemd, zijn dwars over de rijbaan aangebrachte markeringen die zowel visuele als tactiele signalen geven aan bestuurders. Het

trillende effect ontstaat door de verhoging als gevolg van de verflaag met een dikte van 3 mm. Elke streep is in het midden 0,5 m onderbroken, om de veiligheid van motorrijders te waarborgen. Figuur 6 geeft een afremmingsstreep weer. De strepen volgen elkaar op 4 m en zijn 0,5 m in de lengte van de rijrichting [14]. Uit eerder onderzoek blijkt dat de snelheid 50 m vóór het gevaar lager ligt bij toepassing van afremmingsstrepen dan zonder deze maatregel [15]. De tussenafstand tussen opeenvolgende groep strepen verkleint naarmate het BIBEKO-bord nadert, met als doel de bestuurder een verhoogd snelheidsgevoel te geven. Zo zorgen afremmingsstrepen voor een gelijkmatige vertraging bij het naderen van een gevarenczone [15], [16].



Figuur 6: Visualisatie afremmingsstreep met bijhorende afmetingen [14, p. 127]

2.3.2 Begroeiing

Strategisch geplaatste begroeiing langs de rijbaan creëert een optische versmalling van de weg [17], wat bijdraagt aan een afname van de rijsnelheid. Hierbij is de hoeveelheid vegetatie en de afstand ervan tot de weg van belang [18]. Een smallere zichtbare rijstrook met dichte begroeiing zet bestuurders aan tot lagere snelheden en grotere afstand tot de rand van de weg. Grotere vrije zones zonder begroeiing lokken hogere snelheden uit.

3 Methode

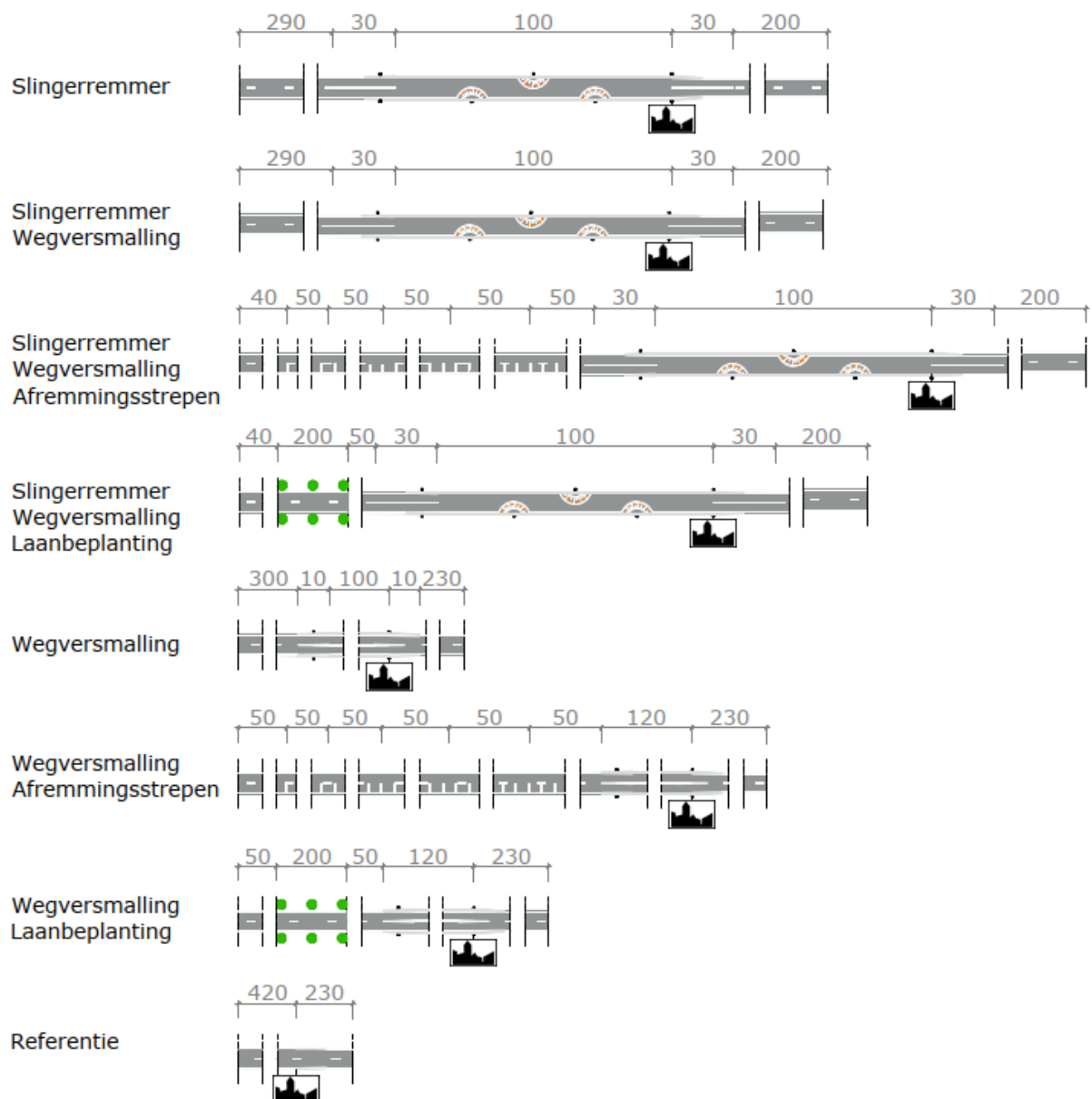
3.1 Doelstelling

Het hoofddoel van dit onderzoek was het evalueren van de effectiviteit van de verschillende gateway-ontwerpen met behulp van een rij simulator. Om deze hoofddoelstelling te realiseren, werden deeldoelstellingen geformuleerd. In totaal werden zeven gateway-ontwerpen samengesteld en getest met behulp van een rij simulator. Het rijgedrag van de deelnemers werd geanalyseerd op basis van parameters zoals snelheid, laterale positie, versnelling en vertraging. Aan de hand van deze gegevens kon het rijgedrag en de uitvoering van verkeersmanoeuvres worden vastgesteld. Zo werd beoordeeld welke ontwerpen een positief of negatief effect hadden.

Van elk gateway-ontwerp moest worden vastgesteld in welke mate het bijdroeg aan de verschillende parameters in vergelijking met een ontwerp zonder ingreep. Het verzamelen van relevante gegevens maakte het mogelijk om de verschillende ontwerpen onderling te vergelijken.

3.2 Overzicht van geteste ontwerpen

Figuur 7 geeft een globaal overzicht van de geteste gateway-ontwerpen. Hierop zijn de afstanden binnen het ontwerp en de positie van het bord ‘bebouwde kom’ aangeduid. De ontwerpen worden verder in detail besproken in de volgende hoofdstukken.



Figuur 7: Globaal overzicht van alle ontwerpen met aanduiding van lengtes

In vier van de onderzochte ontwerpen werd een maatregel vóór de overgangszone opgenomen. Met uitzondering van het referentie ontwerp werd in elke ontwerp een verkeersremmende maatregel op de overgangszone geplaatst. Het ontwerp op de overgangszone had een vaste lengte van 100 m, afgestemd op een snelheidsverlaging van 70 km/u naar 50 km/u. Deze afstand bleek optimaal voor het beoogde snelheidsverschil [19]. Op deze overgangszone werd afwisselend een slingerremmer, een wegversmalling of een combinatie van beide toegepast. Vóór de overgangszone werd gebruikgemaakt van afremmingsstrepen of laanbeplanting. Daarnaast was er een referentieontwerp zonder maatregelen.

Alle ontwerpen hadden een totale trajectlengte van 650 m. De ontwerpen werden berekend in de richting van BUBEKO naar BIBEKO. Zowel op het wegsegment met een snelheidslimiet van 70 km/u als op dat van 50 km/u werd gebruikgemaakt van een randlijn en een aslijn. In beide gevallen betrof het een tweerichtingsweg met één rijstrook per rijrichting. De minimale verhardingsbreedte bij deze snelheden bedroeg respectievelijk 6,40 m en 6,10 m. De minimale

rijstrookbreedtes kwamen daarmee uit op respectievelijk 3,00 m en 2,85 m [20]. Figuur 8 geeft een overzicht van de minimale rijstrookbreedtes.

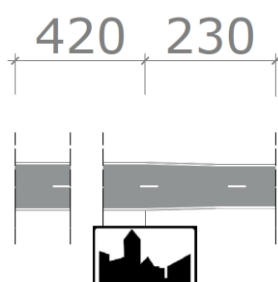
belijning	geen	met randlijn, zonder aslijn		zonder randlijn, met aslijn		met randlijn, met aslijn	
							
snelheid	VHB	RBB	VHB	RSB	VHB	RSB	VHB
30 km/h	5,60	5,50	5,60	(2,80)	(5,60)	n.v.t.	
30 km/h met buslijn	5,80	5,70	5,80	(2,90)	(5,80)		
50 km/h	6,10	6,00	6,10	(3,05)	(6,10)	(2,85)	(6,10)
70 km/h	6,40	6,30	6,40	3,20	6,40	3,00	6,40
90 km/h	n.v.t.					3,30	7,00

Figuur 8: Rijstrookbreedtes i.f.v. de snelheid en opbouw van de weg [20, p. 7]

Voor de simulatie werd gewerkt met een verhardingsbreedte van 7 m voor een weg van 70 km/u en 6,5 m voor een weg van 50 km/u. De randlijn had een breedte van 0,15 m [14]. De aslijn was een onderbroken streep van 2,5 m lang en 0,15 m breed met een tussenafstand van 10 m [14]. Over de hele overgangszone werd een stoeprand aangebracht, aangezien deze aantoonbaar tot een dubbel zo grote snelheidsreductie leidde in vergelijking met situaties zonder stoeprand [2]. Deze stoeprand was 10 cm hoog en 50 cm breed. Het begin en einde van de overgangszone werd gemarkeerd met paaltjes op minimaal 75 cm van de rijbaan [21]. Het bord BIBEKO werd geplaatst aan het einde van de 100 m lange overgangszone. Alle testritten werden uitgevoerd bij daglicht en goede zichtomstandigheden.

3.2.1 Ontwerp R: Referentie

Het referentieontwerp is een ontwerp zonder enige ingreep. De weg bevat geen fysieke of visuele snelheidsremmende maatregelen. Dit ontwerp vormt de nulmeting voor vergelijking met de andere ontwerpen. De afstand vóór en na het bord ‘bebouwde kom’, evenals de markeringen, zijn weergegeven in Figuur 9.

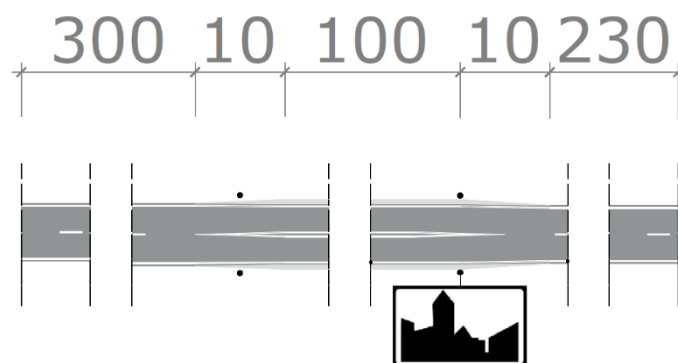


Figuur 9: Referentieontwerp met afstanden binnen het ontwerp (afmetingen in meter)

3.2.2 Ontwerp W: Wegversmalling

Bij dit ontwerp wordt de rijbaan smaller gemaakt, zowel visueel als fysiek. De verharding wordt versmald tot 6,7 m en de rijstroken tot 2,85 m. De maatvoering van de rijstrook komt overeen met de minimale breedte voor een snelheid van 50 km/u. Door meer verharding te voorzien dan minimaal nodig is, blijft er nog voldoende verhardingsbreedte voor brede voertuigen.

De versmalling wordt aangeduid met markeringen. Tussen de twee rijstroken bevindt zich een niet-berijdbaar gedeelte van 0,6 m. Het niet-overrijdbare deel bestaat uit markeringen met een breedte van 15 cm en een tussenruimte van 30 cm. Een verduidelijking van dit ontwerp met afmetingen is weergegeven in Figuur 10.

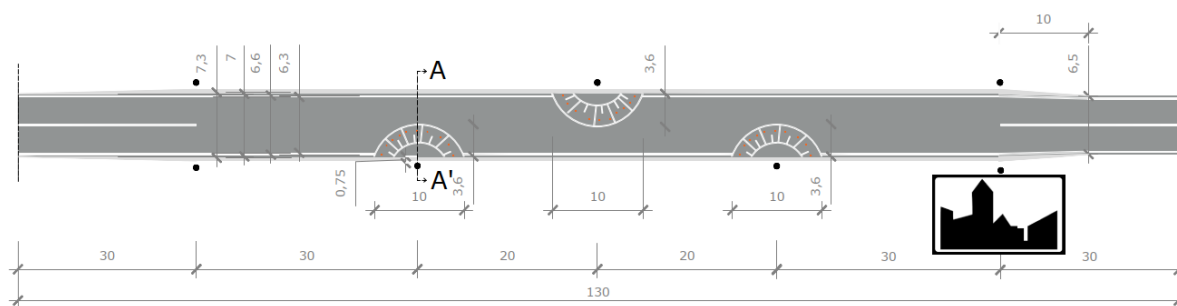


Figuur 10: Wegversmalling ontwerp (afmetingen in meter)

Telkens wanneer een wegversmalling wordt toegepast, wordt het bord A7a geplaatst op 200 meter voor het begin van de versmalling. Op 100 meter vóór de wegversmalling wordt het bord ZC35 geplaatst, dat aangeeft dat inhalen vanaf dat punt verboden is. Tenslotte wordt 100 meter na het einde van de versmalling het bord ZC35/ geplaatst, waarmee het inhalen weer is toegestaan.

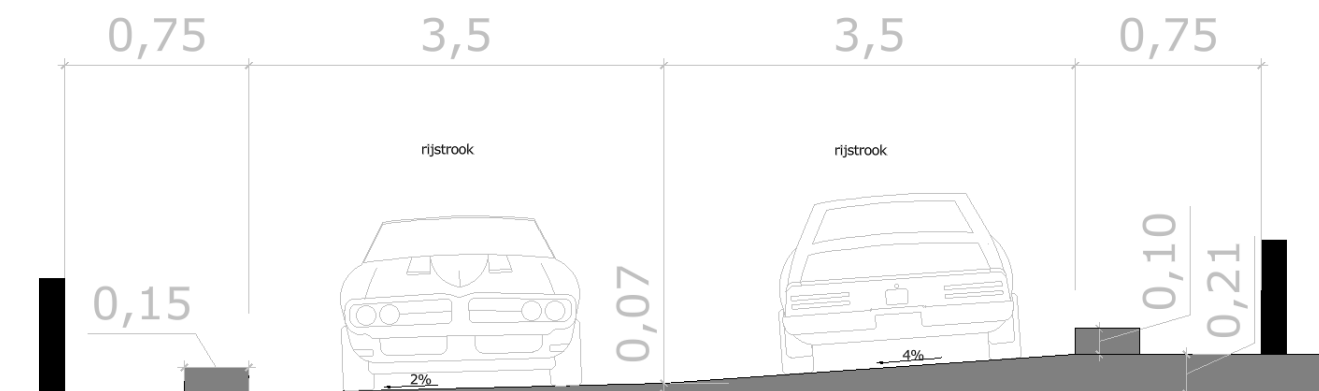
3.2.3 Ontwerp S: Slingerremmer

De slingerremmer bestaat uit drie overrijdbare verhogingen die zijn gemarkeerd met boogvormige lijnen en reflectoren. Bij het binnenrijden van de bebouwde kom zijn er twee verhogingen, bij het verlaten slechts één. Zo moeten voertuigen die de bebouwde kom naderen sterker afremmen terwijl voertuigen die de bebouwde kom verlaten vlotter door kunnen rijden. Overigens is er op de slingerremmer geen asmarkering aangebracht. Figuur 11 verduidelijkt dit verder en geeft de afmetingen op de overgangszone weer. Ook hier wordt 420 m vóór en 230 m na het bord 'bebouwde kom' opgenomen in het ontwerp.



Figuur 11: Afmetingen van slingerremmer in meter met aanduiding doorsnede AA'

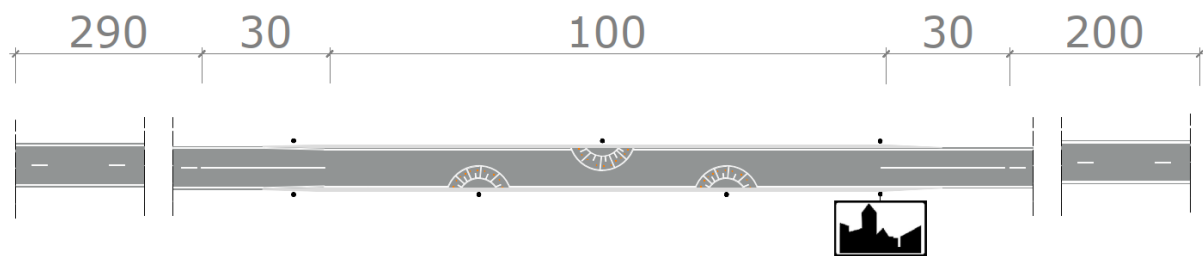
Elke verhoging loopt schuin op van het midden naar de rand van de rijbaan. Dit is een lineaire helling waarbij de maximale hoogte 14 cm is aan de rand van de rijbaan. Dit ontwerp wijkt af van het standaardmodel met een vlakke verhoging van 12 cm over de hele breedte [10]. De verhogingen zijn niet 12 cm over de volledige breedte van de rijbaan omdat dit technisch niet mogelijk was in de gebruikte simulatiesoftware (STISIM Drive 3). Er werden eveneens hellingen voorzien voor de afvoer van regenwater, waarbij een hellingspercentage van 2% werd toegepast. Naast de rijbaan staan paaltjes op 75 cm van de rand van de verhardingsbreedte om de locatie van de verhogingen aan te geven. Een dwarsdoorsnede van de rijbaan ter hoogte van een verhoging is weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12: Dwarsdoorsnede AA' met afmetingen van slingerremmer (in meter)

3.2.4 Ontwerp WS: Wegversmalling met slingerremmer

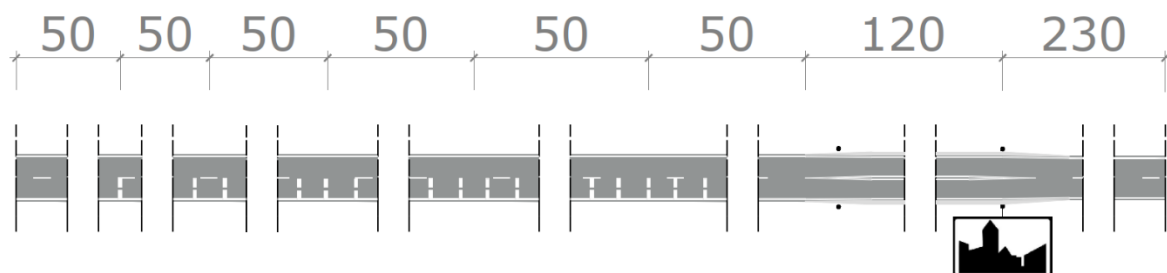
In dit ontwerp wordt de rijbaan enkel fysiek versmald. Er wordt dus geen extra verharding toegepast voor brede voertuigen omdat anders het effect van de slingerremmer verdwijnt. De verhardingsbreedte en rijstrookbreedte worden gereduceerd tot respectievelijk 3,05 m en 2,85 m per rijbaan. Op deze versmalling is een slingerremmer aangebracht. Figuur 13 verduidelijkt de positie van de versmalling en slingerremmer in dit ontwerp.



Figuur 13: Slingerremmer in combinatie met een wegversmalling (afmetingen in meter)

3.2.5 Ontwerp W_A: Wegversmalling en afremmingsstrepen

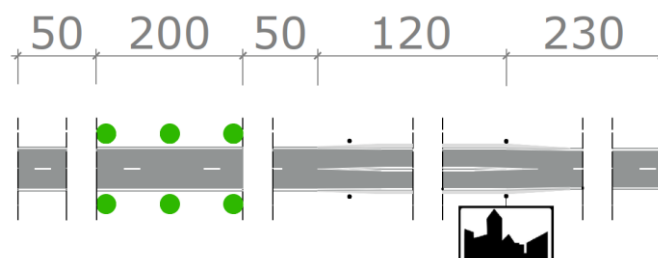
De wegversmalling komt overeen met die in 3.2.2. Vóór de versmalling zijn afremmingsstrepen aangebracht. Over een afstand van 200 m wordt om de 50 m een groep strepen geplaatst. De strepen zijn 0,5 m breed en hebben een tussenafstand van minimaal 4 m [22]. Het aantal strepen per groep neemt telkens met één toe. De laatste groep heeft vijf afremmingsstrepen. Figuur 14 verduidelijkt dit ontwerp.



