

Faculteit Industriële
Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
bouwkunde

Masterthesis

Analyse van de impact van verschillende ontwerpen van fietsinfrastructuur op de interactie tussenfietsers en gemotoriseerd verkeer op lokale wegen

Stijn Jamaer
Hubert Skorupa

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

Analyse van de impact van verschillende ontwerpen van fietsinfrastructuur op de interactie tussenfietsers en gemotoriseerd verkeer op lokale wegen

Stijn Jamaer
Hubert Skorupa

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

Deze masterproef met als titel 'Analyse van de impact van verschillende ontwerpen van fietsinfrastructuur op de interactie tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer op lokale wegen' vormt het sluitstuk van onze opleiding Industriële wetenschappen, met een specialisatie in bouwkunde. Ze is het resultaat van grondig en zorgvuldig onderzoek, aangevuld met praktijkgerichte toepassingen. Dit zou echter niet mogelijk zijn geweest zonder de hulp, expertise en ondersteuning van verschillende mensen, die we dan ook graag willen bedanken.

Onze bijzondere dank gaat uit naar prof. dr. ir. Ali Pirdavani, wiens waardevolle begeleiding, diepgaande kennis en kritische inzichten de richting van dit onderzoek aanzienlijk hebben beïnvloed. Zijn constructieve feedback heeft het onderzoek naar een hoger niveau getild.

Daarnaast willen we Thomas Stieglitz van IMOB hartelijk bedanken voor zijn technische expertise en onmisbare ondersteuning bij de rijnsimulator. Zijn bijdragen waren cruciaal voor het succesvol uitvoeren van de experimenten en het verkrijgen van betrouwbare resultaten. Daarnaast willen we IMOB bedanken voor het beschikbaar stellen van een van hun rijnsimulators.

Ook spreken we onze oprechte waardering uit voor de deelnemers aan de simulatiestudies, die bereid waren tijd vrij te maken voor dit onderzoek. Hun inzet en medewerking waren essentieel voor het verkrijgen van de benodigde data en het verder verfijnen van de studie.

Tot slot willen we ook onze familie en vrienden bedanken voor hun onvoorwaardelijke steun en aanmoediging gedurende onze vierjarige opleiding. Hun betrokkenheid en vertrouwen hebben ons geholpen om door te zetten tijdens moeilijke momenten. In het bijzonder willen we onze ouders bedanken voor de kansen die ze ons hebben gegeven, waardoor het voor ons mogelijk is geweest om verder te studeren en deze masteropleiding succesvol af te ronden.

Inhoudsopgave

1 Inleiding	17
1.1 Situering	17
1.2 Probleemstelling / onderzoeksvraag	17
1.3 Doelstellingen	18
1.4 Structuur scriptie	19
2 Literatuurstudie	21
2.1 Aandeel gereden kilometers per type fiets	21
2.2 Evolutie van fietsongevallen.....	21
2.2.1 Conventionele fietsers	21
2.2.2 Elektrische fietsers	22
2.2.3 Speed pedelecs	22
2.2.4 Ongevallen in verhouding tot afgelegde kilometers (2023).....	22
2.3 Meest voorkomende fietsinfrastructuren en hun veiligheid	23
2.4 Kostprijs verschillende fietsinfrastructuren	23
2.4.1 Gele fietssuggestiestroken	23
2.4.2 Rode fietsstraten.....	24
2.4.3 Rode fietspaden.....	24
2.5 Factoren die veiligheid fietsinfrastructuur beïnvloeden	24
2.6 Rijgedrag fietsers.....	25
2.7 Inhalen van fietsers	25
2.8 Betrouwbaarheid van een rijsimulator	26
2.8.1 Snelheid	26
2.8.2 Laterale positie	27
2.8.3 Simulatie van verkeersomstandigheden.....	27
2.8.4 Effect van omgeving	27
2.8.5 Gewenning aan de rijsimulator	27
2.8.6 Misselijkheid in een rijsimulator.....	28
2.9 Conclusie	28
3 Methode.....	29
3.1 Ontwerp simulatiescenario's	29
3.1.1 Keuze fietsinfrastructuren	29
3.1.2 Dimensies en omgeving fietsinfrastructuren	30
3.1.3 Kostprijs fietsinfrastructuren	33
3.1.4 Verkeer	34
3.1.5 Rijsimulator	35

3.1.6 Programmeren scenario's.....	36
3.2 Uitvoering van simulaties.....	37
3.3 Data-analyse.....	38
3.3.1 Te vergelijken aspecten per deelonderzoeksvraag.....	38
3.3.2 Te verzamelen data	39
3.3.3 Methode analyse van gegevens	40
4 Resultaten	43
4.1 Invloed van fietsinfrastructuur op interacties tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer ...	43
4.1.1 Passeerafstand	43
4.1.2 Passeersnelheid	45
4.1.3 Nodige tijd om in te halen	46
4.1.4 Nodige afstand om in te halen	47
4.1.5 Snelheidsverschil voor en na het inhalen	48
4.1.6 Gemiddelde afstand tussen auto en fietser in fietsstraten.....	50
4.1.7 Percentage bestuurders die inhalen in een fietsstraat	50
4.2 Invloed van de aanwezigheid van tegenliggers	51
4.2.1 Passeerafstand fietsers met en zonder tegenligger	51
4.2.2 Nodige tijd voor inhalen fietsers met en zonder tegenligger	51
4.2.3 Nodige afstand voor inhalen fietsers met en zonder tegenligger	52
4.3 Verschil bij het inhalen van één fietser versus twee fietsers die achter elkaar fietsen	52
4.3.1 Passeerafstand voor één fietser versus twee fietsers	52
4.3.2 Nodige tijd voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers	53
4.3.3 Nodige afstand voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers.....	54
4.3.4 Snelheidsverschil voor en na het inhalen van één fietser versus twee fietsers	55
4.4 Statistische analyse	56
4.4.1 Passeerafstand	56
4.4.2 Passeersnelheid	58
4.4.3 Inhaalafstand	60
4.4.4 Inhaaltijd	62
5 Discussie	65
5.1 Invloed van fietsinfrastructuur op interacties tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer ...	65
5.1.1 Passeerafstand	65
5.1.2 Passeersnelheid	66
5.1.3 Inhaaltijd	68
5.1.4 Inhaalafstand	69
5.1.5 Snelheidsverschil.....	70
5.1.6 Gemiddelde afstand tussen auto en fietser in fietsstraten.....	70

5.2 Invloed van de aanwezigheid van tegenliggers	70
5.2.1 Passeerafstand fietsers met en zonder tegenligger	70
5.2.2 Nodige tijd voor inhalen fietsers met en zonder tegenligger	71
5.2.3 Nodige afstand voor inhalen fietsers met en zonder tegenligger	71
5.3 Verschil bij het inhalen van één fietser versus twee fietsers die achter elkaar fietsen	71
5.3.1 Passeerafstand voor één fietser versus twee fietsers	71
5.3.2 Nodige tijd voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers	72
5.3.3 Nodige afstand voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers	72
5.3.4 Snelheidsverschil voor één fietser versus twee fietsers	72
5.4 Conclusie	73
5.4.1 Rangschikking van fietsinfrastructuur op basis van verkeersveiligheid	73
5.4.2 Ruimtelijke beperkingen en toepasbaarheid	75
5.4.3 Financiële beperkingen en kostenefficiëntie	75
5.4.4 Aanwezigheid tegenliggers	76
5.4.5 Eén fietser versus twee fietsers	76
6 Besluit	77
Referentielijst	79
Bijlagen	83

Lijst van tabellen

Tabel 1: Overzicht scenario's.....	29
Tabel 2: Kostprijs fietsinfrastructuren	33
Tabel 3: Gemiddelde passeerafstand per fietsinfrastructuur en verkeerssituatie	43
Tabel 4: Passeersnelheid	45
Tabel 5: Nodige tijd om in te halen	46
Tabel 6: Nodige afstand om in te halen	47
Tabel 7: Gemiddelde afstand tussen auto en fietser in fietsstraten.....	50
Tabel 8: Percentage bestuurders die inhalen op een fietsstraat.....	50
Tabel 9: Passeerafstand fietsers met en zonder tegenligger	51
Tabel 10: Nodige tijd voor het inhalen met en zonder tegenligger	51
Tabel 11: Nodige afstand voor inhalen fietsers met en zonder tegenligger	52
Tabel 12: Passeerafstand voor één fietser versus twee fietsers	52
Tabel 13: Nodige tijd voor het inhalen van 1 fietser versus twee fietsers	53
Tabel 14: Nodige afstand voor het inhalen van 1 fietser versus twee fietsers.....	54
Tabel 15: Type III tests of fixed effects (passeerafstand).....	56
Tabel 16: Estimates of fixed effects (passeerafstand)	57
Tabel 17: Estimates of covariance parameters (passeerafstand).....	58
Tabel 18: Type III tests of fixed effects (passeersnelheid)	58
Tabel 19: Estimates of fixed effects (passeersnelheid).....	59
Tabel 20: Estimates of covariance parameters (passeersnelheid)	60
Tabel 21: Type III tests of fixed effects (inhaalafstand)	60
Tabel 22: Estimates of fixed effects (inhaalafstand)	61
Tabel 23: Estimates of covariance parameters (inhaalafstand)	61
Tabel 24: Type III tests of fixed effects (inhaaltijd)	62
Tabel 25: Estimates of fixed effects (inhaaltijd).....	62
Tabel 26: Estimates of covariance parameters (inhaaltijd)	63

Lijst van figuren

Figuur 1: Weg zonder fietsinfrastructuur eenrichting	31
Figuur 2: Weg zonder fietsinfrastructuur tweerichting.....	31
Figuur 3: Fietssuggestiestroken tweerichting	31
Figuur 4: Fietsstraat eenrichting	32
Figuur 5: Fietsstraat tweerichting	32
Figuur 6: Aanliggend fietspad eenrichting	32
Figuur 7: Aanliggend fietspad tweerichting	33
Figuur 8: (a) 1 fietser in rijnsimulator; (b) 2 fietsers in rijnsimulator	34
Figuur 9: (a) Opstelling rijnsimulator 1; (b) Opstelling rijnsimulator 2	35
Figuur 10: (a) Opstelling stuurmotor; (b) Opstelling dashboard	35
Figuur 11: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser zonder tegenligger in tweerichtingsstraten....	48
Figuur 12: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser zonder tegenligger in eenrichtingsstraten	48
Figuur 13: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser met tegenligger in tweerichtingsstraten	49
Figuur 14: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser met tegenligger in eenrichtingsstraten.....	49
Figuur 15: Boxplots nodige snelheidsverschil inhalen 1 fietser en 2 fietsers in tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur	55
Figuur 16: Boxplots nodige snelheidsverschil inhalen 1 fietser en 2 fietsers in tweerichtingsstraten met fietssuggestiestroken	55
Figuur 17: Boxplots nodige snelheidsverschil inhalen 1 fietser en 2 fietsers in eenrichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur	56

Verklarende woordenlijst

Begrip	Uitleg
Accelererende inhaalstrategie	Een inhaalmanoeuvre waarbij de bestuurder eerst achter de fietser vertraagt en vervolgens versnelt tijdens het inhalen.
Aslijn	De aslijn is een theoretische, doorgaans geometrisch gedefinieerde lijn die het midden van een weg- of rijbaantracé representeert.
Conventionele fietsers	Personen die zich verplaatsen met een traditionele fiets zonder elektrische ondersteuning. De voortbeweging gebeurt uitsluitend door spierkracht via het trappen.
Elektrische fietsers	Personen die een fiets gebruiken met elektrische trapondersteuning (tot maximaal 25 km/u), waarbij een motor ondersteuning biedt zolang de gebruiker zelf trapt.
Estimates	De geschatte waarden van effecten of gemiddelden die worden berekend op basis van een statistisch model. Ze geven een inschatting van de relatie tussen variabelen, waarbij rekening wordt gehouden met de invloed van andere gecontroleerde factoren in het model.
Fixed effects	De geschatte gemiddelde invloed van specifieke onafhankelijke variabelen op de afhankelijke variabele, op basis van alle observaties. Deze effecten worden berekend via statistische analyse.
Force feedback	Technologie die fysieke krachten simuleert, zoals trillingen of weerstand in een stuur, om een meer realistische rijervaring te creëren.
Free flow snelheid	Verkeerssituatie waarbij de snelheid van weggebruikers niet wordt beïnvloed door andere weggebruikers. Individuen rijden met hun gewenste snelheid, zonder belemmering door verkeersdruk of interactie met overige voertuigen.
Gateway-ontwerp	Een infrastructuurelement dat wordt gebruikt om de overgang naar een andere verkeersomgeving visueel te markeren.
Head-up display (HUD)	Een systeem dat informatie zoals snelheid en navigatie-instructies projecteert op de voorruit of een transparant scherm binnen het directe gezichtsveld van de bestuurder, zodat visuele aandacht op de verkeerssituatie behouden blijft.
IMOB	Instituut voor Mobiliteit, een onderzoekscentrum dat zich richt op verkeersveiligheid en mobiliteit.
Laterale positie	De positie van een voertuig of fietser ten opzichte van de wegmarkeringen of de rand van de rijbaan.
Passeerafstand	De laterale afstand tussen een gemotoriseerd voertuig en een fietser op het moment van inhalen.
Random intercept-model	Een model dat rekening houdt met verschillen tussen personen. Elke deelnemer mag een eigen startniveau hebben, maar het effect van de onderzochte factoren is voor iedereen hetzelfde.
Schuwafstand	De afstand tussen de rand van een aanliggend fietspad en de naastgelegen rijbaan voor gemotoriseerd verkeer.

Sensation seeking-score	De mate waarin iemand op zoek is naar opwindende, nieuwe en risicovolle ervaringen, zoals het nemen van gevaarlijke risico's in verkeerssituaties.
Speed pedelecs	Een elektrische fiets die trapondersteuning biedt tot 45 km/u. In België worden speed pedelecs wettelijk beschouwd als een bromfiets klasse P. Dit betekent dat een rijbewijs AM of B, een nummerplaat, een helm en inschrijving verplicht zijn. Speed pedelecs mogen niet op fietspaden rijden tenzij anders aangegeven.
SWOV	Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, een organisatie die onderzoek doet naar verkeersveiligheid.
Vliegende inhaalstrategie	Een inhaalmanoeuvre waarbij de bestuurder een constante snelheid behoudt en zonder te vertragen de fietser passeert.

Abstract Nederlands

Door toename van fietsverkeer neemt de behoefte aan veilige fietsinfrastructuur op lokale wegen toe. Dit wordt vaak bemoeilijkt door de beperkte beschikbare ruimte en financiële middelen. Deze masterproef onderzoekt de invloed van verschillende fietsinfrastructuren op de interactie tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer. Het doel is om beleidsmakers praktische inzichten te bieden voor veilige en haalbare ontwerpkeuzes.

Vier scenario's werden uitgewerkt in STISIM Drive 3 (rijsimulator software), namelijk: geen fietsinrichting, fietssuggestiestrook, fietsstraat en aanliggend fietspad, zowel in eenrichtings- als tweerichtingsstraten. Het rijgedrag van bestuurders werd geanalyseerd op basis van parameters zoals passeerafstand, passeersnelheid, inhaalafstand en inhaaltijd.

De simulaties tonen aan dat in eenrichtingsstraten aanliggende fietspaden het veiligst zijn door grotere passeerafstanden. In tweerichtingsstraten bieden fietsstraten de meeste veiligheid, ondanks dat 55% van de bestuurders het inhaalverbod negeert. Fietsstraten blijken toch een hogere mate van veiligheid te bieden door de lage passeersnelheden en ruime inhaalafstanden. Fietssuggestiestroken vormen een goed alternatief op locaties waar de lage maximumsnelheid van fietsstraten (30 km/u) minder wenselijk is. Wat kostenefficiëntie en beschikbare ruimte betreft, zijn de veiligste opties doorgaans haalbaar. Vooral bij de aanleg van nieuwe wegen. In eenrichtingsstraten is daarentegen geen duidelijk verband tussen beschikbare ruimte en verkeersveiligheid.

Abstract in English

The increasing volume of bicycle traffic has heightened the demand for safe cycling infrastructure on local roads, where space and financial resources are often limited. This master's thesis investigates how different types of cycling infrastructure affect interactions between cyclists and motorized traffic. The goal is to provide policymakers with practical and applicable insights to support safe and feasible design choices.

Four scenarios were developed in STISIM Drive 3 (driving simulator software): no cycling infrastructure, advisory bike lanes, cycle streets, and adjacent bike lanes. These were implemented on both one-way and two-way streets. Driver behavior was analyzed using parameters such as passing distance, passing speed, overtaking distance, and overtaking time.

The simulations show that on one-way streets, adjacent bike lanes offer the highest level of safety due to greater passing distances. Cycle streets offer the most safety on two-way roads, even though 55% of drivers violated the no-overtaking rule. Nevertheless, cycle streets still demonstrated a high degree of safety due to low passing speeds and ample overtaking distances. Advisory bike lanes represent a viable alternative in cases where the low speed limit of cycle streets (30 km/h) is less desirable. In terms of cost-effectiveness and spatial feasibility, the safest options are often achievable, particularly in the planning of new road infrastructure. However, no clear relationship between space and safety was observed on one-way streets.

1 Inleiding

1.1 Situering

Fietsinfrastructuur speelt een steeds prominentere rol in hedendaagse mobiliteitsplannen. Wereldwijd groeit de aandacht voor duurzame mobiliteit, waarbij de fiets een essentiële bijdrage levert aan de reductie van files, luchtverontreiniging en de ecologische voetafdruk. In België is de fiets een populair vervoersmiddel vanwege de duurzaamheid en de positieve effecten op de gezondheid. In het Vlaams Gewest bedraagt het gemiddelde aantal fietsen per huishouden 2,19 [1]. Naast milieu- en gezondheidsvoordelen draagt fietsen tevens bij aan de ontlasting van het wegennet. Onderzoek van Acerta toont aan dat het aantal woon-werkverplaatsingen per fiets in de afgelopen 5 jaar met 35% is toegenomen [2]. Bovendien rapporteerde het Vlaams Verkeerscentrum een stijging van 11,6% in het aantal fietsers tussen 2022 en 2023 [3].

Deze toename in fietsgebruik onderstreept de noodzaak van veilige fietsinfrastructuur. Ongevallen met fietsers kunnen aanzienlijke gevolgen hebben en het ontbreken van goed ontworpen fietsinfrastructuur verhoogt het risico op ongevallen [4]. Lokale wegen vormen een essentieel onderdeel van het verkeersnetwerk en omvatten diverse typen fietsinfrastructuur, zoals vrijliggende fietspaden, fietsstroken en gedeelde rijbanen. De specifieke kenmerken van deze infrastructuren kunnen een significante invloed hebben op de verkeersveiligheid.

Volgens Statbel waren er in België in 2023 in totaal 11.912 letselongevallen bij fietsers en 101 fietsers kwamen om het leven [5]. Deze cijfers omvatten ongevallen met conventionele fietsen, elektrische fietsen en speed pedelecs. Dit benadrukt het belang van verder onderzoek naar de veiligheid van fietsers en de rol van fietsinfrastructuur in het verminderen van verkeersongevallen.

1.2 Probleemstelling / onderzoeksvraag

Met de toenemende populariteit van de fiets als vervoermiddel, ook op lokale wegen, groeit de behoefte aan veilige fietsinfrastructuur. Onderzoek van SWOV toont aan dat vrijliggende fietspaden veiliger zijn dan fietsstroken op de rijbaan, aangezien de fysieke scheiding de kans op ongevallen met gemotoriseerd verkeer verkleint [6, 7]. Het aanleggen van vrijliggende fietspaden op lokale wegen is niet altijd haalbaar vanwege ruimtegebrek en/of financiële beperkingen. Als alternatief worden andere vormen van fietsinfrastructuur, zoals fietssuggestiestroken of fietsstraten, toegepast. Door een gebrek aan onderzoek is het echter onduidelijk in welke mate deze fietsinfrastructuren bijdragen aan de veiligheid van fietsers. Met name de interactie tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer kan leiden tot ongevallen en vormt daarbij een belangrijk aandachtspunt.

In deze studie staat de volgende onderzoeksvraag centraal: ‘Hoe dragen verschillende ontwerpen van fietsinfrastructuur bij aan de interactie tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer op lokale wegen?’

Deze onderzoeksvraag is relevant binnen het bredere kader van mobiliteitsplanning, waarin beleidsmakers en planners streven naar veilige en efficiënte fietsinfrastructuur. Dit onderzoek heeft als doel verschillende fietspadontwerpen te vergelijken en meer inzicht te geven in hun invloed op de verkeersveiligheid.

Naast de onderzoeksvraag worden de volgende deelvragen onderzocht:

- Hoe beïnvloedt het type fietsinfrastructuur de interactie tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer op eenrichtings- en tweerichtingsstraten?;
- In welke mate beïnvloedt ruimtegebrek de keuze en haalbaarheid van verschillende fietspadontwerpen op lokale wegen?;
- In hoeverre beïnvloeden financiële beperkingen de keuze voor de meest geschikte fietsinfrastructuur op lokale wegen?;
- Hoe beïnvloedt de aanwezigheid van tegenliggers het inhaalgedrag van bestuurders bij verschillende fietsinfrastructuren?;
- Wat is het verschil bij het inhalen van één fietser versus twee fietsers die achter elkaar fietsen?

1.3 Doelstellingen

De doelstelling van dit onderzoek is om te bepalen hoe verschillende typen fietsinfrastructuur bijdragen aan de verkeersveiligheid van fietsers, met de nadruk op het aanpassen van bestaande infrastructuur om haalbare en effectieve verbeteringen door te voeren. Daartoe wordt de interactie tussen gemotoriseerd verkeer en fietsers geanalyseerd bij verschillende infrastructuurontwerpen. Deze ontwerpen worden geëvalueerd op hun effectiviteit in het verminderen van conflicten en ongevallen, en in het bevorderen van een veiligere interactie tussen weggebruikers.

Op basis van deze analyse wordt een praktisch toepasbaar kader ontwikkeld dat beleidsmakers ondersteunt bij het kiezen van geschikte fietsinfrastructuur voor diverse situaties. Daarbij wordt niet alleen rekening gehouden met verkeersveiligheid, maar ook met ruimtelijke en financiële randvoorwaarden, die vaak bepalend zijn voor de inrichting van lokale wegen.

Daarnaast moeten de aanbevelingen voldoen aan de geldende verkeerswetgeving en veiligheidsvoorschriften [8], die als belangrijke randvoorwaarden het onderzoekskader en de uiteindelijke conclusies mede bepalen.

1.4 Structuur scriptie

Hoofdstuk 2 behandelt de literatuurstudie, waarin een overzicht wordt gegeven van de meest voorkomende typen fietsinfrastructuren en hun impact op de veiligheid van fietsers. Daarnaast wordt onderzocht welke ruimtelijke en financiële beperkingen een rol spelen bij de keuze voor specifieke fietsinfrastructuren. Verder wordt de betrouwbaarheid van een rijnsimulator als onderzoeksmethode besproken, evenals de mate waarin een rijnsimulator een realistische representatie biedt van het werkelijke rijgedrag.

Hoofdstuk 3 beschrijft de onderzoeksmethode. Eerst wordt uitgelegd hoe de simulatiescenario's zijn ontworpen en welke fietsinfrastructuren geëvalueerd worden. Vervolgens wordt de opbouw van de simulatieomgeving toegelicht, evenals de werking van de rijnsimulator. Tot slot worden de methoden voor dataverzameling en -analyse besproken.

In Hoofdstuk 4 worden de resultaten gepresenteerd. Verschillende variabelen zoals passeerafstand, passeersnelheid, inhaaltijd en inhaalafstand worden per infrastructuurtype en verkeerssituatie weergegeven. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen situaties met en zonder tegenliggers, en tussen de aanwezigheid van één of twee fietsers. Ook worden de resultaten van de statistische analyse weergegeven.

Hoofdstuk 5 omvat de bespreking van de resultaten. De bevindingen worden geïnterpreteerd met betrekking tot de onderzoeksvragen en vergeleken met inzichten uit de literatuur. Hierbij wordt aandacht besteed aan de rangschikking van infrastructuren op vlak van veiligheid, alsook aan ruimtelijke en financiële beperkingen die een rol spelen bij de keuze voor specifieke infrastructuren.

Tot slot formuleert Hoofdstuk 6 de kernconclusies en beleidsaanbevelingen van het onderzoek. Het hoofdstuk wordt afgesloten met suggesties voor vervolgonderzoek.

2 Literatuurstudie

In de literatuurstudie wordt de evolutie van fietsongevallen in België geanalyseerd. Verder wordt onderzocht welke typen fietsinfrastructuren het meest voorkomen in België en hoe ze bijdragen aan de veiligheid van fietsers. Daarnaast worden de kosten van verschillende ontwerpen besproken, evenals de factoren die de veiligheid van fietsinfrastructuren beïnvloeden. Het rijgedrag van fietsers en de interactie tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer worden eveneens geanalyseerd. Tenslotte wordt de betrouwbaarheid van rijsimulators als onderzoeksmethode geëvalueerd, gezien het belang ervan bij het analyseren van verkeersgedrag in een gecontroleerde omgeving.

Deze literatuurstudie vormt de basis voor het verdere onderzoek en draagt bij tot het vaststellen van de relevante eigenschappen van fietsinfrastructuren.

2.1 Aandeel gereden kilometers per type fiets

Het aandeel van met conventionele fietsen afgelegde kilometers in het totale aantal reizigerskilometers steeg tussen 2017 en 2020 van 3,3% naar 4,7%, maar daalde vervolgens tot 3,0% in 2023. Voor elektrische fietsen nam het aandeel toe van 1,3% in 2017 naar 3,3% in 2020 en bleef in 2023 op datzelfde niveau. Sinds 2020 worden ook gegevens over speed pedelecs gemonitord; hun aandeel bedroeg 0,5% in 2020 en daalde tot 0,4% in 2023. Daarmee was het aandeel van elektrische fietsen in 2023 voor het eerst even groot als dat van conventionele fietsen, wat wijst op een structurele verschuiving richting elektrische mobiliteit binnen het fietsverkeer [9].

2.2 Evolutie van fietsongevallen

2.2.1 Conventionele fietsers

Volgens Statbel daalde het aantal letselongevallen bij conventionele fietsers van 8.471 in 2022 naar 7.794 in 2023. Het aantal dodelijke slachtoffers daalde van 61 naar 57 en het aantal gewonden van 8.238 naar 7.570. Deze evolutie komt overeen met een daling van respectievelijk 8% voor letselongevallen, 7% voor doden en 8% voor gewonden [5].

Over de langere periode van 2014 tot 2023 daalde het aantal letselongevallen van 9.644 naar 7.794, het aantal doden van 82 naar 57 en het aantal gewonden van 9.825 naar 7.570. In percentages betekent dit een afname van 19% voor letselongevallen, 30% voor dodelijke slachtoffers en 23% voor gewonden [5].

2.2.2 Elektrische fietsers

Volgens Statbel daalde het aantal letselongevallen met elektrische fietsen van 3.382 in 2022 naar 3.349 in 2023. Het aantal dodelijke slachtoffers steeg van 38 naar 41 en het aantal gewonden daalde van 3.302 naar 3.210. Deze evolutie komt overeen met een daling van 1% voor letselongevallen, een stijging van 8% voor doden en een daling van 3% voor gewonden [5].

Over de langere periode van 2015 tot 2023 steeg het aantal letselongevallen van 521 naar 3.349, het aantal doden van 14 naar 41 en het aantal gewonden van 501 naar 3.210. In percentages betekent dit een toename van 543% voor letselongevallen, 193% voor dodelijke slachtoffers en 541% voor gewonden [5].

2.2.3 Speed pedelecs

Volgens Statbel steeg het aantal letselongevallen tussen 2022 en 2023 van 686 naar 769, een stijging van 12%. Het aantal dodelijke slachtoffers nam toe van 1 naar 3, een stijging van 200%. Het aantal gewonden steeg van 640 naar 714, Dit komt overeen met een stijging van 12% [5].

In de periode van 2017 tot 2023 steeg het aantal letselongevallen met speed pedelecs van 57 naar 769, wat neerkomt op een toename van 1249%. Het aantal dodelijke slachtoffers nam toe van 1 naar 3, een stijging van 200%. Het aantal gewonden steeg van 56 in 2017 naar 714 in 2023, een toename van 1175% [5].

2.2.4 Ongevallen in verhouding tot afgelegde kilometers (2023)

Om de hoeveelheid letselongevallen tussen de verschillende fietstypes op een betekenisvolle manier te kunnen vergelijken, wordt het aantal letselongevallen berekend per 1% van het totale aantal gereden kilometers. Op die manier kunnen de fietstypes worden beoordeeld alsof ze elk eenzelfde afstand hebben afgelegd, waardoor het relatieve ongevalsrisico per type fiets beter te vergelijken is. In 2023 kwamen er per 1% aandeel in het totaal aantal afgelegde kilometers 2.598 letselongevallen voor bij conventionele fietsen, 1.923 bij speed pedelecs en 1.015 bij elektrische fietsen. Deze vergelijking toont aan dat het ongevalsrisico per kilometer het hoogst ligt bij conventionele fietsen, gevolgd door speed pedelecs, terwijl elektrische fietsen het relatief laagste risico vertonen.

2.3 Meest voorkomende fietsinfrastructuren en hun veiligheid

Binnen de bebouwde kom komen verschillende soorten fietsinfrastructuren voor, elk met specifieke kenmerken en veiligheidsaspecten. Deze omvatten: wegen zonder fietspaden, fietssuggestiestroken, aanliggende fietspaden, vrijliggende fietspaden en fietsstraten [8].

Wegen zonder fietspaden komen voor in straten waar geen aparte fietsvoorzieningen zijn. Onderzoek toont aan dat deze wegen risicovol kunnen zijn voor fietsers, vooral bij hoge snelheden van gemotoriseerd verkeer [4]. Ze brengen dan ook een verhoogd risico op fietsongevallen met zich mee [10].

Fietssuggestiestroken zijn rood of geel gemarkeerde stroken op de rijbaan die aangeven waar fietsers kunnen rijden. Hoewel ze de zichtbaarheid van fietsers vergroten, bieden ze geen extra bescherming [4]. Verder is het niet duidelijk of fietssuggestiestroken daadwerkelijk bijdragen aan een veiligere verkeerssituatie [11].

Aanliggende fietspaden zijn rode fietspaden die aan de zijkant van de weg liggen en door een markering en/of een kleine fysieke barrière worden gescheiden. Ze kunnen verhoogd zijn of op hetzelfde niveau liggen als de rijbaan. Deze fietspaden worden beschouwd veiliger te zijn dan fietssuggestiestroken, vooral bij hogere snelheden en druk verkeer [4].

Vrijliggende fietspaden zijn fysiek gescheiden van de rijbaan, vaak door een berm of andere barrière. Dit type infrastructuur wordt gezien als een van de veiligste oplossingen, vooral bij hoge verkeerssnelheden en intensiteiten [4].

Fietsstraten zijn wegen waar fietsers de hoofdgebruikers zijn en gemotoriseerd verkeer slechts beperkt en als te gast wordt toegestaan. Deze straten worden vaak rood gekleurd om hun functie duidelijk te maken. De snelheid is beperkt tot 30 km/u. Auto's mogen fietsers niet inhalen, wat de veiligheid en het comfort van de fietsers vergroot, vooral in woonwijken waar de ruimte voor vrijliggende fietspaden beperkt is. Dit type fietsinfrastructuur biedt hoge veiligheid door de lage toegestane snelheid en het inhaalverbod [4, 12].

2.4 Kostprijs verschillende fietsinfrastructuren

De kostprijs van fietsinfrastructuur varieert afhankelijk van het type inrichting en de gebruikte materialen. In dit hoofdstuk worden de kosten per type fietsinfrastructuur weergegeven. De prijzen zijn afkomstig van een ingenieurbureau dat anoniem wenst te blijven. Dit ingenieurbureau werkt met de mediaanprijzen, die in dit onderzoek eveneens worden gehanteerd. Alle genoemde prijzen zijn exclusief BTW. De meerprijs van gekleurd asfalt wordt steeds vermeld ten opzichte van normaal asfalt.

2.4.1 Gele fietssuggestiestroken

Fietssuggestiestroken kosten gemiddeld € 27,65 per vierkante meter. Indien er gekozen wordt voor een gekleurde asfaltaag, geldt een meerprijs van € 13,46 per vierkante. Dit komt doordat gekleurd asfalt een duurder materiaal is en extra verwerking vereist ten opzichte van normaal asfalt.

2.4.2 Rode fietsstraten

Het aanbrengen van een geverfde fietsstraatmarkering kost gemiddeld € 41,50 per vierkante meter. Als alternatief kan gekleurd asfalt gebruikt worden, wat resulteert in een meerprijs van € 9,00 per vierkante meter. Daarnaast moeten fietsstraten voorzien worden van begin- en eindmarkeringen, die € 586,65 per stuk kosten. De borden om het begin en einde van een fietsstraat aan te geven, kosten € 75 per stuk indien ze binnen de bebouwde kom worden geplaatst [13]. Indien ze buiten de bebouwde kom worden geplaatst, kosten deze € 131,25 per stuk [13]. De paal voor het bevestigen van deze borden kost € 52,50 per stuk en de beugels om de borden aan de palen te bevestigen kosten € 11,00 per set [14, 15].

2.4.3 Rode fietspaden

De verharding van rode fietspaden bestaat doorgaans uit meerdere lagen. Een AB-4D top laag met een dikte van 3 cm kost € 11,00 per vierkante meter. Een APO-B onderlaag met een dikte van 6 cm kost € 12,91 per vierkante meter. De steenslag funderingslaag (type IA) met een continue korrelverdeling en een dikte van 25 cm kost € 14,23 per vierkante meter.

De rode kleur van een fietspad kan op verschillende manieren worden aangebracht. De prijs voor een geverfd rood fietspad bedraagt € 41,50 per vierkante meter. Indien gekleurd asfalt in de plaats van verf wordt gebruikt, heeft de asfaltlaag een meerprijs van € 9,00 per vierkante meter. Witte onderbroken lijnen kosten € 7,26 per vierkante meter.

2.5 Factoren die veiligheid fietsinfrastructuur beïnvloeden

De veiligheid van fietsinfrastructuur wordt beïnvloed door verschillende factoren, waaronder de verkeersintensiteit, de snelheid van gemotoriseerd verkeer en het type fietsinfrastructuur. Onderzoek toont aan dat een lagere verkeersintensiteit en een verlaging van de maximumsnelheid bijdragen tot een hogere verkeersveiligheid [16, 17].

Daarnaast speelt de inrichting van fietsinfrastructuur een cruciale rol in het verkleinen van het risico op ongevallen. De aanwezigheid van een goede fietsinfrastructuur kan het risico op ongevallen aanzienlijk verminderen [4]. De locatie van fietsinfrastructuur is hierbij van groot belang. Zo komen veel ongevallen voor waarbij fietsers worden geraakt door een plotseling opengaande autodeur, ook wel bekend als een ongeval in de *doorring zone*. Dit type incident kan worden beperkt door de fietspaden strategischer te plaatsen, wat resulteert in een veiligere fietsomgeving [11, 18-20].

Naast de fietsinfrastructuur beïnvloedt ook de ruimtelijke bestemming van het gebied langs de weg de veiligheid van fietsers. In zones met commerciële gebouwen of kantoorgebouwen komen meer ongevallen voor, terwijl het aantal ongevallen lager ligt in gebieden met residentiële bebouwing [16, 21, 22].

2.6 Rijgedrag fietsers

Uit onderzoek blijkt dat de positie van de fietser wordt beïnvloed door verschillende factoren, waaronder het type fietsinfrastructuur, de snelheidslimiet, de totale breedte van de weg en de aanwezigheid van voertuigen. Fietzers rijden dicht bij de rand van de weg wanneer er een breed trottoir aanwezig is, met een gemiddelde afstand van 0,43 m tot de rand van de weg [23, 24].

Fietzers houden op de rijbaan zowel een primaire als een secundaire positie aan [23, 25]. De primaire positie is de laterale positie die wordt aangenomen wanneer er geen verkeer in de buurt is. De secundaire positie is de laterale positie die wordt ingenomen wanneer ander verkeer een fietser nadert en wanneer het veilig, redelijk en noodzakelijk is om sneller verkeer te laten passeren. Fietzers rijden in de secundaire positie op ongeveer 1,00 m van de stoeprand en nooit dichterbij dan 0,50 m.

Op fietspaden is het rijgedrag van fietsers anders. De positie van de fietser hangt af van de breedte van het fietspad. Op smalle fietspaden tot 1,00 m breed, rijden fietsers meestal in het midden, terwijl ze op fietspaden breder dan 1,00 m doorgaans rechts op het fietspad rijden. Op een fietspad met een breedte van 1,85 m rijden fietsers gemiddeld 0,62 m van de rechterrandaan van het fietspad. Bij een fietspad van 2,85 m breed is deze afstand 0,81 m [26].

De snelheid van een fietser wordt beïnvloed door verschillende factoren, zoals: hoogteverschillen, het type fietsinfrastructuur en demografische kenmerken van de fietser waaronder geslacht, leeftijd en het type fietser. Wielrenners hebben een hogere snelheid dan gewone fietsers [27]. Daarnaast rijden elektrische fietsers gemiddeld sneller dan conventionele fietsers. Een conventionele fietser heeft een gemiddelde *free flow* snelheid van 13,0 km/u terwijl een fietser met een elektrische fiets een gemiddelde snelheid van 18,2 km/u haalt [28].

Verder blijkt uit onderzoek van [29] dat weersomstandigheden ook een significante impact hebben op het rijgedrag van fietsers. Regen en wind zorgen voor defensiever rijgedrag en lagere snelheden, terwijl droog en zonnig weer leidt tot een hogere gemiddelde snelheid van fietsers.

2.7 Inhalen van fietsers

Het inhalen van fietsers bestaat uit drie fasen: het afwijken van de rijstrook, het rechtdoor rijden op de aangrenzende rijstrook en het terugkeren naar de oorspronkelijke rijstrook [30-32]. Dit proces kan echter worden uitgebreid naar vijf fasen, waarbij aan de drie basisfasen een beslissingsfase en een voorbereidingsfase worden toegevoegd [30, 33].

De afstand tussen een fietser en gemotoriseerd verkeer tijdens het inhalen is afhankelijk van de breedte van de fietsstrook. Hoe breder de fietsstrook, hoe groter de passeerafstand. Gemiddeld bedraagt deze passeerafstand 1,45 m op een weg zonder tegenligger. Wanneer twee fietsers naast elkaar rijden, vermindert de afstand tot 1,36 m. Bovendien neemt de passeerafstand met 1 centimeter toe voor elke extra 3 centimeter breedte van de fietsstrook [34]. Daarnaast verlaagt de aanwezigheid van een tegenligger de laterale passeerafstand significant, omdat bestuurders minder ruimte hebben om uit te wijken [35]. Uit ander onderzoek blijkt dat de gemiddelde passeerafstand 1,76 m bedraagt. In één op de 32 inhaalmanoeuvres werd minder dan 1,00 m afstand gehouden. Dit suggereert dat dergelijke inhaalmanoeuvres als gevaarlijk kunnen worden beschouwd [36].

Opvallend is dat de aanwezigheid van een fietsstrook of fietssuggestiestrook niet altijd leidt tot een grotere passeerafstand. In sommige gevallen zorgen fietssuggestiestroken juist voor een afname van de passeerafstand [37, 38]. Dit komt vermoedelijk doordat bestuurders de visuele suggestie krijgen dat fietsers binnen deze strook moeten blijven en daarom minder ruimte laten bij het passeren [37]. Ander onderzoek spreekt dit echter tegen en stelt dat een fietsstrook geen significante invloed heeft op de passeerafstand [36]. Andere factoren, zoals de breedte van de rijbaan en de aanwezigheid van geparkeerde voertuigen blijken ook een grote rol te spelen in de veiligheid van fietsers [36].

Daarnaast blijkt dat wegen zonder middenlijn-markering een positief effect hebben op de veiligheid. Bestuurders verlagen hier hun snelheid, wat de veiligheid tijdens het inhalen mogelijk vergroot [37]. Ook fietssuggestiestroken hebben een positief effect op de snelheid van auto's, aangezien de gemiddelde snelheid daalt met 1,7 km/u [38].

Gedragfactoren spelen eveneens een rol in het inhaalproces. Bij kortere volgafstanden tussen voertuigen zijn bestuurders geneigd om fietsers met een kleinere passeerafstand in te halen [37]. Daarnaast kiezen bestuurders met een hoge *sensation seeking-score* vaker voor een kortere passeerafstand [35].

Er zijn twee strategieën waarmee auto's fietsers inhalen: de *vliegende inhaalstrategie* en de *accelererende inhaalstrategie* [30, 35]. Bij de *vliegende inhaalstrategie* blijft de snelheid van de auto relatief constant. Bij de *accelererende inhaalstrategie* vertraagt de bestuurder eerst en blijft de bestuurder enige tijd achter de fietser vooraleer hij de fietser inhaalt. Het inhalen volgens de *vliegende inhaalstrategie* duurt gemiddeld 9,4 s, terwijl de *accelererende inhaalstrategie* 16,4 s in beslag neemt. 94% van de autobestuurders past de *vliegende inhaalstrategie* toe, terwijl slechts 6% kiest voor de *accelererende inhaalstrategie* [30]. Langere inhaalmanoeuvres vergroten het risico op kleine passeerafstanden [36]. Bij een vliegend inhaalmanoeuvre wijken bestuurders gemiddeld 16 m voor het naderen van de fietser van hun positie op de weg. Bij een versnellend inhaalmanoeuvre is deze afstand groter [30]. Bovendien beginnen bestuurders met een hogere snelheid eerder met inhalen. Dit suggereert dat bestuurders hun naderingsafstand aanpassen aan de snelheid, zodat de tijdsafstand gelijk blijft [35].

Gedragsobservaties tonen aan dat zowel motorvoertuigen als fietsers zich bij de aanwezigheid van fietssuggestiestroken meer naar het midden van de weg verplaatsen. Tijdens het inhalen werd echter geen significante toename van de laterale passeerafstand waargenomen. Dit suggereert dat de aanwezigheid van een fietssuggestiestrook het rijgedrag van automobilisten niet verandert tijdens het passeren van de fietsers [38].

2.8 Betrouwbaarheid van een rijsimulator

2.8.1 Snelheid

De snelheid van bestuurders in een rijsimulator kan afwijken van de snelheid in een echte rijomgeving. Uit onderzoek van Tornros blijkt dat bestuurders in een gesimuleerde omgeving gemiddeld sneller rijden dan in de werkelijkheid [39]. Daarentegen tonen andere studies aan dat de snelheden in een gesimuleerde omgeving en een echte omgeving vergelijkbaar zijn [40-42]. Alm nuanceert deze bevindingen door te stellen dat, ondanks gelijke gemiddelde snelheden, de variabiliteit in rijnsnelheid binnen simulaties groter is dan in de praktijk [40].

2.8.2 Laterale positie

De laterale positionering van een bestuurder kan variëren tussen een simulator en de werkelijke situatie. In onderzoek van Tornros werd vastgesteld dat bestuurders in een rijnsimulator verder van de zijlijn reden als reactie op een obstakel (bijvoorbeeld een tunnelwand) [39]. Dit gedrag werd waargenomen wanneer het obstakel zich zowel aan de linker- als aan de rechterkant van de weg bevond.

2.8.3 Simulatie van verkeersomstandigheden

De aanwezigheid van andere weggebruikers kan het gedrag van een bestuurder in een rijnsimulator beïnvloeden. In het onderzoek van Harms waren er in de echte wereld andere weggebruikers aanwezig, wat bij de rijnsimulator niet het geval was [41]. De resultaten gaven echter aan dat de afwezigheid van verkeer geen invloed had op de snelheid van de bestuurders.

2.8.4 Effect van omgeving

Uit onderzoek blijkt dat ook de omgeving een significante invloed heeft op het rijgedrag in een rijnsimulator. In een open landschap reden bestuurders bijvoorbeeld sneller dan in een omgeving met objecten langs de weg of in een gevarieerd landschap. Bovendien reden bestuurders in een open landschap verder naar rechts op de rijbaan dan in een omgeving met objecten langs de weg [43]. Bestuurders voelen zich rustiger in een open landschap en ervaren meer stress in een gevarieerd landschap. Een realistische omgeving draagt bij tot veiliger rijgedrag [44].

2.8.5 Gewenning aan de rijnsimulator

Bij het gebruik van een rijnsimulator speelt gewenning in de beginfase een belangrijke rol in het beïnvloeden van het rijgedrag. Bestuurders moeten zich aanpassen aan de simulatieomgeving. Wanneer dit niet gebeurt, kan dit leiden tot afwijkingen in het rijgedrag. Het is daarom essentieel om een inrijperiode in simulatieonderzoeken in te bouwen om vertekening van de resultaten te voorkomen [45].

2.8.6 Misselijkheid in een rijnsimulator

Simulatorziekte wordt veroorzaakt door een mismatch tussen visuele en oriëntatieprikkels. Om deze effecten te minimaliseren kunnen geavanceerde bewegingssimulaties, zoals bewegingsplatformen, worden gebruikt. Een studie met het Desdemona-bewegingsplatform toont aan dat aangepaste bewegingsalgoritmes de realiteit beter nabootsen en daarmee het ongemak voor deelnemers kunnen verminderen. Dit benadrukt het belang van realistische bewegingssimulatie om misselijkheid tegen te gaan en de validiteit van rijnsimulatoronderzoek te waarborgen [45].

2.9 Conclusie

De literatuurstudie toont aan dat de veiligheid van fietsinfrastructuur wordt beïnvloed door verschillende factoren, waaronder de verkeersintensiteit, de snelheid van gemotoriseerd verkeer, het type fietsinfrastructuur en de ruimtelijke context. Vrijliggende fietspaden en fietsstraten bieden over het algemeen de meeste veiligheid, terwijl wegen zonder fietspaden en fietssuggestiestroken gepaard gaan met een verhoogd risico op ongevallen. Strategischere plaatsing van fietspaden, bijvoorbeeld buiten de *doorring zone*, draagt bij tot het verminderen van ongevallen. Bovendien speelt ook het type bebouwing een rol: in commerciële of kantooromgevingen komen vaker ongevallen voor dan in residentiële gebieden.

Bij beleidskeuzes omtrent fietsinfrastructuur zijn niet alleen veiligheidsoverwegingen, maar ook kosten en ruimtegebruik bepalend. Vrijliggende fietspaden zijn bijvoorbeeld duurder en ruimte-intensiever dan eenvoudiger oplossingen zoals fietssuggestiestroken of fietsstraten.

Verder blijkt uit onderzoek dat rijnsimulators een waardevol instrument kunnen zijn bij de studie van verkeersgedrag, mits er rekening wordt gehouden met hun beperkingen [39, 46]. Factoren zoals gewenning, simulatorziekte en verschillen in snelheid en laterale positionering tussen simulatie en realiteit kunnen de validiteit beïnvloeden. Een realistische omgeving en bewegingsplatformen verbeteren de betrouwbaarheid van de resultaten.

Tot slot spelen ook gedragsaspecten van zowel fietsers als automobilisten een belangrijke rol. De breedte van fietsinfrastructuur beïnvloedt de laterale passeerafstand bij het inhalen. Brede fietsstroken gaan doorgaans gepaard met een grotere passeerafstand. Daarentegen kunnen de aanwezigheid van tegenliggers, visuele wegkenmerken en persoonlijke eigenschappen van bestuurders, de verkeersveiligheid negatief beïnvloeden.

3 Methode

3.1 Ontwerp simulatiescenario's

In dit hoofdstuk worden de te analyseren fietsinfrastructuren bepaald, de dimensies en overige specifieke elementen voor de rijnsimulator vastgelegd en wordt toegelicht hoe de scenario's voor de rijnsimulator worden geprogrammeerd.

3.1.1 Keuze fietsinfrastructuren

In dit onderzoek worden de volgende fietsinfrastructuren geëvalueerd: wegen zonder fietsinfrastructuur, fietssuggestiestroken, fietsstraten en aanliggende fietspaden. Vrijliggende fietspaden worden als de veiligste optie beschouwd, aangezien deze doorgaans geen interactie veroorzaken tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer vanwege de grote afstand of de fysieke barrière tussen het fietspad en de rijbaan. Daarom wordt dit type fietsinfrastructuur niet getest in de rijnsimulator en verder niet besproken in dit onderzoek.

De veiligheid van een weg zonder fietsinfrastructuur, fietssuggestiestroken, fietsstraten en aanliggende fietspaden worden geanalyseerd voor zowel een eenrichtingsstraat als een tweerichtingsstraat. Met uitzondering van fietssuggestiestroken op eenrichtingsstraten, aangezien deze hier in de praktijk niet worden toegepast [8].

Tabel 1 geeft een overzicht van de scenario's die in de rijnsimulator worden getest.

Tabel 1: Overzicht scenario's

Type weg	Fietsinfrastructuur
Eenrichtingsstraat	Geen fietsinfrastructuur
	Fietsstraten
	Aanliggend fietspad
Tweerichtingsstraat	Geen fietsinfrastructuur
	Fietssuggestiestroken
	Fietsstraten
	Aanliggende fietspaden

3.1.2 Dimensies en omgeving fietsinfrastructuren

Aangezien dit onderzoek gericht is op de vergelijking van verschillende fietsinfrastructuren, worden de wegdimensies zodanig gekozen dat de breedte van de weg in alle scenario's gelijk blijft. Hierdoor wordt het rijgedrag van de bestuurders niet beïnvloed door variaties in wegbreedte. Om een geschikte wegbreedte te bepalen, wordt eerst onderzocht welke breedtes mogelijk zijn voor de verschillende typen fietsinfrastructuur.

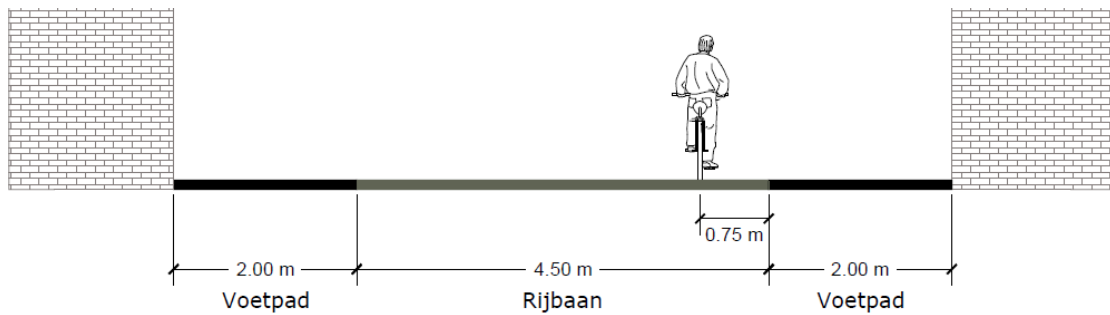
Volgens de richtlijnen voor gewestwegen met een maximumsnelheid van 50 km/u, bedraagt de minimale verhardingsbreedte voor een tweerichtingsweg zonder aslijn 6,10 m. Voor een weg met zowel randlijnen als een aslijn is een minimale rijbaanbreedte van 5,90 m vereist [47]. Echter zijn deze breedtes in de praktijk vaak niet haalbaar vanwege plaatsgebrek. Om dit te onderzoeken werden enkele straten in België opgemeten. De resultaten van deze opmetingen zijn terug te vinden in bijlage A. Hieruit blijkt dat een rijbaanbreedte van 5,00 m realistischer is binnen de specifieke ruimtelijke context van de onderzochte wegen. Toch toonden testen met een rijnsimulator aan dat 5,00 m te smal is. Een breedte van 5,50 m bleek optimaal te zijn, terwijl 6,10 m als te breed werd ervaren. Voor wegen met fietssuggestiestroken geldt een minimale verhardingsbreedte van 5,40 m. De breedte van zowel de fietssuggestiestroken als de middenstrook is afhankelijk van de totale verhardingsbreedte van de rijbaan [8].

Voor fietsstraten is geen wettelijke minimumbreedte vastgelegd. In de praktijk wordt bij eenrichtingsverkeer doorgaans een breedte van 4,00 m aangehouden, terwijl voor tweerichtingsfietsstraten een aanbevolen breedte van 5,50 m wordt gehanteerd [8].

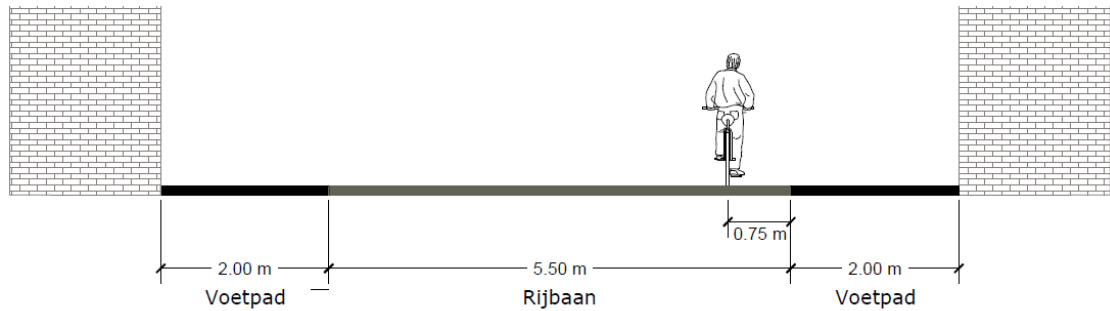
Bij aanliggende fietspaden gelden er geen specifieke eisen met betrekking tot de breedte van de rijbaan. Het fietspad zelf dient 2,00 m breed te zijn en op 0,50 m afstand van de rijbaan te liggen. Op basis van de praktijkmetingen in bijlage A blijkt dat aanliggende fietspaden in de praktijk smaller zijn. De breedtes liggen tussen 1,30 m en 1,80 m met een gemiddelde van 1,53 m. Bovendien geeft een fietspad van 2,00 m breed een onrealistisch gevoel in de rijnsimulator, aangezien zelfs een breedte van 1,53 m te ruim aanvoelde. Een breedte van 1,00 m voelt in de rijnsimulator het meest realistisch aan. Daarom wordt gekozen voor een aanliggend fietspad met een breedte van 1,00 m dat vlak langs de rijbaan ligt.

Zoals reeds aangehaald, speelt de omgeving ook een belangrijke rol in een rijnsimulator. Een open landschap kan leiden tot hogere snelheden van de bestuurder door het ontbreken van referentiepunten. Om een realistische omgeving te creëren, wordt aan beide zijden van de weg gesloten bebouwing geplaatst op een afstand van 2,00 m van de rijbaan of het fietspad, indien deze aanwezig is. Tussen de rijbaan of het fietspad en de woningen wordt een voetpad geplaatst.

Op basis van deze bevindingen kunnen de definitieve afmetingen per scenario worden vastgelegd. Aangezien het doel van deze studie is om nieuwe fietsinfrastructuren te integreren in bestaande wegen, is ervoor gekozen de gemeten breedtes te gebruiken. Voor de referentiescenario's zonder fietsvoorzieningen is besloten dat eenrichtingsstraten een breedte van 4,50 m hebben, met uitzondering van fietsstraten die een breedte van 4,00 m krijgen. Tweerichtingsstraten krijgen een breedte van 5,50 m. Aan beide zijden van de rijbaan wordt een voetpad van 2,00 m breed voorzien. Figuur 1 toont de standaard weg zonder fietsinfrastructuur in een eenrichtingsstraat, figuur 2 illustreert dit voor een tweerichtingsstraat.