Figuur 14: Wegversmalling in combinatie met afremmingsstrepen (afmetingen in meter)

3.2.6 Ontwerp W_L: Wegversmalling en laanbeplanting

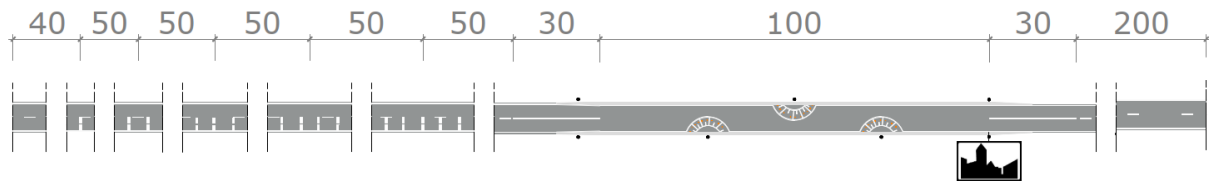
De wegversmalling is identiek aan die in 3.2.2. Vóór de wegversmalling wordt laanbeplanting aangebracht met grote bomen van ongeveer 13 m hoog en hoge stam. De bomen worden geplaatst over een afstand van 200 m met een tussenafstand van 10 m. Deze bomen staan op 2 m van de rand van de weg. Een verduidelijking van het ontwerp wordt gegeven in Figuur 15.



Figuur 15: Wegversmalling in combinatie met laanbeplanting (afmetingen in meter)

3.2.7 Ontwerp WS_A: Wegversmalling met slingerremmer en afremmingsstrepen

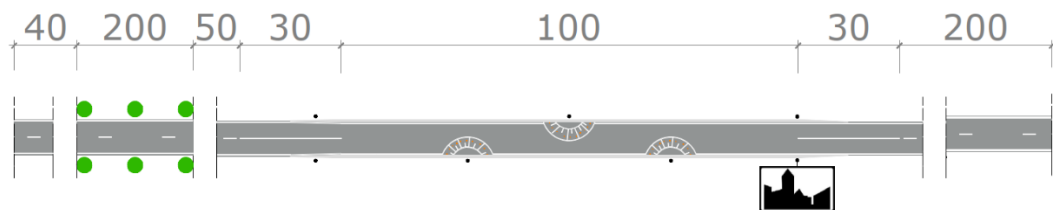
Dit ontwerp combineert de wegversmalling met slingerremmer uit ontwerp 3.2.4 met de afremmingsstrepen uit 3.2.5. Een afbeelding met de verharding, markering en positie van verkeersborden is weergegeven in Figuur 16. In de simulatie bevindt zich een tegenliggend voertuig op de slingerremmer bij dit ontwerp.



Figuur 16: Slingerremmer in combinatie met een wegversmalling en afremmingsstrepen (afmetingen in meter)

3.2.8 Ontwerp WS_L: Wegversmalling met slingerremmer en laanbeplanting

De configuratie van dit ontwerp is gelijk aan die in 3.2.4 op de overgangszone, gecombineerd met de bomenrij zoals in 3.2.6. Net als in ontwerp 3.2.7 bevindt zich een voertuig in de tegengestelde richting op de slingerremmer. Een visuele weergave van het ontwerp met afstanden is terug te vinden in Figuur 17.



Figuur 17: Slingerremmer in combinatie met een wegversmalling en laanbeplanting (afmetingen in meter)

3.3 Simulator

De simulatie werd uitgevoerd met behulp van de grote rijsimulator van het Instituut voor Mobiliteit (IMOB). Deze prototypische simulator bestaat uit een voertuigmock-up met een beeldgeneratie- en projectiesysteem. Drie beamers projecteerden het scenario op een bolvormig scherm dat zorgde voor een breed gezichtsveld en hoge visuele immersie. De simulator is te zien in Figuur 18.



Figuur 18: Rijsimulator van IMOB

De gebruikte voertuigmock-up is een Ford Mondeo. Tabel 1 geeft de exterieurafmetingen van het voertuig weer.

Tabel 1: Exterieur afmetingen voertuig

Parameter	Afmeting
Lengte	4,86 m
Breedte	1,87 m
Hoogte	1,51 m
Wielbasis	2,85 m
Spoorbreedte voor	1,59 m
Spoorbreedte achter	1,61 m

De voertuigmock-up was uitgerust met bedieningselementen vergelijkbaar met die van een conventionele personenwagen, waaronder stuurinrichting, gaspedaal en rem. De simulator bood een automatische transmissie. In tegenstelling tot een moving-base simulator was deze mock-up statisch. Hij beschikte niet over een bewegingsplatform, waardoor fysieke terugkoppeling zoals stoelbewegingen of trillingen (zogenoemde 4D-effecten) ontbraken. De stuurinrichting bevatte geen *force feedback*. Hierdoor werd de fysieke rijervaring slechts beperkt gesimuleerd. Dit had mogelijk een negatieve invloed op het snelheidsgevoel, de realiteitsbeleving en de resultaten [23].

Ondanks deze technologische beperkingen bood de simulator voordelen. Doordat de omgeving digitaal gegenereerd werd, konden infrastructuurscenario's gemodelleerd worden die in realiteit nog niet bestonden. Er konden systematisch verschillende ontwerpvarianten geëvalueerd worden onder gestandaardiseerde omstandigheden. De interactie met andere weggebruikers was beperkt tot gesimuleerde voertuigen en personen. Ook waren de outputdata zeer nauwkeurig.

De ritten bestonden uit opeenvolgende gateway-ontwerpen die waren opgesteld in verschillende volgordes over een afstand van 14 km. Elk scenario bevatte een opeenvolging van gateway-ontwerpen die onderling gescheiden werden door neutrale wegsegmenten (zogenoemde '*filler pieces*'). Binnen deze opbouw werd er afgewisseld tussen verschillende gateway-ontwerpen die

specifiek waren bedoeld voor de overgang BUBEKO naar BIBEKO. Na deze overgang volgde telkens een BIBEKO-gedeelte waarin een ontwerp uit een andere masterproef met focus op fietsers werd geïntegreerd. Er werden in het totaal vier unieke scenario's opgesteld met verschillende volgordes van deze gateway-ontwerpen om het zogenaamde '*learning effect*' te beperken. Het learning effect verwijst naar de mogelijke verandering in rijgedrag die optreedt naarmate een deelnemer vertrouwd raakt met de rijsimulator. Door variatie in scenario-opbouw en de volgorde waarin deelnemers de scenario's ervaarden, werd de voorspelbaarheid beperkt en de invloed van gewenning geminimaliseerd.

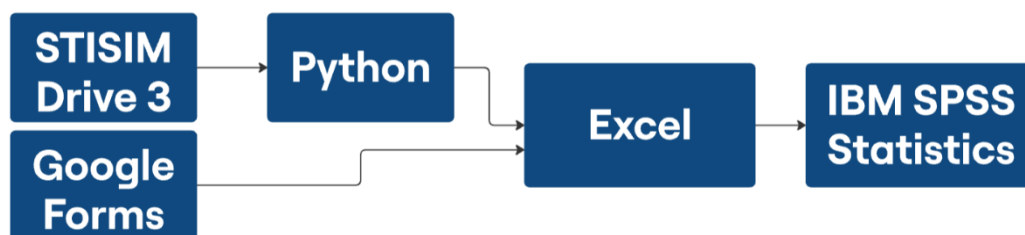
Tot slot was het essentieel om een brede variatie aan deelnemers te betrekken bij het onderzoek. Door de variatie in deelnemers werd de werkelijke populatie zo goed mogelijk gerepresenteerd.

3.4 Procedure

Voorafgaand aan het onderzoek werd goedkeuring verkregen van de ethische commissie. Elke deelnemer doorliep een sessie van ongeveer 30 minuten. Na het ondertekenen van de deelnameverklaring vulde de deelnemer een voorbevraging in. Daarna werd een korte testrit afgelegd om de simulator te leren kennen. Vervolgens reden de deelnemers één lange rit van 14 km waarin alle ontwerpen waren verwerkt. Ze kregen de instructie om te rijden zoals ze dat normaal op de weg zouden doen. Na afloop werd een nabevraging ingevuld.

3.5 Dataverzameling en -verwerking

De gegevens werden verzameld met behulp van het programma STISIM Drive 3 en een online vragenlijst via Google Forms. De verwerking van de verzamelde data gebeurde met Python, Excel en IBM SPSS Statistics. Figuur 19 toont een schematische voorstelling van de dataverwerking.



Figuur 19: Schematische weergave dataverwerking

3.5.1 STISIM Drive 3

STISIM Drive 3 registreerde objectieve rijgegevens zoals snelheid, versnelling en laterale positie met een frequentie van 0,014 s over het volledige ontwerptraject van 650 m. Elk gateway-ontwerp werd als afzonderlijk blok geregistreerd. Om gegevensverlies te vermijden, werd zoveel

mogelijk informatie verzameld tijdens de ritten. Data die achteraf niet nuttig bleken voor het onderzoek werden niet verwerkt.

Python-scripts werden geschreven om de data te converteren naar csv-bestanden. Een tweede set Python-scripts filterde per deelnemer de relevante meetpunten uit de csv-bestanden. Deze meetpunten werden in één overzichtelijk Excel-bestand weggeschreven. Elk meetpunt werd als kolom opgenomen, met één rij per deelnemer. Dit bestand diende als basis voor de verdere gegevensverwerking en statistische analyse in IBM SPSS Statistics.

Selectie van meetpunten

Per onderzochte parameter werden relevante meetpunten geselecteerd. Om een overdaad aan irrelevante data te vermijden, werden de meetpunten per parameter niet gecombineerd. Op deze manier werden onnauwkeurige resultaten vermeden.

Voor de snelheidsanalyse werden de volgende meetpunten geselecteerd:

- aan het begin van het gateway-ontwerp;
- aan het einde van de verkeersremmer vóór de overgangszone;
- op drie posities binnen de overgangszone: het begin, het midden en het einde van de verkeersremmer;
- aan het einde van de overgangszone, waar zich het bord 'begin bebouwde kom' bevindt;
- op 100 meter na het bord 'begin bebouwde kom'.

Voor de analyse van de versnelling werden metingen uitgevoerd op de volgende locaties:

- in het midden van de verkeersremmer vóór de overgangszone;
- vlak voor de verkeersremmer op de overgangszone;
- in het midden van de overgangszone;
- aan het einde van de overgangszone (BIBEKO-bord);
- 20 meter voorbij het gateway-ontwerp.

Wat betreft uitwijkgedrag bij de slingerremmer werd de laterale positie van het voertuig in het midden van de drie heuvels geanalyseerd. Op basis van deze meetpunten werd bepaald of bestuurders bijvoorbeeld een slingerbeweging maakten, rechtdoor reden of een andere strategie kozen.

Strategie-analyse bij slingerremmers

De laterale positie op de rijbaan werd gebruikt om de strategie bij slingerremmers te bepalen. Tabel 3 toont de afbakening van de grenzen van de positie (p) per heuvel per strategie. Zo kunnen bestuurders een slingerbeweging maken, op het rechter baanvak blijven en over de heuvels rijden, in het midden van de verharding blijven rijden en dus tussen de heuvels rijden, over de eerste heuvel rijden maar niet over de tweede, niet over de eerste heuvel rijden maar wel over de

tweede. Als de deelnemer een andere strategie hanteerde dan de hierboven genoemde, werd dit een uitschieter genoemd.

Tabel 2 : Input Excel voor strategie van deelnemers bij slingerremmer (in meter)

Strategie/heuvel	1 ^e (rechts)	2 ^e (links)	3 ^e (rechts)
Slingerbeweging	$p < 0,9$	$p > 0$	$p < 0,9$
Over heuvels	$p > 1,2$	$p > 1,2$	$p > 1,2$
Midden rijder	$-1,2 < p < 1,2$	$-1,2 < p < 1,2$	$-1,2 < p < 1,2$
Enkel over 2 ^{de} heuvel	$p < 0,9$	$p > 0$	$p > 0,7$
Enkel over 1 ^{ste} heuvel	$p > 0,7$	$p > 0$	$p < 0,9$

Dataverwerking van deelnemers

De verwerking van de deelnemersdata begon met het identificeren en verwijderen van uitschieters. Indien een deelnemer als uitschieter werd geclassificeerd voor een van de parameters snelheid, uitwijking of versnelling, werd deze deelnemer volledig uitgesloten van verdere analyse.

Detectie van uitschieters gebeurde op basis van de interkwartielafstand (IQR). Waarden die meer dan drie keer de IQR buiten het eerste of derde kwartiel lagen, werden als uitschieter beschouwd. Deze grenzen werden consistent toegepast op alle parameters. Vervolgens werd per deelnemer geëvalueerd of de deelnemer in meer dan 15% van de meetpunten uitschieters bevatte [24]. Indien dit het geval was, werd de betreffende deelnemer uit de dataset verwijderd voor alle parameters.

3.5.2 Google Forms

Via Google Forms werd achtergrondinformatie verzameld over de deelnemers, waaronder leeftijd, geslacht en het type rijbewijs. Na afloop van de simulatie gaven deelnemers feedback op de ontwerpen en de ervaring tijdens de simulatie. De vragenlijsten zijn opgenomen in Bijlage A. Op basis van het jaarlijks aantal gereden kilometers en het aantal jaren rijervaring werd de rijervaring gecategoriseerd. Tabel 2 geeft de criteria voor de classificatie weer.

Tabel 3: Criteria voor rijervaring

Rijervaring	Kilometers/jaar	Categorie
≥5 jaar	>10 000 km	Ervaren
≥5 jaar	≤10 000 km	Matig ervaren
<5 jaar	>10 000 km	Matig ervaren
<5 jaar	≤10 000 km	Onervaren

De verzamelde data werden in Excel voorbereid en geanalyseerd in IBM SPSS Statistics.

4 Resultaten

Voor de analyse van de ontwerpen zijn afkortingen gebruikt die de toegepaste verkeersmaatregelen representeren. Indien meerdere maatregelen op één locatie zijn gecombineerd, worden de bijbehorende afkortingen zonder scheiding weergegeven. Indien maatregelen op afzonderlijke locaties voorkomen, worden ze gescheiden met een lage streep. Tabel 4 geeft een overzicht van de gebruikte afkortingen en hun betekenissen.

Tabel 4: Gebruikte afkortingen in de ontwerpen

Afkorting	Volledige term
R	Referentie
W	Wegversmalling
S	Slingerremmer
L	Laanbeplanting
A	Afremmingsstrepen

4.1 Deelnemers

In totaal hebben 54 deelnemers met een geldig rijbewijs type B, niet onder invloed van alcohol of drugs, met goede nachtrust en zonder lichamelijke beperkingen vrijwillig deelgenomen aan deze studie. Alle deelnemers hebben de test volledig kunnen afleggen zonder onderbreking door simulatorziekte, hoewel 22,2% na afloop aangaf duizelig te zijn geworden en 9,3% zelfs misselijkheid ervaarde. Drie deelnemers werden als uitschieter beschouwd op basis van hun afwijkende rijgedrag. Hierdoor komt het definitieve aantal deelnemers op 51.

De gemiddelde leeftijd van de deelnemers bedraagt 31 jaar. Tabel 5 geeft de verdeling over leeftijdscategorieën weer waarbij een onderscheid wordt gemaakt in vier categorieën. Uit de resultaten blijkt dat voornamelijk mannen onder de 25 jaar hebben deelgenomen aan de simulatortest. Tabel 6 geeft de verdeling van de deelgenomen mannen en vrouwen weer.

Tabel 5: Indeling deelnemers volgens leeftijdscategorieën

Leeftijdscategorie	Aantal deelnemers	Percentage
<25	34	66,67%
25-39	4	7,84%
40-59	9	17,65%
60+	4	7,84%

Tabel 6: Indeling geslacht van proefpersonen met bijhorende procentuele verdeling

Geslacht	Aantal deelnemers	Percentage
Mannen	37	72,55%
Vrouwen	14	27,45%

Een Levene's test toont aan dat de variatie tussen de leeftijdscategorieën homogeen is (significantie = 0,705). Op basis van de One-Way ANOVA zijn er significante verschillen in gemiddelde snelheid tussen sommige leeftijdsgroepen (Tabel 7).

Tabel 7: Resultaten uit One-Way ANOVA test

Afhankelijke variabele: Games-Howell						
(I) LEEFTIJD		Gemiddeld verschil (I-J)	Std. Fout	Sig.	95% betrouwbaarheidsinterval	
					Ondergrens	Bovengrens
>25	25-39	0,06290	2,62147	1,000	-10,4496	10,5754
	40-59	3,85200 ¹	2,48353	0,442	-3,5823	11,2863
	60+	12,211651 ¹	2,50101	0,024	2,3419	22,0814
25-39	>25	-0,06290	2,62147	1,000	-10,5754	10,4496
	40-59	3,78910	3,31683	0,676	-6,7686	14,3468
	60+	12,148751 ¹	3,32994	0,041	0,6102	23,6873
40-59	>25	-3,85200	2,48353	0,442	-11,2863	3,5823
	25-39	-3,78910	3,31683	0,676	-14,3468	6,7686
	60+	8,35965	3,22247	0,113	-1,7806	18,5000
60+	>25	-12,211651 ¹	2,50101	0,024	-22,0814	-2,3419
	25-39	-12,148751 ¹	3,32994	0,041	-23,6873	-0,6102
	40-59	-8,35965	3,22247	0,113	-18,5000	1,7806

Er werden significante verschillen vastgesteld tussen de groep <25 jaar en de groep 60+, evenals tussen 25-39 jaar en 60+. Deze verschillen zijn in de tabel aangeduid met rode (niet sig. $p > 0,05$) en groene (sig. $p < 0,05$) opmaak. Dit wil zeggen dat de jongeren onder de 25 jaar met een significant andere snelheid rijden dan de oudere generaties van boven de 40 jaar. Hoe hoger de leeftijd, hoe groter het verschil.

Wat betreft geslacht tonen de resultaten van de onafhankelijke t-toets geen significant verschil in gemiddelde snelheid tussen mannen en vrouwen. De Levene's test voor gelijke varianties is niet significant (significantie = 0,151) (Tabel 8). Hierbij staat df voor het aantal vrijheidsgraden (Degrees of freedom).

¹ De gemiddelde verschil is significant op het 0,05-niveau.

Tabel 8: Independent Samples Test resultaten

		Levene's Test for Equality of Variances		t-toets voor gelijkheid van gemiddelden							95% betrouwbaarheidsinterval van het verschil	
				t	Df	Significantie		Gemiddeld verschil	Verskil Std. fout			
						Eenzijdig p	Tweezijdig p					
SNELHEID	Aangenomen dat de varianties gelijk zijn	0,388	0,536	1,457	49	0,076	0,151	3,02625	2,07696	-1,14755	7,20006	
	Gelijke varianties niet verondersteld			1,424	22,472	0,084	0,168	3,02625	2,12539	-1,37617	7,42868	

Tabel 9 toont de verdeling van de proefpersonen op basis van rijervaring verkregen uit Google Forms. De drie categorieën zijn evenwichtig vertegenwoordigd, waarbij elk ervaringsniveau ongeveer een derde van het totaal aantal deelnemers omvat.