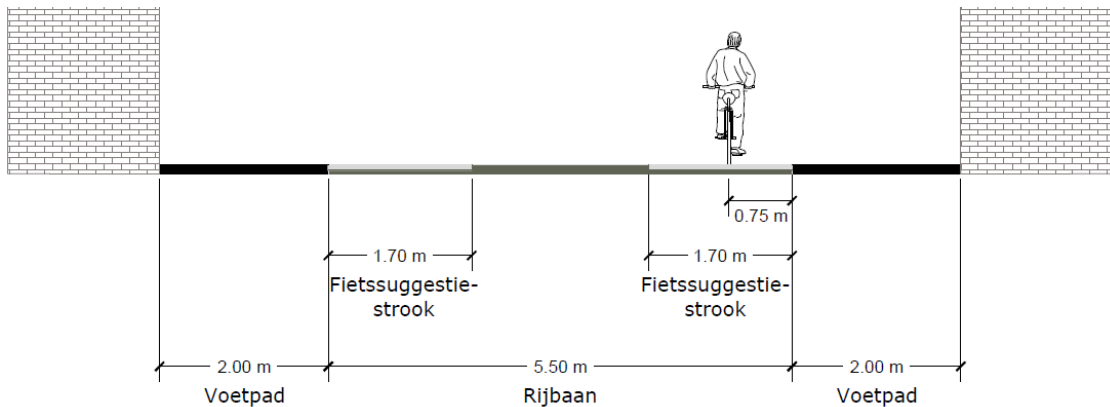


Figuur 1: Weg zonder fietsinfrastructuur eenrichting



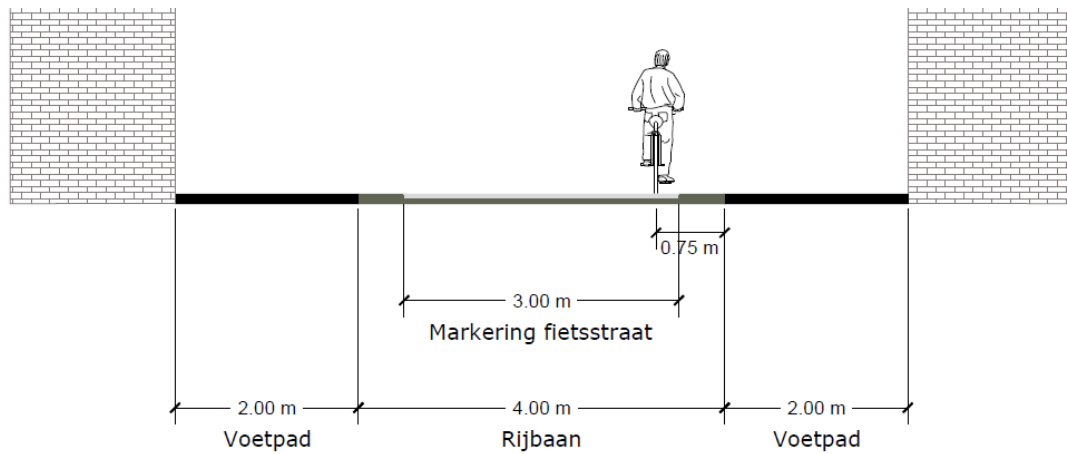
Figuur 2: Weg zonder fietsinfrastructuur tweerichting

Fietssuggestiestroken kunnen uitsluitend worden toegepast bij een tweerichtingsstraat. Aangezien de weg een breedte van 5,50 m heeft, bedraagt de breedte van de fietssuggestiestroken 1,70 m, zoals aangegeven in het fietsvademecum [8]. Dit wordt weergegeven in figuur 3.

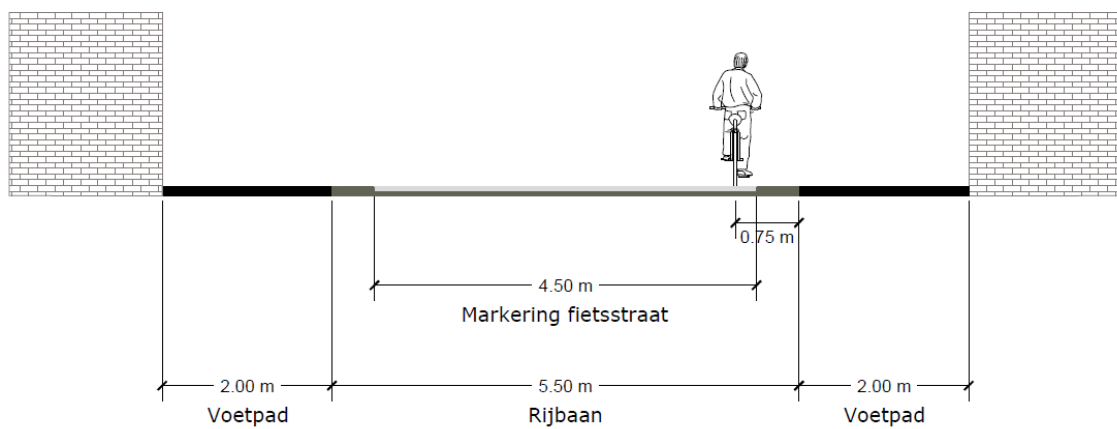


Figuur 3: Fietssuggestiestroken tweerichting

Fietsstraten worden meestal geplaatst op smalle wegen, aangezien dit daar vermoedelijk de enige veilige maatregel is. Daarom wordt er gekozen voor een breedte van 4,00 m, wat afwijkt van de wegbreedte in het referentiescenario. De weg wordt tot op 0,50 m van de rand voorzien van een rode markering. Dit wordt weergegeven in figuren 4 en 5.

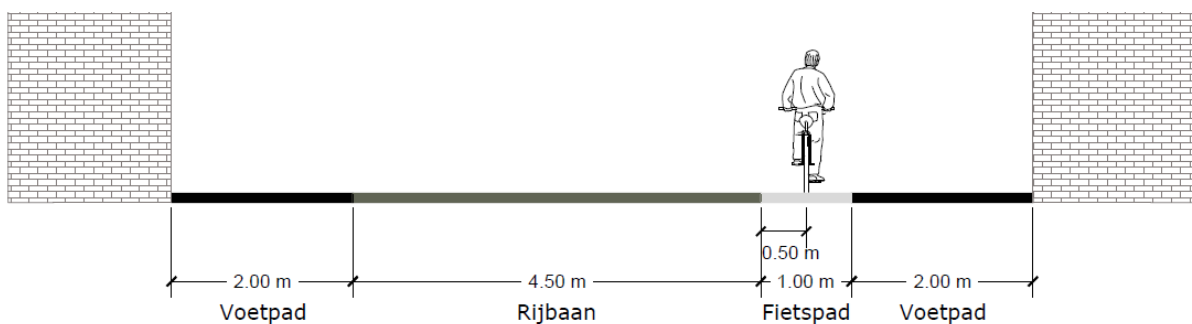


Figuur 4: Fietsstraat eenrichting

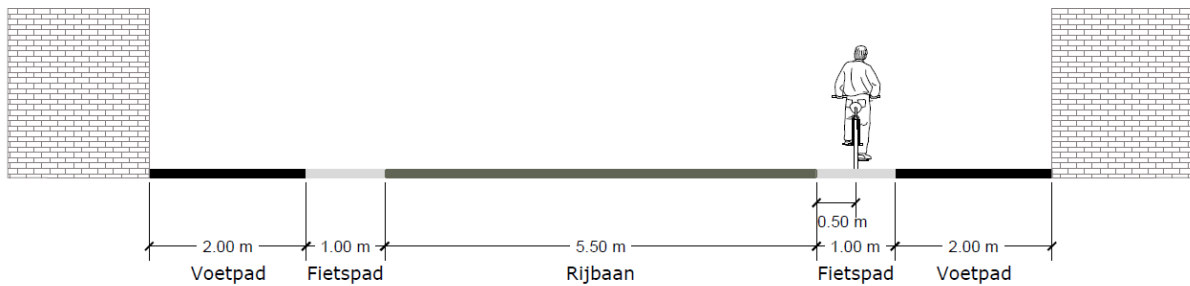


Figuur 5: Fietsstraat tweerichting

Bij een aanliggend fietspad is een fietspad van 1 m breed langs de rijbaan geplaatst. Het fietspad dient op 0,50 m van de rand van de rijbaan te worden geplaatst, zoals aangegeven in het fietsvademecum [8]. Echter wordt hiervan afgeweken, omdat dit bij de rij simulator aanvoelt als een vrijliggend fietspad. Het fietspad is afgebakend met witte markeringen van 15 centimeter breed. Dit wordt geïllustreerd in figuren 6 en 7.



Figuur 6: Aanliggend fietspad eenrichting



Figuur 7: Aanliggend fietspad tweerichting

3.1.3 Kostprijs fietsinfrastructuren

Op basis van de tarieven van het studiebureau kunnen de kosten voor de infrastructuur worden berekend. Tabel 2 geeft een overzicht van de prijzen voor de aanleg van nieuwe fietsinfrastructuur bij een nieuwe weg. De volledige berekeningen zijn te vinden in bijlage B. De prijzen zijn meerprijzen ten opzichte van de aanleg van een weg zonder fietsinfrastructuur.

Tabel 2: Kostprijs fietsinfrastructuren

	Meerprijs eenrichtingsstraat (€ / lopende meter)	Meerprijs tweerichtingsstraat (€ / lopende meter)
Fietssuggestiestroken geverfd	/	94,01
Fietssuggestiestroken meerprijs gekleurd asfalt	/	45,76
Fietsstraten geverfd	124,50	186,75
Fietsstraten meerprijs gekleurd asfalt	27,00	40,50
Aanliggende fietspaden geverfd	80,19	160,38
Aanliggende fietspaden gekleurd asfalt	47,69	95,38

Bij fietsstraten op eenrichtingsstraten is er een bijkomende vaste kost van 1.450,30 euro per fietsstraat, bij tweerichtingsstraten bedraagt dit 1.727,30 euro.

In dit onderzoek wordt enkel de prijs van nieuwe aangelegde wegen onderzocht, aangezien dit meestal gepaard gaat met de aanleg van nieuwe fietsinfrastructuur. Hier kan zowel gekleurd asfalt als verf worden gebruikt. Aangezien gekleurd asfalt het goedkoopste is en de langste levensduur heeft, wordt deze gekozen voor de conclusies.

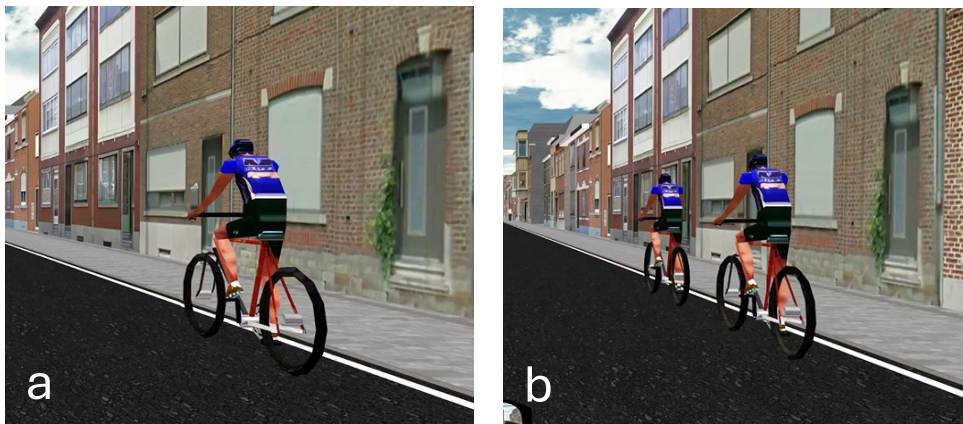
Voor de aanleg van nieuwe fietsinfrastructuur op een bestaande weg worden alleen de kosten voor geschilderde markeringen gehanteerd. Dit omdat verf goedkoper is, sneller kan worden aangebracht en geen ingrijpende werken vereist. Het aanbrengen van een nieuwe asfalt laag gebeurt meestal alleen bij grootschalige herinrichtingsprojecten of wegenwerken. Deze prijzen worden in dit onderzoek niet in rekening gebracht.

3.1.4 Verkeer

Deze studie richt zich op de interactie tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer. In totaal worden er 4 fietsers toegevoegd per situatie, met uitzondering van de fietsstraten. Telkens één fietser zonder tegenligger (zie figuur 8a), één fietser met tegenligger en twee fietsers die achter elkaar fietsen zonder tegenligger (zie figuur 8b). In fietsstraten wordt slechts één fietser toegevoegd, aangezien voertuigen fietsers daar niet mogen inhalen. Om het effect van tegenliggend verkeer te bestuderen, worden er andere voertuigen in de simulator toegevoegd.

In de scenario's waar fietsers op de rijbaan rijden, worden zij op 0,75 meter van de rand van de weg gepositioneerd. Bij aanliggende fietspaden worden zij in het midden van het fietspad geplaatst. Op basis van het aantal letselongevallen per 1% van het totaal aantal gereden kilometers blijkt dat het ongevalsrisico bij conventionele fietsers in 2023 meer dan dubbel zo hoog was als bij elektrische fietsers, ondanks een vergelijkbare afgelegde afstand. Bij speed pedelecs is het verschil in het aantal letselongevallen ten opzichte van conventionele fietsers kleiner, maar conventionele fietsers legden meer dan zeven keer zoveel kilometers af. Vanwege het hogere ongevalsrisico voor conventionele fietsers richt dit onderzoek zich hierop. In alle scenario's wordt voor deze fietsers een snelheid van 4 m/s gehanteerd.

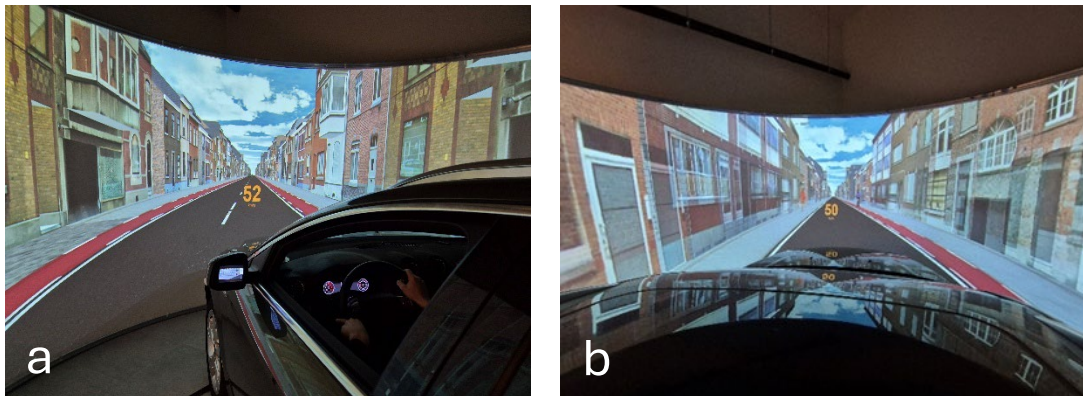
Er worden voetgangers toegevoegd om het scenario realistischer te maken en deze dienen als referentiepunten voor de bestuurder, wat helpt bij het inschatten van de rijsnelheid. De positie van de voetgangers varieert tussen 0,60 m en 1,80 m van de huizen. Hun snelheden liggen tussen 0,8 m/s en 1,6 m/s. Voetgangers wandelen altijd in de richting van het verkeer dat aan hun kant van de weg rijdt.



Figuur 8: (a) 1 fietser in rijnsimulator; (b) 2 fietsers in rijnsimulator

3.1.5 Rijsimulator

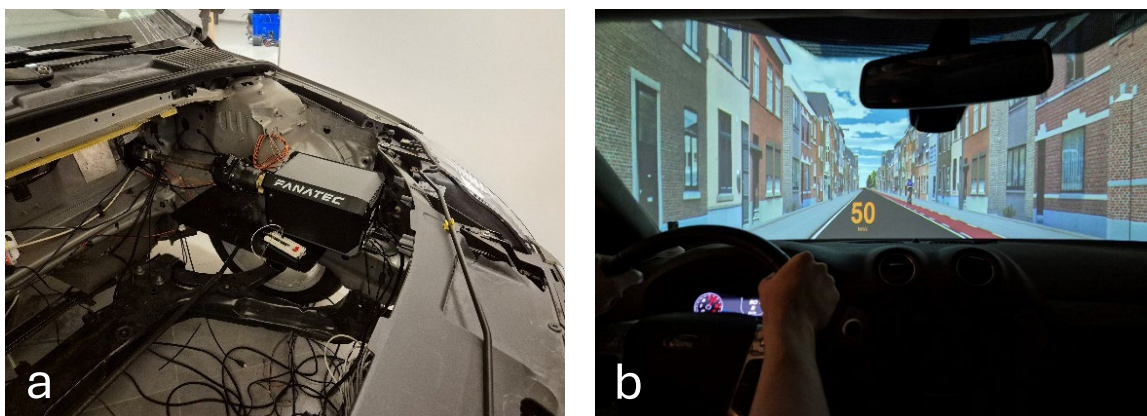
In deze studie wordt gebruikgemaakt van een rijsimulator van het Instituut voor Mobiliteit (IMOB) in Hasselt. De simulator bestaat uit een Ford Mondeo waarin de testdeelnemer plaatsneemt en biedt een panoramisch gezichtsveld van 180°, geprojecteerd op een groot scherm met behulp van drie projectoren. De projectiebeelden worden naadloos samengevoegd met de VIOSO AnyBlend-software. De opstelling van de simulator is te zien in figuur 9.



Figuur 9: (a) Opstelling rijsimulator 1; (b) Opstelling rijsimulator 2

De rijsimulator is uitgerust met het originele Ford Mondeo-stuur, dat aangesloten is op een Fanatec Podium DD1 stuurmotor (zie figuur 10a). Hoewel deze stuurmotor force feedback biedt, was deze functionaliteit tijdens de testen niet beschikbaar wegens technische problemen. Daarnaast is de simulator uitgerust met Fanatec ClubSport pedalen en een versnellingspook. In deze studie is besloten om de versnellingspook niet te gebruiken. Hierdoor functioneert de simulator als een auto met een automatische transmissie. Dit vereenvoudigt de simulatie voor de deelnemer en legt de focus op de interactie tussen de auto en de fietsers. Bovendien verhoogt het gebruik van een versnellingspook de kans op misselijkheid.

Daarnaast is de rijsimulator voorzien van een digitaal dashboard waarop alle relevante voertuigparameters, zoals snelheid en toerental, worden weergegeven. Bovendien wordt de snelheid ook geprojecteerd op het 180° scherm, wat een head-up creëert (zie figuur 10b). De simulaties worden uitgevoerd met de STISIM Drive 3-simulatiesoftware.



Figuur 10: (a) Opstelling stuurmotor; (b) Opstelling dashboard

3.1.6 Programmeren scenario's

Voor dit onderzoek wordt de rijnsimulatorsoftware STISIM Drive 3 gebruikt om de verschillende scenario's te programmeren en de rijnsimulaties uit te voeren. Elk scenario, zoals beschreven in hoofdstuk 3.1.1, wordt met de parameters uit hoofdstuk 3.1.2 geprogrammeerd in afzonderlijke PDE-bestanden. Deze bestanden kunnen in uiteenlopende volgordes worden ingeladen, zodat alle testpersonen de verschillende fietsinfrastructuren in verschillende volgordes tegenkomen. In totaal zijn er vier verschillende scenario's geprogrammeerd. Deze variatie in scenario's is van cruciaal belang om vertekening van de resultaten te voorkomen. Het rijgedrag in de simulator kan namelijk variëren naarmate een bestuurder meer vertrouwd geraakt met de simulatieomgeving. Een deelnemer kan aanvankelijk een aanpassingsperiode nodig hebben, terwijl vermoeidheid tegen het einde van de rit een rol kan spelen. Afbeeldingen van de verschillende scenario's zijn te vinden in bijlage C.

Gedurende elke rit in de simulator worden meerdere parameters gemeten om de interactie tussen gemotoriseerde voertuigen en fietsers te analyseren. De parameters die in deze studie worden geregistreerd in de simulatiesoftware STISIM Drive 3 zijn: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 18, 23, 36, 37, 38, 44, 46, 50, 74 en 75. Op basis van deze gegevens kan een vergelijkende analyse worden uitgevoerd om de veiligheid van verschillende typen fietsinfrastructuur te beoordelen. Een tabel met een beschrijving van deze parameters is te vinden in bijlage D.

De simulaties in dit onderzoek worden uitgevoerd in samenwerking met een ander onderzoek waarin verschillende gateways, oftewel overgangen bij het inrijden van de bebouwde kom, worden getest. Aangezien alle onderzochte fietsinfrastructuren zich binnen de bebouwde kom bevinden, wordt elke situatie met fietsinfrastructuur gekoppeld aan een scenario met een overgang van buiten naar binnen de bebouwde kom. Na elke fietsinfrastructuur wordt een overgangsstuk buiten de bebouwde kom toegevoegd, gevolgd door een gateway-ontwerp en een nieuwe fietsinfrastructuur. Dit patroon wordt herhaald totdat alle scenario's aan bod zijn gekomen.

In de situaties waarin fietsinfrastructuren worden getest, wordt uitsluitend gebruikgemaakt van rechte wegen. Dit waarborgt dat bestuurders altijd voldoende zicht hebben op hun omgeving en op de fietsers. Bovendien kunnen bochten simulatorziekte veroorzaken, wat de testresultaten zou kunnen beïnvloeden.

Om ervoor te zorgen dat alle deelnemers zich in dezelfde situaties bevinden en onder gelijke omstandigheden fietsers inhalen, wordt het tegenliggend verkeer zodanig geprogrammeerd zodat de tegenligger bij het inhalen dezelfde afstand tot de fietsers behoudt als de testpersoon. Dit blijft zo tot op een afstand van 35 m van de fietser. Op dat moment versnelt de tegenligger tot de snelheidslimiet, waardoor de testpersoon altijd moet vertragen om de tegenligger eerst te laten passeren voordat de fietser ingehaald kan worden.

Bij de situaties waarin het gedrag van fietsers zonder tegenligger wordt getest, worden de tegenliggers zodanig geprogrammeerd dat ze ruim voor het naderen van de fietser al zijn gepasseerd. Hierdoor heeft de tegenligger geen invloed op het inhaalgedrag.

3.2 Uitvoering van simulaties

Voorafgaand vullen de deelnemers een voorbevraging in, gevolgd door het doorlopen van een oefenscenario om vertrouwd te raken met de rijsimulator. Vervolgens rijden zij één van de vier geprogrammeerde testscenario's. Tot slot vullen zij na de rit een nabevraging in.

Om deel te nemen aan dit onderzoek moeten deelnemers aan enkele voorwaarden voldoen. Ze dienen in het bezit te zijn van een definitief rijbewijs of een voorlopig rijbewijs B, met minimaal 20 uur rijles. Daarnaast is het essentieel dat ze de nacht voorafgaand aan de test voldoende hebben geslapen. Deelnemers moeten Nederlands of Engels spreken en een officieel adres in België hebben.

Personen met een infectieziekte (zoals griep, COVID-19, verkoudheid of een tandontsteking) of zwangere vrouwen komen niet in aanmerking voor deelname. Daarnaast is deelname uitgesloten voor personen die drugs gebruiken of overmatig alcohol consumeren (maximaal 2 consumpties per dag is toegestaan).

Deelname aan het onderzoek is volledig vrijwillig en deelnemers kunnen op elk moment beslissen te stoppen, zonder verdere gevolgen.

3.3 Data-analyse

In deze sectie wordt uitgelegd hoe de verzamelde data worden geanalyseerd en welke vergelijkingen worden gemaakt om de onderzoeksvragen te beantwoorden. De focus ligt op de interactie tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer, met specifieke aandacht voor passeerafstand, passeersnelheid, inhaaltijd, inhaalafstand en snelheidsverschillen. Het doel is om gegevens van minimaal 40 testpersonen te verzamelen om een betrouwbare analyse te garanderen.

3.3.1 Te vergelijken aspecten per deelonderzoeksvraag

Hoe beïnvloedt het type fietsinfrastructuur de interactie tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer op eenrichtings- en tweerichtingsstraten?

- De passeerafstand bij fietsers met en zonder tegenligger, en bij twee fietsers achter elkaar zonder tegenligger, wordt geanalyseerd. De passeerafstand wordt onderzocht voor alle verschillende situaties. Er wordt een vergelijking gemaakt tussen verschillende fietsinfrastructuren en eenrichtings- versus tweerichtingsstraten;
- De passeersnelheid bij fietsers met en zonder tegenligger, en bij twee fietsers achter elkaar zonder tegenligger, wordt geanalyseerd. De passeersnelheid wordt onderzocht voor alle verschillende situaties. Er wordt een vergelijking gemaakt tussen verschillende fietsinfrastructuren en eenrichtings- versus tweerichtingsstraten;
- De benodigde tijd om in te halen bij fietsers met en zonder tegenligger, en bij twee fietsers achter elkaar zonder tegenligger. De tijd wordt onderzocht voor alle verschillende situaties. Er wordt een vergelijking gemaakt tussen verschillende fietsinfrastructuren en eenrichtings- versus tweerichtingsstraten;
- De benodigde afstand voor het inhalen van fietsers met en zonder tegenligger en twee fietsers achter elkaar zonder tegenligger. De afstand wordt onderzocht voor alle verschillende situaties. Er wordt een vergelijking gemaakt tussen verschillende fietsinfrastructuren en eenrichtings- versus tweerichtingsstraten;
- Het snelheidsverschil voor en na het inhalen wordt vergeleken. Dit gebeurt tussen alle situaties om te bepalen of er vliegend of accelererend wordt ingehaald. Het verschil in inhaalgedrag wordt tussen fietsers zonder tegenligger en twee fietsers achter elkaar vergeleken. Er wordt een vergelijking gemaakt tussen verschillende fietsinfrastructuren;
- De gemiddelde afstand tussen auto's en fietsers wordt bepaald. Dit gebeurt in eenrichtings- en tweerichtingsfietsstraten. Er wordt een vergelijking gemaakt tussen verschillende fietsinfrastructuren;
- Het percentage bestuurders dat een fietser inhaalt op een fietsstraat wordt berekend. Dit gebeurt met een vergelijking van eenrichtingsstraten en tweerichtingsstraten.

Hoe beïnvloedt de aanwezigheid van tegenliggers bij verschillende fietsinfrastructuren?

- Vergelijken van de passeerafstand tussen fietsers met en zonder tegenligger in één situatie. De passeerafstand wordt onderzocht voor alle verschillende situaties in tweerichtingsstraten;
- Vergelijken van de benodigde tijd voor het inhalen van fietsers met en zonder tegenligger in één situatie. De tijd wordt onderzocht voor alle verschillende situaties in tweerichtingsstraten;
- Vergelijken van de benodigde afstand voor het inhalen van fietsers met en zonder tegenligger in één situatie. De afstand wordt onderzocht voor alle verschillende situaties in tweerichtingsstraten.

Wat is het verschil bij het inhalen van één fietser versus twee fietsers die achter elkaar rijden?

- Vergelijken van de passeerafstand tussen één fietser versus twee fietsers. De passeerafstand wordt onderzocht voor alle verschillende situaties;
- Vergelijken van de benodigde tijd voor het inhalen van fietsers met en zonder tegenligger in één situatie. De tijd wordt onderzocht voor alle verschillende situaties;
- Vergelijken van de benodigde afstand voor het inhalen van fietsers met en zonder tegenligger in één situatie. De afstand wordt onderzocht voor alle verschillende situaties;
- Vergelijken van het snelheidsverschil voor en na het inhalen. Dit gebeurt tussen alle situaties om te bepalen of er vliegend of accelererend wordt ingehaald. Het verschil in inhaalgedrag wordt tussen één fietser versus twee fietsers vergeleken. Dit wordt onderzocht voor alle verschillende situaties.

3.3.2 Te verzamelen data

In dit onderzoek zijn de verzamelde gegevens essentieel voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen in 3.3.1. Door gegevens uit verschillende situaties te verzamelen, kunnen we de benodigde analyses uitvoeren en de specifieke aspecten van het inhaalgedrag van voertuigen ten opzichte van fietsers onderzoeken.

De volgende gegevens worden in alle situaties verzameld en zijn cruciaal voor het beantwoorden van de vragen in 3.3.1:

- Passeerafstand: De kleinste gemeten afstand tussen de auto en de fietser binnen de desbetreffende situatie;
- Passeersnelheid: De snelheid van de auto wanneer de fietser wordt ingehaald.
- Begin van het inhalen van iedere fietser: Het punt waarop de auto begint met het inhalen van de respectievelijke fietser;
- Einde van het inhalen van iedere fietser: Het punt waarop de auto het inhalen van de respectievelijke fietser volledig heeft voltooid;
- Nodige tijd voor het inhalen van iedere fietser: De tijdsduur die de auto nodig heeft om de respectievelijke fietser volledig in te halen;
- Nodige afstand voor het inhalen van iedere fietser: De totale afstand die de auto aflegt tijdens het inhalen van de respectievelijke fietser;
- De gemiddelde afstand tussen auto's en fietsers op fietsstraten.