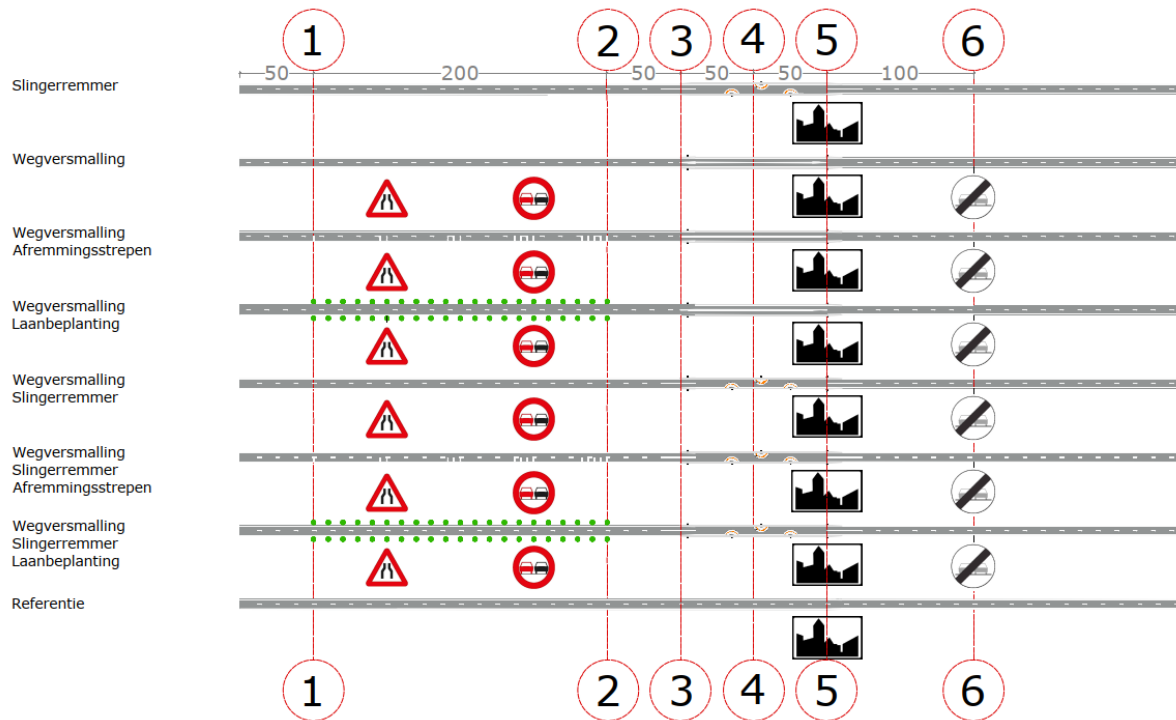
Tabel 9: Indeling van proefpersonen naar ervaring met bijhorende procentuele verdeling

Ervaringsniveau	Aantal deelnemers	Percentage
Ervaren	18	35,29%
Matig ervaren	19	37,25%
Onervaren	14	27,45%

4.2 Snelheid

4.2.1 Gemiddelde snelheid binnen het ontwerp

Figuur 20 toont de locaties van de meetpunten voor snelheidsregistratie.



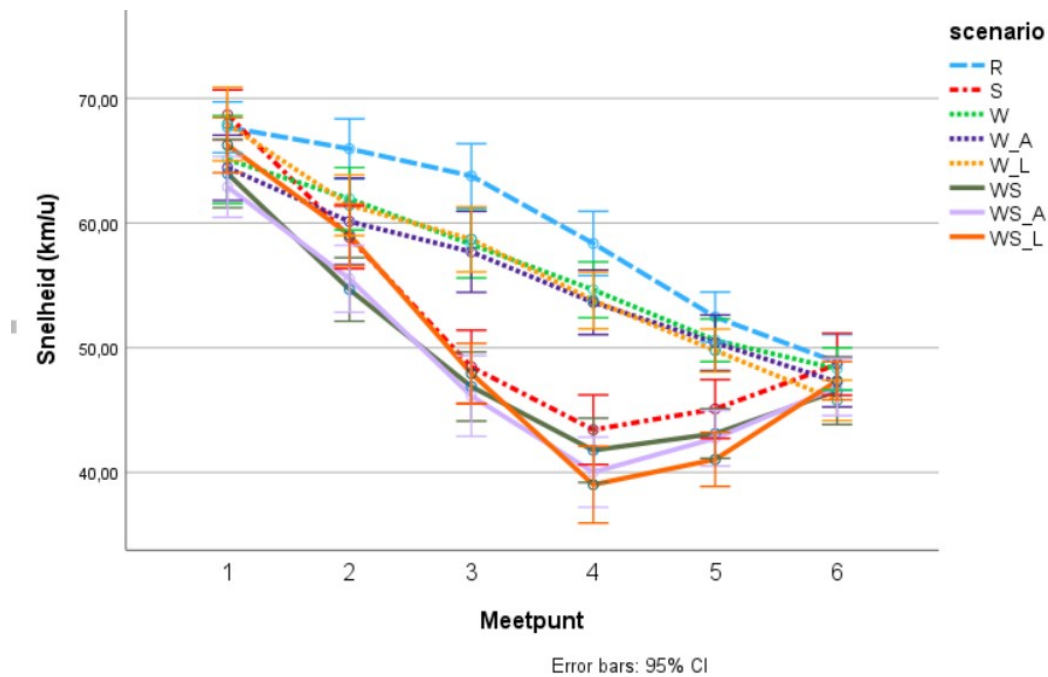
Figuur 20: Aanduiding van de meetpunten voor snelheid

Uit de variantieanalyse blijkt dat het effect van het ontwerp, het meetpunt en hun interactie significant is. Tabel 10 toont de resultaten van de variantieanalyse.

Tabel 10: Type III Testen van vaste effecten tabel met snelheid als afhankelijke variabele

Bron	Df teller	Df noemer	F-waarde	Sig.
Intercept	1	52	4777,922	<,001
Ontwerp	7	2409	82,015	<,001
Meetpunt	5	2409	433,841	<,001

Alle gateway-ontwerpen vertonen een lagere gemiddelde snelheid dan het referentieontwerp. Figuur 21 geeft dit weer. In deze figuur geven de foutbalken het 95%-betrouwbaarheidsinterval rond elk gemiddelde weer.



Figuur 21: Snelheid i.f.v. de meetpunten van de verschillende ontwerpen

Hieruit blijkt dat bij de ontwerpen met een slingerremmer de snelheid reeds vóór het bord ‘begin bebouwde kom’ (meetpunt 5) onder 50 km/u daalt, inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval. In de ontwerpen zonder slingerremmer is de snelheid voor het bord nog boven de 50 km/u, inclusief de 95%-betrouwbaarheidsintervallen. De gemiddelde snelheid ter hoogte van het bord is bij de slingerremmer onder de maximumsnelheid van 50 km/u, inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval. In het referentiegeval ligt het gemiddelde boven 50 km/u en bij de wegversmalling ligt dit gemiddelde nog rond de maximumsnelheid. In de bebouwde kom (op meetpunt 6) is er geen noemenswaardig verschil tussen de verschillende ontwerpen.

In het gemengde model met snelheid als afhankelijke variabele snelheid wordt onderzocht welke invloed het ontwerp had op de gemiddelde snelheid. De interceptie bedraagt 53,378 km/u en vertegenwoordigt het verwachte gemiddelde van de snelheid in het referentieontwerp op het referentiemeetpunt (meetpunt 6). Het referentiemeetpunt bevindt zich in de bebouwde kom waar een maximumsnelheid geldt van 50 km/u. Alle geschatte waarden zijn negatief en significant ($p < 0,001$), wat betekent dat de snelheid in elk van deze ontwerpen significant lager is dan in het referentieontwerp. Hoe negatiever de coëfficiënt, hoe groter de daling in snelheid. De grootste snelheidsreductie wordt waargenomen bij de ontwerpen waarbij de combinatie van een slingerremmer met wegversmalling wordt gebruikt. Tabel 11 toont de schattingen van de gemiddelde snelheid.

De positieve geschatte waarden voor de meetpunten geven aan dat de snelheid bij die meetpunten hoger was dan bij het referentiemeetpunt (meetpunt 6). Er is een duidelijke indicatie van daling in snelheid over opeenvolgende meetpunten.

Tabel 11: Geschatte waarden voor het gemengde model met vaste effecten met snelheid als afhankelijke variabele

Parameter	Schatting	Std. Fout	Df	t	Sig.	95% Betrouwbaarheidsinterval	
						Ondergrens	Bovengrens
Intercept	53,378	,937	110,558	56,965	<,001	51,521	55,234
[Ontwerp=S]	-7,315	,608	2409,000	-12,032	<,001	-8,507	-6,123
[Ontwerp =W]	-3,032	,608	2409,000	-4,987	<,001	-4,224	-1,840
[Ontwerp =W_A]	-3,925	,608	2409,000	-6,455	<,001	-5,117	-2,732
[Ontwerp =W_L]	-3,275	,608	2409,000	-5,386	<,001	-4,467	-2,083
[Ontwerp =WS]	-10,020	,608	2409,000	-16,481	<,001	-11,213	-8,828
[Ontwerp =WS_A]	-10,485	,608	2409,000	-17,245	<,001	-11,677	-9,293
[Ontwerp =WS_L]	-9,405	,608	2409,000	-15,470	<,001	-10,598	-8,213
[Ontwerp =R]	0 ²	0	.	.	.	.	.
[Meetpunt=1]	18,417	,527	2409	34,977	<,001	17,384	19,449
[Meetpunt=2]	12,246	,527	2409	23,258	<,001	11,214	13,279
[Meetpunt=3]	6,035	,527	2409	11,461	<,001	5,002	7,067
[Meetpunt=4]	,636	,527	2409	1,209	,227	-,396	1,669
[Meetpunt=5]	-,545	,527	2409	-1,035	,301	-1,578	,487
[Meetpunt=6]	0 ²	0	.	.	.	.	.

De combinatie van een slingerremmer met wegversmalling blijkt de grootste impact te hebben op de gemiddelde snelheid. Bestuurders reden in deze ontwerpen gemiddeld meer dan 9 km/u trager dan in het referentieontwerp. Een slingerremmer zonder wegversmalling resulteerde in een gemiddelde snelheidsdaling van meer dan 7 km/u. Wanneer enkel een wegversmalling werd aangebracht, daalde de snelheid gemiddeld met meer dan 3 km/u. Tussen de meetpunten 4, 5 en 6 is geen significant verschil vastgesteld voor de gemiddelde snelheid binnen een ontwerp.

4.2.2 Effect van verkeersremmers

Tabel 12 geeft een overzicht van de snelheidsstatistieken per type verkeersremmer. De gemiddelde snelheden werden berekend op basis van de geselecteerde meetpunten op de verkeersremmer. Voor de afremmingsstrepen en laanbeplanting zijn dit de punten aan het begin en het einde van de verkeersremmer. Voor de slingerremmer en wegversmalling zijn dit de punten aan het begin, midden en einde van de verkeersremmer. De onderzochte ontwerpen zijn zo samengesteld dat ze onafhankelijk van elkaar zijn. Ontwerpen met een combinatie van verkeersremmers in dezelfde zone zijn daarom niet opgenomen, zodat de resultaten niet worden beïnvloed.

²Deze parameter wordt op nul gezet omdat het een referentiepunt is.

Tabel 12: Overzicht van de invloed van verkeersremmende maatregelen

Verkeersremmer	Snelheid statistieken (km/u)						Percentage voertuigen dat de maximumsnelheid met minstens X km/u overschrijdt			
	Max. toegelaten snelheid	Gemiddelde	Standaard afwijking	Mediaan	85-percentiel	95-percentiel	5	10	15	20
Afremmingsstrepen	70	60,74	9,96	62,10	69,43	76,23	0,02	0	0	0
Laanbeplanting	70	63,66	8,97	63,66	70,74	75,66	0,02	0,02	0	0
Slingerremmer	70-50	45,66	9,58	46,75	54,51	63,78	0,06	0,06	0,02	0
Wegversmalling	70-50	54,17	8,42	53,72	62,66	70,32	0,10	0,02	0	0

De gemiddelde snelheden zijn het laagst bij de slingerremmer (gemiddeld 45,66 km/u), gevolgd door de wegversmalling (gemiddeld 54,17 km/u). Afremmingsstrepen en laanbeplanting leiden niet tot een significante impact. Dit bleek uit de gepaarde vergelijking van Bijlage B. Geen van de deelnemers overschreed de toegelaten snelheid met meer dan 20 km/u bij gelijk welk ontwerp. Eén deelnemer reed meer dan 15 km/u te snel over één van de ontwerpen met een slingerremmer. Mogelijk hangt dit samen met het feit dat 7,4% van de deelnemers aangaf dat de rijnsimulator slecht aansloot bij de realiteit, en 3,7% de simulator zelfs als zeer slecht realistisch ervaarde.

De effecten van de verschillende verkeersremmers zijn geëvalueerd met een ANOVA voor herhaalde metingen (Tabel 13). Laanbeplanting vertoont geen significant effect (significantie = 0,41) over het gehele ontwerp. Afremmingsstrepen, slingerremmers en wegversmallingen vertonen wel significante verschillen, waarbij de slingerremmer de grootste impact heeft op de gemiddelde snelheid binnen een ontwerp. De volledige resultaten zijn terug te vinden in Bijlage C.

Tabel 13 : Resultaten ANOVA voor de effecten van verkeersremmers op snelheid

Verkeersremmer	F (df, df Fout) = F	P
Laanbeplanting	$F(1,00; 101,00) = 0,69$	0,41
Afremmingsstrepen	$F(1,00; 101,00) = 6,33$	0,013
Slingerremmer	$F(1,00; 50,00) = 128,07$	< 0,001
Wegversmalling	$F(1,00; 50,00) = 29,59$	< 0,001

Tabel 14 bevat de geschatte gemiddelde snelheid per ontwerp met 95%-betrouwbaarheidsintervallen. De laagste snelheden worden gemeten bij combinaties van maatregelen op de overgangszone.

Tabel 14: Geschatte gemiddelden per ontwerp (km/u)

Ontwerp	Gemiddelde	Std. Fout	Df	95% Betrouwbaarheidsinterval	
				Ondergrens	Bovengrens
S	52,194	,873	83,633	50,457	53,931
W	56,477	,873	83,633	54,740	58,213
W_A	55,585	,873	83,633	53,848	57,321
W_L	56,234	,873	83,633	54,498	57,971
WS	49,489	,873	83,633	47,752	51,225
WS_A	49,024	,873	83,633	47,287	50,761
WS_L	50,104	,873	83,633	48,367	51,840
ZR	59,509	,873	83,633	57,772	61,246

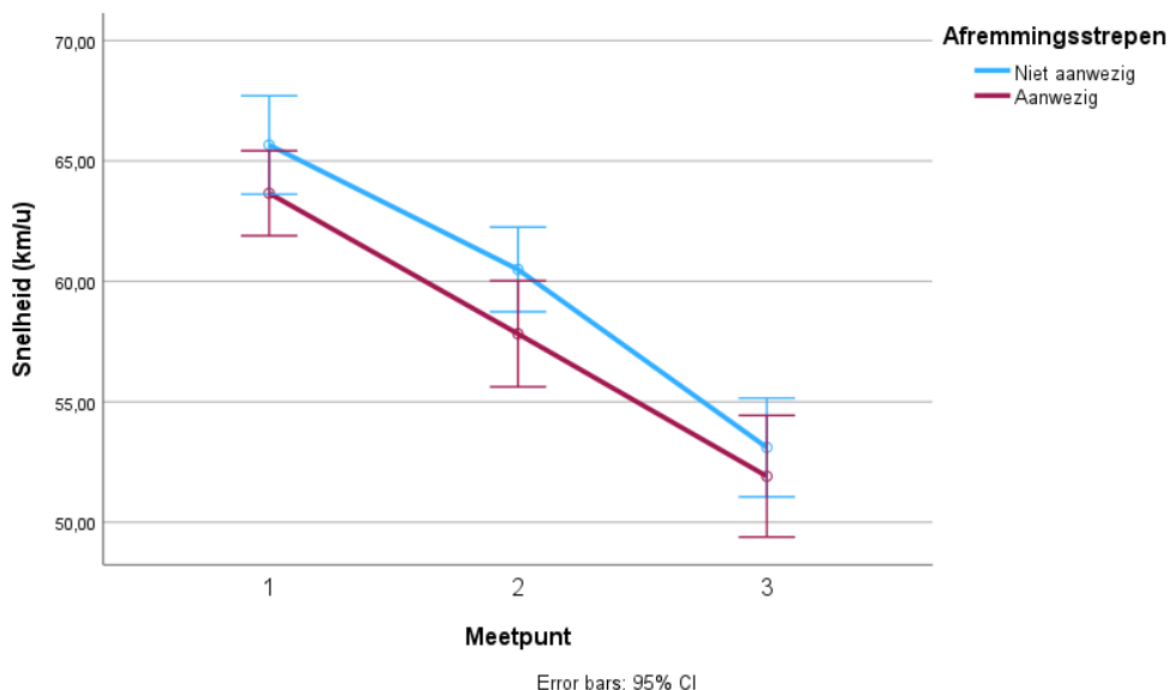
Tabel 15 geeft weer dat ook op het vlak van snelheidsperceptie vooral combinaties van snelheidsremmende maatregelen effect hebben.

Tabel 15: Percentage van de deelnemers dat aangaf het gevoel te hebben om te vertragen

Verkeersremmer	Percentage
Afremmingstrepen	50,98%
Laanbeplanting	9,80%
Slingerremmer	76,47%
Wegversmalling	25,49%
Combinatie	82,35%

4.2.3 Verkeersremmers vóór de overgangszone

Figuur 22 visualiseert de snelheid wanneer er al dan niet afremmingsstrepen worden toegepast vóór het gateway-ontwerp. Hierbij worden drie meetpunten gekozen. Het eerste meetpunt bevindt zich op de eerste streep. Het tweede punt is gekozen op het einde van de afremmingsstrepen, dus 200 meter na punt één. Het derde en laatste meetpunt bevindt zich vlak voor de overgangszone. Hierbij is een vergelijking gemaakt tussen ontwerpen zonder afremmingsstrepen (W en WS) en dezelfde variant met afremmingsstrepen (W_A en WS_A).

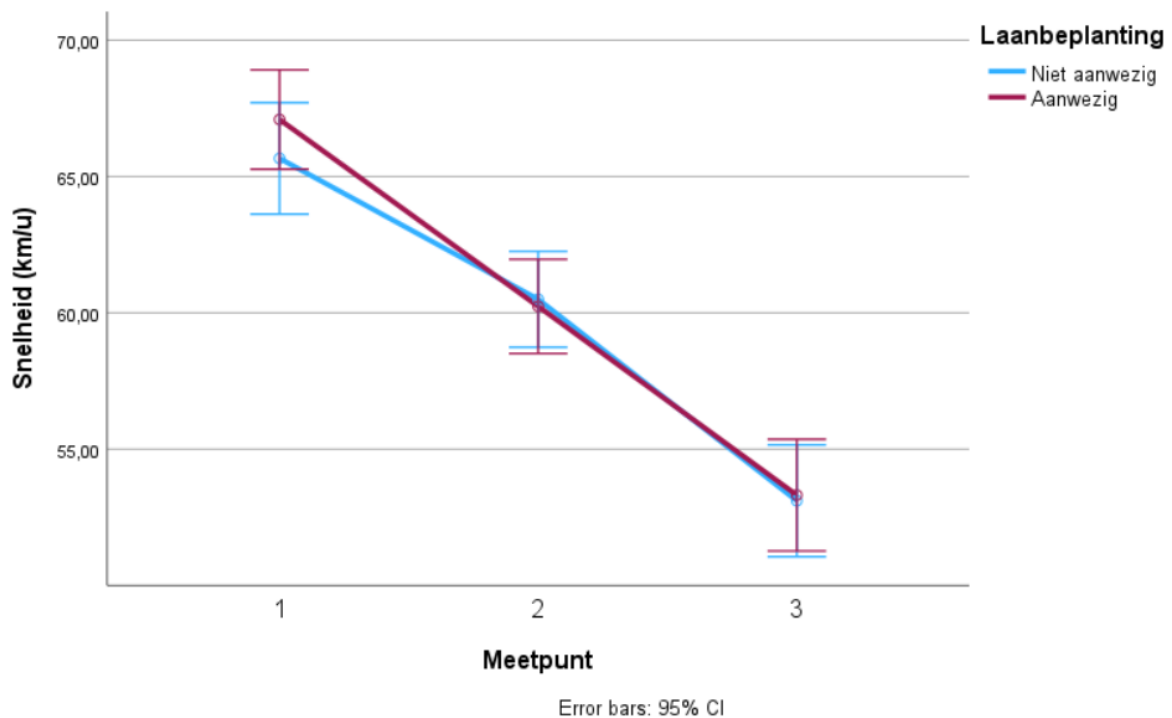


Figuur 22: Snelheidsvergelijking aanwezigheid van afremmingsstrepen versus de afwezigheid ervan

De lijnen zijn nagenoeg parallel. Dit geeft aan dat het effect van afremmingsstrepen op de snelheid consistent is. De lijn waarbij de afremmingsstrepen worden toegepast ligt steeds lager

dan wanneer er niets is toegepast. Tabel 13 bevestigt dit aan de hand van de significantiewaarde voor afremmingsstrepen.

Figuur 23 geeft de invloed van de laanbeplanting weer wanneer deze al dan niet wordt toegepast voor het gateway-ontwerp. De gekozen meetposities zijn afgestemd op die van de afremmingsstrepen om een vergelijkbare evaluatie mogelijk te maken. De methodologie voor de selectie van de onderzochte meetpunten volgt daarbij dezelfde logica als die gehanteerd bij de analyse van afremmingsstrepen.

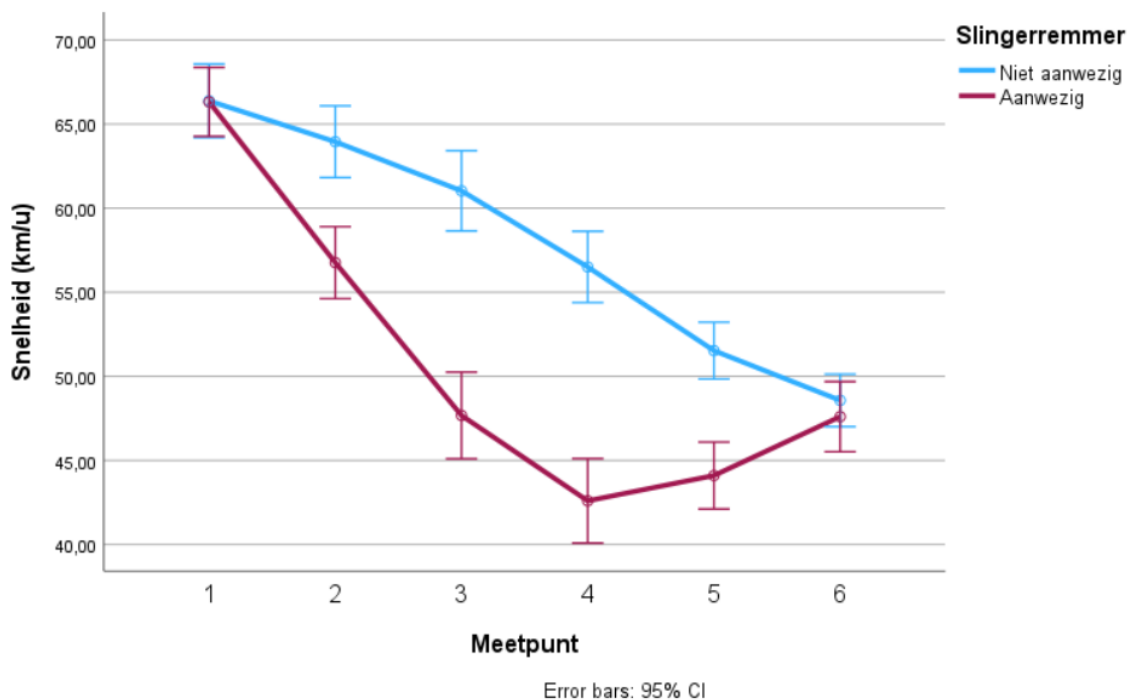


Figuur 23: Vergelijking van snelheden met en zonder laanbeplanting

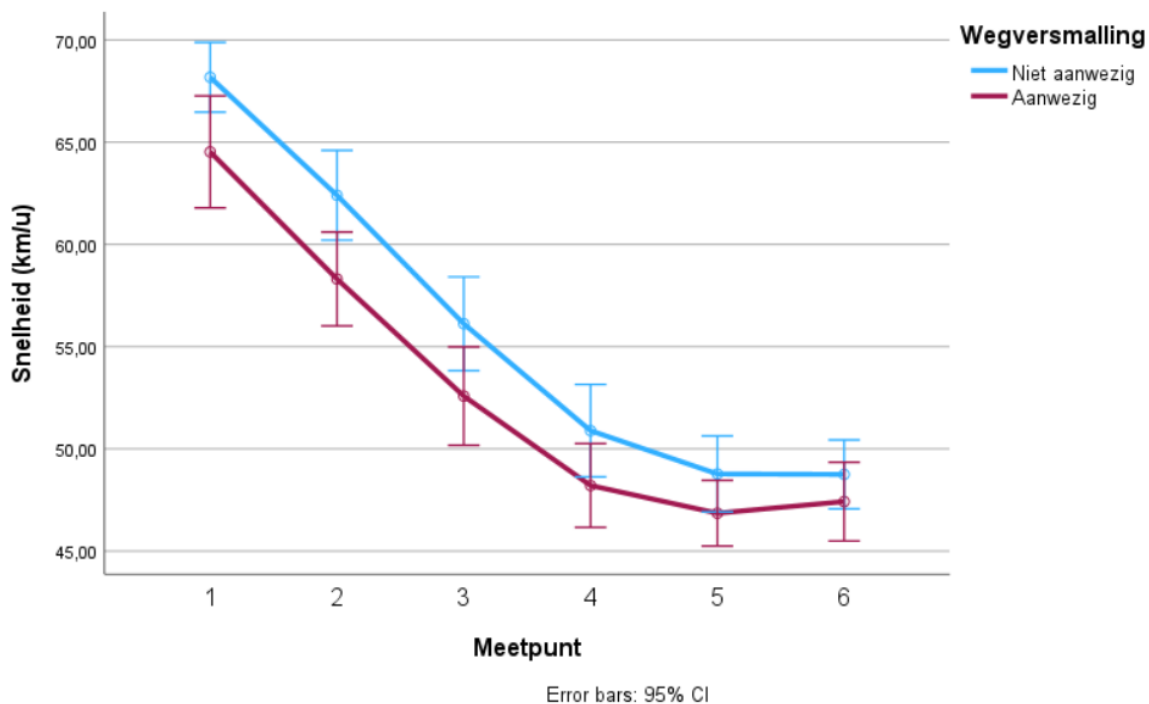
Zowel de gemiddelde snelheden als de hellingen van de snelheidsprofielen vertonen gelijkenissen in beide gevallen. Uit eerdere resultaten blijkt dat laanbeplanting geen significant effect heeft op het rijgedrag ($p = 0,41$). Dit wordt visueel ondersteund door de grafiek, waarin de lijnen van beide gevallen vrijwel samenvallen en de 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor elk meetpunt grotendeels overlappen. Hierdoor kan worden geconcludeerd dat laanbeplanting, in de onderzochte context, geen significante invloed heeft op de snelheid van bestuurders.

4.2.4 Verkeersremmers op de overgangszone

Op de overgangszone tonen Figuur 24 en 25 dat zowel de slingerremmer als de wegversmalling een effect hebben op het snelheidsverloop over de meetpunten. In beide figuren wordt de snelheid weergegeven voor meetpunten 1 tot en met 6. De aanwezigheid van een slingerremmer of wegversmalling in het ontwerp wordt geëvalueerd aan de hand van een ANOVA op de gecombineerde ontwerpvariabelen.



Figuur 24: Snelheidsverloop per meetpunt met en zonder slingerremmer



Figuur 25: Snelheidsverloop per meetpunt met en zonder wegversmalling

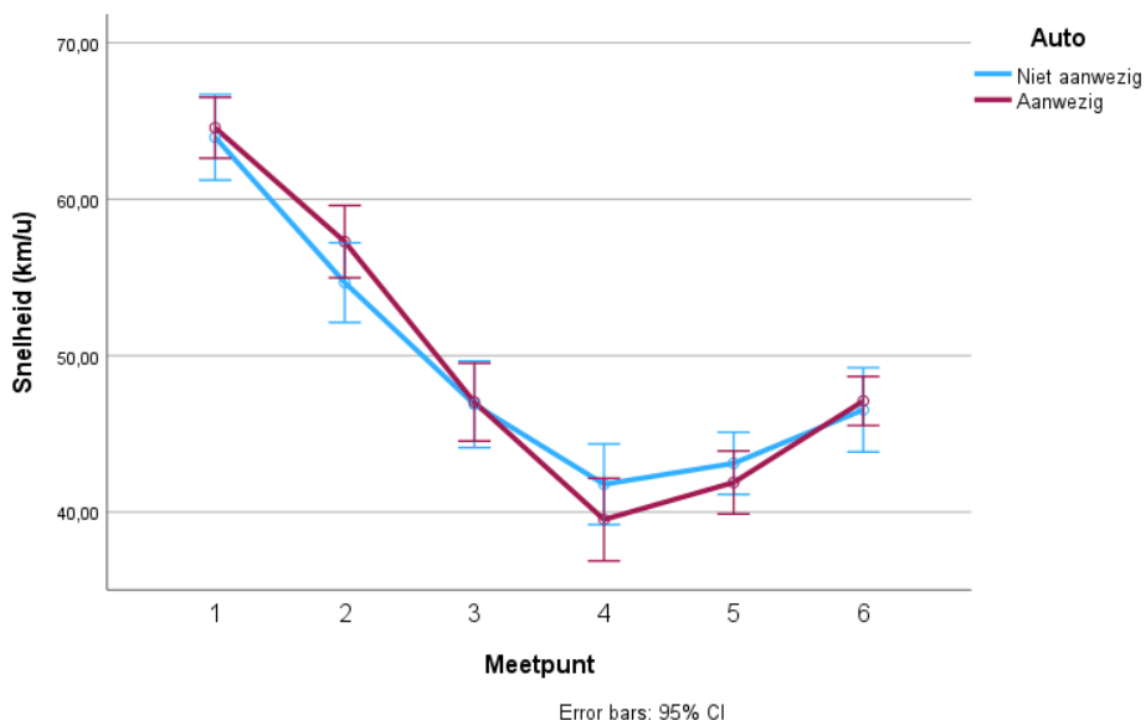
Bij beide ontwerpen daalt de gemiddelde snelheid al tot onder de 50 km/u vóór het bord BIBEKO (meetpunt 4), terwijl in het geval zonder slingerremmer of wegversmalling de gemiddelde snelheid boven de 50 km/u blijft. Naarmate de deelnemers over de gateway-ontwerpen rijden, daalt de snelheid in beide gevallen. De daling in snelheid is steiler wanneer de slingerremmer aanwezig is. Vanaf meetpunt 2 tot en met 5 is de gemeten snelheid duidelijk lager bij de

slingerremmer. Een slingerremmer verlaagt niet alleen de snelheid, maar zorgt er ook voor dat voertuigen harder afremmen.

Het snelheidsprofiel zonder wegversmalling en het snelheidsprofiel met versmalling zijn vrijwel parallel. De helling is in beide gevallen nagenoeg hetzelfde. Het snelheidsverschil dat aanwezig is aan het begin blijft nagenoeg constant van begin tot eind. Bij dit ontwerp is er ook een geleidelijke afname in snelheid.

4.2.5 Tegenliggend verkeer op slingerremmer

Figuur 26 bevestigt dat de aanwezigheid van een tegenligger bij een slingerremmer gecombineerd met een wegversmalling geen significant effect heeft op de gemiddelde snelheid van bestuurders over de verschillende meetpunten (ANOVA: $F(1,00, 50,00) = 0,053$, $p = 0,819$) (zie bijlage D). Beide snelheidsprofielen, met en zonder tegenligger, volgen een bijna identiek verloop.



Figuur 26: Snelheidspatroon met/zonder tegenligger op de slingerremmer

Zowel in aanwezigheid als afwezigheid van een tegenligger is er een duidelijke snelheidsafname tussen meetpunt 1 en 4, met een minimumsnelheid rond punt 4 (net vóór het BIBEKO-bord). Dit wijst erop dat de slingerremmer als verkeersremmende maatregel effectief is in beide omstandigheden.

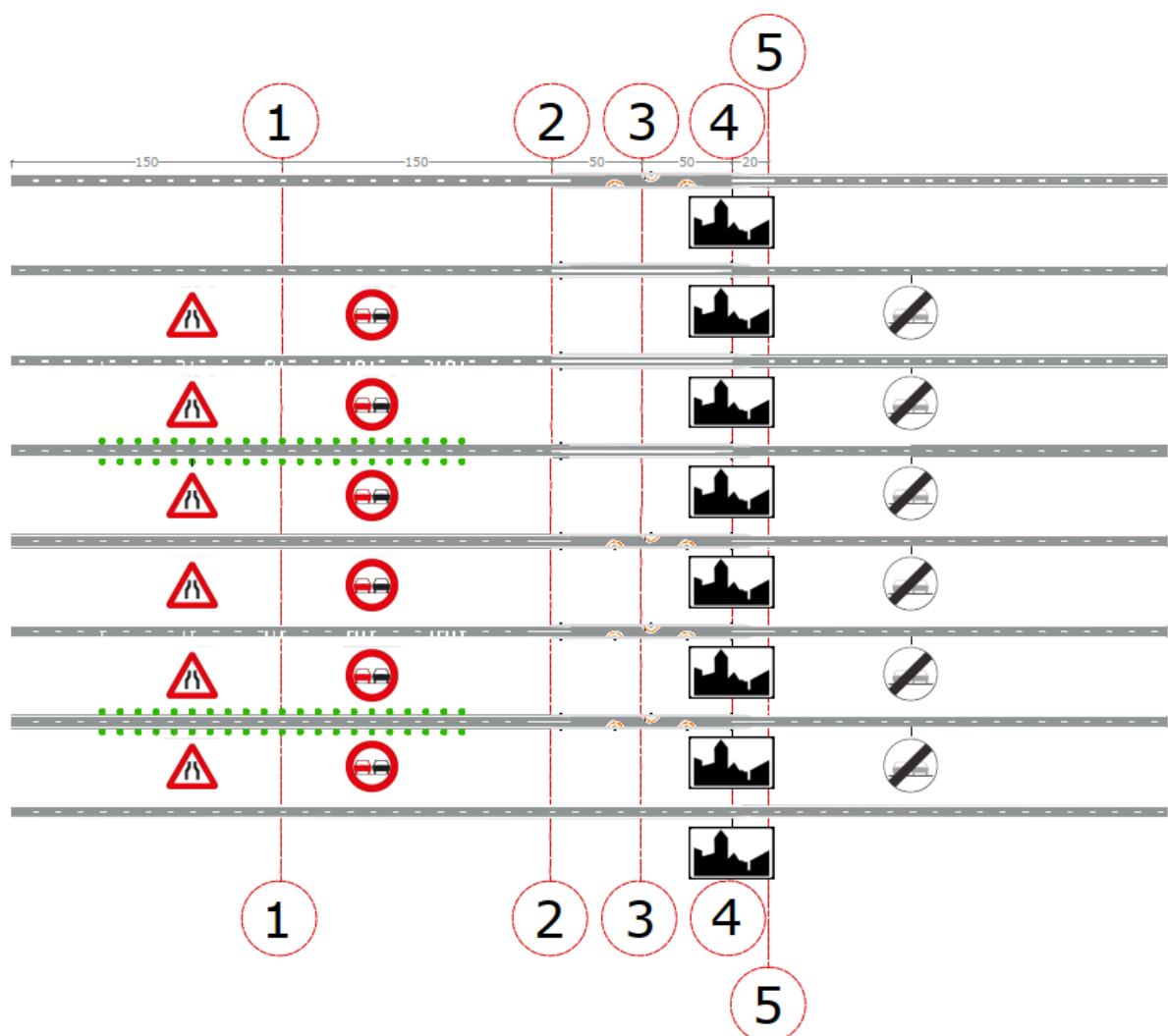
Na het dieptepunt bij meetpunt 4 nemen de snelheden tussen punt 5 en 6 opnieuw toe, maar het verschil tussen beide situaties blijft verwaarloosbaar. Over de hele lijn liggen de betrouwbaarheidsintervallen dicht bij elkaar of overlappen ze bijna volledig. Dit versterkt de

conclusie dat er geen betekenisvol verschil is tussen beide gevallen. Dit suggereert dat een slingerremmer constante waarden geeft en relatief onafhankelijk is van omgevingsfactoren.

4.3 Versnelling

4.3.1 Gemiddelde versnelling doorheen het ontwerp

Figuur 27 toont de meetpunten die relevant zijn voor het registreren van versnelling tijdens de simulatie.

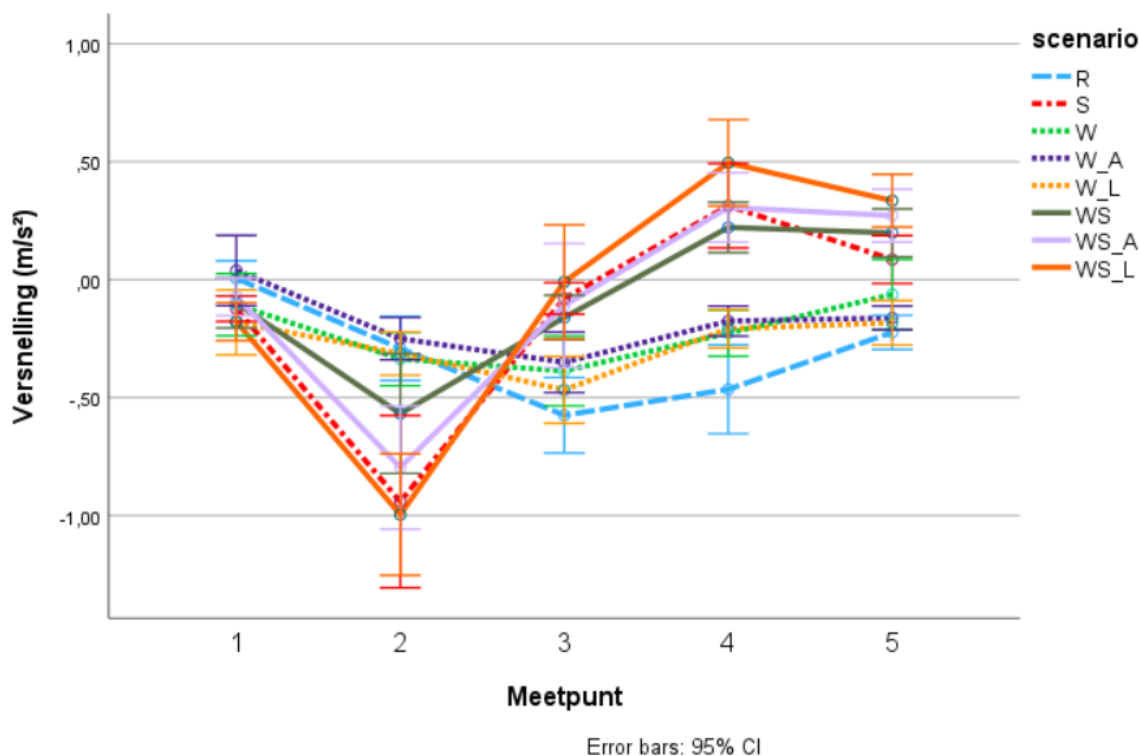


Figuur 27: Aanduiding meetpunten voor acceleratie/deceleratie

Uit de variantieanalyse blijkt dat zowel het ontwerp, het meetpunt als hun interactie een significant effect hebben op de versnelling. Tabel 16 en Figuur 28 geven dit weer.

Tabel 16: Type III Tests of Fixed Effects met snelheid als afhankelijke variabele

Bron	Df teller	Df noemer	F-waarde	Sig.
Intercept	1	50,000	156,646	<,001
Ontwerp	7	1978	6,355	<,001
Meetpunt	4	1978	75,909	<,001



Figuur 28: Versnelling i.f.v. de meetpunten

Ontwerpen met een slingerremmer tonen extremere vertraging- en versnellingswaarden, wat wijst op bruusker rijgedrag. In ontwerpen met enkel een wegversmalling of in het referentieontwerp verloopt de vertraging geleidelijk en vindt er nagenoeg geen versnelling plaats. De gepaarde analyse in Bijlage E toont ook dat ontwerpen W_L en R een significant lagere versnelling hebben dan de WS-varianten. Opvallend is dat in het referentieontwerp de sterkste negatieve versnelling wordt gemeten ter hoogte van meetpunt 4 (bij het bord 'begin bebouwde kom').

In het gemengde model met versnelling als afhankelijke variabele wordt nagegaan in welke mate het ontwerp invloed heeft op de gemiddelde versnelling. De interceptie van het model bedraagt -0,107 m/s². Dit betekent dat er in het referentieontwerp en op het referentiemeetpunt (meetpunt 5) gemiddeld sprake is van een lichte vertraging. Een positieve geschatte waarde wijst op een versnellingstoename ten opzichte van het referentieontwerp. Een negatieve geschatte waarde wijst op een versnellingsafname ten opzichte van het referentieontwerp. De ontwerpen wegversmalling en wegversmalling met laanbeplanting zijn niet significant verschillend van de referentie. De overige ontwerpen tonen een positieve geschatte waarde en zijn significant verschillend van de referentie. Dit betekent dat in deze ontwerpen de versnelling groter is dan in het referentieontwerp. Zo leiden ontwerpen met een slingerremmer tot de grootste versnelling

na het passeren van het ontwerp. Tabel 17 geeft de modelschattingen voor de gemiddelde versnelling en meetpunten weer. De referentie (ontwerp R, meetpunt 5) is als nulpunt gehanteerd.

Alle meetpunten verschillen significant van meetpunt 5, met uitzondering van meetpunt 4, waarmee geen significant verschil is vastgesteld. Negatieve geschatte waarden wijzen op een grotere vertraging op die meetpunten vergeleken met het referentieontwerp. Hoe groter de negatieve geschatte waarde, hoe sterker de afname in versnelling.