3.3.3 Methode analyse van gegevens

Voor het uitvoeren van een gegevensanalyse is het noodzakelijk om steeds dezelfde meetpunten uit het databestand van de rijssimulator te halen. In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe dit gebeurt. Om de minimale afstand tussen de auto en de fietser te bepalen, wordt binnen elke situatie een bereik van 20 m voor en na de fietser geanalyseerd. Vervolgens wordt de kleinste gemeten afstand binnen dit bereik genomen en gebruikt als passeerafstand.

Bij het bepalen van de benodigde tijd en afstand voor het inhalen van de fietser wordt eerst gekeken naar de gemiddelde laterale positie van het voertuig op de weg. Deze positie wordt bepaald over een traject van 50 tot 100 m waarin geen externe invloeden aanwezig zijn. Het beginpunt van het inhaalmanoeuvre wordt vastgesteld zodra de laterale positie van het voertuig meer dan 30 cm afwijkt van deze gemiddelde positie. Het manoeuvre eindigt wanneer deze laterale afwijking weer binnen de 30 cm grens valt. Om te voorkomen dat deze punten te ver van de fietser worden vastgesteld, vindt deze bepaling stapsgewijs plaats: de meting start op een afstand van 50 m van de fietser en wordt vervolgens in stappen van 10 m uitgevoerd tot maximaal 100 m.

Op basis van de vastgestelde begin- en eindpunten voor het inhalen, wordt de benodigde afstand en tijd voor het inhaalmanoeuvre berekend. In de situatie waarin de fietser zich op een aanliggend fietspad bevindt, worden deze punten niet gemeten aangezien er hier geen inhaalbewegingen plaatsvinden.

Om te bepalen op welke manier er wordt ingehaald wanneer er geen tegenligger aanwezig is, wordt gekeken naar de snelheid voor en na het inhalen van de fietser. De snelheid van het voertuig wordt gemeten op 10 m voor en na de fietser. Het verschil tussen deze snelheden is het snelheidsverschil.

Volgens de wet is inhalen in fietsstraten niet toegestaan. Daarom wordt in deze situaties de gemiddelde afstand tot de fietser gemeten over een afstand van 10 m aan het einde van de fietsstraat, om een gemiddelde afstand tussen auto en fietser te bekomen. Dit gebeurt aan het einde van de fietsstraat, op het moment dat de bestuurder een constante afstand tot de fietser aanhoudt. Indien de fietser wordt ingehaald, worden de passeerafstand en inhaalgedrag geanalyseerd op de eerder vermelde manier.

Om uitschieters in de dataset te identificeren, wordt gebruikgemaakt van de interkwartielafstand (IQR)-methode. Een datapunt zal als uitschieter beschouwd worden indien het buiten de grenzen valt van $[Q1 - 3 \times IQR, Q3 + 3 \times IQR]$, waarbij $Q1$ en $Q3$ respectievelijk het eerste en derde kwartiel zijn. Deze drempel ($3 \times IQR$ in plaats van de gebruikelijkere $1.5 \times IQR$) wordt gehanteerd om enkel extreme waarden als uitschieters te beschouwen. Indien een deelnemer op meer dan 15% van zijn of haar gegevens als uitschieter wordt aangeduid volgens deze methode, zal deze deelnemer uitgesloten worden van verdere analyse. Deze keuze wordt gemaakt om mogelijke vertekening van de resultaten door systematisch afwijkende responspatronen te vermijden.

Voor de statistische analyse wordt gebruikgemaakt van een lineair gemengd model (LMM), uitgevoerd in SPSS. De keuze voor LMM is gebaseerd op het ongebalanceerd ontwerp van de studie, dit is wanneer niet alle combinaties van condities en parameters voor elke fietsinfrastructuur en deelnemer beschikbaar zijn. Hierdoor is het gebruik van een traditionele repeated measures ANOVA niet mogelijk.

Binnen het LMM-model zullen vaste effecten opgenomen worden voor de relevante onafhankelijke variabelen. Voor de interpretatie zal in eerste instantie gekeken worden naar de *Parameter Estimates for Fixed Effects*. Daarnaast wordt een random effect op deelnemerniveau toegevoegd om individuele verschillen tussen proefpersonen in rekening te brengen. De noodzaak en geldigheid van dit random effect zal worden geëvalueerd aan de hand van de *Correlations of Parameter Estimates*.

Tot slot zal een *Estimated Marginal Means* (EM Means) analyse worden uitgevoerd, met Bonferroni-correctie voor multiple comparisons. Deze analysemethode laat het toe om gepaarde vergelijkingen tussen twee situaties te maken, waardoor specifieke verbanden en interactie-effecten statistisch kunnen worden onderzocht.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de verkregen resultaten gepresenteerd. Voor elke onderzochte parameter wordt een tabel met gemiddelde waarden weergegeven. Deze resultaten uit de tabellen worden telkens toegelicht. Daarnaast bevat dit hoofdstuk de uitkomsten van de statistische analyses. Bijlage E illustreert boxplots die de spreiding van de data weergeven. In totaal namen 54 personen deel aan het onderzoek. Twee van hen werden op basis van de IQR-methode als uitschieters geïdentificeerd. De gegevens van deze deelnemers zijn uitgesloten van de analyse, wat resulteert in bruikbare data van 52 deelnemers. Een overzicht van resultaten van de voor- en nabevragingen zijn terug te vinden in bijlagen F en G.

4.1 Invloed van fietsinfrastructuur op interacties tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer

4.1.1 Passeerafstand

Tabel 3 toont de gemiddelde passeerafstanden tussen gemotoriseerd verkeer en fietsers, uitgesplitst naar type fietsinfrastructuur en verkeerssituatie.

Tabel 3: Gemiddelde passeerafstand per fietsinfrastructuur en verkeerssituatie

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (m)	1 fietser met tegenligger (m)	2 fietsers (m)
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	0,95	0,76	0,96
Fietssuggestiestroken (2-richting)	0,96	1,02	1,08
Aanliggend fietspad (2-richting)	0,60	0,57	0,62
Fietsstraat (2-richting)	1,10	/	/
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	0,67	/	0,70
Aanliggend fietspad (1-richting)	1,40	/	1,42
Fietsstraat (1-richting)	0,60	/	/

In tweerichtingsstraten bedraagt de gemiddelde passeerafstand tussen gemotoriseerd verkeer en een enkele fietser zonder tegenligger 0,95 m op wegen zonder fietsinfrastructuur. Op wegen met fietssuggestiestroken is de gemiddelde afstand 0,96 m. De kleinste passeerafstanden worden vastgesteld op wegen met aanliggende fietspaden, waar het gemiddelde 0,60 m bedraagt. De grootste passeerafstanden worden gemeten in fietsstraten, met een gemiddelde van 1,10 m.

In eenrichtingsstraten bedraagt de gemiddelde passeerafstand tussen gemotoriseerd verkeer en een enkele fietser zonder tegenligger 0,67 m op wegen zonder fietsinfrastructuur. Op wegen met aanliggende fietspaden worden de grootste passeerafstanden waargenomen, met een gemiddelde van 1,40 m. In fietsstraten daarentegen worden de kleinste afstanden gemeten, namelijk gemiddeld 0,60 m.

Wanneer er sprake is van een enkele fietser met tegenligger in tweerichtingsstraten, bedraagt de gemiddelde passeerafstand 0,76 m op wegen zonder fietsinfrastructuur. Op wegen met fietssuggestiestroken wordt een gemiddelde afstand van 1,02 m gemeten. Op wegen met aanliggende fietspaden wordt de kleinste afstand vastgesteld, met een gemiddelde van 0,57 m.

Voor situaties waarbij twee fietsers achter elkaar rijden in tweerichtingsstraten, bedraagt de gemiddelde passeerafstand 0,96 m op wegen zonder fietsinfrastructuur. Op wegen met fietssuggestiestroken wordt een grotere gemiddelde afstand van 1,08 m waargenomen. Op wegen met aanliggende fietspaden is de gemiddelde afstand het kleinst, namelijk 0,62 m.

In eenrichtingsstraten waarbij twee fietsers achter elkaar rijden, bedraagt de gemiddelde passeerafstand 0,70 m op wegen zonder fietsinfrastructuur. De grootste passeerafstanden worden vastgesteld op wegen met aanliggende fietspaden, waar het gemiddelde 1,42 m bedraagt.

4.1.2 Passeersnelheid

Tabel 4 toont de gemiddelde passeersnelheden tussen gemotoriseerd verkeer en fietsers, gesegmenteerd naar type fietsinfrastructuur en verkeerssituatie.

Tabel 4: Passeersnelheid

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (km/u)	1 fietser met tegenligger (km/u)	2 fietsers (km/u)
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	50,41	44,38	50,29
Fietssuggestiestroken (2-richting)	45,44	44,82	50,23
Aanliggend fietspad (2-richting)	50,65	49,60	50,76
Fietsstraat (2-richting)	43,46	/	/
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	49,41	/	49,80
Aanliggend fietspad (1-richting)	49,79	/	50,32
Fietsstraat (1-richting)	46,44	/	/

In tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur bedraagt de gemiddelde snelheid waarmee een enkele fietser zonder tegenligger wordt gepasseerd door gemotoriseerd verkeer 50,41 km/u. Op wegen met aanliggende fietspaden bedraagt de gemiddelde passeersnelheid 50,65 km/u, wat een beperkte stijging vormt ten opzichte van wegen zonder fietsinfrastructuur. De laagste passeersnelheden worden gemeten in fietsstraten, met een gemiddelde van 43,46 km/u. Op wegen met fietssuggestiestroken bedraagt de gemiddelde passeersnelheid 45,44 km/u.

Bij eenrichtingsstraten wordt een gemiddelde passeersnelheid van 49,41 km/u waargenomen bij het inhalen van een enkele fietser zonder tegenligger op wegen zonder fietsinfrastructuur. Op wegen met een aanliggend fietspad ligt deze snelheid hoger, met een gemiddelde van 49,79 km/u. De laagste passeersnelheid wordt gemeten in fietsstraten, waar het gemiddelde 46,44 km/u bedraagt.

Wanneer gemotoriseerd verkeer een enkele fietser met tegenligger inhaalt in tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur, bedraagt de gemiddelde snelheid 44,38 km/u. Op wegen met fietssuggestiestroken bedraagt de gemiddelde snelheid 44,82 km/u. De grootste passeersnelheid wordt gemeten op wegen met aanliggende fietspaden. Hier bedraagt de passeersnelheid gemiddeld 49,60 km/u.

In situaties waarbij twee fietsers achter elkaar rijden in een tweerichtingsstraat, bedraagt de gemiddelde snelheid waarmee ze door gemotoriseerd verkeer worden gepasseerd op wegen zonder fietsinfrastructuur 50,29 km/u. Op wegen met fietssuggestiestroken bedraagt de snelheid gemiddeld 50,23 km/u. De hoogste passeersnelheden worden gemeten op wegen met aanliggende fietspaden, met een gemiddelde van 50,76 km/u.

In eenrichtingsverkeer bedraagt de gemiddelde snelheid waarmee twee fietsers worden gepasseerd door gemotoriseerd verkeer op wegen zonder fietsinfrastructuur 49,80 km/u. Op wegen met aanliggende fietspaden bedraagt de gemiddelde passeersnelheid 50,32 km/u.

4.1.3 Nodige tijd om in te halen

In tabel 5 worden de gemiddelde inhaaltijden gepresenteerd. Dit is de tijd die een gemotoriseerd voertuig nodig heeft om een fietser volledig te passeren.

Tabel 5: Nodige tijd om in te halen

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (s)	1 fietser met tegenligger (s)	2 fietsers (s)
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	12,81	9,69	15,10
Fietssuggestiestroken (2-richting)	8,21	10,76	9,68
Fietsstraat (2-richting)	9,79	/	/
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	11,34	/	10,67
Fietsstraat (1-richting)	6,69	/	/

In tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur bedraagt de gemiddelde tijd die gemotoriseerd verkeer nodig heeft om een enkele fietser zonder tegenligger in te halen 12,81 s. Op fietssuggestiestroken is de benodigde inhaaltijd het kortst, namelijk 8,21 s. Bij fietsstraten is de inhaaltijd korter dan bij wegen zonder fietsinfrastructuur, maar langer dan bij fietssuggestiestroken. De inhaaltijd is hier gemiddeld 9,79 s.

In eenrichtingsstraten duurt het inhalen van een enkele fietser zonder tegenligger het langst op wegen zonder fietsinfrastructuur, waar een gemiddelde van 11,34 s wordt gemeten. Het inhalen van fietsers in fietsstraten duurt 6,69 s.

Wanneer een tegenligger aanwezig is, bedraagt de gemiddelde tijd om een enkele fietser in te halen in een tweerichtingsstraat 9,69 s op wegen zonder fietsinfrastructuur. Op wegen met fietssuggestiestroken bedraagt de benodigde inhaaltijd gemiddeld 10,76 s.

In tweerichtingsstraten bedraagt de gemiddelde inhaaltijd voor het inhalen van twee fietsers op wegen zonder fietsinfrastructuur 15,10 s. Op wegen met fietssuggestiestroken bedraagt de benodigde tijd om in te halen 9,68 s.

In eenrichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur bedraagt de gemiddelde tijd die een gemotoriseerd voertuig nodig heeft om twee fietsers in te halen 10,67 s.

4.1.4 Nodige afstand om in te halen

Tabel 6 presenteert de afstanden die bestuurders gemiddeld nodig hebben om fietsers in te halen, uitgesplitst naar infrastructuurtype en verkeersconfiguratie.

Tabel 6: Nodige afstand om in te halen

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (m)	1 fietser met tegenligger (m)	2 fietsers (m)
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	147,70	116,64	140,17
Fietssuggestiestroken (2-richting)	95,92	131,85	116,55
Fietsstraat (2-richting)	112,80	/	/
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	117,01	/	109,97
Fietsstraat (1-richting)	81,19	/	/

In tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur bedraagt de inhaalafstand bij het passeren van een enkele fietser zonder tegenligger gemiddeld 147,70 m. De kleinste passeerafstand wordt gemeten bij fietssuggestiestroken, namelijk 95,92 m. Bij fietsstraten is deze afstand gemiddeld 112,80 m. Dit is korter dan bij wegen zonder fietsinfrastructuur, maar langer dan bij wegen met fietssuggestiestroken.

In eenrichtingsstraten bedraagt de benodigde afstand om een enkele fietser zonder tegenligger op wegen zonder infrastructuur in te halen 117,01 m. In fietsstraten is de nodige afstand 81,19 m.

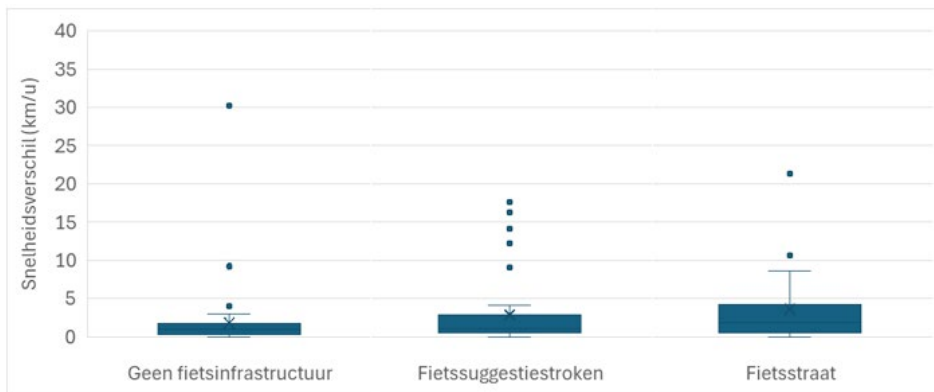
Voor het inhalen van een enkele fietser met tegenligger in tweerichtingsstraten bedraagt de gemiddelde inhaalafstand 116,64 m op wegen zonder fietsinfrastructuur. Op wegen met fietssuggestiestroken bedraagt deze afstand 131,85 m.

In tweerichtingsstraten bedraagt de gemiddelde afstand die nodig is om twee fietsers in te halen 140,17 m op wegen zonder fietsinfrastructuur. Op wegen met fietssuggestiestroken bedraagt de afstand 116,55 m.

In eenrichtingsstraten bedraagt de benodigde afstand om twee fietsers in te halen op wegen zonder fietsinfrastructuur 109,97 m.

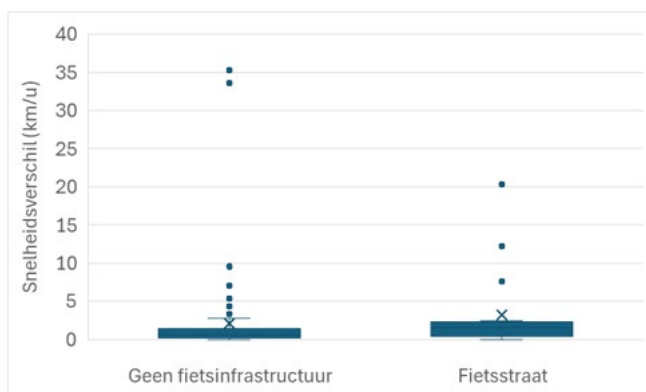
4.1.5 Snelheidsverschil voor en na het inhalen

Figuur 11 toont in boxplots de spreiding van het snelheidsverschil voor en na het inhalen van een enkele fietser zonder tegenligger, voor verschillende fietsinfrastructuren in tweerichtingsstraten. Uit de boxplots is te zien dat er duidelijke verschillen zijn tussen de infrastructuren. Bij wegen zonder fietsinfrastructuur is de spreiding het kleinst en zijn de snelheidsverschillen het laagst. Fietssuggestiestroken vertonen grotere snelheidsverschillen en de meeste uitschieters. In fietsstraten zijn de snelheidsverschillen en de spreiding het grootst.



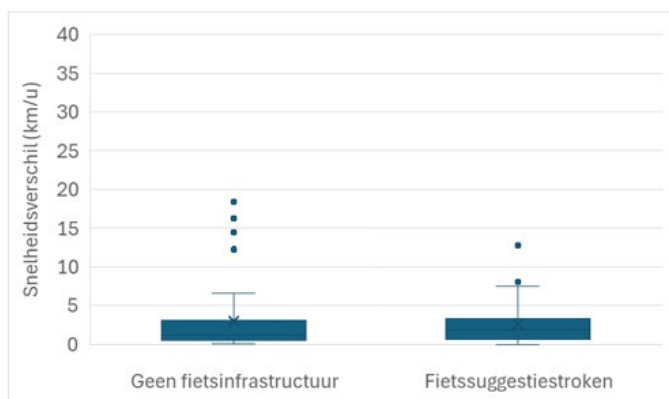
Figuur 11: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser zonder tegenligger in tweerichtingsstraten

Figuur 12 toont in boxplots de spreiding van het snelheidsverschil voor en na het inhalen van een enkele fietser zonder tegenligger, voor verschillende fietsinfrastructuren in eenrichtingsstraten. De boxplots tonen aan dat het snelheidsverschil bij wegen zonder fietsinfrastructuur kleiner en de spreiding groter is dan bij fietsstraten. Op fietsstraten zijn de snelheidsverschillen het grootst, maar is de spreiding het kleinst. Op wegen zonder fietsinfrastructuur zijn meer en hogere uitschieters dan op fietsstraten.



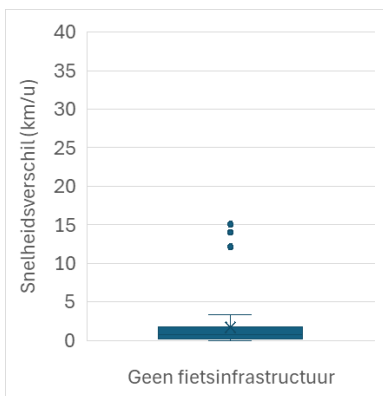
Figuur 12: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser zonder tegenligger in eenrichtingsstraten

Figuur 13 toont in boxplots de spreiding van het snelheidsverschil voor en na het inhalen van een enkele fietser met tegenligger, voor verschillende fietsinfrastructuren in tweerichtingsstraten. Hier valt op dat het snelheidsverschil en de spreiding bij tweerichtingswegen zonder fietsinfrastructuur en fietssuggestiestroken ongeveer gelijk zijn. Echter zijn er meer en grotere uitschieters bij wegen zonder fietsinfrastructuur.



Figuur 13: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser met tegenligger in tweerichtingsstraten

Figuur 14 toont in een boxplot de spreiding van het snelheidsverschil voor en na het inhalen van een enkele fietser met tegenligger, voor eenrichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur. Hier zijn de snelheidsverschillen en spreiding relatief klein met enkele uitschieters.



Figuur 14: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser met tegenligger in eenrichtingsstraten

4.1.6 Gemiddelde afstand tussen auto en fietser in fietsstraten

In tabel 7 wordt de gemiddelde afstand tussen auto en fietser in fietsstraten weergegeven. De gemiddelde afstand tussen een auto en een enkele fietser zonder tegenligger in fietsstraten bedraagt 17,61 m in tweerichtingsverkeer en 15,29 m in eenrichtingsverkeer.

Tabel 7: Gemiddelde afstand tussen auto en fietser in fietsstraten

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (m)
Fietsstraat (2-richting)	17,61
Fietsstraat (1-richting)	15,29

4.1.7 Percentage bestuurders die inhalen in een fietsstraat

In tabel 8 wordt het percentage bestuurders die inhalen in fietsstraten weergegeven. In fietsstraten met tweerichtingsverkeer haalt 55% van de bestuurders fietsers in, terwijl dit percentage in eenrichtingsverkeer lager is, namelijk 36%.

Tabel 8: Percentage bestuurders die inhalen op een fietsstraat

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (%)
Fietsstraat (2-richting)	55
Fietsstraat (1-richting)	36

4.2 Invloed van de aanwezigheid van tegenliggers

4.2.1 Passeerafstand fietsers met en zonder tegenligger

Tabel 9 presenteert de gemiddelde passeerafstanden bij fietsers met en zonder tegenligger.

Tabel 9: Passeerafstand fietsers met en zonder tegenligger

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (m)	1 fietser met tegenligger (m)
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	0,95	0,76
Fietssuggestiestroken (2-richting)	0,96	1,02
Aanliggend fietspad (2-richting)	0,60	0,57

In tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur wordt een duidelijke afname in passeerafstand waargenomen bij de aanwezigheid van een tegenligger. De gemiddelde afstand daalt van 0,95 m naar 0,76 m. Opmerkelijk is dat dit patroon niet zichtbaar is bij fietssuggestiestroken. Daar stijgt de gemiddelde passeerafstand van 0,96 m zonder tegenligger naar 1,02 m bij aanwezigheid van een tegenligger. Bij aanliggende fietspaden in tweerichtingsstraten blijft het verschil in passeerafstand minimaal. De passeerafstand bedraagt 0,60 m zonder tegenligger tegenover 0,57 m met tegenligger.

4.2.2 Nodige tijd voor inhalen fietsers met en zonder tegenligger

Tabel 10 presenteert de gemiddelde nodige tijden voor het inhalen van fietsers met en zonder tegenligger.

Tabel 10: Nodige tijd voor het inhalen met en zonder tegenligger

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (s)	1 fietser met tegenligger (s)
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	12,81	9,69
Fietssuggestiestroken (2-richting)	8,21	10,76

In tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur neemt de gemiddelde inhaaltijd af van 12,81 s wanneer er geen tegenligger aanwezig is, tot 9,69 s bij aanwezigheid van een tegenligger. Bij fietssuggestiestroken is een omgekeerd patroon zichtbaar. De gemiddelde inhaaltijd stijgt van 8,21 s zonder tegenligger naar 10,76 s met tegenligger.

4.2.3 Nodige afstand voor inhalen fietsers met en zonder tegenligger

Tabel 11 presenteert de gemiddelde nodige tijden voor het inhalen van fietsers met en zonder tegenligger.

Tabel 11: Nodige afstand voor inhalen fietsers met en zonder tegenligger

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (m)	1 fietser met tegenligger (m)
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	147,70	116,64
Fietssuggestiestroken (2-richting)	95,92	131,85

In tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur bedraagt de gemiddelde inhaalafstand 147,70 m zonder tegenligger, tegenover 116,64 m met tegenligger. Op fietssuggestiestroken wordt een omgekeerde trend vastgesteld. Hier neemt de gemiddelde afstand toe van 95,92 m zonder tegenligger naar 131,85 m met tegenligger.

4.3 Verschil bij het inhalen van één fietser versus twee fietsers die achter elkaar fietsen

4.3.1 Passeerafstand voor één fietser versus twee fietsers

Tabel 12 presenteert de gemiddelde passeerafstanden bij het inhalen van één fietser en twee fietsers.

Tabel 12: Passeerafstand voor één fietser versus twee fietsers

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (m)	2 fietsers (m)
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	0,95	0,96
Fietssuggestiestroken (2-richting)	0,96	1,08
Aanliggend fietspad (2-richting)	0,60	0,62
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	0,67	0,70
Aanliggend fietspad (1-richting)	1,40	1,42

In tweerichtingsstraten wordt bij iedere fietsinfrastructuur een grotere passeerafstand geregistreerd bij het inhalen van twee fietsers dan bij het inhalen van één fietser. Zo neemt de afstand op wegen zonder fietsinfrastructuur licht toe van 0,95 m naar 0,96 m. Op fietssuggestiestroken is dit verschil duidelijker. Hier stijgt de afstand van 0,96 m bij één fietser naar 1,08 m bij twee fietsers. Ook op aanliggende fietspaden is een lichte toename zichtbaar van 0,60 m naar 0,62 m.

In eenrichtingsstraten is hetzelfde patroon waarneembaar. Op wegen zonder fietsinfrastructuur stijgt de gemiddelde passeerafstand van 0,67 m bij één fietser naar 0,70 m bij twee fietsers. Op aanliggende fietspaden is er een lichte stijging zichtbaar van 1,40 m naar 1,42 m.

4.3.2 Nodige tijd voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers

Tabel 13 presenteert de gemiddelde nodige tijden voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers.

Tabel 13: Nodige tijd voor het inhalen van 1 fietser versus twee fietsers

Situatie	1 fietser zonder tegenligger (s)	2 fietsers (s)
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	12,81	15,10
Fietssuggestiestroken (2-richting)	8,21	9,68
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	10,37	10,67

In tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur blijkt de gemiddelde tijd om één fietser in te halen 12,81 s te bedragen, tegenover 15,10 s bij het inhalen van twee fietsers. Bij fietssuggestiestroken is het omgekeerde zichtbaar. Hier stijgt de inhaaltijd van 8,21 s bij het inhalen van één fietser naar 9,68 s bij het inhalen van twee fietsers.

In eenrichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur stijgt de inhaaltijd van 10,37 s bij één fietser naar 10,67 s bij twee fietsers.

4.3.3 Nodige afstand voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers

Tabel 14 presenteert de gemiddelde nodige afstanden voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers.

Tabel 14: Nodige afstand voor het inhalen van 1 fietser versus twee fietsers

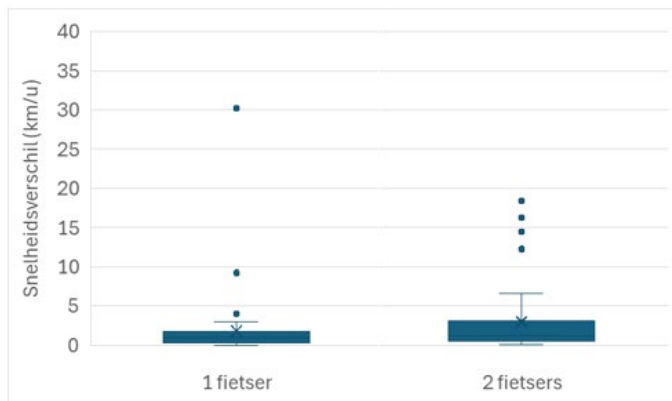
Situatie	1 fietser zonder tegenligger (m)	2 fietsers (m)
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	147,70	140,17
Fietssuggestiestroken (2-richting)	95,92	116,55
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	117,01	81,19

Op tweerichtingswegen zonder fietsinfrastructuur bedraagt de gemiddelde inhaalafstand voor het passeren van één fietser 147,70 m. Bij het inhalen van twee fietsers is deze afstand kleiner, namelijk gemiddeld 140,17 m. Bij fietssuggestiestroken is het omgekeerde zichtbaar. Hier neemt de afstand toe van 95,92 m bij het inhalen van één fietser naar 116,55 m bij het inhalen van twee fietsers.

In eenrichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur neemt de passeerafstand af van 117,01 m bij één fietser naar 81,19 m bij twee fietsers. Hoewel het verschil hier kleiner is dan bij tweerichtingsstraten, wijst dit op een vergelijkbare tendens.

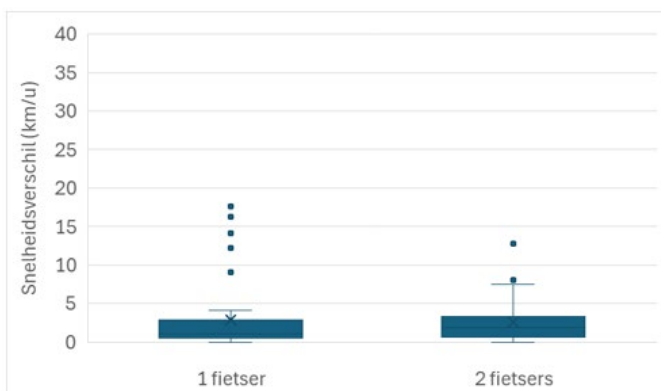
4.3.4 Snelheidsverschil voor en na het inhalen van één fietser versus twee fietsers

Figuur 15 toont in boxplots de spreiding van het snelheidsverschil voor en na het inhalen van een enkele fietser zonder tegenligger en twee fietsers die achter elkaar fietsen, voor tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur. Uit de boxplots blijkt dat het snelheidsverschil groter wordt bij het inhalen van twee fietsers en dat de spreiding toeneemt. Bij het inhalen van twee fietsers zijn de meeste uitschieters waarneembaar.



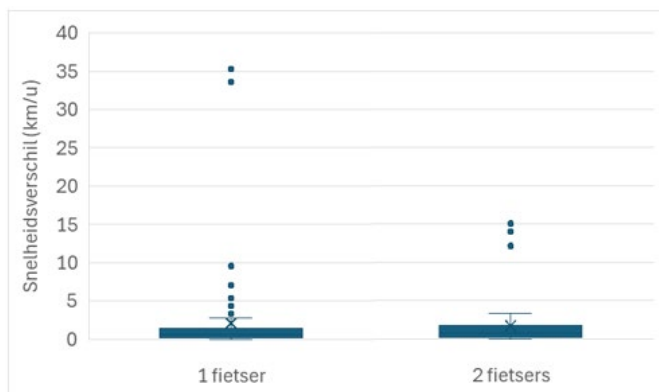
Figuur 15: Boxplots nodige snelheidsverschil inhalen 1 fietser en 2 fietsers in tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur

Figuur 16 toont in boxplots de spreiding van het snelheidsverschil voor en na het inhalen van een enkele fietser zonder tegenligger en twee fietsers die achter elkaar fietsen, voor tweerichtingsstraten met fietssuggestiestroken. De snelheidsverschillen bij het inhalen van twee fietsers nemen licht toe ten opzichte van het inhalen van één fietser en de spreiding is hier groter. Er treden echter meer uitschieters op bij het inhalen van één fietser.



Figuur 16: Boxplots nodige snelheidsverschil inhalen 1 fietser en 2 fietsers in tweerichtingsstraten met fietssuggestiestroken

Figuur 17 toont in boxplots de spreiding van het snelheidsverschil voor en na het inhalen van een enkele fietser zonder tegenligger en twee fietsers die achter elkaar fietsen, voor eenrichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur. Het snelheidsverschil bij het inhalen van één en twee fietsers is vergelijkbaar, maar er zijn meer uitschieters bij het inhalen van één fietser.



Figuur 17: Boxplots nodige snelheidsverschil inhalen 1 fietser en 2 fietsers in eenrichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur

4.4 Statistische analyse

4.4.1 Passeerafstand

Tabel 15 toont de *fixed effects* aan van de passeerafstand. *Fixed effects* verwijzen naar de gemiddelde invloed van bepaalde onafhankelijke variabelen (zoals situatie en type fietser) op de afhankelijke variabele (de passeerafstand), over alle observaties heen.

Tabel 15: Type III tests of fixed effects (passeerafstand)

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	59,284	1144,245	<,001
Situatie	6	759,976	162,208	<,001
Fietser	2	758,061	7,600	<,001
Situatie * Fietser	6	758,061	2,648	,015

De variabele situatie heeft een significant effect ($F(6; 759,976) = 162,208; p < ,001$). Ook de variabele fietser is significant ($F(2; 758,061) = 7,600; p < ,001$). Tenslotte is ook de interactie tussen situatie en fietser significant ($F(6; 758,061) = 2,648; p = ,015$).

Tabel 16 toont de *estimates* van de *fixed effects* aan van de passeerafstand. *Estimates* verwijzen naar de geschatte gemiddelde waarden van de passeerafstanden per situatie, rekening houdend met de gecontroleerde invloed van andere variabelen.

Tabel 16: *Estimates of fixed effects (passeerafstand)*

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	,946	,042	312,477	22,717	<,001	,864	1,028
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	0	0	.	.	.	.	.
Fietssuggestie- stroken (2-richting)	,012	,048	758,061	,239	,811	-,083	,106
Aanliggende fietspaden (2-richting)	-,344	,048	758,061	-7,127	<,001	-,439	-,249
Fietsstraten (2-richting)	,149	,060	761,928	2,501	,013	,032	,267
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	-,277	,042	758,061	-6,625	<,001	-,359	-,195
Aanliggend fietspad (1-richting)	,450	,042	758,061	10,760	<,001	,368	,532
Fietsstraten (1-richting)	-,360	,068	763,359	-5,278	<,001	-,494	-,226
Fietser zonder tegenligger	0	0	.	.	.	.	.
2 fietsers achter elkaar	,012	,048	758,061	,247	,805	-,083	,107
Fietser met tegenligger	-,191	,048	758,061	-3,949	<,001	-,286	-,096

Alle situaties, met uitzondering van fietssuggestiestroken (2-richting), zijn significant ten opzichte van de referentiesituatie (geen fietsinfrastructuur (2-richting)). Een aanliggend fietspad (1-richting) heeft daarbij de grootste t-waarde en aanliggende fietspaden (2-richting) de laagste. Daarnaast heeft ook de aanwezigheid van een tegenligger bij de fietser een significant effect op de passeerafstand.

Tabel 17 toont de *estimates of covariance parameters* aan. Hierin worden de variantiecomponenten van het model weergegeven: de *residual* en de *intercept*. De *residual* stelt de variabiliteit voor die niet verklaard wordt door de vaste effecten (de random "ruis" binnen de data). De *intercept* geeft de variatie weer tussen de verschillende groepen (bijvoorbeeld verschillende fietsers of situaties) die niet door de vaste effecten kan worden verklaard. Tabel 17 geeft aan dat zowel de residuele als de *intercept*-waarde significant zijn.

Tabel 17: *Estimates of covariance parameters (passeerafstand)*

Parameter	Sig.
Residual	<,001
Intercept	<,001

4.4.2 Passeersnelheid

Tabel 18 toont de *fixed effects* aan van de passeerafstand.

Tabel 18: *Type III tests of fixed effects (passeersnelheid)*

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	60,389	5859,678	<,001
Situatie	6	760,324	11,247	<,001
Fietser	2	758,206	15,735	<,001
Situatie * Fietser	6	758,206	4,148	<,001

De variabele situatie heeft een significant effect ($F(6; 760,324) = 11,247; p < ,001$). Ook de variabele fietser is significant ($F(2; 758,206) = 15,735; p < ,001$). Tenslotte is ook de interactie tussen situatie en fietser significant ($F(6; 758,206) = 4,148; p < ,001$).

Tabel 19 toont de *estimates* van de *fixed effects* aan van de passeersnelheid.

Tabel 19: Estimates of fixed effects (passeersnelheid)

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	50,406	1,011	345,297	49,849	<,001	48,417	52,394
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	0	0	.	.	.	.	.
Fietssuggestie- stroken (2-richting)	-4,969	1,196	758,206	-4,156	<,001	-7,316	-2,622
Aanliggende fietspaden (2-richting)	,244	1,196	758,206	,204	,839	-2,103	2,591
Fietsstraten (2-richting)	-8,765	1,478	762,482	-5,929	<,001	-11,667	-5,863
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	-,991	1,035	758,206	-,957	,339	-3,023	1,042
Aanliggend fietspad (1-richting)	-,614	1,035	758,206	-,593	,553	-2,647	1,419
Fietsstraten (1-richting)	-5,315	1,690	764,065	-3,146	,002	-8,632	-1,998
Fietser zonder tegenligger	0	0	.	.	.	.	.
2 fietsers achter elkaar	-,420	1,196	758,206	-,351	,726	-2,767	1,927
Fietser met tegenligger	-6,022	1,196	758,206	-5,037	<,001	-8,369	-3,675

Situaties met fietssuggestiestroken (2-richting) en fietsstraten (1- en 2-richting) zijn significant ten opzichte van de referentiesituatie (geen fietsinfrastructuur (2-richting)). Fietsstraten (2-richting) hebben daarbij de grootste negatieve t-waarde en aanliggende fietspaden (2-richting) de hoogste. Daarnaast heeft ook de aanwezigheid van een tegenligger bij de fietser een significant effect op de passeerafstand.

Tabel 20 toont de *estimates of covariance parameters* aan. Zowel de *residual* als de *intercept* zijn significant.

Tabel 20: *Estimates of covariance parameters (passeersnelheid)*

Parameter	Sig.
Residual	<,001
Intercept	<,001

4.4.3 Inhaalafstand

Tabel 21 toont de *fixed effects* aan van de inhaalafstand.

Tabel 21: *Type III tests of fixed effects (inhaalafstand)*

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	87,124	839,965	<,001
Situatie	4	451,222	7,203	<,001
Fietser	2	444,000	,112	,894
Situatie * Fietser	3	444,000	11,756	<,001

De variabele situatie heeft een significant effect ($F(4; 451,222) = 7,203; p < ,001$). Hier zijn de situaties met aanliggende fietspaden niet in opgenomen, omdat er hier geen inhaalbeweging wordt gemaakt. De variabele fietser is niet significant ($F(2; 444,000) = ,112; p = ,894$). Tenslotte is de interactie tussen situatie en fietser wel significant ($F(3; 444,000) = 11,759; p < ,001$).

Tabel 22 toont de *estimates* van de *fixed effects* aan van de inhaalafstand.

Tabel 22: *Estimates of fixed effects (inhaalafstand)*

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	147,697	6,531	367,773	22,613	<,001	134,853	160,541
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	0	0	.	.	.	.	.
Fietssuggestie- stroken (2- richting)	-51,781	8,268	444,000	-6,263	<,001	-68,031	-35,532
Fietsstraten (2-richting)	-36,439	10,254	453,308	-3,554	<,001	-56,591	-16,287
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	-30,684	7,160	444,000	-4,285	<,001	-44,757	-16,612
Fietsstraten (1-richting)	-57,367	14,319	459,765	-4,006	<,001	-85,507	-29,227
Fietser zonder tegenligger	0	0	.	.	.	.	.
2 fietsers achter elkaar	-7,527	8,268	444,000	-,910	,363	-23,777	8,722
Fietser met tegenligger	-31,061	8,268	444,000	-3,757	<,001	-47,311	-14,812

Alle situaties zijn significant kleiner tegenover de referentiesituatie (geen fietsinfrastructuur (2-richting)). Fietssuggestiestroken (2-richting) hebben daarbij de grootste negatieve t-waarde, gevolgd door respectievelijk geen fietsinfrastructuur (1-richting) en fietsstraten (1- en 2-richting). Daarnaast heeft ook de aanwezigheid van een tegenligger bij de fietser een significant effect op de inhaalafstand.

Tabel 23 toont de *estimates of covariance parameters* aan. Zowel de residual als de *intercept* zijn significant.

Tabel 23: *Estimates of covariance parameters (inhaalafstand)*

Parameter	Sig.
Residual	<,001
Intercept	<,001

4.4.4 Inhaaltijd

Tabel 24 toont de *fixed effects* aan van de inhaaltijd.

Tabel 24: Type III tests of fixed effects (inhaaltijd)

Source	Numerator df	Denominator df	F	Sig.
Intercept	1	83,453	321,565	<,001
Situatie	4	450,462	5,994	<,001
Fietser	2	443,887	3,862	,022
Situatie * Fietser	3	443,887	6,767	<,001

De variabele situatie heeft een significant effect ($F(4; 450,462) = 5,994; p < ,001$). Hier zijn de situaties met aanliggende fietspaden niet meegenomen, omdat er hierbij geen inhaalbeweging wordt gemaakt. Ook de variabele fietser is significant ($F(2; 443,887) = 3,862; p = ,022$). Tenslotte is ook de interactie tussen situatie en fietser significant ($F(3; 443,887) = 6,767; p < ,001$).

Tabel 25 toont de *estimates* van de *fixed effects* aan van de inhaaltijd.

Tabel 25: Estimates of fixed effects (inhaaltijd)

Parameter	Estimate	Std. Error	df	t	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Intercept	12,813	,921	345,429	13,918	<,001	11,003	14,624
Geen fietsinfrastructuur (2-richting)	0	0	.	.	.	.	.
Fietssuggestie- stroken (2-richting)	-4,602	1,148	443,887	-4,008	<,001	-6,859	-2,346
Fietsstraten (2-richting)	-3,086	1,425	452,364	-2,166	,031	-5,886	-,286
Geen fietsinfrastructuur (1-richting)	-2,518	,994	443,887	-2,532	,012	-4,473	-,564
Fietsstraten (1-richting)	-4,644	1,990	458,229	-2,333	,020	-8,556	-,733
Fietser zonder tegenligger	0	0	.	.	.	.	.
2 fietsers achter elkaar	2,282	1,148	443,887	1,987	,048	,025	4,539
Fietser met tegenligger	-3,124	1,148	443,887	-2,720	,007	-5,380	-,867

Alle situaties zijn significant kleiner tegenover de referentiesituatie (geen fietsinfrastructuur (2-richting)). Fietssuggestiestroken (2-richting) hebben daarbij de grootste negatieve t-waarde, gevolgd door respectievelijk geen fietsinfrastructuur (1-richting) en fietsstraten (1- en 2-richting). Daarnaast heeft ook de aanwezigheid van een tegenligger bij de fietser en 2 fietsers achter elkaar een significant effect op de inhaaltijd.

Tabel 26 toont de *estimates of covariance parameters* aan. Zowel de residual als de *intercept* zijn significant.

Tabel 26: Estimates of covariance parameters (inhaaltijd)

Parameter	Sig.
Residual	<,001
Intercept	<,001

5 Discussie

5.1 Invloed van fietsinfrastructuur op interacties tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer

5.1.1 Passeerafstand

Uit dit onderzoek blijkt dat de aanwezigheid van fietsinfrastructuur de manier waarop automobilisten fietsers inhalen beïnvloedt. In tweerichtingsstraten zorgen fietsstraten voor de grootste passeerafstand. Vermoedelijk heeft dit te maken met het gedeelde karakter van deze wegen, waarbij automobilisten zich meer bewust zijn van de aanwezigheid van fietsers en daardoor geneigd zijn extra ruimte te geven. Daarnaast hebben fietssuggestiestroken een verwaarloosbaar effect op de passeerafstand. Aanliggende fietspaden daarentegen leiden tot een kleinere afstand, mogelijk omdat het pad als een fysieke afscheiding wordt ervaren waardoor automobilisten minder geneigd zijn om uit te wijken. Echter zouden bredere aanliggende fietspaden wel kunnen leiden tot een grotere passeerafstand aangezien fietsers dan verder van de rijbaan fietsen.

In tabel 16 bedraagt de *estimate* van de passeerafstand voor aanliggende fietspaden in tweerichtingsstraten $-0,344$ m, terwijl voor fietsstraten een positieve *estimate* van $0,149$ m wordt waargenomen ($p = 0,013$). Deze estimates geven het verschil aan in de gemiddelde passeerafstand ten opzichte van het referentiescenario. Het verschil in effect tussen deze twee typen fietsinfrastructuur bedraagt $0,493$ m. Wanneer bij tweerichtingsstraten tussen de rijbaan en aanliggende fietspaden een schuwafstand van $0,50$ m wordt toegevoegd, leidt dit tot een positieve en significante toename van de passeerafstand. Dit is vergelijkbaar met het effect dat wordt waargenomen bij fietsstraten. Aangezien de testpersonen in deze situaties geen inhaalbewegingen uitvoerden, is de toename in passeerafstand het directe gevolg van de ingevoerde schuwafstand. Een schuwafstand groter dan $0,50$ m, of een aanliggend fietspad breder dan $1,00$ m in combinatie met een schuwafstand van $0,50$ m, kan resulteren in de veiligste verkeerssituatie op tweerichtingsstraten. Door deze aanpassingen te implementeren, komt de verwachting over veiligheid overeen met de bevindingen van [4].

Wanneer er sprake is van een tegenligger, blijkt dat fietssuggestiestroken op tweerichtingsstraten leiden tot de grootste passeerafstanden. Wegen zonder fietsinfrastructuur kennen kleinere afstanden. De kleinste passeerafstanden worden gemeten bij aanliggende fietspaden. Dit patroon komt overeen met de situatie zonder tegenligger, maar de absolute passeerafstanden liggen lager. Wanneer twee fietsers achter elkaar rijden in tweerichtingsstraten, is hetzelfde patroon zichtbaar. De grootste passeerafstanden worden dus gemeten bij fietssuggestiestroken, gevolgd door wegen zonder fietsinfrastructuur en vervolgens aanliggende fietspaden.

In eenrichtingsstraten is een omgekeerd patroon zichtbaar. Daar vergroten aanliggende fietspaden de passeerafstand aanzienlijk. Vermoedelijk gebruiken bestuurders de volledige wegbreedte door het ontbreken van tegenliggend verkeer. Dit, gecombineerd met het feit dat fietsers zich buiten de rijbaan bevinden, leidt tot een grotere passeerafstand. Fietsstraten in eenrichtingsstraten gaan echter gepaard met de kleinste afstand tussen automobilist en fietser, mogelijk omdat de weg hier $0,5$ m smaller is uitgevoerd, wat bestuurders minder ruimte biedt om uit te wijken. Wanneer twee fietsers achter elkaar rijden worden eveneens de grootste

passeerafstanden gemeten bij aanliggende fietspaden. Wegen zonder fietsinfrastructuur kennen kleinere afstanden. Dit patroon komt overeen met de situatie van één fietser zonder tegenligger.

Tabel 17 toont aan dat de *intercept* significant is ($p < ,001$), wat het gebruik van een random *intercept*-model rechtvaardigt. Uit tabel 15 blijkt dat zowel de individuele variabelen als hun combinatie significant zijn. De variabele 'situatie' heeft het grootste effect op de passeerafstand, met een F-waarde die meer dan twintig keer hoger is dan die van de andere variabelen en hun interactie ($F = 162,208$). Tabel 16 laat zien dat alle fietsinfrastructuren, behalve fietssuggestiestroken (2-richting), significant bijdragen aan de variatie in passeerafstand ten opzichte van de referentiesituatie (geen fietsinfrastructuur (2-richting)). Daarbij kan een onderscheid gemaakt worden tussen de situaties die een toename of afname van de passeerafstand veroorzaken. De bevinding dat fietssuggestiestroken geen significante invloed hebben, wordt bevestigd door [11, 36, 38]. De grootste positieve bijdrage wordt geleverd door een aanliggend fietspad (1-richting), met een t-waarde van 10,760. Ook fietsstraten (2-richting) dragen positief bij ($t = 2,501$). De overige situaties leiden tot een significant negatief effect op de passeerafstand. De kleinste negatieve impact komt van een fietsstraat (1-richting) ($t = -5,278$), gevolgd door wegen zonder fietsinfrastructuur (1-richting) ($t = -6,625$), en tenslotte een aanliggend fietspad (2-richting), dat het sterkst negatief effect heeft ($t = -7,127$). Dit positief effect op fietsstraten wordt bevestigd door [4, 12].

Om te bepalen welke situatie als het veiligst kan worden beschouwd, wordt gekeken naar de geschatte gemiddelde passeerafstanden en hun standaarddeviaties. Een aanliggend fietspad (1-richting) scoort het best, met de grootste gemiddelde passeerafstand en de kleinste variatie. Deze situatie wordt op basis van de passeerafstand als het veiligst beschouwd. Fietsstraten (2-richting) volgen als de enige andere infrastructuur met een duidelijk veiliger profiel dan de referentiesituatie. Opmerkelijk is dat aanliggende fietspaden (2-richting), ondanks hetzelfde type infrastructuur, de laagste passeerafstand opleveren. Dit maakt deze configuratie de minst veilige. Het verschil in effect kan verklaard worden door de opbouw van het fietspad. Tot slot blijkt dat de aanwezigheid van een tegenligger tijdens het inhalen van een fietser een significant negatief effect heeft op de passeerafstand. In situaties met een tegenligger hielden de testpersonen gemiddeld minder afstand tot de fietser in vergelijking met de referentiesituatie zonder tegenligger.

5.1.2 Passeersnelheid

De resultaten tonen aan dat de aanwezige fietsinfrastructuur een duidelijke invloed uitoefent op de passeersnelheid van gemotoriseerd verkeer ten opzichte van fietsers. In tweerichtingsstraten zijn de hoogste passeersnelheden te vinden bij wegen met aanliggende fietspaden en op wegen zonder fietsinfrastructuur, wat erop wijst dat automobilisten zich daar relatief zeker voelen in hun manoeuvre en weinig geneigd zijn om hun snelheid te reduceren. De snelheid bij aanliggende fietspaden ligt in lijn met de eerder uitgelegde redenering dat ze als een fysieke afscheiding wordt ervaren. Bij fietssuggestiestroken ligt de passeersnelheid lager, mogelijk doordat de visuele aanwezigheid van de stroken bestuurders bewust maakt van de nabijheid van fietsers, wat leidt tot een lagere passeersnelheid. De laagste passeersnelheden worden gemeten in fietsstraten, waar de maximaal toegelaten snelheid van 30 km/u en het gedeelde karakter van de weg vermoedelijk aanzet tot verhoogde voorzichtigheid en lagere snelheden. Bij de aanwezigheid van tegenliggers is de passeersnelheid het grootste op wegen met aanliggende fietspaden, wat erop

kan wijzen dat bestuurders de fietser als 'buiten' hun rijstrook beschouwen. De passeersnelheid is het laagste bij wegen zonder fietsinfrastructuur en bij wegen met fietssuggestiestroken. Bij het inhalen van twee fietsers in tweerichtingsstraten zijn de passeersnelheden in alle situaties ongeveer gelijk.

In eenrichtingsstraten zijn de verschillen in passeersnelheid bij wegen zonder fietsinfrastructuur en met een aanliggend fietspad minder uitgesproken. Wegen met aanliggende fietspaden tonen hier de hoogste snelheden, wat mogelijk te verklaren is doordat de fietser zich buiten de rijbaan bevindt waardoor automobilisten minder geneigd zijn vaart te minderen. In fietsstraten daarentegen is de passeersnelheid het laagst. Een mogelijke verklaring is de relatief smalle wegbreedte in combinatie met het gedeelde gebruik, wat tot meer gereserveerd rijgedrag kan leiden. Dat wegen zonder fietsinfrastructuur niet de hoogste passeersnelheden vertonen, wijst erop dat het ontbreken van afbakening in eenrichtingsstraten mogelijk tot extra waakzaamheid leidt, waardoor bestuurders hun snelheid alsnog matigen. Echter is dit verschil zeer klein. De passeersnelheid is het grootste bij wegen met een aanliggend fietspad en het kleinst bij wegen zonder fietsinfrastructuur. Het verschil is echter verwaarloosbaar klein.

Tabel 20 toont aan dat de *intercept* significant is ($p < ,001$), wat het gebruik van een random *intercept*-model rechtvaardigt. Uit tabel 18 blijkt dat zowel de individuele variabelen als hun combinatie significant zijn. De variabele fietser heeft het grootste effect op de passeersnelheid, met een F-waarde van 15,735. Daaropvolgend is de variabele situatie ($F = 11,247$) en tenslotte de interactie tussen die 2 variabelen ($F = 4,148$). Tabel 19 laat zien dat configuraties met fietssuggestiestroken (2-richting) en fietsstraten (1- en 2-richting) significant bijdragen aan de vermindering van de passeersnelheid ten opzichte van de referentiesituatie (geen fietsinfrastructuur (2-richting)). [38] bevestigt dat fietssuggestiestroken bijdragen tot een lagere passeersnelheid. De grootste bijdrage aan de vermindering van de passeersnelheid wordt geleverd door fietsstraten (2-richting), met een t-waarde van -5,929. Ook fietssuggestiestroken (2-richting) dragen bij tot de vermindering van de inhaalsnelheid ($t = -4,159$), en tenslotte fietsstraten (1-richting), dat het minst significant effect heeft ($t = -3,146$).

Om te bepalen welke situatie als het veiligst kan beschouwd worden op basis van passeersnelheid, wordt gekeken naar de geschatte gemiddelde passeersnelheden en hun standaarddeviaties. Fietsstraten (2-richting) scoren het best, met de laagste gemiddelde passeersnelheid en de tweede grootste deviatie. De relatief grote deviatie heeft in dit geval weinig invloed op het resultaat, aangezien de gemiddelde passeersnelheid voldoende laag blijft in vergelijking met de andere situaties. Op basis van deze bevindingen wordt deze situatie beschouwd als de veiligste wat betreft passeersnelheid. Hoewel fietsstraten (1-richting) een lagere gemiddelde passeersnelheid hebben dan fietssuggestiestroken (2-richting), gaat dit gepaard met een grotere deviatie. Hierdoor ligt de ondergrens (*lower bound*) van het betrouwbaarheidsinterval lager en tegelijk ook de bovengrens (*upper bound*) hoger dan die van de fietssuggestiestroken (2-richting). Daardoor kan er geen eenduidige conclusie worden getrokken over welke van deze twee fietsinfrastructuren veiliger is op basis van de passeersnelheid. Verder blijkt dat de aanwezigheid van een tegenligger tijdens het inhalen van een fietser een significant negatief effect heeft op de passeersnelheid. In situaties met een tegenligger reden de testpersonen gemiddeld trager bij het inhalen van de fietser in vergelijking met de referentiesituatie zonder tegenligger.

5.1.3 Inhaaltijd

Het inhalen op tweerichtingswegen duurt gemiddeld genomen langer dan op eenrichtingsstraten, wat vermoedelijk te maken heeft met de mogelijke aanwezigheid van tegenliggers die het inhaalproces vertragen door bijvoorbeeld meer twijfelend gedrag. Opvallend is dat fietssuggestiestroken in deze context het inhalen juist lijken te versnellen. Door hun visuele begeleiding geven ze bestuurders mogelijk een duidelijker beeld van de beschikbare ruimte, wat leidt tot een vlotter manoeuvre. Fietsstraten hebben ook een licht verkortend effect op de inhaaltijd in vergelijking met wegen zonder fietsinfrastructuur, al is dit verschil eerder beperkt. Deze kortere inhaalbewegingen kunnen op twee manieren worden geïnterpreteerd. Het kan beschouwd worden als efficiënt inhalen, waar bestuurders zeker zijn van hun inhaalmanoeuvre. Echter kunnen bestuurders ook sneller inhalen door onzekerheden, waardoor ze eventueel snellere en minder veilige inhaalbewegingen maken. De nodige tijd om een fietser met tegenligger in te halen het langst bij wegen met fietssuggestiestroken en het kleinst bij wegen zonder fietsinfrastructuur. Bij het inhalen van twee fietsers die achter elkaar fietsen is de inhaaltijd het grootste bij wegen zonder fietsinfrastructuur. De inhaaltijd is aanzienlijk korter bij de aanwezigheid van fietssuggestiestroken. De bestuurders zijn mogelijk meer zeker van hun inhaalmanoeuvre door de visuele begeleiding van de fietssuggestiestroken.

Tabel 26 toont aan dat de *intercept* significant is ($p < ,001$), wat het gebruik van een random *intercept*-model rechtvaardigt. Uit Tabel 24 blijkt dat zowel de individuele variabelen als hun combinatie significant zijn. De interactie tussen situatie en fietser heeft het grootste effect op de inhaalafstand, met een F-waarde van 6,767. Daaropvolgend is de variabele situatie ($F = 5,994$), en tenslotte de variabele fietser ($F = 3,862$). Tabel 25 laat zien dat alle configuraties significant bijdragen aan de vermindering van de inhaaltijd ten opzichte van de referentiesituatie (geen fietsinfrastructuur (2-richting)). De grootste bijdrage aan de vermindering van de inhaaltijd wordt geleverd door fietssuggestiestroken (2-richting), met een t-waarde van -6,263. Ook wegen zonder fietsinfrastructuur (1-richting) dragen bij tot de vermindering van de inhaalafstand ($t = -4,285$). Gevolgd door fietsstraten (1-richting) ($t = -4,006$), en fietsstraat (2-richting), dat het minst significant effect had ($t = -3,554$).

Om te bepalen welke situatie als het veiligst kan worden beschouwd, wordt er gekeken naar de geschatte gemiddelde passeerafstanden en hun bijhorende standaarddeviaties. Fietssuggestiestroken (2-richting) en fietsstraten (1-richting) vertonen vergelijkbare gemiddelde inhaalsnelheden, met een verschil van slechts 0,042 s. Echter, de standaarddeviaties bij fietsstraten (1-richting) was bijna 2 keer zo groot. Daarom worden fietssuggestiestroken (2-richting) beschouwd als de situatie met de laagste en meest consistente inhaalsnelheid, gevolgd door fietsstraten (1-richting), fietsstraten (2-richting) en tenslotte geen fietsinfrastructuur (1-richting). De korte inhaaltijd kan ook op een andere manier worden geïnterpreteerd: een snellere inhaalbeweging zou kunnen wijzen op een onveiligere situatie. Om die reden wordt in dit onderzoek minder aandacht besteed aan inhaaltijd bij het formuleren van de uiteindelijke aanbevelingen.

Verder blijkt dat de aanwezigheid van een tegenligger tijdens het inhalen van een fietser een significant negatief effect heeft op de inhaalafstand. In situaties met een tegenligger maakten de testpersonen gemiddeld een kortere inhaalbeweging in vergelijking met de referentiesituatie zonder tegenligger.

5.1.4 Inhaalafstand

Bij de nodige afstand om fietsers in te halen is dezelfde trend te zien als bij de nodige inhaaltijd. In tweerichtingsstraten is deze afstand het grootst op wegen zonder fietsinfrastructuur, wat mogelijk voortkomt uit onzekerheid bij automobilisten over hoe de ruimte optimaal benut kan worden. Fietssuggestiestroken reduceren de benodigde afstand het sterkst, wat wederom duidt op het belang van visuele structuur in de rijomgeving. Fietsstraten nemen ook hier een tussenpositie in. Op eenrichtingsstraten wordt deze trend gedeeltelijk doorbroken, fietsstraten gaan hier gepaard met een iets kortere inhaalafstand, al zijn de verschillen niet groot. Bij de aanwezigheid van een tegenligger is de nodige afstand het grootst op wegen zonder fietsinfrastructuur en het kleinst op wegen zonder fietsinfrastructuur. Bij het inhalen van twee fietsers die achter elkaar fietsen is de inhaalafstand het grootst bij wegen zonder fietsinfrastructuur en het kleinst bij fietssuggestiestroken. Bij het inhalen van één fietser zonder tegenligger op eenrichtingsstraten is de inhaalafstand het grootst op wegen zonder fietsinfrastructuur en het kleinst op fietsstraten.

Tabel 23 toont aan dat de *intercept* significant is ($p < ,001$), wat het gebruik van een random *intercept*-model rechtvaardigt. Uit tabel 21 blijkt dat de variabele 'situatie' en de interactie tussen situatie en fietser significant zijn. De interactie tussen situatie en fietser heeft het grootste effect op de inhaalafstand, met een F-waarde van 11,759. Daaropvolgend is de variabele situatie, met een F-waarde van 7,203. Tabel 22 laat zien dat alle configuraties significant bijdragen aan de vermindering van de inhaalafstand ten opzichte van de referentiesituatie (geen fietsinfrastructuur (2-richting)). De grootste bijdrage aan de vermindering van de inhaalafstand wordt geleverd door fietssuggestiestroken (2-richting), met een t-waarde van -6,263. Ook wegen zonder fietsinfrastructuur (1-richting) dragen bij aan de vermindering van de inhaalafstand ($t = -4,285$). Daarna volgen fietsstraten (1-richting) ($t = -4,006$), en tenslotte fietsstraten (2-richting), met het minst significant effect ($t = -3,554$).

Om te bepalen welke situatie als het veiligst kan worden beschouwd, is gekeken naar de geschatte gemiddelde passeerafstanden en hun bijhorende standaarddeviaties. Hoewel fietsstraten (1-richting) de kleinste gemiddelde inhaalafstand vertonen, gaat dit gepaard met de grootste deviatie. Fietssuggestiestroken (2-richting) vertonen gemiddeld een 6 m grotere inhaalafstand dan fietsstraten (1-richting), met bovendien een kleinere deviatie en grotere bijdrage tot de inhaalafstand. Hierdoor wordt deze configuratie op de eerste plaats gezet, gevolgd door fietsstraten (1-richting). Fietsstraten (2-richting) hebben een kleinere gemiddelde inhaalafstand dan wegen zonder fietsinfrastructuur (1-richting), maar kent ook een hogere deviatie. Wanneer naar de betrouwbaarheidsintervallen wordt gekeken, blijkt dat de *upper bounds* van beide situaties dicht bij elkaar liggen, met slechts 0,325 m verschil. De *lower bound* van fietsstraten (2-richting) is lager, met een waarde van 11,834 m. Hierdoor worden fietsstraten (2-richting) als derde gerangschikt, gevolgd door wegen zonder fietsinfrastructuur (1-richting). De korte inhaalafstand kan ook anders geïnterpreteerd worden: een snellere inhaalbeweging zou kunnen wijzen op een onveiligere situatie. Om die reden wordt in dit onderzoek minder aandacht besteed aan inhaalafstand bij het formuleren van de uiteindelijke aanbevelingen.

Verder blijkt dat de aanwezigheid van een tegenligger tijdens het inhalen van een fietser een significant negatief effect heeft op de inhaalafstand. In situaties met een tegenligger maakten de testpersonen gemiddeld een kortere inhaalbeweging in vergelijking met de referentiesituatie zonder tegenligger.

5.1.5 Snelheidsverschil

Uit de resultaten blijkt dat het type fietsinfrastructuur een duidelijke invloed heeft op het snelheidsverschil voor en na het inhalen van een fietser. In tweerichtingsstraten worden de grootste snelheidsverschillen en spreidingen waargenomen op fietsstraten, terwijl op wegen zonder fietsinfrastructuur de snelheidsverschillen kleiner zijn en minder variatie vertonen. Opvallend is dat fietssuggestiestroken leiden tot meer uitschieters, wat kan wijzen op een inconsistente of onzekere aanpak van het inhalen door bestuurders in deze context.

In eenrichtingsstraten vertonen fietsstraten eveneens de grootste snelheidsverschillen, maar met een kleinere spreiding, wat suggereert dat het gedrag van bestuurders in deze situatie consistent is. Wegen zonder fietsinfrastructuur in eenrichtingsstraten vertonen dan weer meer uitschieters, wat mogelijk duidt op minder voorspelbaar rijgedrag.

De aanwezigheid van een tegenligger lijkt dit patroon verder te beïnvloeden, met name in tweerichtingsstraten, waar de snelheidsverschillen op fietssuggestiestroken en wegen zonder infrastructuur vergelijkbaar zijn, maar de uitschieters frequenter en extremer zijn op wegen zonder fietsinfrastructuur.

5.1.6 Gemiddelde afstand tussen auto en fietser in fietsstraten

In fietsstraten met tweerichtingsverkeer houden bestuurders een aanzienlijk grotere afstand tot de fietser aan dan in eenrichtingsfietsstraten. Desondanks wordt op de tweerichtingsfietsstraten vaker ingehaald. Dit suggereert dat bestuurders bij brede wegen meer afstand bewaren, maar zich minder geremd voelen om een inhaalmanoeuvre te starten.

5.2 Invloed van de aanwezigheid van tegenliggers

5.2.1 Passeerafstand fietsers met en zonder tegenligger

Op wegen zonder fietsfaciliteiten leidt de aanwezigheid van tegenliggers tot een kleinere passeerafstand, snellere inhaalmanoeuvres en kortere inhaalafstanden. Bestuurders lijken hier sneller tot inhalen over te gaan, mogelijk vanwege tijdsdruk of de wens om snel terug te keren naar hun eigen weghelft. Op fietssuggestiestroken is juist het omgekeerde zichtbaar: bij tegenliggers wordt méér afstand gehouden en nemen zowel de inhaaltijd als inhaalafstand toe. De duidelijke visuele afbakening lijkt bestuurders aan te moedigen tot meer afweging en voorzichtigheid. Bij aanliggende fietspaden verandert de passeerafstand nauwelijks onder invloed van tegenliggers, wat kan wijzen op een stabiele interpretatie van het pad als afgebakende ruimte, ongeacht de aanwezigheid van tegenliggers.

5.2.2 Nodige tijd voor inhalen fietsers met en zonder tegenligger

Daarnaast blijkt de aanwezigheid van een tegenligger de nodige tijd om een fietser in te halen te beïnvloeden, maar dit effect varieert naargelang het type infrastructuur. Op wegen zonder fietsinfrastructuur lijkt de aanwezigheid van een tegenligger te zorgen voor een kortere inhaaltijd. Mogelijk voelen bestuurders zich onder druk gezet om het inhaalmanoeuvre sneller uit te voeren door het naderende verkeer. Op fietssuggestiestroken daarentegen lijkt een tegenligger net te zorgen voor een langere inhaaltijd. Dit kan verklaard worden doordat bestuurders op deze wegen voorzichtiger te werk gaan en trager inhalen om conflicten met het tegenliggend verkeer te vermijden. Over het algemeen kan gesteld worden dat de interactie met tegenliggers leidt tot een meer afgewogen inhaalgedrag, waarbij bestuurders hun snelheid en timing aanpassen aan de verkeerssituatie.

5.2.3 Nodige afstand voor inhalen fietsers met en zonder tegenligger

Ook de nodige afstand om een fietser in te halen wordt beïnvloed door de aanwezigheid van tegenliggers, hoewel het effect afhankelijk is van de specifieke situatie. Op wegen zonder fietsinfrastructuur wordt de inhaalafstand kleiner wanneer er tegenliggend verkeer aanwezig is, wat mogelijk te verklaren is door de beperkte beschikbare ruimte. Bestuurders lijken hun manoeuvre sneller te willen afronden om een confrontatie met een tegenligger te vermijden. Op fietssuggestiestroken neemt de inhaalafstand daarentegen toe bij aanwezigheid van een tegenligger, vermoedelijk omdat bestuurders meer ruimte proberen te creëren door verder uit te wijken. Dit wijst erop dat de perceptie van veiligheid en risico een belangrijke rol speelt in het rijgedrag van automobilisten tijdens het inhalen van fietsers.

5.3 Verschil bij het inhalen van één fietser versus twee fietsers die achter elkaar fietsen

5.3.1 Passeerafstand voor één fietser versus twee fietsers

Wanneer twee fietsers achter elkaar rijden, blijkt dat bestuurders gemiddeld meer laterale afstand houden tijdens het inhalen. Mogelijk beschouwen bestuurders een groep fietsers als een grotere hindernis, waardoor ze instinctief meer afstand nemen om veilig te kunnen passeren. Dit effect is het sterkst merkbaar op fietssuggestiestroken, waar de aanwezigheid van markeringen bestuurders wellicht extra aanzet tot defensief gedrag. Bij aanliggende fietspaden is deze toename in passeerafstand minder uitgesproken, wat mogelijk verklaard kan worden doordat fietsers zich naast de rijbaan bevinden en bestuurders daardoor minder nood voelen om verder uit te wijken.

5.3.2 Nodige tijd voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers

Het inhalen van twee fietsers neemt logischerwijs meer tijd in beslag dan het inhalen van één fietser. Bestuurders moeten immers een langere afstand afleggen om beide fietsers volledig te passeren. Dit effect wordt versterkt in situaties waarin de beschikbare ruimte beperkt is, zoals op tweerichtingswegen zonder fietsinfrastructuur. De langere inhaaltijd kan deels verklaard worden door de behoefte aan extra voorzichtigheid en het feit dat bestuurders mogelijk hun snelheid verlagen om het manoeuvre veilig te voltooien.

5.3.3 Nodige afstand voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers

In tegenstelling tot wat intuïtief verwacht zou worden, is de nodige afstand om twee fietsers in te halen niet altijd groter dan bij één fietser. Dit kan mogelijk verklaard worden doordat bestuurders bij het inhalen van twee fietsers een ander inhaalgedrag vertonen, waarbij ze sneller het manoeuvre afronden om de tijd naast de fietsers te minimaliseren. Een sneller manoeuvre resulteert in een kortere inhaalafstand. De beschikbare ruimte, de waargenomen risico's en de snelheid waarmee er wordt ingehaald, lijken allemaal een rol te spelen in de uiteindelijke afstand die nodig is.

5.3.4 Snelheidsverschil voor één fietser versus twee fietsers

Het snelheidsverschil tussen het moment van naderen en passeren van een fietser blijkt afhankelijk te zijn van het aantal fietsers dat wordt ingehaald. Bij twee fietsers lijkt het snelheidsverschil groter te zijn op tweerichtingswegen zonder fietsinfrastructuur, vermoedelijk omdat bestuurders meer snelheid behouden om het langere inhaalmanoeuvre snel af te ronden. Op fietssuggestiestroken daarentegen is het snelheidsverschil bij twee fietsers kleiner dan bij één fietser, mogelijk omdat bestuurders voorzichtiger rijden en hun snelheid meer aanpassen aan de verkeerssituatie. Dit onderstreept hoe het inhaalgedrag sterk afhankelijk is van de waargenomen complexiteit en het risico van de situatie.

5.4 Conclusie

5.4.1 Rangschikking van fietsinfrastructuur op basis van verkeersveiligheid

Op basis van de bevindingen kan de rangorde van fietsinfrastructuur binnen eenrichtingsverkeer van veilig naar minder veilig als volgt worden opgesteld:

1. **Aanliggend fietspad:** Deze infrastructuur biedt de grootste passeerafstand, gecombineerd met de hoogste gemiddelde passeersnelheid. Echter moeten deze gegevens met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden, aangezien het effect van de passeersnelheid niet significant is. De duidelijke scheiding tussen rijstrook en fietser, samen met het stabiele verkeersbeeld, maakt dit het veiligste type voor eenrichtingsstraten;
2. **Fietsstraat:** Ondanks de kleinste passeerafstand, wordt er slechts in 36% van de gevallen ingehaald, wat duidt op terughoudendheid bij bestuurders en een zekere naleving van het impliciete of expliciete inhaalverbod. De gemiddelde afstand tussen auto en fietser bedraagt hier 17,61 m, wat relatief ruim is en bijdraagt aan een gevoel van veiligheid. De passeersnelheid ligt significant lager dan op andere wegtypes, wat mogelijk duidt op een bewust voorzichtiger rijgedrag;
3. **Geen fietsinfrastructuur:** De passeerafstand is hier duidelijk kleiner dan bij aanliggende fietspaden en vergelijkbaar met fietsstraten. De passeersnelheid ligt hoger en is significanter dan in fietsstraten. Deze combinatie van beperkte ruimte en frequente inhaalacties maakt dit tot de minst veilige situatie binnen eenrichtingsstraten. Bestuurders lijken hier sneller over te gaan tot inhalen zonder de mogelijkheid om voldoende afstand te houden, wat het risico op gevaarlijke interacties verhoogt.

De rangorde van infrastructuur in tweerichtingsverkeer van veilig naar minder veilig kan als volgt worden opgesteld:

1. **Fietsstraat:** Met de kleinste gemiddelde passeerafstand en een ruime afstand van 15,29 m tot de fietser, biedt deze infrastructuur het sterkste veiligheidsgevoel. De passeersnelheid ligt significant lager dan die van andere infrastructuurtypes, wat mogelijk duidt op een bewust gematigder rijgedrag. Hoewel 55% van de bestuurders toch inhaalt ondanks dit niet is toegestaan, wijst de lagere snelheid en grotere passeerafstand erop dat dit doorgaans voorzichtig gebeurt. Desondanks duidt het relatief hoge aandeel inhaalacties op een beperkte naleving van het inhaalverbod, wat het veiligheidsvoordeel gedeeltelijk relativeert;
2. **Fietssuggestiestrook:** De passeerafstand bij fietssuggestiestroken is niet significant ten opzichte van wegen zonder fietsinfrastructuur. Echter heeft deze infrastructuur wel een significant lagere inhaalsnelheid. Deze combinatie wijst op verhoogde voorzichtigheid bij automobilisten, waarschijnlijk beïnvloed door de visuele structuur van de suggestiestrook. Dit maakt fietssuggestiestroken een relatief veilige optie in situaties met tweerichtingsverkeer;
3. **Geen fietsinfrastructuur:** Hoewel de passeerafstand vergelijkbaar is met die van fietssuggestiestroken, ligt de passeersnelheid hier significant hoger. Het ontbreken van visuele begeleiding zoals bij fietssuggestiestroken maakt dat bestuurders mogelijk minder goed inschatten wanneer en hoe ze veilig kunnen inhalen. Dit verhoogt het risico, vooral bij tegenliggend verkeer;
4. **Aanliggend fietspad:** Ondanks het feit dat fietsers zich buiten de rijbaan bevinden, wordt hier de kleinste passeerafstand gemeten, hoewel de passeersnelheid geen significante invloed heeft. Deze combinatie wijst erop dat bestuurders het fietspad als een duidelijke fysieke scheiding beschouwen en zich daardoor minder verplicht voelen om uit te wijken. Deze beperkte zijdelingse marge kan het veiligheidsgevoel van fietsers sterk onder druk zetten. Aangezien in deze studie een smal aanliggend fietspad is onderzocht, kan de veiligheid in bredere configuraties mogelijk toenemen doordat fietsers dan verder van de rijbaan rijden. In deze configuratie vormt het aanliggend fietspad de minst veilige situatie binnen het tweerichtingsverkeer.

5.4.2 Ruimtelijke beperkingen en toepasbaarheid

Bij eenrichtingsstraten zijn aanliggende fietspaden het veiligst, maar ze vragen ook de meeste ruimte. De benodigde breedte is 5,50 m (wegbreedte en breedte fietspad). De tweede veiligste optie is een fietsstraat. Dit is de optie die de minste ruimte nodig heeft, namelijk een breedte van 4,00 m. De minst veilige optie is een weg zonder fietsinfrastructuur, waar een breedte van 4,50 m nodig is. Hier kan besloten worden dat de beschikbare ruimte een effect heeft op de veiligheid in eenrichtingsstraten.

Bij tweerichtingsstraten zijn fietsstraten de meest veilige optie. De benodigde breedte is hier 5,50 m. Na fietsstraten zijn fietssuggestiestroken en wegen zonder fietsinfrastructuur het veiligst. Hier is dezelfde breedte nodig bij fietssuggestiestroken. De minst veilige optie is een aanliggend fietspad, waar zelfs een breedte van 7,50 m nodig is. Ruimtebeperkingen hebben dus geen negatieve invloed op de veiligheid bij tweerichtingsstraten.

5.4.3 Financiële beperkingen en kostenefficiëntie

Zoals eerder vermeld zijn aanliggende fietspaden de meest veilige fietsinfrastructuur bij eenrichtingsstraten. Bij de aanleg van nieuwe fietsinfrastructuur op een bestaande weg is dit ook de meest kostenefficiënte oplossing, op wegen zonder fietsinfrastructuur na. Zowel de aanleg van een geverfd fietspad als een fietspad met gekleurd asfalt is goedkoper dan de aanleg van geverfde fietsstraten. Indien een nieuwe weg wordt aangelegd, is de aanleg van een fietsstraat met gekleurd asfalt de goedkoopste optie indien deze fietsstraat langer is dan 70 m. Bij korte straten is het verschil in kostprijs tussen een aanliggend fietspad uit gekleurd asfalt en een fietsstraat uit gekleurd asfalt klein. Bij lange straten zijn fietsstraten uit gekleurd asfalt daarentegen de goedkoopste optie. Er moet dus worden afgewogen tussen veiligheid en kosten. Indien fietsinfrastructuur op een bestaande weg dient te worden aangebracht, zijn aanliggende fietspaden de goedkoopste optie. De aanleg van fietsstraten is meer dan 2,5 keer zo duur.

Fietsstraten zijn de veiligste fietsinfrastructuur bij tweerichtingsstraten. Bij de aanleg van fietsinfrastructuur op een bestaande weg is dit ook de meest kostenefficiënte oplossing. Fietsstraten die langer zijn dan 330 m en bestaan uit gekleurd asfalt, zijn de goedkoopste oplossing. De tweede veiligste fietsinfrastructuur zijn fietssuggestiestroken. Deze stroken zijn in straten korter dan 330 m het goedkoopst. Bij straten langer dan 330 m zijn deze duurder dan fietsstraten maar goedkoper dan aanliggende fietspaden. De aanleg van aanliggende fietspaden is de duurste en minst veilige optie. Deze kost meer dan het dubbel van de aanleg van aanliggende fietspaden uit gekleurd asfalt. Indien fietsinfrastructuur op een bestaande weg dient te worden aangebracht, zijn geverfde fietssuggestiestroken en aanliggende fietspaden uit gekleurd asfalt de goedkoopste optie. De aanleg van fietsstraten is ongeveer dubbel zo duur.

5.4.4 Aanwezigheid tegenliggers

De aanwezigheid van tegenliggers beïnvloedt het inhaalgedrag van automobilisten ten opzichte van fietsers op verschillende manieren, afhankelijk van het type infrastructuur. Op wegen zonder fietsfaciliteiten leidt dit doorgaans tot snellere en krappere inhaalmanoeuvres, vermoedelijk door tijdsdruk en ruimtegebrek. Fietssuggestiestroken daarentegen stimuleren juist voorzichtiger gedrag, met grotere passeerafstanden en langere inhaalmanoeuvres bij tegenliggers. Bij aanliggende fietspaden blijft het gedrag grotendeels onveranderd, wat wijst op een stabiele perceptie van de infrastructuur. In het algemeen toont dit deel aan dat de interactie met tegenliggend verkeer een belangrijke rol speelt in het afwegingsproces van bestuurders bij het inhalen van fietsers, waarbij infrastructuur een bepalende factor is in hoe dit gedrag zich uit.

5.4.5 Eén fietser versus twee fietsers

Het aantal in te halen fietsers beïnvloedt het gedrag van automobilisten op diverse manieren. Bij het inhalen van twee fietsers achter elkaar, houden bestuurders gemiddeld meer passeerafstand aan. Dit gebeurt voornamelijk op fietssuggestiestroken, wat wijst op verhoogde voorzichtigheid. De benodigde tijd om in te halen neemt vanzelfsprekend toe bij twee fietsers, met name op wegen zonder fietsinfrastructuur, waar de ruimte beperkt is. Opmerkelijk is echter dat de benodigde inhaalafstand niet altijd groter is bij twee fietsers, wat suggereert dat bestuurders het manoeuvre efficiënter proberen uit te voeren. Tot slot varieert ook het snelheidsverschil, waarbij bestuurders op sommige infrastructuren sneller blijven rijden bij twee fietsers, terwijl ze elders juist vertragen voor het inhalen. Deze bevindingen benadrukken dat niet alleen de infrastructuur, maar ook het aantal in te halen fietsers een belangrijke rol speelt in het inhaalgedrag en de afwegingen die bestuurders maken.

6 Besluit

Dit onderzoek analyseerde hoe verschillende fietsinfrastructuren bijdragen tot de verkeersveiligheid van fietsers op lokale wegen, met bijzondere aandacht voor het inhaalgedrag van automobilisten. Door middel van rijsimulators werden uiteenlopende scenario's in een gecontroleerde omgeving geanalyseerd, met focus op rijgedrag, passeerafstanden en inhaalgedrag. De resultaten werden vergeleken met de literatuur, wat toelaat om onderbouwde conclusies te trekken over veiligheid, toepasbaarheid en kostenefficiëntie van verschillende infrastructuren.

Bij tweerichtingsstraten zorgen fietsstraten voor de grootste passeerafstand en het grootste veiligheidsgevoel door een lage passeersnelheid en een ruime volgafstand van 15,29 m tussen auto en fietser. Fietssuggestiestroken bevorderen voorzichtig rijgedrag, terwijl het ontbreken van fietsinfrastructuur het risico vergroot door hogere passeersnelheden. Aanliggende fietspaden daarentegen bieden de kleinste passeerafstand, wat het veiligheidsgevoel onder druk zet. De infrastructuren kunnen bij tweerichtingswegen op basis van veiligheid, van meest naar minst veilig, als volgt worden gerangschikt: fietsstraat, fietssuggestiestrook, geen fietsinfrastructuur, aanliggend fietspad.

De kostprijs neemt af naarmate de waargenomen veiligheid stijgt; veiligere infrastructuren zijn goedkoper in aanleg. Ook de benodigde ruimte neemt af naarmate de waargenomen veiligheid toeneemt.

Bij eenrichtingsstraten bieden aanliggende fietspaden de grootste passeerafstand, maar ook de hoogste passeersnelheid. Fietsstraten hebben de kleinste passeerafstand, maar de lage inhaalfrequentie en ruime volgafstand van 17,61 m tussen auto en fietser dragen bij tot een veilige fietsomgeving. Straten zonder fietsinfrastructuur vertonen een kleinere passeerafstand en hogere passeersnelheden, wat de veiligheid vermindert door frequente inhaalmanoeuvres. De infrastructuren kunnen bij eenrichtingswegen op basis van veiligheid, van meest naar minst veilig, als volgt worden gerangschikt: aanliggend fietspad, fietsstraat, geen fietsinfrastructuur.

Daarnaast neemt de kostprijs toe naarmate de waargenomen veiligheid stijgt. Veiligere infrastructuren zijn doorgaans duurder in aanleg. Ook de benodigde ruimte neemt toe bij een hogere waargenomen veiligheid, met uitzondering van aanliggende fietspaden in eenrichtingsstraten.

Vervolgonderzoek kan zich verdiepen in de impact van bredere aanliggende fietspaden of een toegevoegde schuwafstand op het rijgedrag en de verkeersveiligheid. Daarnaast is er in de praktijk vastgesteld dat in sommige dorpskernen een snelheidslimiet van 30 km/u wordt toegepast. Het is relevant om te onderzoeken in hoeverre een verlaging van de snelheidslimiet van 50 km/u naar 30 km/u invloed heeft op de verkeersveiligheid. Daarnaast kan het effect van verschillende fietsinfrastructuren worden geëvalueerd in combinatie met elektrische fietsers, die hogere snelheden bereiken dan conventionele fietsers.