Tabel 17: Estimates of Fixed Effects met versnelling als afhankelijke variabele

Parameter	Schatting	Std. Fout	Df	t	Sig.	95% Betrouwbaarheidsinterval	
						Ondergrens	Bovengrens
Intercept	-,107	,045	1699,257	-2,390	,017	-,195	-,019
[Ontwerp=S]	,161	,051	1978	3,124	,002	,060	,262
[Ontwerp=W]	,086	,051	1978	1,673	,095	-,015	,187
[Ontwerp=W_A]	,130	,051	1978	2,525	,012	,029	,231
[Ontwerp=W_L]	,040	,051	1978	,768	,442	-,061	,140
[Ontwerp=WS]	,229	,051	1978	4,441	<,001	,128	,329
[Ontwerp=WS_A]	,230	,051	1978	4,468	<,001	,129	,331
[Ontwerp=WS_L]	,239	,051	1978	4,649	<,001	,138	,340
[Ontwerp=R]	0 ³	0	.	.	.	.	.
[Meetpunt=1]	-,122	,041	1978,000	-2,994	,003	-,202	-,042
[Meetpunt=2]	-,594	,041	1978,000	-14,600	<,001	-,674	-,514
[Meetpunt=3]	-,300	,041	1978,000	-7,366	<,001	-,379	-,220
[Meetpunt=4]	,000	,041	1978,000	,005	,996	-,080	,080
[Meetpunt=5]	0 ³	0	.	.	.	.	.

4.3.2 Effect van verkeersremmers

De slingerremmer en de wegversmalling hebben een significant effect op de gemiddelde versnelling. Andere maatregelen, zoals afremmingsstrepen en laanbeplanting, laten daarentegen geen significante invloed zien. Deze bevindingen zijn gebaseerd op een ANOVA, waarvan een samenvatting is weergegeven in Tabel 18. De volledige resultaten zijn opgenomen in Bijlage F.

³ Deze parameter wordt op nul gezet omdat hij overbodig is.

Tabel 18: Resultaten ANOVA – effecten van verkeersremmers op versnelling

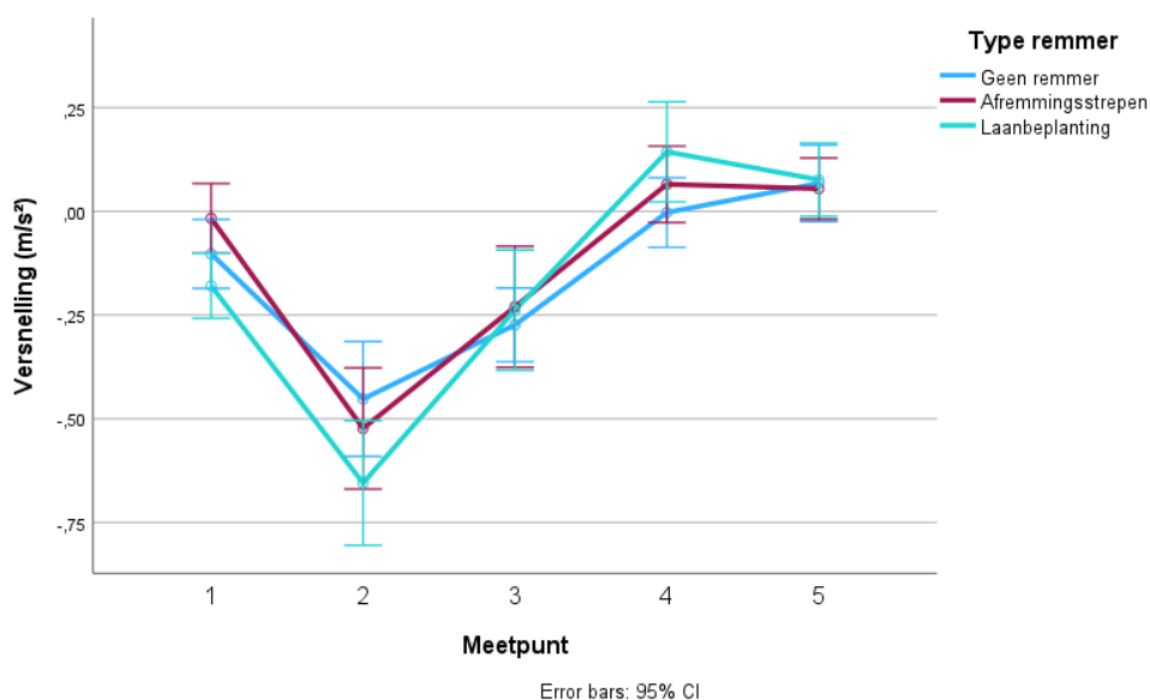
Verkeersremmer	F (df, df fout) = F	P
Laanbeplanting	$F(1,00; 101,00) = 2,701$	0,103
Afremmingsstrepen	$F(1,00; 101,00) = 2,462$	0,120
Slingerremmer	$F(1,00; 50,00) = 29,57$	< 0,001
Wegversmalling	$F(1,00; 50,00) = 5,90$	0,019

De slingerremmer blijkt het grootste effect op de gemiddelde versnelling te hebben, gevolgd door de wegversmalling. De overige maatregelen voor het gateway-ontwerp vertonen geen significant effect.

4.3.3 Verkeersremmers vóór de overgangszone

Op basis van de grafiek (Figuur 29) kunnen enkele aanvullende observaties worden gedaan ter ondersteuning van de eerder geformuleerde conclusie dat afremmingsstrepen en laanbeplanting geen significant effect hebben op de gemiddelde versnelling.

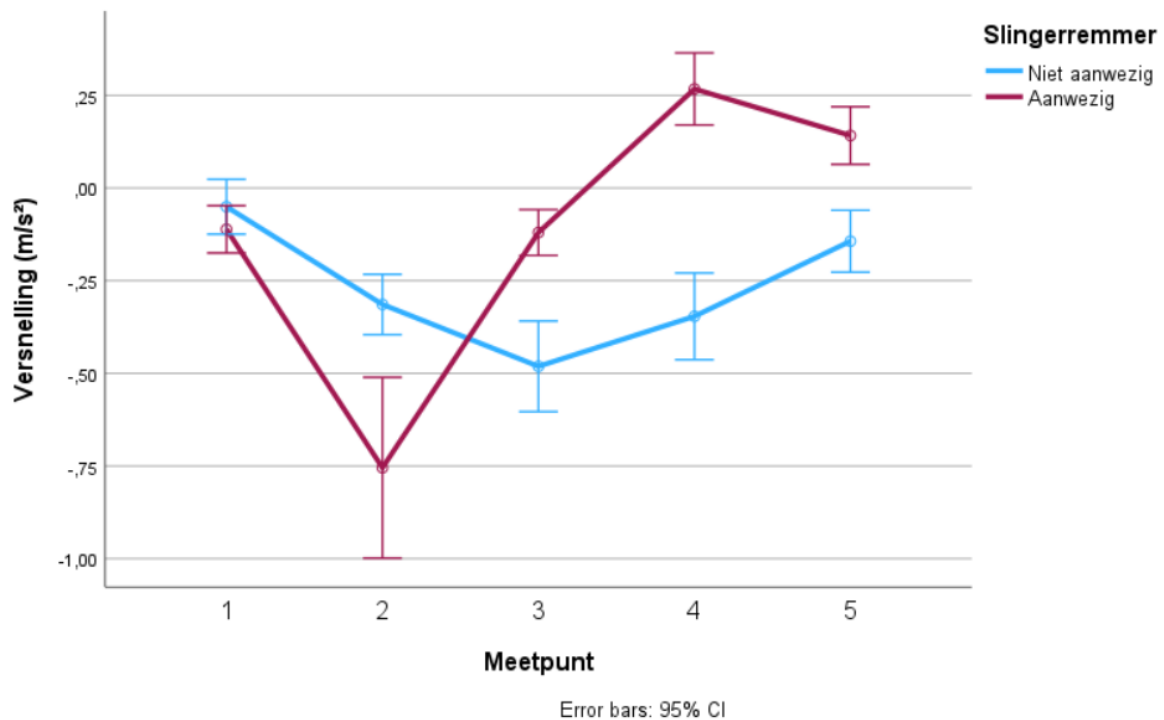
Bij beide typen remmers is een duidelijke daling in versnelling zichtbaar tussen meetpunt 1 en 2, wat wijst op een afremreactie kort na het passeren van de maatregel. Deze daling is het sterkst bij laanbeplanting, maar de foutmarges overlappen grotendeels met die van de andere lijnen, wat de afwezigheid van een significant verschil bevestigt. De relatief sterke afname in versnelling aan het einde van de laanbeplanting (meetpunt 2) kan mogelijk worden verklaard door de hogere snelheid die op dat punt nog wordt aangehouden, vóór het naderen van de slingerremmer of wegversmalling.



Figuur 29: Versnelling in functie van meetpunten voor verschillende verkeersremmers voor de gateway

4.3.4 Verkeersremmers op de overgangszone

Het versnellingsgedrag op de overgangszone verschilt sterk afhankelijk van het type verkeersremmer dat wordt toegepast. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 30 en 31. Hierin wordt respectievelijk het effect van een slingerremmer en een wegversmalling vergeleken met ontwerpen waarin er geen slingerremmer en geen wegversmalling aanwezig is.



Figuur 30: Versnelling met en zonder slingerremmer

Bij het eerste meetpunt is er nauwelijks verschil zichtbaar tussen de twee condities, wat erop wijst dat bestuurders in beide gevallen met een vergelijkbare acceleratie het gebied benaderen.

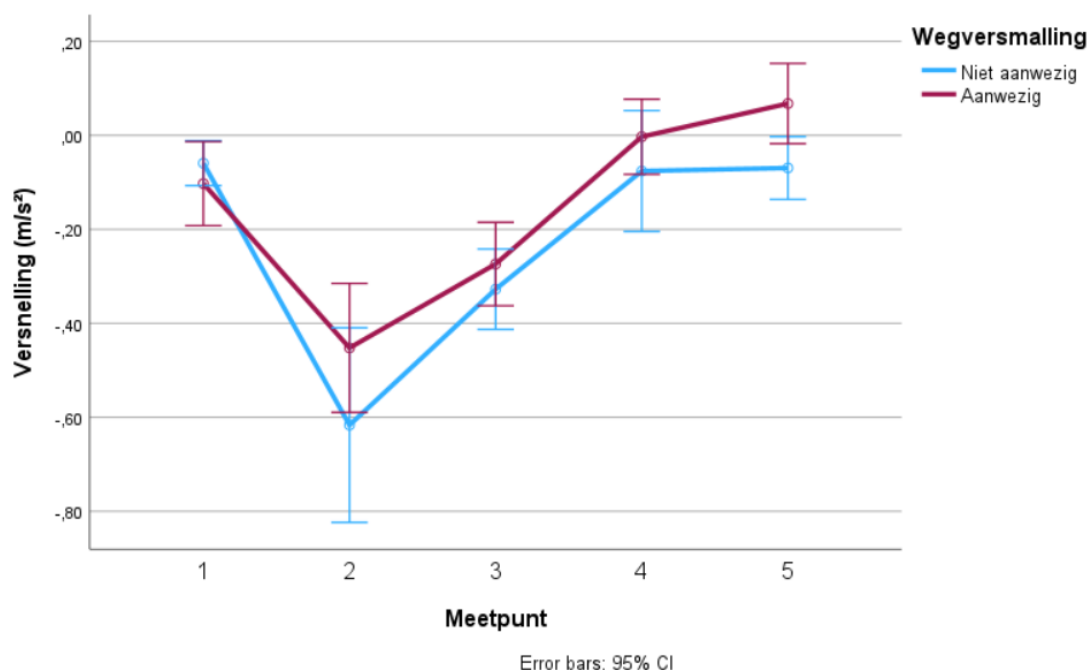
Bij het tweede meetpunt, net vóór de slingerremmer, is echter een duidelijke toename van negatieve versnelling te zien wanneer een slingerremmer aanwezig is. De gemiddelde afname in snelheid is hier aanzienlijk groter dan in de situatie zonder slingerremmer. Bovendien toont het brede 95%-betrouwbaarheidsinterval aan dat er grote verschillen bestaan in de manier waarop bestuurders reageren op de slingerremmer. Dit duidt op onzekerheid of onverwachte reacties bij het naderen ervan, wat mogelijk tot onvoorspelbare en dus potentieel onveilige verkeerssituaties leidt.

Bij meetpunt 3, ter hoogte van de slingerremmer, wordt doorgaans verder afgeremd wanneer een slingerremmer aanwezig is, gevolgd door een opvallende versnelling op meetpunt 4. Deze piek suggereert dat bestuurders na het nemen van de maatregel opnieuw sterk versnellen. De versnellingspiek na de slingerremmer suggereert een *rebound-effect*. Dit wijst erop dat de bestuurders na een sterke vertraging de tijd willen herstellen door te accelereren, wat de duurzaamheid van het effect beperkt. Interessant is ook dat bij afwezigheid van een

slingerremmer de versnelling over de meetpunten meer geleidelijk verloopt, met een continue maar gematigde afname van de snelheid.

Op meetpunt 5, dat zich op 20 m van het BIBEKO-bord bevindt, zet de versnelling zich voort in het geval van een slingerremmer, terwijl dit effect veel minder uitgesproken is bij het ontwerp zonder slingerremmer.

Wanneer er geen slingerremmer wordt toegepast, ontstaat een vloeiender remgedrag, met minder extreme versnellingen of deceleraties en blijven de deelnemers over het algemeen op elk punt vertragen. Dit is zeer opmerkelijk in punt 2 tot en met 5 waarbij het 95%-betrouwbaarheidsinterval steeds onder $0,00 \text{ m/s}^2$ ligt. Dit is gunstiger voor verkeerscomfort en veiligheid.



Figuur 31: Versnelling met en zonder wegversmalling

Bij meetpunt 1, voorafgaand aan de wegversmalling, vertonen de trajecten met en zonder wegversmalling een vrijwel identiek acceleratiepatroon. Dit wijst erop dat de aanwezigheid van een versmalling op grotere afstand geen merkbare invloed uitoefent op de versnelling van bestuurders.

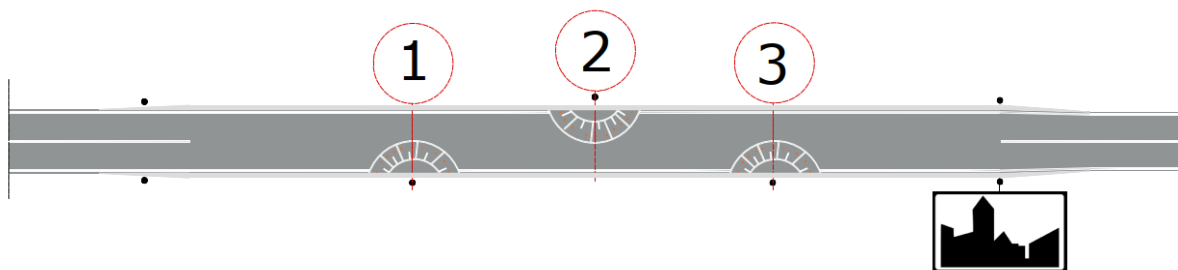
Vanaf meetpunt 2, vlak voor de fysieke wegversmalling, wordt een duidelijke vertraging waargenomen. In vergelijking met de slingerremmer is de gemiddelde negatieve versnelling hier minder uitgesproken, wat erop wijst dat bestuurders minder abrupt reageren. Bovendien is het 95%-betrouwbaarheidsinterval bij deze maatregel kleiner, wat duidt op een meer uniforme reactie onder de deelnemers. De versmalling wordt dus op een meer voorspelbare manier benaderd, wat positief is vanuit verkeersveiligheidsoogpunt.

De meetpunten 3 en 4, laten een gelijkaardig verloop zien voor beide condities.

Opvallend is meetpunt 5, net na de overgangszone en nabij het BIBEKO-bord. Enkel in het ontwerp met een wegversmalling is hier een positieve versnelling, van boven $0,00 \text{ m/s}^2$, waarneembaar. Dit duidt op een zogenaamd rebound-effect, waarbij bestuurders opnieuw versnellen na het passeren van de maatregel. In tegenstelling tot de sterke rebound die bij een slingerremmer werd vastgesteld, is dit effect hier echter gematigd, wat suggereert dat de impact van de maatregel meer gradueel en gecontroleerd verloopt.

4.4 Uitwijking

De uitwijkstrategieën van bestuurders ter hoogte van de slingerremmer werden geanalyseerd op basis van meetpunten die zijn aangeduid in Figuur 32. Het meetpunt wordt telkens genomen in het midden van de heuvel en staat dus 20 meter van elkaar.



Figuur 32: Aanduiding meetpunten voor uitwijking

4.4.1 Globale analyse

Tabel 19 geeft de gecombineerde resultaten van alle ontwerpen weer waarin een slingerremmer aanwezig is. Uit deze globale analyse blijkt dat het merendeel van de deelnemers (60,78%) ervoor kiest om rechtdoor over de heuvels van de slingerremmer te rijden. De tweede meest voorkomende strategie is slingeren, met een aandeel van 19,61%. Slechts een kleine groep kiest voor alternatieve strategieën zoals passeren via slechts één van de heuvels of rijden in het midden. De categorie ‘uitschieters’ omvat gedragingen die niet binnen de vijf vooraf bepaalde strategieën vallen en vertegenwoordigt 3,43% van de observaties. Deze categorie omvat er zeven en wordt beschouwd als niet-representatief gedrag, maar zijn belangrijk om de variabiliteit in rijgedrag volledig te begrijpen.

Tabel 19: Globaal overzicht strategie bij de slingerremmer

TOTAAL		
Strategie	Aantal	Percentage
Enkel over 1 ^{ste} heuvel	16	7,84%
Enkel over 2 ^{de} heuvel	10	4,90%
Middenrijders	7	3,43%
Over heuvels	124	60,78%
Slingeren	40	19,61%
Uitschieters	7	3,43%
Totaal	204	100,00%

4.4.2 Analyse per ontwerp

Tabel 20 toont de waarden van de gebruikte strategieën voor een slingerremmer zonder wegversmalling en tegenligger. In het ontwerp met enkel een slingerremmer rijdt 68,63% van de deelnemers over beide heuvels. Slechts 21,57% kiest ervoor om te slingeren. Uitschieters en minder gebruikelijke strategieën zoals enkel over één heuvel rijden of in het midden blijven zijn zeldzaam.

Tabel 20: Strategie slingerremmer

S		
Strategie	Aantal	Percentage
Enkel over 1 ^{ste} heuvel	2	3,92%
Enkel over 2 ^{de} heuvel	1	1,96%
Middenrijders	1	1,96%
Over heuvels	35	68,63%
Slingeren	11	21,57%
Uitschieters	1	1,96%
Totaal	51	100,00%

Bij de combinatie van een slingerremmer met een wegversmalling wordt vaker gekozen voor slingeren (35,29%). Het aantal deelnemers dat rechtdoor over de heuvels rijdt is 50,98%. De waarden voor de overige strategieën zijn terug te vinden in Tabel 21.

Tabel 21: Strategie slingerremmer en wegversmalling

WS		
Strategie	Aantal	Percentage
Enkel over 1 ^{ste} heuvel	1	1,96%
Enkel over 2 ^{de} heuvel	0	0,00%
Middenrijders	4	7,84%
Over heuvels	26	50,98%
Slingeren	18	35,29%
Uitschieters	2	3,92%
Totaal	51	100,00%

Wanneer een auto in tegengestelde richting aan het ontwerp wordt toegevoegd, kiest opnieuw het grootste aantal deelnemers (66,67%) ervoor om over de heuvels te rijden. Opvallend is het hogere aantal bestuurders dat slechts over één heuvel rijdt (17,64%). De resultaten voor de gebruikte strategieën op een slingerremmer met wegversmalling waar een tegenligger aanwezig is, is terug te vinden in onderstaande tabel (Tabel 22).

Tabel 22: Strategie slingerremmer, wegversmalling en afremmingsstrepen met een tegenligger

WS_Tegenligger		
Strategie	Aantal	Percentage
Enkel over 1 ^{ste} heuvel	13	12,75%
Enkel over 2 ^{de} heuvel	9	8,82%
Middenrijders	2	1,96%
Over heuvels	63	61,76%
Slingeren	11	10,78%
Uitschieters	4	3,92%
Totaal	102	100,00%

Figuur 33 toont visueel het percentage deelnemers dat een bepaalde rijstrategie toepaste bij drie verschillende ontwerpen met een slingerremmer.