Referentielijst

- [1] Statistiek Vlaanderen. "Statistiek Vlaanderen fietsbezit." <https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/mobiliteit/fietsbezit> (accessed 16 februari, 2025).
- [2] Acerta. "Mobiliteitsbarometer Acerta: de evoluties in het woon-werkverkeer de laatste 5 jaar: Rol van de fiets in woon-werkverkeer 35% gegroeid." <https://www.acerta.be/nl/in-de-pers/mobiliteitsbarometer-acerta-de-evoluties-in-het-woon-werkverkeer-de-laatste-5-jaar-rol-van-de-fiets-in-woon-werkverkeer-35-gegroeid> (accessed 14 februari, 2025).
- [3] Vlaanderen Verkeerscentrum. "Fietstellingen 2023: vaker fietsend naar werk en school." <https://www.verkeerscentrum.be/nieuws/fietstellingen-2023-vaker-fietsend-naar-werk-en-school#:~:text=Die%20kleine%20steekproef%20van%2020,steeg%3A%20van%2012.400%20naar%2013.800> (accessed 12 februari, 2025).
- [4] Kennisnetwerk SPV and Strategisch Plan Verkeersveiligheid, "Wanneer zijn wegen en fietspaden voldoende veilig," 2020.
- [5] F. Sloomans, "Statistisch rapport 2024 – Verkeersongevallen 2023," 26 augustus 2024.
- [6] Swov. "Infrastructuur voor voetgangers en fietsers." <https://swov.nl/nl/factsheet/infrastructuur-voor-voetgangers-en-fietsers> (accessed 14 februari, 2025).
- [7] P. Schepers, D. Twisk, E. Fishman, A. Fyhri, and A. Jensen, "The Dutch road to a high level of cycling safety," 2017.
- [8] Agentschap wegen en verkeer, "Vademecum fietsvoorzieningen 2024," 2024.
- [9] Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer, Directoraat-generaal Duurzame Mobiliteit en Spoorbeleid, and Directie Mobiliteit - Dienst Strategie en transversaal beleid, "Kerncijfers van de fiets in België, tweede deitie," 2025.
- [10] L. B. Meuleners, M. Stevenson, M. Fraser, J. Oxley, G. Rose, and M. Johnson, "Safer cycling and the urban road environment: A case control study," 2019.
- [11] J. E. DiGioia, "SAFETY IMPACTS OF BICYCLE INFRASTRUCTURE A CRITICAL REVIEW," 2014.
- [12] R. Andriesse, G. Coffeng, and D. Ligtermoet, "Fietsstraten in hoofdfietsroutes : toepassingen in de praktijk," 2005.
- [13] Verkeersbord.be. "Verkeersbord SB250 F111 - Fietsstraat." https://www.verkeersbord.be/p/6791/belgische-verkeersborden/f-serie-aanwijzingsborden/verkeersbord-sb250-f111-fietsstraat/?_gl=1%2A1331shs%2A_up%2AMQ..%2Adomain_ga%2ANzEwNDazMzI1LjE3NDE2MzI1NzE.%2Adomain_ga_HZV5WVGLP1%2AMTc0MTYzMjU3MC4xLjAuMTc0MTYzMjU3MC4wLjAuMA..%2Arollup_ga%2ANzEwNDazMzI1LjE3NDE2MzI1NzE.%2Arollup_ga_5K68SPZWX0%2AMTc0MTYzMjU3MS4xLjAuMTc0MTYzMjU3MS4wLjAuMA (accessed 10 maart, 2025).
- [14] Verkeersbord.be. "Verkeersbordpaal 2200 mm boven de grond - Staal galva Grijs RAL 7043." <https://www.verkeersbord.be/p/7064/bevestigingsmaterialen/verkeersbordpaal-ral7043-verkeersgrijs/verkeersbordpaal-2200-mm-boven-de-grond-staal-galva-grijs-ral-7043/> (accessed 10 maart, 2025).
- [15] Verkeersbord.be. "Bordbeugelset SB250 Grijs (2 stuks)." <https://www.verkeersbord.be/p/6661/bevestigingsmaterialen/paalbeugels-sb250/bordbeugelset-sb250-grijs-2-stuks/> (accessed 10 maart, 2025).
- [16] J. Jeon and A. Woo, "The effects of built environments on bicycle accidents around bike-sharing program stations using street view images and deep learning techniques: The moderating role of streetscape features," *Journal of Transport Geography*, 2024.

- [17] H. Bi, A. Li, H. Zhu, and Z. Ye, "Bicycle safety outside the crosswalks: Investigating cyclists' risky street-crossing behavior and its relationship with built environment," *Journal of Transport Geography*, 2023.
- [18] J. Duthie, J. F. Brady, A. F. Mills, and R. B. Machemehl, "Effects of On-Street Bicycle Facility Configuration on Bicyclist and Motorist Behavior," 2010.
- [19] R. Van Houten and C. Seiderman, "How Pavement Markings Influence Bicycle and Motor Vehicle Positioning: A Case Study in Cambridge, MA " 2005.
- [20] M. Johnson, S. Newstead, J. Oxley, and J. Charlton, "Cyclists and open vehicle doors: Crash characteristics and risk factors," 2013.
- [21] H. Ding, N. N. Sze, Y. Guo, and H. Li, "Role of exposure in bicycle safety analysis: Effect of cycle path choice " 2021.
- [22] E. Dumbaugh, W. Li, and K. Joh, "The built environment and the incidence of pedestrian and cyclist crashes," 2013.
- [23] J. Hatfield *et al.*, "Factors associated with cyclists' self-reported choice of lane position," 2018.
- [24] C. C. Reynolds, M. A. Harris, K. Teschke, P. A. Cipton, and M. Winters, "The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature," 2009.
- [25] D. L. Harkey, J. R. Stewart, and E. A. Rodgman, "Evaluation of shared-use facilities for bicycles and motor Vehicles," 1996.
- [26] P. Schepers *et al.*, "The relationship between cycle track width and the lateral position of cyclists, and implications for the required cycle track width," *Journal of Safety Research*, 2023.
- [27] G. Romanillos and J. Gutiérrez, "Cyclists do better. Analyzing urban cycling operating speeds and accessibility," *International Journal of Sustainable Transportation*, 2020.
- [28] C. Xu, Q. Li, Z. Qu, and S. Jin, "Predicting Free Flow Speed and Crash Risk of Bicycle Traffic Flow Using Artificial Neural Network Models," 2015.
- [29] Fietsberaad, "De invloed van het weer op het fietsgebruik en het aantal fietsslachtoffers," 2007.
- [30] M. Dozza, R. Schindler, G. Bianchi-Piccini, and J. Karlsson, "How do drivers overtake cyclists?," *Accident Analysis and Prevention*, 2016.
- [31] T. Shamir, "How Should an Autonomous Vehicle Overtake a Slower Moving Vehicle: Design and Analysis of an Optimal Trajectory," 2004.
- [32] P. Petrov and F. Nashashibi, "Planning and Nonlinear Adaptive Control for an Automated Overtaking Maneuver," 2011.
- [33] G. Hegeman, S. Hoogendoorn, and K. Brookhuis, "Opportunities of advanced driver assistance systems towards overtaking," 2005.
- [34] CROW-Fietsberaad, "Evaluatie discussienotitie fiets- en kantstroken," 2015.
- [35] J. Kovaceva, G. Nero, J. Bärghman, and M. Dozza, "Drivers overtaking cyclists in the real-world Evidence from a naturalistic driving study," 2019.
- [36] C. A. Henao Florez, "DÉPASSEMENTS DANGEREUX DES CYCLISTES À MONTRÉAL," 2021.
- [37] S. C. Shackel and J. Parkin, "Influence of road markings, lane widths and driver behaviour on proximity and speed of vehicles overtaking cyclists," *Accident Analysis and Prevention*, 2014.
- [38] R. M. Van Der Kooi, "Effecten van rode fietssuggestiestroken op verkeersgedrag," 2000.
- [39] J. Törnros, "DRIVING BEHAVIOUR IN A REAL AND A SIMULATED ROAD TUNNEL—A VALIDATION STUDY," 1997.
- [40] H. Alm, "Driving simulators as research tools—a validation study based on the VTI Driving Simulator," 1995.
- [41] L. Harms, "Driving performance on a real road and in a driving simulator: Results of a validation study," 1996.
- [42] H. Klee, C. Bauer, E. Radwan, and H. Al-Deek, "Preliminary Validation of Driving Simulator Based on Forward Speed," 1999.

- [43] H. Antonson, S. Mårdh, M. Wiklund, and G. Blomqvist, "Effect of surrounding landscape on driving behaviour: A driving simulator study," *Journal of Environmental Psychology*, 2009.
- [44] Y. Ali, A. Sharma, M. M. Haque, Z. Zheng, and M. Saifuzzaman, "The impact of the connected environment on driving behavior and safety: A driving simulator study," 2020.
- [45] A. R. A. van der Horst, "WAARNEMEN, AANDACHT EN AFLEIDING Voorbeelden van human factors rijnsimulatoronderzoek," 2009.
- [46] D. de Waard and K. A. Brookhuis, "Resultaten van het Denkdek onderzoek in Rijnsimulator en Praktijkproef vergeleken," 2004.
- [47] Agentschap Wegen & Verkeer, "Rijstrook-, rijbaan- en verhardingsbreedtes op gewestwegen," 2020.
- [48] S. Drive, "Stitim drive 3 Scenario Definition Language Events."

Bijlagen

Bijlage A: Opmetingen fietsinfrastructuren

Tabel 27: Opmetingen fietsinfrastructuren

Straatnaam	Wegbreedte (m)	Type fietsinfrastructuur	Een of twee richting	Dimensies fietsinfrastructuur (m)	Toegelaten snelheid (km/u)
Wijkstraat, 3590 Diepenbeek	5,00	Aanliggende fietspaden	2	1,35	50
Kogelstraat, 3590 Diepenbeek	4,50	Fietsstraat	2	/	30
Dooistraat, 3590 Diepenbeek	5,20	Aanliggende fietspaden	2	1,70	50
Kloosterstraat, 3590 Diepenbeek	5,00	Fietsstraat	2	/	50
Kerklaan, 3590 Diepenbeek	5,00	Fietssuggestiestroken	2	1,8	30
Meidoornlaan, 3590 Diepenbeek	4,00	Geen fietsinfrastructuur	1	/	30
Toekomststraat, 3590 Diepenbeek	5,00	Fietssuggestiestroken	2	2,0	30
Rozenlaan, 3590 Diepenbeek	4,00	Geen fietsinfrastructuur	1	/	30
Sint-Janslaan, 3590 Diepenbeek	5,50	Fietsstraat	2	/	30
Dorpstraat, 3720 Hasselt	/	Aanliggende fietspaden	2	1,60	50
Boomgaardstraat, 3720 Hasselt	5,10	Geen fietsinfrastructuur	2	/	50
Omstraat, 3720 Hasselt	4,00	Aanliggende fietspaden	2	1,30	50
De Fauconvalstraat, 3720 Hasselt	3,70	Geen fietsinfrastructuur	1	/	50
Kapittelstraat, 3720 Hasselt	6,00	Aanliggende fietspaden	2	1,40	30
Heirbaan, 3721 Hasselt	5,10	Aanliggende fietspaden	2	1,60	50
Plasstraat, 3730 Bilzen-Hoeselt	5,00	Fietssuggestiestroken	2	1,20	50
Oude-tramstraat, 3724 Hasselt	4,00	Geen fietsinfrastructuur	2	/	50
Stationsstraat, 3722 Hasselt	6,00	Aanliggende fietspaden	2	1,80	50
Papeheide, 3721 Hasselt	4,00	Geen fietsinfrastructuur	2	/	50
Tongersesteenweg, 3720 Hasselt	/	Aanliggende fietspaden	2	1,50	50

Bijlage B: Kostprijs berekeningen

Kostprijs gele fietssuggestiestroken

Gegevens:

Kostprijs per m² voor geverfde fietssuggestiestroken = 27,65 €/m²

Meerprijs voor gekleurde asfaltlaag = 13,46 €/m²

Berekeningen:

Kostprijs per lopende meter (verf):

De breedte van de fietssuggestiestrook: 1,7 m per rijbaan

Oppervlakte per lopende meter = 1,7 m × 2 m = 3,4 m²/m

Kostprijs per lopende meter = 3,4 m²/m × 27,65 €/m² = 94,01 €/m

Kostprijs per lopende meter (gekleurd asfalt):

Meerprijs per m² = 13,46 €/m²

Kostprijs per lopende meter = 3,4 m²/m × 13,46 €/m² = 45,76 €/m

Kostprijs rode fietsstraten

Gegevens:

Kostprijs per m² voor geverfde fietsstraatmarkering = 41,50 €/m²

Meerprijs voor gekleurde asfaltlaag = 9,00 €/m²

Kostprijs per begin- en eindmarkeringen = 586,65 € per stuk

Kostprijs per verkeersbord binnen de bebouwde kom = 75,00 € per bord

Kostprijs per verkeersbord buiten de bebouwde kom = 131,25 € per bord

Kostprijs per paal voor verkeersbord = 52,50 € per paal

Kostprijs per bordbeugelset = 11,00 € per set

Berekeningen eenrichtingsstraat:

Oppervlakte per lopende meter = 3 m × 1 m = 3 m²/m

Kostprijs per lopende meter (geverfd) = 3 m²/m × 41,50 €/m² = 124,50 €/m

Kostprijs per lopende meter (gekleurd asfalt) = 3 m²/m × 9,00 €/m² = 27,00 €/m

Berekeningen tweerichtingsstraat:

$$\text{Oppervlakte per lopende meter} = 4,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 4,5 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$\text{Kostprijs per lopende meter (geverfd)} = 4,5 \text{ m}^2/\text{m} \times 41,50 \text{ €/m}^2 = 186,75 \text{ €/m}$$

$$\text{Kostprijs per lopende meter (gekleurd asfalt)} = 4,5 \text{ m}^2/\text{m} \times 9,00 \text{ €/m}^2 = 40,50 \text{ €/m}$$

Vaste kostprijs fietsstraat:

Begin- en eindmarkeringen:

$$\text{Aantal markeringen} = 2 \text{ (begin- en eindmarkering)}$$

$$\text{Kostprijs per markering} = \text{€ } 586,65$$

$$\text{Totale kostprijs voor markeringen} = 2 \times \text{€ } 586,65 = \text{€ } 1.173,30$$

Verkeersborden (binnen de bebouwde kom):

$$\text{Aantal borden} = 2 \text{ (begin- en eindborden)}$$

$$\text{Kostprijs per bord} = \text{€ } 75,00$$

$$\text{Totale kostprijs voor borden} = 2 \times \text{€ } 75,00 = \text{€ } 150,00$$

Palen voor de borden:

$$\text{Aantal palen} = 2$$

$$\text{Kostprijs per paal} = \text{€ } 52,50$$

$$\text{Totale kostprijs voor palen} = 2 \times \text{€ } 52,50 = \text{€ } 105,00$$

Bordbeugelset:

$$\text{Aantal sets} = 2$$

$$\text{Kostprijs per set} = \text{€ } 11,00$$

$$\text{Totale kostprijs voor beugelsets} = 2 \times \text{€ } 11,00 = \text{€ } 22,00$$

Totale vaste kostprijs eenrichtingsfietsstraat:

$$\text{Totale vaste kostprijs} = \text{€ } 1.173,30 + \text{€ } 150,00 + \text{€ } 105,00 + \text{€ } 22,00 = \text{€ } 1.450,30$$

Totale vaste kostprijs tweerichtingsfietsstraat:

$$\text{Totale vaste kostprijs} = \text{€ } 1.173,30 + 2 \times (\text{€ } 150,00 + \text{€ } 105,00 + \text{€ } 22,00) = \text{€ } 1.727,30$$

Kostprijs rode fietspaden

Gegevens:

Verharding van rode fietspaden:

$$\text{Kostprijs AB-4D toplaag} = 11,00 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Kostprijs APO-B onderlaag} = 12,91 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Steenslag funderingslaag} = 14,23 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Totale kostprijs verharding} = 11,00 \text{ €/m}^2 + 12,91 \text{ €/m}^2 + 14,23 \text{ €/m}^2 = 38,14 \text{ €/m}^2$$

Kleurtoepassing voor fietspaden:

$$\text{Kostprijs voor geleverd rood fietspad} = 41,50 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Meerprijs voor gekleurde asfaltlaag} = 9,00 \text{ €/m}^2$$

Witte onderbroken lijnen:

$$\text{Kostprijs per m}^2 \text{ voor lijnen} = 7,26 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Oppervlakte lijnen} = 0,15 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,075 \text{ m}^2$$

$$\text{Kostprijs per lopende meter} = 0,075 \text{ m}^2 \times 7,26 \text{ €/m}^2 = 0,55 \text{ €/m}^2$$

Berekeningen eenrichtingsstraat:

Kostprijs per lopende meter (verf):

$$\text{Oppervlakte per lopende meter} = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$\text{Kostprijs per lopende meter} = 1 \text{ m}^2/\text{m} \times 41,50 \text{ €/m}^2 = 41,50 \text{ €/m}$$

$$\text{Totale kostprijs per lopende meter: } 38,14 \text{ €/m}^2 + 0,55 \text{ €/m} + 41,50 \text{ €/m} = 80,19 \text{ €/m}$$

Kostprijs per lopende meter (gekleurd asfalt):

$$\text{Meerprijs per m}^2 = 9,00 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Kostprijs per lopende meter} = 1 \text{ m}^2/\text{m} \times 9,00 \text{ €/m}^2 = 9,00 \text{ €/m}$$

$$\text{Totale kostprijs per lopende meter: } 38,14 \text{ €/m}^2 + 0,55 \text{ €/m} + 9,00 \text{ €/m} = 47,69 \text{ €/m}$$

Berekeningen tweerichtingsstraat:

Kostprijs per lopende meter (verf):

$$\text{Totale kostprijs per lopende meter: } 2 \times 80,19 \text{ €/m} = 160,38 \text{ €/m}$$

Kostprijs per lopende meter (gekleurd asfalt):

$$\text{Totale kostprijs per lopende meter: } 2 \times 47,69 \text{ €/m} = 95,38 \text{ €/m}$$

Bijlage C: Foto's scenario's

Foto's situatie 1: Standaardweg met tweerichtingsrijbaan



Figuur 18: Foto 1 tweerichtingsstraat zonder fietsinfrastructuur

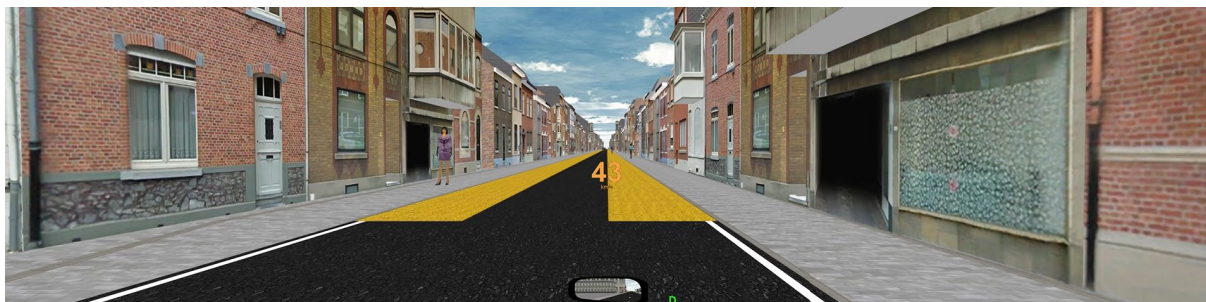


Figuur 19: Foto 2 tweerichtingsstraat zonder fietsinfrastructuur

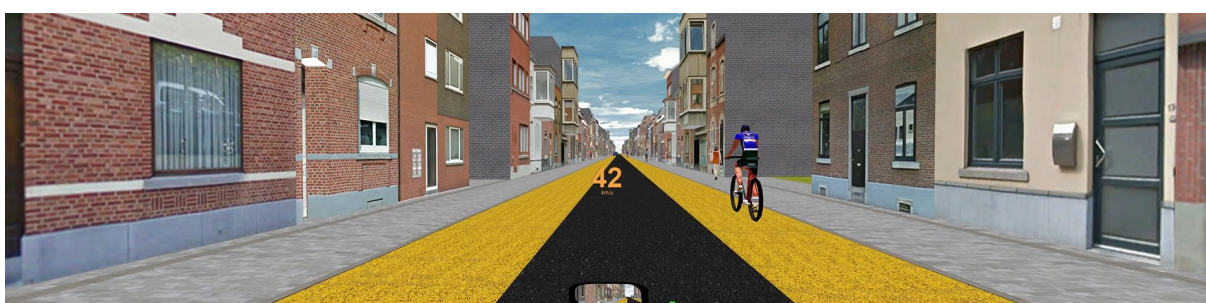


Figuur 20: Foto 3 tweerichtingsstraat zonder fietsinfrastructuur

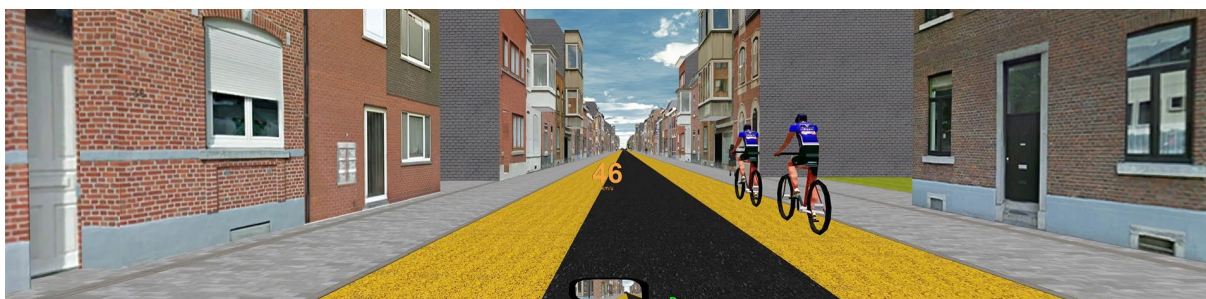
Foto's situatie 2: Fietssuggestiestroken op tweerichtingsrijbaan



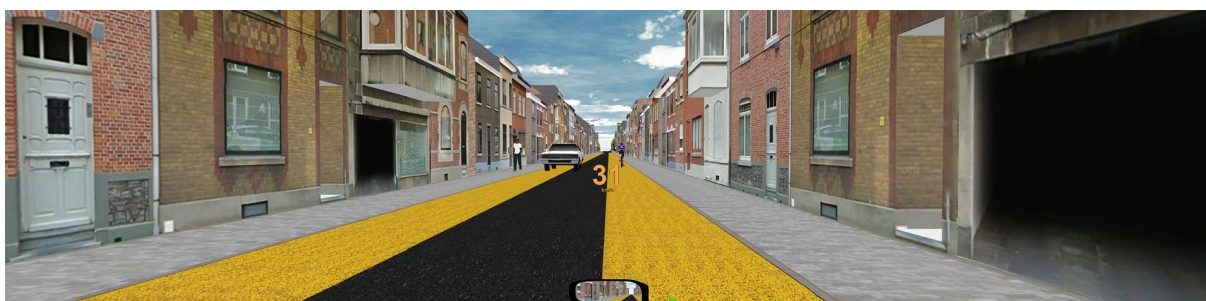
Figuur 21: Foto 1 tweerichtingsstraat met fietssuggestiestroken



Figuur 22: Foto 2 tweerichtingsstraat met fietssuggestiestroken

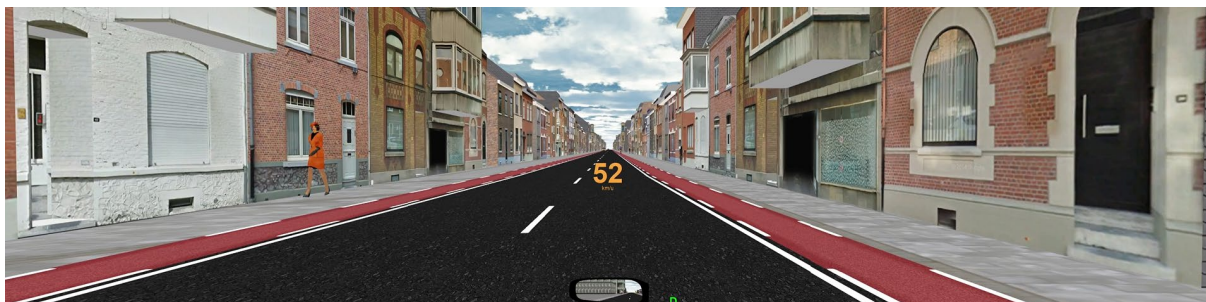


Figuur 23: Foto 3 tweerichtingsstraat met fietssuggestiestroken

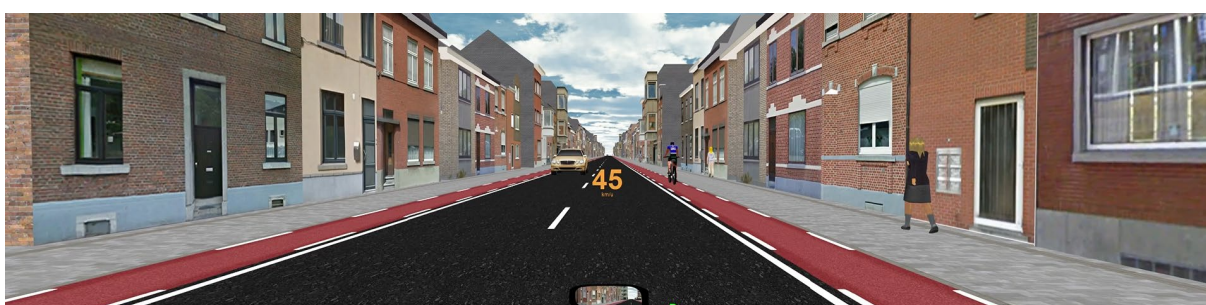


Figuur 24: Foto 4 tweerichtingsstraat met fietssuggestiestroken

Foto's situatie 3: Aanliggend fietspad op tweerichtingsrijbaan



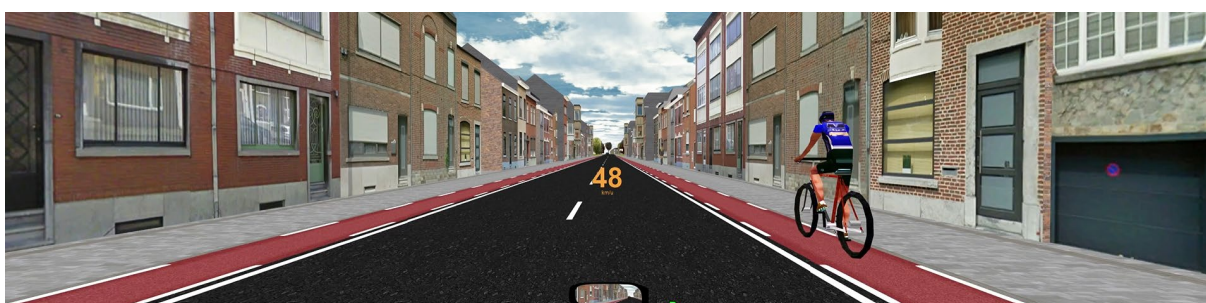
Figuur 25: Foto 1 tweerichtingsstraat met aanliggende fietspaden



Figuur 26: Foto 2 tweerichtingsstraat met aanliggende fietspaden



Figuur 27: Foto 3 tweerichtingsstraat met aanliggende fietspaden



Figuur 28: Foto 4 tweerichtingsstraat met aanliggende fietspaden

Foto's situatie 4: Fietsstraat met tweerichtingsrijbaan



Figuur 29: Foto 1 tweerichtingsfietsstraat



Figuur 30: Foto 2 tweerichtingsfietsstraat



Figuur 31: Foto 3 tweerichtingsfietsstraat

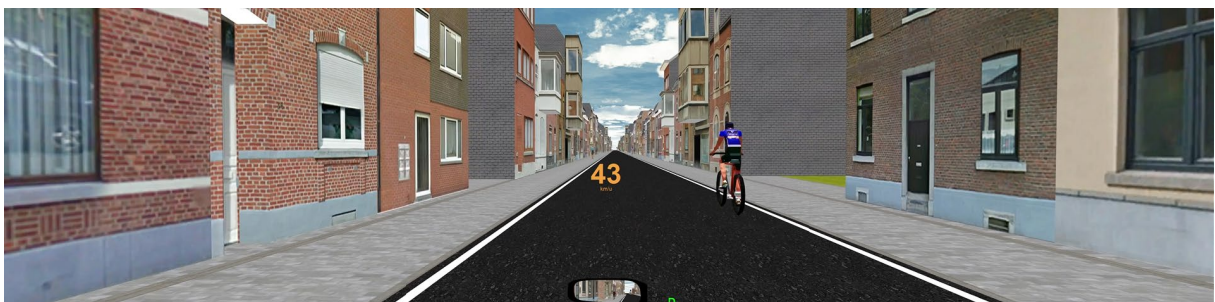


Figuur 32: Foto 4 tweerichtingsfietsstraat

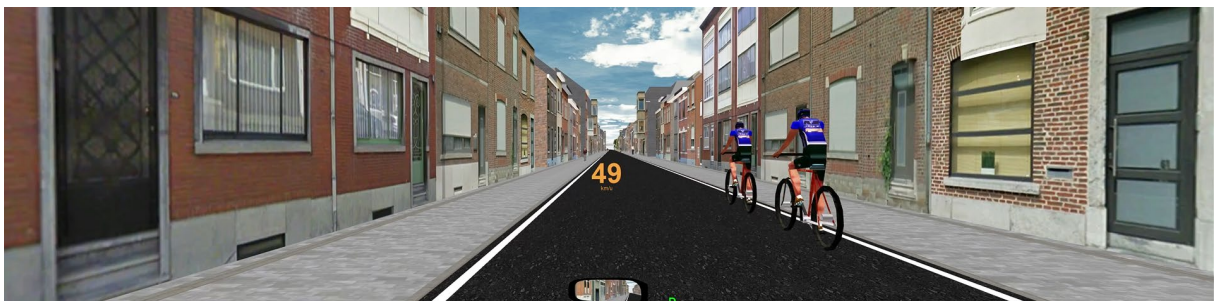
Foto's situatie 5: Standaardweg met eenrichtingsrijbaan