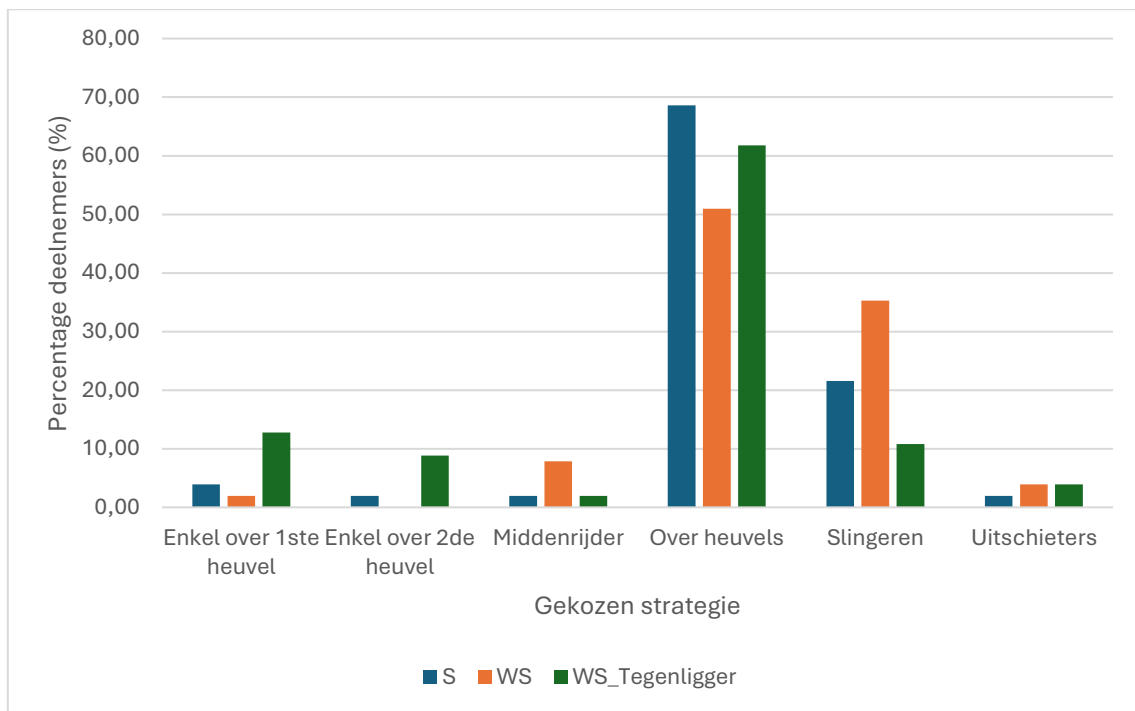
De meerderheid van de deelnemers kiest ervoor om rechtdoor over beide heuvels aan de rechterzijde te rijden, vooral bij het ontwerp met enkel de slingerremmer (68,63%). Dit percentage daalt bij WS (50,98%) en blijft hoog bij WS_Tegenligger (61,76%). Dit duidt erop dat de slingerremmer in zijn basisvorm het minst uitnodigt tot uitwijken, terwijl de versmalling dit gedrag iets meer beïnvloedt.

De strategie waarbij deelnemers een slingerbeweging maken neemt toe bij het toevoegen van de wegversmalling (35,29%). Dit wijst erop dat de versmalling visueel of fysiek sterker aanzet tot ontwijkend gedrag. Bij aanwezigheid van een tegenligger (WS_Tegenligger) zakt dit aandeel fors (10,78%), wat erop wijst dat de tegenligger deelnemers verhindert om uit te wijken.

Het percentage middenrijders is het hoogst bij WS (7,84%) en veel lager in de andere twee ontwerpen. Dit zou te wijten kunnen zijn aan deelnemers die een compromis zoeken tussen slingeren en over de heuvels rijden.

Enkel over 1^{ste} of 2^{de} heuvel komt het meest voor bij WS_Tegenligger, wat logisch is doordat het tegenliggend verkeer het moeilijker maakt om een volledige slingerbeweging uit te voeren. Het wijst op een zekere mate van aanpassing of vermijding.

Uitschieters komen in beperkte mate voor in alle ontwerpen en wijzen op niet-standaard rijgedrag dat niet onder de gedefinieerde strategieën valt.



Figuur 33: Overzicht van de strategieën bij de slingerremmer bij de verschillende ontwerpen

Deze figuur toont duidelijk aan dat de aanwezigheid van een wegversmalling en een tegenligger op een slingerremmer het gedrag van bestuurders beïnvloedt. De combinatie WS_Tegenligger leidt tot minder slingergedrag en meer rechtstreekse passage, al dan niet over één heuvel. Dit suggereert dat realistische verkeersinteracties, zoals tegenliggers, het ontwijkgedrag van de heuvels onderdrukken en een meer voorspelbaar verkeersbeeld opleveren.

5 Discussie

Dit onderzoek bevestigt dat verkeersremmende maatregelen op een gateway-ontwerp de rijnsnelheid bij de nadering van een bebouwde kom significant verlagen. Niet alle ontwerpen zijn even doeltreffend. De deelnemerspopulatie omvatte bestuurders met uiteenlopende rijervaring, waarbij jonge mannen (< 25 jaar) oververtegenwoordigd waren.

Het gebruik van een rijsimulator beperkt de realistische rijbeleving. De gemeten effecten van de toegepaste maatregelen kunnen daardoor zowel onderschat als overschat zijn. Daarom zijn praktijkstudies onder reële verkeerscondities noodzakelijk om de betrouwbaarheid van de simulatieresultaten te bevestigen.

5.1 Impact van gateway-ontwerpen

5.1.1 Algemene effecten

Alle gateway-ontwerpen verlagen de gemiddelde rijnsnelheid vóór de bebouwde kom significant. Vooral slingerremmers zorgen voor een reductie van de gemiddelde snelheid. Het toevoegen van een wegversmalling op de slingerremmer versterkt dit effect. In het referentieontwerp vertraagden bestuurders pas bij het bord 'begin bebouwde kom', terwijl bij gateway-ontwerpen de snelheid al daalde tot onder 50 km/u bij meetpunt 4, dus vóór het bord. Binnen de bebouwde kom (meetpunt 6) werd geen snelheidsverschil waargenomen tussen de verschillende gateway-ontwerpen en het referentieontwerp. Ook eerdere literatuur bevestigt dat binnen een afstand van 120 m na het gateway-ontwerp de maximumsnelheid weer overschreden wordt [4].

5.1.2 Effect slingerremmer

Van alle onderzochte maatregelen bleken slingerremmers de meest doeltreffende maatregel om de rijnsnelheid te reduceren. Zowel afzonderlijk als in combinatie met andere elementen leidden ze tot een significante daling van respectievelijk meer dan 7 km/u en meer dan 9 km/u ten opzichte van het referentieontwerp. Dit resultaat komt overeen met literatuur waarin overrijdbare slingerremmers als effectieve snelheidsbeperkende maatregel worden omschreven [10]. Bovendien gaf 76,5% van de deelnemers aan het gevoel te hebben te moeten vertragen bij het naderen van een slingerremmer.

Ter hoogte van het meetpunt 2, vlak vóór de slingerremmer, veroorzaakte de slingerremmer een abrupte rembeweging. De grote spreiding in de resultaten wijst erop dat sommige bestuurders krachtiger en vroeger remden dan anderen. Direct na de slingerremmer versnellen bestuurders weer tot de maximaal toegelaten snelheid. Zulke abrupte rembewegingen en versnellingen kunnen de verkeersveiligheid negatief beïnvloeden. Ontwerpers dienen daarom rekening te houden met deze effecten.

De keuze om over de heuvels te rijden was de meest gebruikte optie, zowel met als zonder tegenligger. Dit wijkt af van eerdere studies waarin 82% van de respondenten koos voor een slingerbeweging bij afwezigheid van tegenliggers [10]. De waarden uit de literatuur zijn gebaseerd op experimentele metingen met echte voertuigen, en niet op simulaties. De simulator kan de resultaten beïnvloeden. Mogelijke oorzaken zijn simulatormisselijkheid en het gebruik van een statische simulator. De simulatormisselijkheid werd versterkt door het verouderde programma dat zorgde voor weinig beelden per seconde. De beeldvertraging was meer merkbaar bij het nemen van bochten. Hierdoor is de kans groot dat ze daardoor onbewust minder hebben gekozen voor de slingerbeweging. Daarnaast beperkte de statische mock-up zonder force feedback de realiteitswaarde van snelheidswaarneming. Het effect van de heuvel zal hierdoor onderschat worden. Een van de deelnemers reed zelfs meer dan 15 km/u te snel over de heuvels, wat zijn gebrek aan snelheidsgevoel illustreert. De optie om op het midden tussen de heuvels te rijden werd nagenoeg niet gebruikt. Volgens [10] is het sneller om tussen de heuvels door te rijden via het midden. Dit zouden hulpdiensten kunnen doen. Hoewel hierdoor sneller gereden kan worden, blijkt deze optie toch niet de populairste te zijn.

De aanwezigheid van een tegenligger dwingt bestuurders om over de heuvels te rijden of te wachten tot het voertuig is gepasseerd. Slechts 11 deelnemers maakten een slingerbeweging bij aanwezigheid van een tegenligger, in vergelijking met 29 deelnemers zonder tegenligger. Dat meer bestuurders kiezen om over heuvels te rijden bij een tegenligger komt overeen met eerdere literatuur [10]. Geen enkele deelnemer besloot volledig stil te staan om het tegenliggende voertuig te laten passeren, wat wijst op een vlottere doorstroming dan bij niet-overrijdbare slingerremmers.

Een overrijdbare slingerremmer heeft een duidelijk positief effect op de snelheidsreductie, maar kan door abrupte rem- en versnellingsmanoeuvres negatieve veiligheidsgevolgen hebben. De slingerbeweging kan in combinatie met tegenliggend verkeer zorgen voor gevaarlijke situaties. Een onjuiste laterale positionering is een van de belangrijkste factoren die leiden tot het van de weg raken en frontale botsingen [3]. Op de slingerremmer kan namelijk geen aslijn aangebracht worden en zorgen de extra elementen voor een verandering in laterale positie. Het voordeel van de slingerbeweging ten opzichte van het rijden over de heuvels is dat voertuigen met een geringe bodemvrijheid deze verkeersremmer ook zonder schade kunnen passeren. Terwijl dit niet mogelijk is bij een verkeersdrempel.

5.1.3 Effect wegversmalling

Als individuele maatregel reduceerde de wegversmalling de gemiddelde rijnsnelheid met 3,03 km/u ten opzichte van het referentieontwerp. In combinatie met een slingerremmer levert de wegversmalling zijn maximale potentieel voor snelheidsreductie. Hoewel het effect van een wegversmalling kleiner is dan dat van een slingerremmer, is het nog steeds voldoende om de snelheid onder de toegestane limiet te brengen. In de subjectieve evaluatie ervaaarde slechts 25,5% van de deelnemers de versmalling als aanleiding tot vertragen. Dit is minder dan bij een

slingerremmer (75,9%) en is ook te zien in de resultaten van de gemiddelde snelheid. In tegenstelling tot de slingerremmer gebeurde de vertraging bij een wegversmalling zonder abrupte rembewegingen. Een wegversmalling heeft dus een positief effect op het gedrag van bestuurders bij de overgang van BUBEKO naar BIBEKO.

Wegversmallingen leiden niet tot interactie met tegenliggend verkeer. Hierdoor zullen er geen gevaarlijke situaties ontstaan met het tegenliggend verkeer. Door een combinatie van optische en fysieke versmalling aan te brengen en een vrije ruimte tussen de rijrichtingen te behouden, blijft er voldoende ruimte voor uitwijkmogelijkheden en bredere voertuigen. Zo worden gevaarlijke situaties met tegenliggers vermeden.

5.1.4 Effect afremmingsstrepen

De resultaten lieten zien dat afremmingsstrepen een klein maar significant snelheid verlagend effect hebben. In de praktijk leidt dit tot een beperkte gemiddelde reductie van rijnsnelheid van 2 km/u. De snelheidsreductie ging niet gepaard met abrupte rembewegingen. Het gevoel te moeten afremmen werd bevestigd door de deelnemers. Subjectief ervoer meer dan 50% van de deelnemers de afremmingsstrepen als snelheid verlagend. Dit wijst erop dat visuele maatregelen het gevoel geven aan bestuurders om te vertragen. Dit bevestigt eerder gevonden literatuur [3],[15],[16]. In [3] werd ook een rijnsimulator gebruikt om het resultaat te bekomen. De wegmarkeringen zijn dus effectief in het beïnvloeden van de snelheidskeuze van bestuurders doordat ze een indruk van verhoogde snelheid creëren.

De studie werd uitgevoerd met een rijnsimulator. Hierdoor ontbraken tactiele signalen waardoor het effect in werkelijkheid groter kan zijn dan wat aangetoond is in deze studie. Afremmingsstrepen vormen een geschikte ingreep vóór de overgangszone, die bestuurders visueel attendeert en subtiel naar lagere snelheden stuurt, zonder onveilige remmanoeuvres uit te lokken.

5.1.5 Effect laanbeplanting

De toepassing van laanbeplanting als visueel versmallingselement resulteerde in het minst uitgesproken effect van alle onderzochte maatregelen. Zowel objectief als subjectief werd nauwelijks een snelheidsreductie vastgesteld. Een ANOVA toonde aan dat het effect van laanbeplanting niet significant was. Ook vanuit subjectieve beleving blijkt de maatregel weinig impact te hebben. Slechts 9,80% van de deelnemers gaf aan dat de aanwezigheid van een bomenrij hen het gevoel gaf te moeten vertragen. Er werden geen bruske rembewegingen geregistreerd en ook geen duidelijke vertraging in het rijgedrag waargenomen.

Deze bevindingen staan in contrast met eerdere literatuur, waarin laanbeplanting wel degelijk wordt beschreven als een element dat de snelheid subjectief doet afnemen. Uit eerdere literatuur [17] blijkt dat begroeiing langs de weg de omgeving visueel vernauwt, wat psychologisch aanleiding geeft tot snelheidsreductie. Dit effect is met name aanwezig bij

verspreide begroeiing, zoals groepjes bomen of struiken, die het zicht op het wegverloop kan beïnvloeden en zo onzekerheid creëren. Hierbij is het cruciaal dat de afstand tussen de begroeiing en de rijbaan in rekening wordt gebracht. Hoe kleiner deze afstand, hoe sterker het snelheidsremmende effect. Meerdere studies bevestigen dat begroeiing die dicht bij de rijstrook staat, de waargenomen breedte van de weg vermindert, wat leidt tot een lagere snelheid. Daarnaast wijst recent onderzoek uit dat laanbeplanting langs stedelijke wegen gemiddeld een snelheidsreductie van 4,86 km/u veroorzaakt [18]. Deze waarde is een combinatie van waarden uit simulaties en werkelijke analyses. Bovendien toont een statische evaluatie aan dat een gevoel van ongemak toeneemt op smallere wegen met dichte vegetatie, wat mogelijk bijdraagt aan een daling in snelheid.

Echter, zijn er belangrijke verschillen in opzet tussen deze proef en de studies uit de literatuur, die de afwezigheid van effect op de snelheid mogelijk verklaren. In deze simulatorproef is ervoor gekozen om laanbeplanting uniform te implementeren: telkens hetzelfde boomtype met rechte stam van 13 meter hoog, en op 2 m van de randmarkering aan beide zijden, op een regelmatige afstand van 10 meter van elkaar, zonder overhangend effect, waardoor er geen tunneleffect ontstaat. Dit staat in contrast met natuurlijke laanstructuren in het veld, waarbij afwisseling in bladerdichtheid, stamvorm en kruinbreedte veel vaker voorkomt en een sterker afschermend of vernauwend visueel effect kan genereren.

Hoewel eerdere literatuur laanbeplanting aanwijst als een potentieel effectieve visuele snelheidsremmer, tonen de resultaten van deze simulatorstudie aan dat de specifieke implementatie cruciaal is. De homogene, open opstelling van bomen in deze proef mist het subjectieve gevoel van visuele vernauwing dat in andere studies wél aanwezig kan zijn. Dit duidt erop dat laanbeplanting op zichzelf onvoldoende effect heeft op het rijgedrag. De impact neemt pas toe wanneer de beplanting gepaard gaat met een sterkere visuele afbakening van de rijruimte, bijvoorbeeld door dichte begroeiing, overhangende kruinen of een onregelmatig patroon.

5.2 Deelnemers

Van de 54 aanvankelijke deelnemers bleven 51 deelnemers over voor de analyse. De drie uitschieters werden uit alle parameters verwijderd. Doordat dezelfde proefpersonen in alle analyses werden gebruikt, kunnen onderlinge verbanden tussen parameters worden gelegd. De deelnemerspopulatie bestond voornamelijk uit jonge mannelijke bestuurders (<25 jaar, 66,67% en 72,55% mannen). Hoewel de Levene's test homogeniteit van varianties aantoonde voor de rijervaring, moet de dominantie van jonge mannelijke bestuurders in acht genomen worden bij de interpretatie van de resultaten. De gemiddelde snelheid verschilt significant tussen jongere deelnemers (< 40) en oudere deelnemers (60+). Dit bevestigt bevindingen uit de literatuur waaruit blijkt dat het rijgedrag verandert met de leeftijd, mogelijk door afname van cognitieve en fysieke capaciteiten [25]. Het verschil tussen aangrenzende leeftijdsgroepen is niet significant, wat wijst op een geleidelijke verandering in snelheidskeuze met de leeftijd. Hierbij is het verschil tussen de leeftijdsgroepen van <25 en 25-39 jaar het minst significant. Dit

komt doordat de meerderheid van de deelnemers rond de leeftijd van 25 jaar zit. Daarnaast blijkt uit de resultaten dat er geen significant verschil is tussen geslachten. Daarom vormt de oververtegenwoordiging van mannen geen cruciale factor.

Tijdens het onderzoek waren de deelnemers zich ervan bewust dat hun rijgedrag werd geanalyseerd. Dit kan ertoe hebben geleid dat ze anders reden dan normaal. Ze letten mogelijk meer op de verkeersregels. Dit zou kunnen verklaren waarom er nagenoeg geen verschil in snelheid werd gemeten tussen de verschillende ontwerpen BIBEKO.

5.3 Meetpunten

Op basis van tabel 11 blijkt dat meetpunten 4, 5 en 6 onderling geen significante snelheidsverschillen vertonen. Daarom kunnen deze drie meetpunten worden samengevoegd tot één meetpunt. Deze meetpunten worden behouden in de analyse omdat meetpunt 5 de locatie van het bord 'bebouwde kom' markeert en meetpunt 6 als BIBEKO-controlepunt is gekozen. Dit controlepunt is gekozen om na te gaan of bestuurders na het gateway-ontwerp weer sneller rijden.

In het referentieontwerp leidt meetpunt 4 (aan het bord 'bebouwde kom') tot een grotere snelheidsreductie dan in de andere ontwerpen. Dit wijst erop dat bestuurders in het referentieontwerp pas bij het bord beginnen te vertragen, terwijl in de andere ontwerpen de snelheid al vóór het bord afneemt.

In het onderzoek worden vaste meetpunten gebruikt. Hoewel het gebruik van vaste meetpunten voordelen biedt voor de standaardisatie van de data, brengt dit ook enkele beperkingen met zich mee. Het volledige rijgedrag wordt niet vastgelegd omdat er slechts op specifieke locaties wordt gemeten. Gedragsveranderingen tussen de meetpunten gaan verloren doordat bestuurders hun rijstijl vlak voor of na een meetpunt kunnen aanpassen. Hierdoor kan het zijn dat bepaalde rijgedragingen zoals bijvoorbeeld acceleraties onder of overschat worden. De resultaten geven dan slechts een gedeeltelijk beeld van het daadwerkelijke rijgedrag over de gehele route.

5.4 Aanbeveling ontwerp

Voor een overgang van 70 km/u naar 50 km/u wordt op basis van dit onderzoek aanbevolen om de combinatie van een wegversmalling en afremmingsstrepen te gebruiken. Deze combinatie biedt een evenwicht tussen geleidelijke snelheidsverlaging en verkeersveiligheid. Het doel om de snelheid tot onder de maximumsnelheid terug te brengen vóór het binnenrijden van de bebouwde kom wordt hierbij gehaald zonder bruuske rembewegingen en uitwijkingen naar het tegenliggend verkeer te veroorzaken.

In dit ontwerp wordt de rijbaan op de overgangszone fysiek versmald tot 6,7 m en zijn vóór de versmalling afremmingsstrepen aangebracht. Strepen van 0,5 m breed zijn in groepen geplaatst om de 50 m over een afstand van 200 m, waarbij elke volgende groep één streep meer bevat. De laatste groep bevat vijf strepen. Om de veiligheid te garanderen is het belangrijk om de versmalling deels optisch te realiseren met wegmarkering. Op deze manier kunnen vrachtwagens en andere grote voertuigen passeren zonder rakelings langs elkaar af te rijden.

Een overrijdbare slingerremmer zou een geschikt ontwerp kunnen zijn bij een snelheidsovergang van 50 km/u naar 30 km/u. Zelfs bij het ontwerp waarbij een overgang is van 70 km/u naar 50 km/u, vertragen bestuurders gemiddeld al tot onder de 45 km/u. Omdat vrachtverkeer in een zone 30 eerder uitzonderlijk is, blijft de hinder beperkt. Ook in dit geval is het aan te raden om afremmingsstrepen aan te brengen vóór de slingerremmer zodat bestuurders tijdig hun snelheid geleidelijk aanpassen.

5.5 Verder onderzoek

Naast de fysieke en visuele maatregelen is het belangrijk ook de mogelijke invloed van verkeersborden en omgevingsfactoren mee te nemen in de beoordeling. In de onderzochte ontwerpen werd na het verkeersbord BIBEKO extra bebouwing toegevoegd, om een visueel onderscheid te creëren met de BUBEKO-omgeving. Deze veranderingen kunnen eveneens een invloed hebben gehad op het gedrag van de bestuurders. De afzonderlijke en gecombineerde effecten van verkeersborden zoals BIBEKO, verboden in te halen en wegversmalling in combinatie met de veranderingen in de directe omgeving verdienen daarom verdere aandacht. Een vervolgonderzoek zou zich specifiek kunnen richten op de rol die dergelijke omgevingsfactoren spelen binnen gateway-ontwerpen.

Voor toekomstige validatie zijn praktijkmetingen aangewezen die verschillende voertuigtypes, lichtomstandigheden (dag/nacht) en weersomstandigheden in rekening brengen. Zo kan worden nagegaan in welke mate een slingerremmer visueel waarneembaar blijft onder nachtelijke condities en of dit leidt tot significante verschillen in rijgedrag in vergelijking met daglichtomstandigheden. Aangezien alle analyses in dit onderzoek bij daglicht zijn uitgevoerd, kunnen deze resultaten als referentiepunt worden gehanteerd.

Een mogelijk onderzoeksvoorstel betreft de toepassing van ‘*glow-in-the-dark*’ wegmarkeringen bij slingerremmers. Omdat 59% van de bestuurders aangeeft dat een verkeersremmende maatregel niet goed opvalt in het donker [26]. Deze glow-in-the-dark wegmarkeringen kunnen de zichtbaarheid verhogen, wat mogelijks een effect heeft op de mate van ontwijkgedrag bij de slingerremmer. Eveneens kan het effect van reflectoren worden onderzocht, met aandacht voor zowel de visuele waarneming als de eventuele trillingen die deze kunnen veroorzaken, vergelijkbaar met het effect van rammelstroken, wat een bijkomend verkeersremmend effect zou kunnen veroorzaken.

Verder verdient ook de wegdekconditie aandacht. De simulaties zijn uitgevoerd onder droge omstandigheden, terwijl in realistische omstandigheden een nat wegdek het rijgedrag kan beïnvloeden. Specifiek bij slingerremmers zou onderzocht kunnen worden of bestuurders geneigd zijn minder uit te wijken wegens verhoogd slipgevaar, wat mogelijks resulteert in een hogere frequentie van rechtdoor rijden. Ook kan hierbij nagegaan worden of het aantal abrupte rembewegingen zou kunnen afnemen, eveneens om slipgevaar te vermijden.

Of een overrijdbare slingerremmer een geschikt ontwerp is voor een overgang van 50 km/u naar 30 km/u kan nog onderzocht worden. Hierbij kunnen verschillende ontwerpen gemaakt worden die telkens een slingerremmer bevatten. Eventueel kan ook onderzocht worden welke tussenafstand, overlap en hoogte nodig is om een overrijdbare slingerremmer te laten werken voor een overgang van 70 km/u naar 50km/u.

Daarnaast kan onderzocht worden of afremmingsstrepen in de praktijk een gunstiger effect hebben, met name of die leiden tot een grotere en geleidelijke snelheidsreductie vóór het bereiken van de slingerremmer. Indien bestuurders daardoor eerder afremmen, zou dit kunnen resulteren in minder abrupte stuur- of rembewegingen, waardoor de combinatie van beide maatregelen mogelijk wel een positief effect heeft, ook op het vlak van verkeersveiligheid.

Tot slot is het aan te bevelen om praktijkmetingen uit te voeren en deze te vergelijken met de resultaten van de rijsimulator. Dergelijke metingen zijn van belang om de mate van overeenstemming tussen gesimuleerde en daadwerkelijke rijervaringen te beoordelen. Bovendien kunnen aanvullende praktijkmetingen inzicht bieden in een meer realistische of gevarieerde toepassing van beplanting om het beoogde effect in de werkelijke omgeving op te roepen. Een dergelijke vergelijking is noodzakelijk om de accuraatheid en validiteit van de resultaten uit de rijsimulator op een verantwoorde wijze te kunnen evalueren.

6 Conclusie

Samenvattend blijkt uit dit onderzoek dat fysieke maatregelen met een obstakelkarakter significant effectiever zijn in het beïnvloeden van het rijgedrag dan uitsluitend optische of landschappelijke ingrepen. Visuele of esthetische maatregelen, zoals afremmingsstrepen of laanbeplanting, blijken op zichzelf onvoldoende om een structurele snelheidsreductie te realiseren.

Een combinatie van afremmingsstrepen vóór de overgangszone en een wegversmalling ter hoogte van de overgangszone komt in dit onderzoek naar voren als het meest verkeersveilige ontwerp. Deze configuratie leidt tot een geleidelijke vertraging zonder dat bestuurders genoodzaakt zijn tot abrupte remacties, wat bijdraagt aan de verkeersveiligheid en het rijcomfort.

Hoewel de slingerremmer in dit onderzoek het sterkste effect op de snelheid genereert, gaat dit voordeel gepaard met nadelen op het gebied van veiligheid. De sterke vertraging wordt bereikt door plotseling remmen en het ontwijken van fysieke verhogingen, wat het risico op onveilige verkeerssituaties vergroot. Desondanks kan een slingerremmer in bepaalde situaties, waar een zeer krachtig snelheid reducerend effect noodzakelijk is, wel degelijk een waardevol instrument zijn, mits zorgvuldig ontworpen en toegepast in een passende context. De toevoeging van laanbeplanting blijkt daarentegen geen significant effect te hebben op het rijgedrag, en wordt daarom niet aanbevolen als op zichzelf staande maatregel in het kader van snelheidsbeïnvloeding.

Op basis van deze bevindingen wordt aan wegbeheerders geadviseerd om bij de inrichting van snelheidsovergangen primair te focussen op fysiek waarneembare en voelbare maatregelen, zoals afremmingsstrepen en wegversmallingen. Voorzichtigheid is geboden bij het toepassen van obstakelrijke maatregelen zoals slingerremmers, tenzij de verkeerssituatie expliciet om een krachtig remmend effect vraagt. Op deze manier kan de effectiviteit van het ontwerp worden gemaximaliseerd, terwijl de kans op onveilige bijwerkingen tot een minimum wordt beperkt.

Hoewel dit onderzoek waardevolle inzichten biedt onder gecontroleerde daglichtomstandigheden, zijn aanvullende praktijkmetingen noodzakelijk om de validiteit van de resultaten te bevestigen. Toekomstig onderzoek kan zich richten op de invloed van omgevingsfactoren, zoals zichtbaarheid bij nacht, weersomstandigheden en wegdekcondities. Ook de effectiviteit van alternatieve visuele maatregelen zoals glow-in-the-dark wegmarkeringen of reflectoren verdient verdere studie. Tot slot is het aanbevolen om de resultaten van simulaties te vergelijken met praktijkmetingen om de overeenstemming met werkelijk rijgedrag te evalueren.

Referentielijst

- [1] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Design guidance for high-speed to low-speed transition zones for rural highways*, Washington, DC, USA: The National Academies Press, 2012.
- [2] C. Lantieri, R. Lamperti, A. Simone, M. Costa, V. Vignali, C. Sangiorgi en G. Dondi, "Gateway Design Assessment in the Transition from High to Low Speed Areas," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 34, 2015, pp. 41–53.
- [3] Q. Hussain, W. K. M. Alhajyaseen, N. Reinolsmann, K. Brijs, A. Pirdavani, G. Wets en T. Brijs, "Optical pavement treatments and their impact on speed and lateral position at transition zones: A driving simulator study," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 150, art. no. 105916, 2021.
- [4] A. Vaitkus, A. Laurinavičius, L. Žilionienė, en A. Jasiūnas, "Traffic calming measures: An evaluation of the effect on driving speed," *Promet Traffic Transp.*, vol. 29, no. 3, 2017, pp. 275–285.
- [5] G. Schermers en S. T. van der Kint, *Effectieve combinaties van snelheidsremmers op 30- en 60km/uur-wegen*, Den Haag, The Netherlands: SWOV, 2019.
- [6] A. R. A. van der Horst, *Waarnemen, aandacht en afleiding: Voorbeelden van human factors rijsimulatoronderzoek*, Soesterberg, The Netherlands: TNO Defensie en Veiligheid, 2009.
- [7] S. G. Charlton en P. H. Baas, "Speed change management for New Zealand roads," *Land Transport New Zealand Research Report 300*, Wellington, New Zealand, 2006.
- [8] J. H. Kraay, *De effecten van verkeersdrempels*, Voorburg, The Netherlands: SWOV, Rep. R-80-25, 1980.
- [9] G. Loprencipe, L. Moretti, A. Pantuso en E. Banfi, "Raised Pedestrian Crossings: Analysis of Their Characteristics on a Road Network and Geometric Sizing Proposal," *Appl. Sci.*, vol. 9, Art. no. 2844, 2019.
- [10] T. Roelofs, *Evaluatie overrijdbare slingerremmers*, Megaborn, rapport DWr1302, in opdracht van Waterschap Rivierenland, 10 maart 2014.
- [11] M. P. Bobermin, M. M. Silva, en S. Ferreira, "Driving simulators to evaluate road geometric design effects on driver behaviour", *Accid. Anal. Prev.*, vol. 150, Art. no. 105923, Feb. 2021.
- [12] T. Melman, S. Kolekar, E. Hogerwerf, en D. A. Abbink, "How road narrowing impacts the trade-off between two adaptation strategies: reducing speed and increasing neuromuscular stiffness," in *Proc. IEEE Int. Conf. Syst., Man, Cybern. (SMC)*, Toronto, ON, Canada, 2020, pp. 3235–3240.
- [13] Q. Hussain, W. K. M. Alhajyaseen, N. Reinolsmann, K. Brijs, A. Pirdavani, G. Wets, en T. Brijs, "Optical pavement treatments and their impact on speed and lateral position at transition zones: A driving simulator study," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 150, Art. no. 105916, Feb. 2021.
- [14] Agentschap Wegen en Verkeer, *Algemene omzendbrief nopens de wegsignalisatie – Deel III: Wegmarkeringen*, dienstorder MOW-AWV-2022-08, 3e versie, 9 sept. 2022.
- [15] A. Martindale en C. Ulrich, *Effectiveness of transverse road markings on reducing vehicle speeds*, NZ Transport Agency, Res. Rep. 423, Wellington, New Zealand, Oct. 2010.
- [16] J. Cornu, "Invloed van snelheidsreducerende maatregelen in bochten bij verkeerswisselaars," 2016.
- [17] L. T. Aarts, R. J. Davidse, W. J. R. Louwerse, J. Mesken, and R. F. T. Brouwer, "Herkenbare vormgeving en voorspelbaar gedrag: een theorie- en praktijkverkenning," *SWOV-rapport R-2005-17*, Leidschendam, 2006.

- [18] C. D. Fitzpatrick, C. P. Harrington, M. A. Knodler Jr., en M. R. E. Romoser, “The influence of clear zone size and roadside vegetation on driver behavior,” *Journal of Safety Research*, vol. 49, pp. 97–104, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.jsr.2014.03.006.
- [19] Agentschap Wegen en Verkeer, *Vademecum vergevingsgezinde wegen (VVW) – Deel gemotoriseerd verkeer*, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2020.
- [20] Agentschap Wegen en Verkeer, *Rijstrook-, rijbaan-en verhardingsbreedtes op gewestwegen*, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2020.
- [21] Agentschap Wegen en Verkeer, *Handleiding verticale signalisatie*, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2021.
- [22] A. Martindale and C. Ulrich, *Effectiveness of transverse road markings on reducing vehicle speeds*, NZ Transport Agency Research Report 423, Wellington, New Zealand, Oct. 2010.
- [23] A. Mas, *Utilisation des simulateurs de conduite pour l'évaluation des systèmes d'aide à la conduite en situation d'urgence* [eindwerk], École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Arts et Métiers ParisTech, Cluny, France, 2012.
- [24] A. Pirdavani, M. S. Bajestani, S. Bunjong en L. Delbare, “The Impact of Perceptual Road Markings on Driving Behavior in Horizontal Curves: A Driving Simulator Study,” *Applied Sciences*, vol. 15, nr. 8, art. 4584, apr. 2025, doi: 10.3390/app15084584.
- [25] V. Richard, C. M. Magee, en K. Johnson, *Countermeasures that work: A highway safety countermeasure guide for state highway safety offices*, 10th ed., Washington, DC, USA: U.S. Department of Transportation, 2020.
- [26] A. K. Singh and K. K. Mishra, “Study of illuminating the future: Exploring the possibilities of glow in the dark roads,” *Int. J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 8, no. 3, pp. 1–4, 2023.

Bijlagen

Bijlage A: Voor- en nabevraging



Formulier voorbevraging:

Titel van het onderzoek:

Het effect van gateway-ontwerpen op de overgang van hoge- naar lagesnelheidsgebieden en de verbetering van de veiligheid voor fietsers door een optimale inrichting van fietspaden: een rijnsimulator studie

Beste deelnemer

Gelieve dit document in te vullen voordat u wordt opgehaald door de onderzoeker. Indien er onduidelijkheden zijn over de vragen, kunt u deze tijdelijk open laten en zal de onderzoeker deze vragen later met u overlopen.

Hartelijk dank voor uw medewerking.

Persoonlijke gegevens:

Naam en voornaam:

Geboortejaar:

Geslacht: ☐ Man
☐ Vrouw

Rij Informatie:

Welk type rijbewijs bezit u en sinds wanneer?

- ☐ A, sinds *(jaartal)*
- ☐ B, sinds *(jaartal)*
- ☐ C, sinds *(jaartal)*
- ☐ D, sinds *(jaartal)*

Hoeveel kilometer rijdt u gemiddeld per jaar als bestuurder?

- ☐ 0 tot 4.999 km
- ☐ 5.000 tot 9.999 km
- ☐ 10.000 tot 14.999 km
- ☐ 15.000 tot 19.999 km
- ☐ 20.000 tot 25.000 km
- ☐ Meer dan 25.000 km

Rijdt u meestal handgeschakeld of via automatische versnelling?

☐ Handgeschakeld

☐ Automatisch

Heeft u al eerder een rijsimulator gebruikt?

☐ ja

☐ nee

Indien ja: Had u last van simulatorziekte?

☐ ja

☐ nee

Gebruikt u vaak cruise control of rijhulpsystemen

☐ ja

☐ nee

Hebt u last van wagenziekte?

☐ ja

☐ nee

Extra Informatie:

Had u een goede nachtrust voor het aanvangen van de rijsimulator?

☐ Ja

☐ Nee

Heeft u lichamelijke beperkingen?

☐ Ja

☐ Nee

Bent u onder invloed van alcohol of drugs?

☐ Ja

☐ Nee

Datum:

Link naar Google Forms: <https://forms.gle/PppybcgMqBnNqZKu9>

Formulier nabevraging



Titel van het onderzoek:

Het effect van gateway-ontwerpen op de overgang van hoge- naar lagesnelheidsgebieden en de verbetering van de veiligheid voor fietsers door een optimale inrichting van fietspaden: een rijsimulator studie

Hoe was uw ervaring met de rijsimulator?

☐ uitstekend

☐ goed

☐ gematigd

☐ slecht

☐ zeer slecht

Hoe nauw sluit rijden in de simulator aan op het rijden in de realiteit?

☐ uitstekend ☐ goed ☐ gematigd ☐ slecht ☐ zeer slecht

Had u een realistische ervaring van snelheid in de simulator?

☐ uitstekend ☐ goed ☐ gematigd ☐ slecht ☐ zeer slecht

Ervaarde u duizeligheid of misselijkheid tijdens het rijden in de simulator?

☐ Duizeligheid ☐ Misselijkheid ☐ Geen van beiden

Gateway ontwerpen

Had u het gevoel dat u moest vertragen bij het passeren van een slingerremmer?

☐ ja ☐ nee ☐ niet gezien

Had u het gevoel dat u moest vertragen bij het passeren van een wegversmalling?

☐ ja ☐ nee ☐ niet gezien

Had u het gevoel dat u moest vertragen bij het passeren laanbeplanting?

☐ ja ☐ nee ☐ niet gezien

Had u het gevoel dat u moest vertragen bij het passeren van afremmingsstrepen op de weg?

☐ ja ☐ nee ☐ niet gezien

Had u het gevoel dat u trager moest rijden bij het passeren van de combinatie van verkeersremmende maatregelen?

☐ ja ☐ nee ☐ niet gezien

Welke interventie ervaarde u als het effectiefst met als doel uw snelheid te doen verminderen?

--

Fietsers

Hoe effectief vond u fietssuggestiestroken in het verbeteren van de veiligheid?

☐ uitstekend ☐ goed ☐ gematigd ☐ slecht ☐ zeer slecht

Hoe effectief vond u fietsstraten in het verbeteren van de veiligheid?

☐ uitstekend ☐ goed ☐ gematigd ☐ slecht ☐ zeer slecht

Hoe effectief vond u aanliggende fietspaden in het verbeteren van de veiligheid?

☐ uitstekend ☐ goed ☐ gematigd ☐ slecht ☐ zeer slecht

Hoe veilig vond u een weg zonder fietsinfrastructuur?

☐ uitstekend ☐ goed ☐ gematigd ☐ slecht ☐ zeer slecht

Had u meer moeite met het inhalen van fietsers in een éénrichtingsstraat dan in een tweerichtingsstraat?

☐ ja ☐ nee

Vond u dat de breedte van de weg in een éénrichtingsstraat voldoende was voor een veilige interactie tussen fietsers en automobilisten?

☐ ja ☐ nee

Welke interventie ervaarde u als het effectiefst met als doel uw snelheid te doen verminderen?

Welke fietsinfrastructuur werd als de veiligste optie beschouwd op basis van uw bevindingen?

Indien u ten slotte vragen of opmerkingen heeft, gelieve deze hier neer te schrijven.

Bedankt voor uw tijd.

Datum:

Link naar Google Forms: <https://forms.gle/Gxk4pbtm5VMJeBCV8>

Bijlage B: Pairwise Comparisons van de ontwerpen (snelheid als variabele)

Pairwise Comparisons

(I) Ontwerp	(J) Ontwerp	Mean		Df	Sig.	95% Betrouwbaarheidsinterval	
		Difference (I-J)	Std. Fout			Ondergrens	Bovengrens
S	W	-4,283	,608	2409	<,001	-6,184	-2,382
	W_A	-3,391	,608	2409	<,001	-5,292	-1,489
	W_L	-4,040	,608	2409	<,001	-5,942	-2,139
	WS	2,705	,608	2409	<,001	,804	4,607
	WS_A	3,170	,608	2409	<,001	1,269	5,071
	WS_L	2,090	,608	2409	,017	,189	3,992
	ZR	-7,315	,608	2409,000	<,001	-9,216	-5,414
W	S	4,283	,608	2409	<,001	2,382	6,184
	W_A	,892	,608	2409	1,000	-1,009	2,794
	W_L	,243	,608	2409	1,000	-1,659	2,144
	WS	6,988	,608	2409	<,001	5,087	8,890
	WS_A	7,453	,608	2409	<,001	5,551	9,354
	WS_L	6,373	,608	2409	<,001	4,472	8,275
	ZR	-3,032	,608	2409,000	<,001	-4,934	-1,131
W_A	S	3,391	,608	2409	<,001	1,489	5,292
	W	-,892	,608	2409	1,000	-2,794	1,009
	W_L	-,650	,608	2409	1,000	-2,551	1,252
	WS	6,096	,608	2409	<,001	4,195	7,997
	WS_A	6,560	,608	2409	<,001	4,659	8,462
	WS_L	5,481	,608	2409	<,001	3,580	7,382
	ZR	-3,925	,608	2409,000	<,001	-5,826	-2,023
W_L	S	4,040	,608	2409	<,001	2,139	5,942
	W	-,243	,608	2409	1,000	-2,144	1,659
	W_A	,650	,608	2409	1,000	-1,252	2,551
	WS	6,746	,608	2409	<,001	4,844	8,647
	WS_A	7,210	,608	2409	<,001	5,309	9,111
	WS_L	6,131	,608	2409	<,001	4,229	8,032
	ZR	-3,275	,608	2409,000	<,001	-5,176	-1,374
WS	S	-2,705	,608	2409	<,001	-4,607	-,804
	W	-6,988	,608	2409	<,001	-8,890	-5,087
	W_A	-6,096	,608	2409	<,001	-7,997	-4,195
	W_L	-6,746	,608	2409	<,001	-8,647	-4,844
	WS_A	,465	,608	2409	1,000	-1,437	2,366
	WS_L	-,615	,608	2409	1,000	-2,516	1,286
	ZR	-10,020	,608	2409,000	<,001	-11,922	-8,119
WS_A	S	-3,170	,608	2409	<,001	-5,071	-1,269
	W	-7,453	,608	2409	<,001	-9,354	-5,551
	W_A	-6,560	,608	2409	<,001	-8,462	-4,659
	W_L	-7,210	,608	2409	<,001	-9,111	-5,309
	WS	-,465	,608	2409	1,000	-2,366	1,437
	WS_L	-1,080	,608	2409	1,000	-2,981	,822

	ZR	-10,485	,608	2409,000	<,001	-12,386	-8,584
WS_L	S	-2,090	,608	2409	,017	-3,992	-,189
	W	-6,373	,608	2409	<,001	-8,275	-4,472
	W_A	-5,481	,608	2409	<,001	-7,382	-3,580
	W_L	-6,131	,608	2409	<,001	-8,032	-4,229
	WS	,615	,608	2409	1,000	-1,286	2,516
	WS_A	1,080	,608	2409	1,000	-,822	2,981
	ZR	-9,405	,608	2409,000	<,001	-11,307	-7,504
ZR	S	7,315	,608	2409,000	<,001	5,414	9,216
	W	3,032	,608	2409,000	<,001	1,131	4,934
	W_A	3,925	,608	2409,000	<,001	2,023	5,826
	W_L	3,275	,608	2409,000	<,001	1,374	5,176
	WS	10,020	,608	2409,000	<,001	8,119	11,922
	WS_A	10,485	,608	2409,000	<,001	8,584	12,386
	WS_L	9,405	,608	2409,000	<,001	7,504	11,307

Bijlage C: Tests of within-subjects effects slingerremmer en wegversmallings

Tests of Within-Subjects Effects

Bron		Type III Sum of Squares	Df	Gemiddelde kwadraat	F	Sig.
slingerremmer	Sphericity Assumed	15650,707	1	15650,707	128,065	<,001
	Greenhouse-Geisser	15650,707	1,000	15650,707	128,065	<,001
	Huynh-Feldt	15650,707	1,000	15650,707	128,065	<,001
	Lower-bound	15650,707	1,000	15650,707	128,065	<,001
Fout(slingerremmer)	Sphericity Assumed	6110,437	50	122,209		
	Greenhouse-Geisser	6110,437	50,000	122,209		
	Huynh-Feldt	6110,437	50,000	122,209		
	Lower-bound	6110,437	50,000	122,209		
wegversmallings	Sphericity Assumed	2518,282	1	2518,282	29,586	<,001
	Greenhouse-Geisser	2518,282	1,000	2518,282	29,586	<,001
	Huynh-Feldt	2518,282	1,000	2518,282	29,586	<,001
	Lower-bound	2518,282	1,000	2518,282	29,586	<,001
Fout(wegversmallings)	Sphericity Assumed	4255,920	50	85,118		
	Greenhouse-Geisser	4255,920	50,000	85,118		
	Huynh-Feldt	4255,920	50,000	85,118		
	Lower-bound	4255,920	50,000	85,118		
meetpunten	Sphericity Assumed	58145,170	5	11629,034	232,825	<,001
	Greenhouse-Geisser	58145,170	2,771	20985,896	232,825	<,001
	Huynh-Feldt	58145,170	2,950	19713,325	232,825	<,001
	Lower-bound	58145,170	1,000	58145,170	232,825	<,001
Fout(meetpunten)	Sphericity Assumed	12486,901	250	49,948		
	Greenhouse-Geisser	12486,901	138,534	90,136		
	Huynh-Feldt	12486,901	147,477	84,670		
	Lower-bound	12486,901	50,000	249,738		
slingerremmer * wegversmallings	Sphericity Assumed	8,175	1	8,175	,080	,779
	Greenhouse-Geisser	8,175	1,000	8,175	,080	,779

	Huynh-Feldt	8,175	1,000	8,175	,080	,779
	Lower-bound	8,175	1,000	8,175	,080	,779
Fout(slingerremmer* wegversmallig)	Sphericity Assumed	5129,425	50	102,588		
	Greenhouse- Geisser	5129,425	50,000	102,588		
	Huynh-Feldt	5129,425	50,000	102,588		
	Lower-bound	5129,425	50,000	102,588		
slingerremmer * meetpunten	Sphericity Assumed	8808,206	5	1761,641	54,918	<,001
	Greenhouse- Geisser	8808,206	3,083	2856,973	54,918	<,001
	Huynh-Feldt	8808,206	3,309	2662,105	54,918	<,001
	Lower-bound	8808,206	1,000	8808,206	54,918	<,001
Fout(slingerremmer* meetpunten)	Sphericity Assumed	8019,469	250	32,078		
	Greenhouse- Geisser	8019,469	154,153	52,023		
	Huynh-Feldt	8019,469	165,437	48,475		
	Lower-bound	8019,469	50,000	160,389		
wegversmallig * meetpunten	Sphericity Assumed	299,015	5	59,803	1,855	,103
	Greenhouse- Geisser	299,015	2,936	101,832	1,855	,141
	Huynh-Feldt	299,015	3,139	95,245	1,855	,137
	Lower-bound	299,015	1,000	299,015	1,855	,179
Fout(wegversmallig* meetpunten)	Sphericity Assumed	8060,810	250	32,243		
	Greenhouse- Geisser	8060,810	146,817	54,904		
	Huynh-Feldt	8060,810	156,972	51,352		
	Lower-bound	8060,810	50,000	161,216		
slingerremmer * wegversmallig * meetpunten	Sphericity Assumed	333,485	5	66,697	2,730	,020
	Greenhouse- Geisser	333,485	3,112	107,156	2,730	,044
	Huynh-Feldt	333,485	3,342	99,773	2,730	,040
	Lower-bound	333,485	1,000	333,485	2,730	,105
Fout(slingerremmer* wegversmallig*meetpunten)	Sphericity Assumed	6107,023	250	24,428		
	Greenhouse- Geisser	6107,023	155,608	39,246		
	Huynh-Feldt	6107,023	167,122	36,542		
	Lower-bound	6107,023	50,000	122,140		

Tests of Within-Subjects Effects

Bron		Type III Sum of Squares	Df	Gemiddelde kwadraat	F	Sig.
Afremmingsstreden	Sphericity Assumed	586,433	1	6,327	6,327	,013
	Greenhouse-Geisser	586,433	1,000	6,327	6,327	,013
	Huynh-Feldt	586,433	1,000	6,327	6,327	,013
	Lower-bound	586,433	1,000	6,327	6,327	,013
Fout(Afremmingsstreden)	Sphericity Assumed	9361,545	101			
	Greenhouse-Geisser	9361,545	101,000			
	Huynh-Feldt	9361,545	101,000			
	Lower-bound	9361,545	101,000			
Meetpunt	Sphericity Assumed	15116,496	2	113,818	113,818	<,001
	Greenhouse-Geisser	15116,496	1,451	113,818	113,818	<,001
	Huynh-Feldt	15116,496	1,467	113,818	113,818	<,001
	Lower-bound	15116,496	1,000	113,818	113,818	<,001
Fout(Meetpunt)	Sphericity Assumed	13414,143	202			
	Greenhouse-Geisser	13414,143	146,557			
	Huynh-Feldt	13414,143	148,137			
	Lower-bound	13414,143	101,000			
Afremmingsstreden * Meetpunt	Sphericity Assumed	55,768	2	,848	,848	,430
	Greenhouse-Geisser	55,768	1,524	,848	,848	,403
	Huynh-Feldt	55,768	1,542	,848	,848	,404
	Lower-bound	55,768	1,000	,848	,848	,359
Fout(Afremmingsstreden* Meetpunt)	Sphericity Assumed	6643,143	202			
	Greenhouse-Geisser	6643,143	153,917			
	Huynh-Feldt	6643,143	155,791			
	Lower-bound	6643,143	101,000			

Tests of Within-Subjects Effects

Bron		Type III Sum of Squares	Df	Gemiddelde kwadraat	F	Sig.
Laanbeplanting	Sphericity Assumed	32,031	1	32,031	,688	,409
	Greenhouse-Geisser	32,031	1,000	32,031	,688	,409
	Huynh-Feldt	32,031	1,000	32,031	,688	,409
	Lower-bound	32,031	1,000	32,031	,688	,409
Fout(Laanbeplanting)	Sphericity Assumed	4701,229	101	46,547		
	Greenhouse-Geisser	4701,229	101,000	46,547		
	Huynh-Feldt	4701,229	101,000	46,547		
	Lower-bound	4701,229	101,000	46,547		
Meetpunt	Sphericity Assumed	17733,939	2	8866,969	109,563	<,001
	Greenhouse-Geisser	17733,939	1,502	11810,074	109,563	<,001
	Huynh-Feldt	17733,939	1,519	11672,851	109,563	<,001
	Lower-bound	17733,939	1,000	17733,939	109,563	<,001
Fout(Meetpunt)	Sphericity Assumed	16347,948	202	80,930		
	Greenhouse-Geisser	16347,948	151,661	107,793		
	Huynh-Feldt	16347,948	153,444	106,540		
	Lower-bound	16347,948	101,000	161,861		
Laanbeplanting * Meetpunt	Sphericity Assumed	77,378	2	38,689	2,274	,105
	Greenhouse-Geisser	77,378	1,203	64,309	2,274	,129
	Huynh-Feldt	77,378	1,210	63,962	2,274	,129
	Lower-bound	77,378	1,000	77,378	2,274	,135
Fout(Laanbeplanting* Meetpunt)	Sphericity Assumed	3436,123	202	17,011		
	Greenhouse-Geisser	3436,123	121,526	28,275		
	Huynh-Feldt	3436,123	122,185	28,122		
	Lower-bound	3436,123	101,000	34,021		

Bijlage D: Tests of within-Subjects Effects Auto

Tests of Within-Subjects Effects

Bron		Type III Sum of Squares	Df	Gemiddeld kwadraat	F	Sig.
auto	Sphericity Assumed	3,308	1	3,308	,053	,819
	Greenhouse-Geisser	3,308	1,000	3,308	,053	,819
	Huynh-Feldt	3,308	1,000	3,308	,053	,819
	Lower-bound	3,308	1,000	3,308	,053	,819
Fout(auto)	Sphericity Assumed	3134,320	50	62,686		
	Greenhouse-Geisser	3134,320	50,000	62,686		
	Huynh-Feldt	3134,320	50,000	62,686		
	Lower-bound	3134,320	50,000	62,686		
Meetpunt	Sphericity Assumed	14309,454	3	4769,818	149,589	<,001
	Greenhouse-Geisser	14309,454	2,063	6935,138	149,589	<,001
	Huynh-Feldt	14309,454	2,153	6644,870	149,589	<,001
	Lower-bound	14309,454	1,000	14309,454	149,589	<,001
Fout(Meetpunt)	Sphericity Assumed	4782,916	150	31,886		
	Greenhouse-Geisser	4782,916	103,166	46,361		
	Huynh-Feldt	4782,916	107,673	44,421		
	Lower-bound	4782,916	50,000	95,658		
auto * Meetpunt	Sphericity Assumed	339,595	3	113,198	8,652	<,001
	Greenhouse-Geisser	339,595	2,257	150,469	8,652	<,001
	Huynh-Feldt	339,595	2,369	143,351	8,652	<,001
	Lower-bound	339,595	1,000	339,595	8,652	,005
Fout(auto*Meetpunt)	Sphericity Assumed	1962,608	150	13,084		
	Greenhouse-Geisser	1962,608	112,845	17,392		
	Huynh-Feldt	1962,608	118,449	16,569		
	Lower-bound	1962,608	50,000	39,252		

Bijlage E: Pairwise Comparisons van de ontwerpen (versnelling als afhankelijke variabele)

Pairwise Comparisons

(I) Ontwerp	(J) Ontwerp	Gemiddeld verschil (I-J)	Std. Fout	Df	Sig.	95% Betrouwbaarheidsinterval	
						Ondergrens	Bovengrens
S	W	,075	,051	1978	1,000	-,086	,236
	W_A	,031	,051	1978	1,000	-,130	,192
	W_L	,121	,051	1978	,520	-,040	,282
	WS	-,068	,051	1978	1,000	-,229	,093
	WS_A	-,069	,051	1978	1,000	-,230	,092
	WS_L	-,078	,051	1978	1,000	-,239	,082
	ZR	,161	,051	1978	,051	,000	,322
W	S	-,075	,051	1978	1,000	-,236	,086
	W_A	-,044	,051	1978	1,000	-,205	,117
	W_L	,047	,051	1978	1,000	-,114	,208
	WS	-,142	,051	1978	,159	-,303	,019
	WS_A	-,144	,051	1978	,147	-,305	,017
	WS_L	-,153	,051	1978	,083	-,314	,008
	ZR	,086	,051	1978	1,000	-,075	,247
W_A	S	-,031	,051	1978	1,000	-,192	,130
	W	,044	,051	1978	1,000	-,117	,205
	W_L	,090	,051	1978	1,000	-,071	,251
	WS	-,099	,051	1978	1,000	-,260	,062
	WS_A	-,100	,051	1978	1,000	-,261	,061
	WS_L	-,109	,051	1978	,947	-,270	,052
	ZR	,130	,051	1978	,326	-,031	,291
W_L	S	-,121	,051	1978	,520	-,282	,040
	W	-,047	,051	1978	1,000	-,208	,114
	W_A	-,090	,051	1978	1,000	-,251	,071
	WS	-,189	,051	1978	,007	-,350	-,028
	WS_A	-,190	,051	1978	,006	-,351	-,029
	WS_L	-,200	,051	1978	,003	-,361	-,039
	ZR	,040	,051	1978	1,000	-,121	,200
WS	S	,068	,051	1978	1,000	-,093	,229
	W	,142	,051	1978	,159	-,019	,303
	W_A	,099	,051	1978	1,000	-,062	,260
	W_L	,189	,051	1978	,007	,028	,350
	WS_A	-,001	,051	1978	1,000	-,162	,160
	WS_L	-,011	,051	1978	1,000	-,172	,150
	ZR	,229	,051	1978	<,001	,068	,389
WS_A	S	,069	,051	1978	1,000	-,092	,230
	W	,144	,051	1978	,147	-,017	,305
	W_A	,100	,051	1978	1,000	-,061	,261
	W_L	,190	,051	1978	,006	,029	,351

	WS	,001	,051	1978	1,000	-,160	,162
	WS_L	-,009	,051	1978	1,000	-,170	,152
	ZR	,230	,051	1978	<,001	,069	,391
WS_L	S	,078	,051	1978	1,000	-,082	,239
	W	,153	,051	1978	,083	-,008	,314
	W_A	,109	,051	1978	,947	-,052	,270
	W_L	,200	,051	1978	,003	,039	,361
	WS	,011	,051	1978	1,000	-,150	,172
	WS_A	,009	,051	1978	1,000	-,152	,170
	ZR	,239	,051	1978	<,001	,078	,400
	S	-,161	,051	1978	,051	-,322	,000
	W	-,086	,051	1978	1,000	-,247	,075
ZR	W_A	-,130	,051	1978	,326	-,291	,031
	W_L	-,040	,051	1978	1,000	-,200	,121
	WS	-,229	,051	1978	<,001	-,389	-,068
	WS_A	-,230	,051	1978	<,001	-,391	-,069
	WS_L	-,239	,051	1978	<,001	-,400	-,078

Bijlage F: Tests of within-subjects effects versnelling

Tests of Within-Subjects Effects wegversmalling en laanbeplanting

Bron		Type III Sum of Squares	Df	Gemiddeld kwadraat	F	Sig.
Wegversmalling	Sphericity Assumed	1,508	1	1,508	5,901	,019
	Greenhouse-Geisser	1,508	1,000	1,508	5,901	,019
	Huynh-Feldt	1,508	1,000	1,508	5,901	,019
	Lower-bound	1,508	1,000	1,508	5,901	,019
Fout(Wegversmalling)	Sphericity Assumed	12,779	50	,256		
	Greenhouse-Geisser	12,779	50,000	,256		
	Huynh-Feldt	12,779	50,000	,256		
	Lower-bound	12,779	50,000	,256		
Slingerremmer	Sphericity Assumed	5,861	1	5,861	29,572	<,001
	Greenhouse-Geisser	5,861	1,000	5,861	29,572	<,001
	Huynh-Feldt	5,861	1,000	5,861	29,572	<,001
	Lower-bound	5,861	1,000	5,861	29,572	<,001
Fout(Slingerremmer)	Sphericity Assumed	9,910	50	,198		
	Greenhouse-Geisser	9,910	50,000	,198		
	Huynh-Feldt	9,910	50,000	,198		
	Lower-bound	9,910	50,000	,198		
Meetpunt	Sphericity Assumed	41,047	4	10,262	27,919	<,001
	Greenhouse-Geisser	41,047	2,408	17,044	27,919	<,001
	Huynh-Feldt	41,047	2,539	16,168	27,919	<,001
	Lower-bound	41,047	1,000	41,047	27,919	<,001
Fout(Meetpunt)	Sphericity Assumed	73,511	200	,368		
	Greenhouse-Geisser	73,511	120,417	,610		
	Huynh-Feldt	73,511	126,940	,579		
	Lower-bound	73,511	50,000	1,470		
Wegversmalling * Slingerremmer	Sphericity Assumed	,021	1	,021	,109	,742
	Greenhouse-Geisser	,021	1,000	,021	,109	,742
	Huynh-Feldt	,021	1,000	,021	,109	,742
	Lower-bound	,021	1,000	,021	,109	,742
Fout(Wegversmalling*Slingerremmer)	Sphericity Assumed	9,827	50	,197		
	Greenhouse-Geisser	9,827	50,000	,197		
	Huynh-Feldt	9,827	50,000	,197		
	Lower-bound	9,827	50,000	,197		
	Sphericity Assumed	1,340	4	,335	1,228	,300

Wegversmalling * Meetpunt	Greenhouse-Geisser	1,340	2,498	,537	1,228	,301
	Huynh-Feldt	1,340	2,640	,508	1,228	,301
	Lower-bound	1,340	1,000	1,340	1,228	,273
Fout(Wegversmalling*Meetpunt)	Sphericity Assumed	54,571	200	,273		
	Greenhouse-Geisser	54,571	124,892	,437		
	Huynh-Feldt	54,571	131,983	,413		
	Lower-bound	54,571	50,000	1,091		
Slingerremmer * Meetpunt	Sphericity Assumed	34,218	4	8,555	25,026	<,001
	Greenhouse-Geisser	34,218	2,555	13,390	25,026	<,001
	Huynh-Feldt	34,218	2,705	12,651	25,026	<,001
	Lower-bound	34,218	1,000	34,218	25,026	<,001
Fout(Slingerremmer*Meetpunt)	Sphericity Assumed	68,365	200	,342		
	Greenhouse-Geisser	68,365	127,774	,535		
	Huynh-Feldt	68,365	135,241	,506		
	Lower-bound	68,365	50,000	1,367		
Wegversmalling * Slingerremmer * Meetpunt	Sphericity Assumed	4,774	4	1,194	4,698	,001
	Greenhouse-Geisser	4,774	2,865	1,666	4,698	,004
	Huynh-Feldt	4,774	3,058	1,561	4,698	,003
	Lower-bound	4,774	1,000	4,774	4,698	,035
Fout(Wegversmalling*Slingerremmer*Meetpunt)	Sphericity Assumed	50,810	200	,254		
	Greenhouse-Geisser	50,810	143,260	,355		
	Huynh-Feldt	50,810	152,887	,332		
	Lower-bound	50,810	50,000	1,016		

Tests of Within-Subjects Effects afremmingsstreden

Bron		Type III Sum of Squares	Df	Gemiddeld kwadraat	F	Sig.
Afremmingsstreden	Sphericity Assumed	,374	1	,374	2,462	,120
	Greenhouse-Geisser	,374	1,000	,374	2,462	,120
	Huynh-Feldt	,374	1,000	,374	2,462	,120
	Lower-bound	,374	1,000	,374	2,462	,120
Fout(Afremmingsstreden)	Sphericity Assumed	15,361	101	,152		
	Greenhouse-Geisser	15,361	101,000	,152		
	Huynh-Feldt	15,361	101,000	,152		
	Lower-bound	15,361	101,000	,152		

Tests of Within-Subjects Effects laanbeplanting

Bron		Type III Sum of Squares	Df	Gemiddeld kwadraat	F	Sig.
laanbeplanting	Sphericity Assumed	,303	1	,303	2,701	,103
	Greenhouse-Geisser	,303	1,000	,303	2,701	,103
	Huynh-Feldt	,303	1,000	,303	2,701	,103
	Lower-bound	,303	1,000	,303	2,701	,103
Fout(laanbeplanting)	Sphericity Assumed	11,323	101	,112		
	Greenhouse-Geisser	11,323	101,000	,112		
	Huynh-Feldt	11,323	101,000	,112		
	Lower-bound	11,323	101,000	,112		