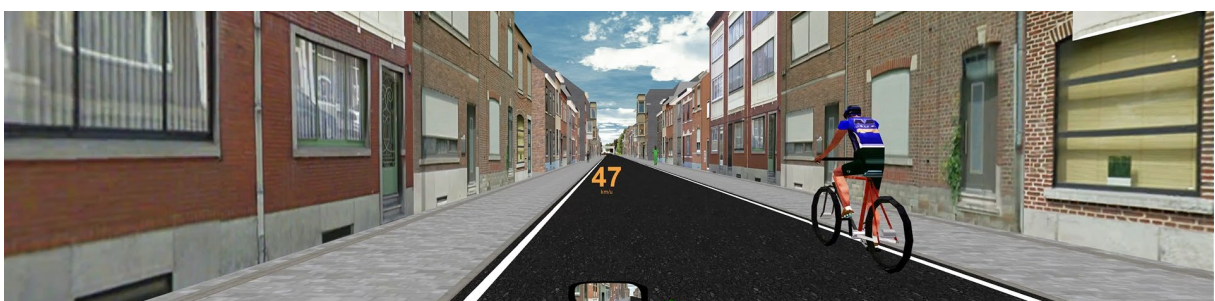
Figuur 33: Foto 1 eenrichtingsstraat zonder fietsinfrastructuur



Figuur 34: Foto 2 eenrichtingsstraat zonder fietsinfrastructuur



Figuur 35: Foto 3 eenrichtingsstraat zonder fietsinfrastructuur



Figuur 36: Foto 4 eenrichtingsstraat zonder fietsinfrastructuur

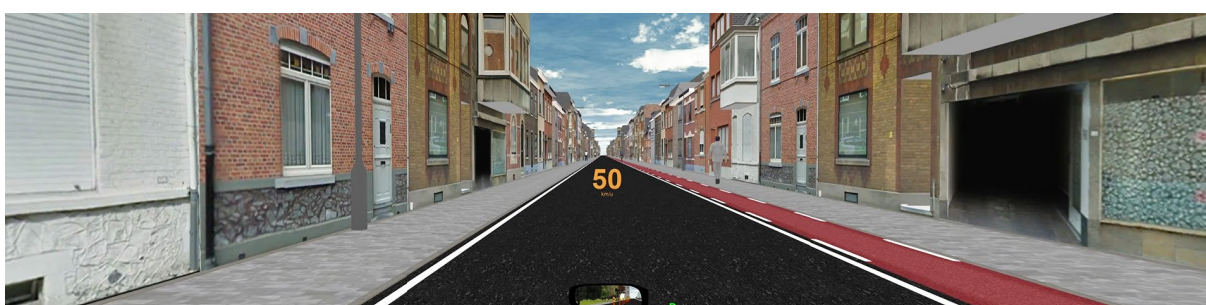


Figuur 37: Foto 5 eenrichtingsstraat zonder fietsinfrastructuur

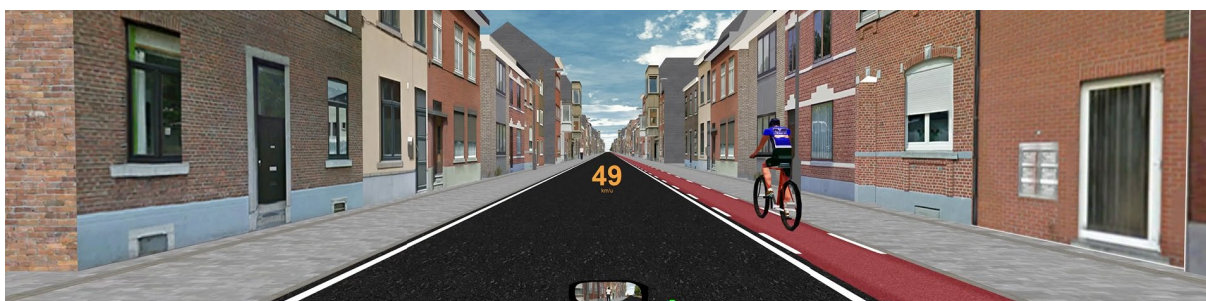
Foto's situatie 6: Aanliggend fietspad op eenrichtingsrijbaan



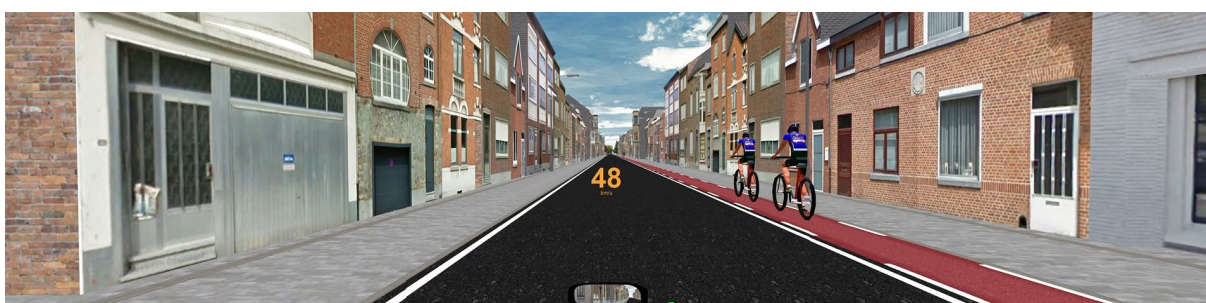
Figuur 38: Foto 1 eenrichtingsstraat met aanliggend fietspad



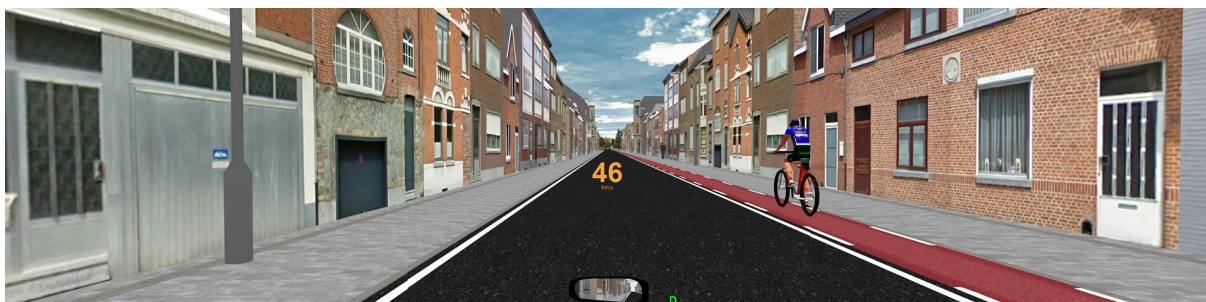
Figuur 39: Foto 2 eenrichtingsstraat met aanliggend fietspad



Figuur 40: Foto 3 eenrichtingsstraat met aanliggend fietspad



Figuur 41: Foto 4 eenrichtingsstraat met aanliggend fietspad

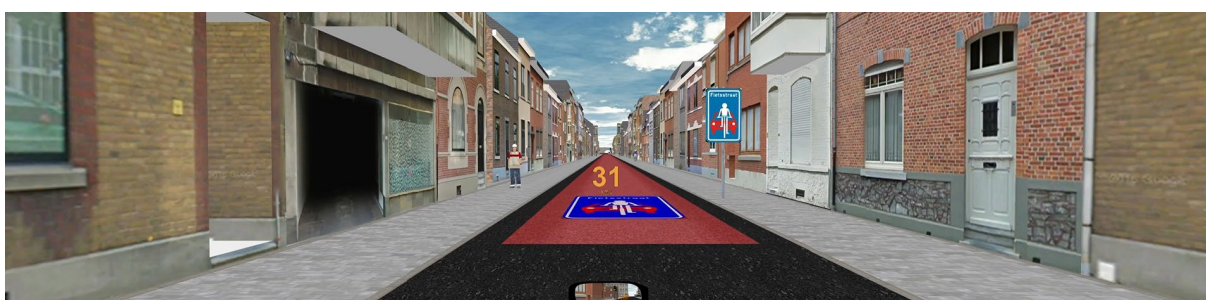


Figuur 42: Foto 5 eenrichtingsstraat met aanliggend fietspad

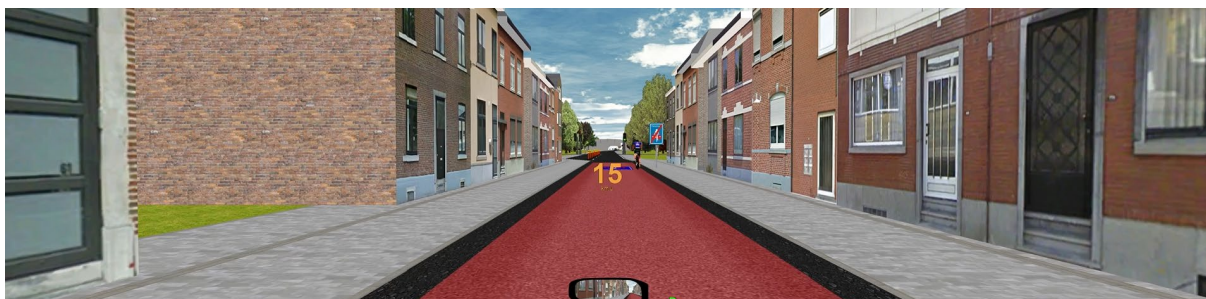
Foto's situatie 7: Fietsstraat op tweerichtingsrijbaan



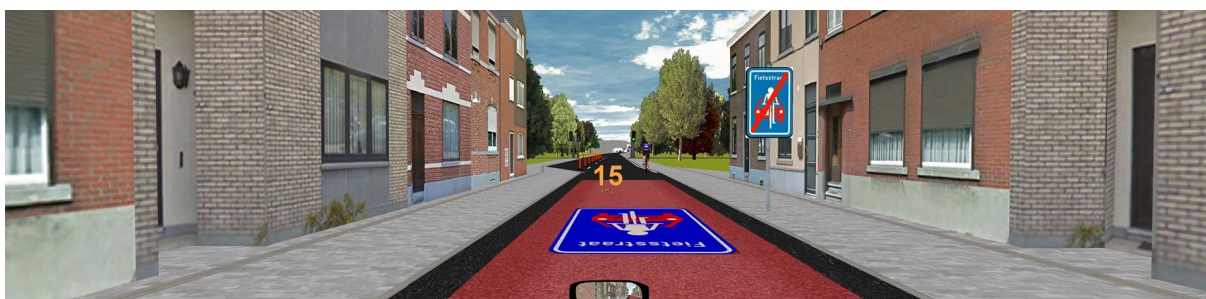
Figuur 43: Foto 1 eenrichtingsfietsstraat



Figuur 44: Foto 2 eenrichtingsfietsstraat



Figuur 45: Foto 3 eenrichtingsfietsstraat



Figuur 46: Foto 4 eenrichtingsfietsstraat

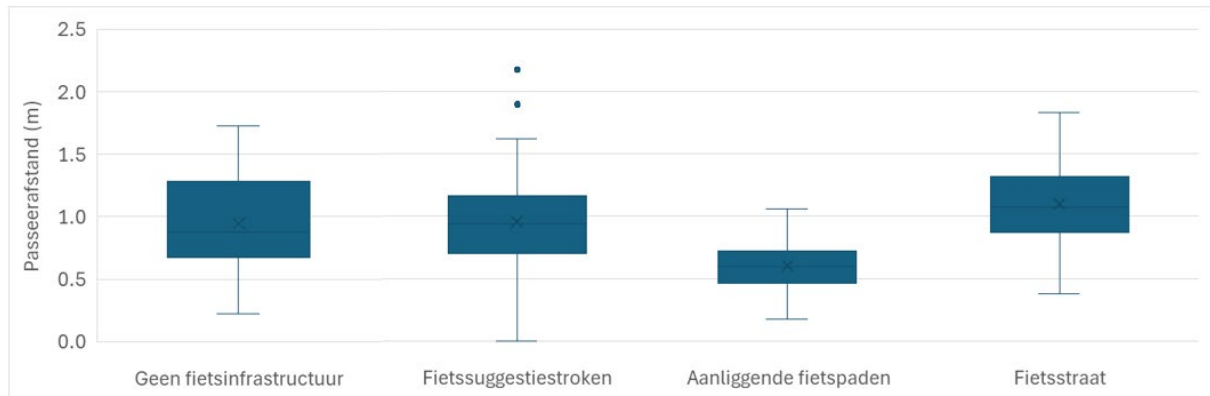
Bijlage D: Parameters Stisim Drive 3

Tabel 28. Data collection Variables [48]

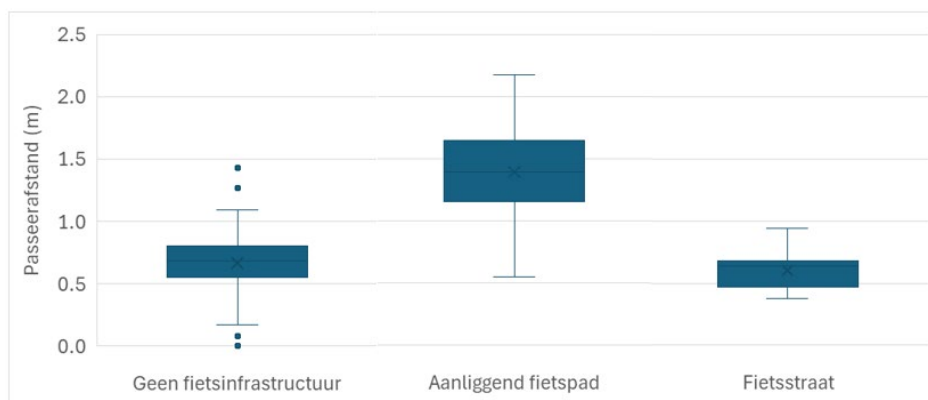
Data variabelen	Uitleg variabelen
1	Elapsed time (seconds) since the beginning of the run.
2	Longitudinal acceleration (feet/second ² or meters/second ²) of the driven vehicle.
3	Lateral acceleration (feet/second ² or meters/second ²) of the driven vehicle.
4	Longitudinal velocity (feet/second or meters/second) of the driven vehicle.
5	Lateral velocity (feet/second or meters/second) of the driven vehicle.
6	Total longitudinal distance travelled (feet or meters) by the driven vehicle since the beginning of the run.
7	Lateral lane position (feet or meters) of the driven vehicle with respect to the roadway dividing line, positive to the right.
8	Current driven vehicle lane, Lane that the center of the driven vehicle is currently in.
18	Running compilation of driver crashes.
23	Driver vehicle speedometer value (miles/hour or kilometers/hour).
36	Minimum range (feet or meters) between the driver's vehicle and all vehicles in the driver's direction.
37	Minimum time to collision (seconds) between the driver's vehicle and all vehicles opposing the driver's direction.
38	Minimum range (feet or meters) between the driver's vehicle and all vehicles opposing the driver's direction.
44	Current speed limit (feet/second or meters/second).
46	Save data for a specific numbered roadway object (vehicles, pedestrians, and signal lights).
50	Current speed limit (mile/hour or kilometers/hour).
74	Percentage the gas pedal is currently displaced.
75	Percentage the brake pedal is currently displaced.

Bijlage E: Boxplots

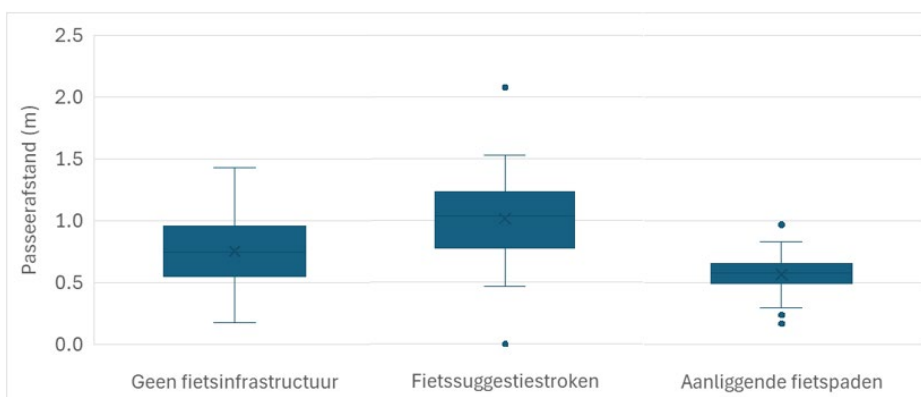
Passeerafstand



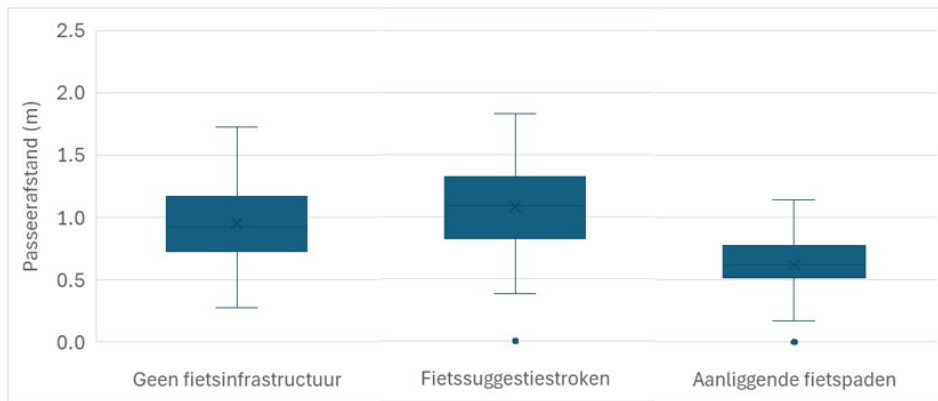
Figuur 47: Boxplots passeerafstand 1 fietser zonder tegenligger in tweerichtingsstraten



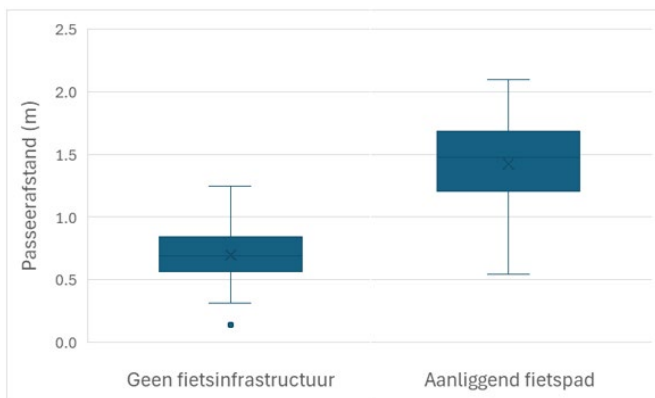
Figuur 48: Boxplots passeerafstand 1 fietser zonder tegenligger in eenrichtingsstraten



Figuur 49: Boxplots passeerafstand 1 fietser met tegenligger in tweerichtingsstraten

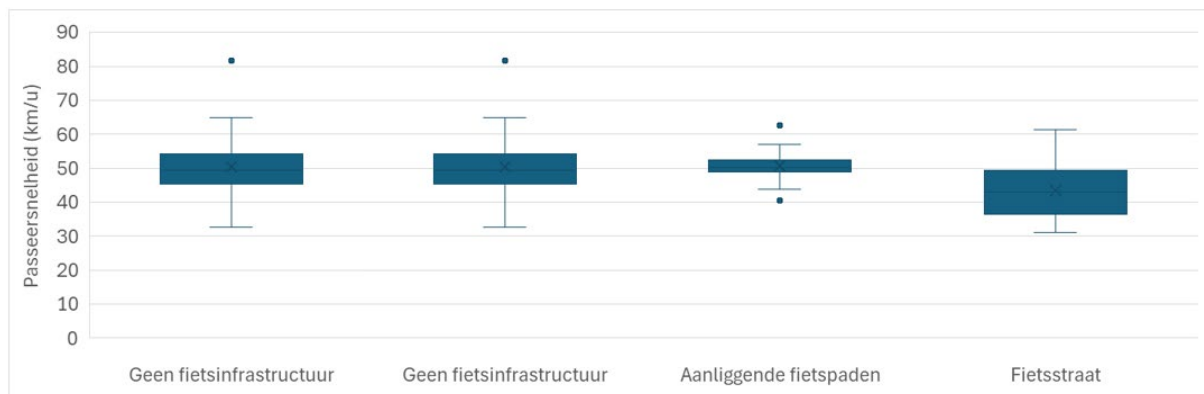


Figuur 50: Boxplots passeerafstand 2 fietsers achter elkaar in tweerichtingsstraten

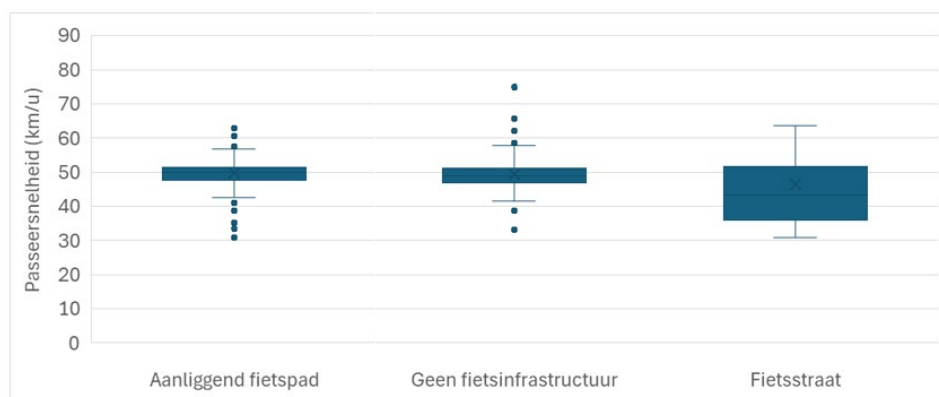


Figuur 51: Boxplots passeerafstand 2 fietsers achter elkaar in eenrichtingsstraten

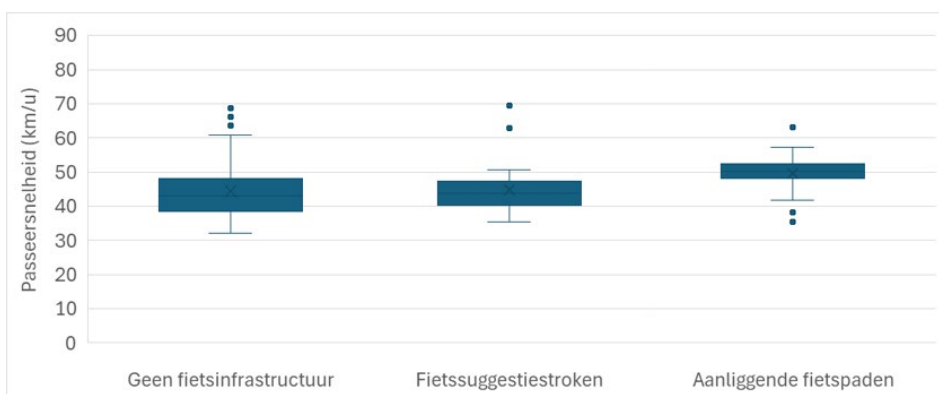
Passeersnelheid



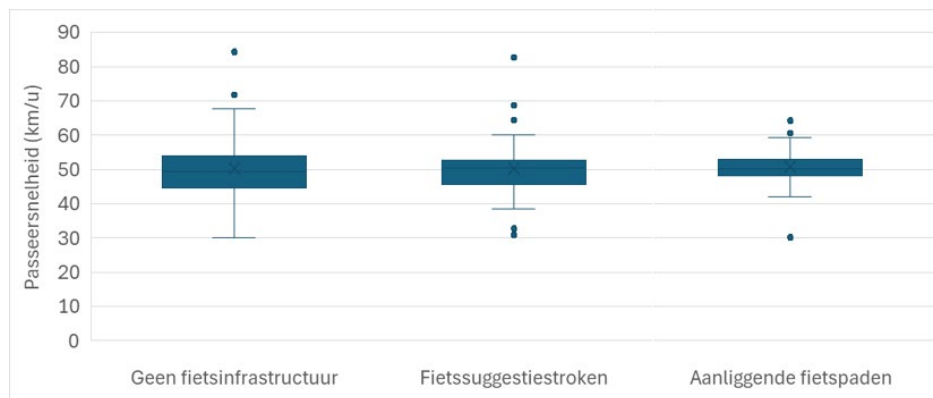
Figuur 52: Boxplots passeersnelheid 1 fietser zonder tegenligger in tweerichtingsstraten



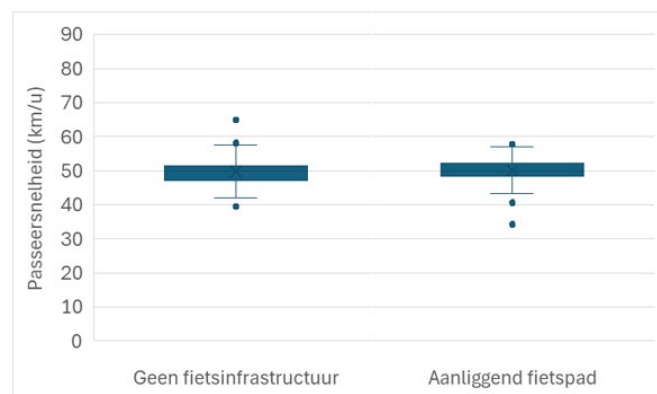
Figuur 53: Boxplots passeersnelheid 1 fietser zonder tegenligger in eenrichtingsstraten



Figuur 54: Boxplots passeersnelheid 1 fietser met tegenligger in tweerichtingsstraten

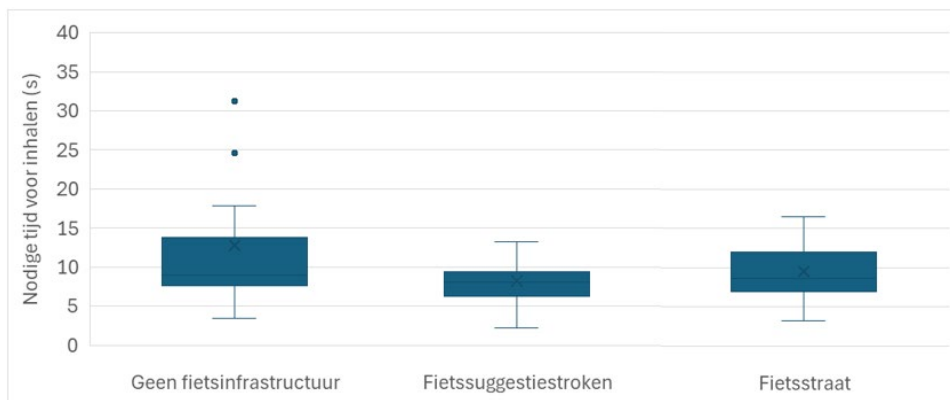


Figuur 55: Boxplots passeersnelheid 2 fietsers in tweerichtingsstraten

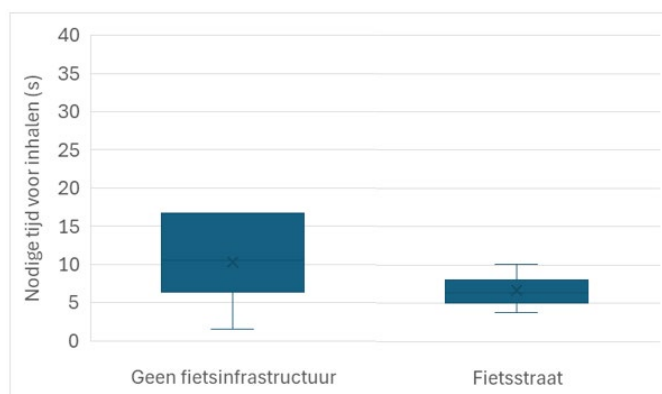


Figuur 56: Boxplots passeersnelheid 2 fietsers in eenrichtingsstraten

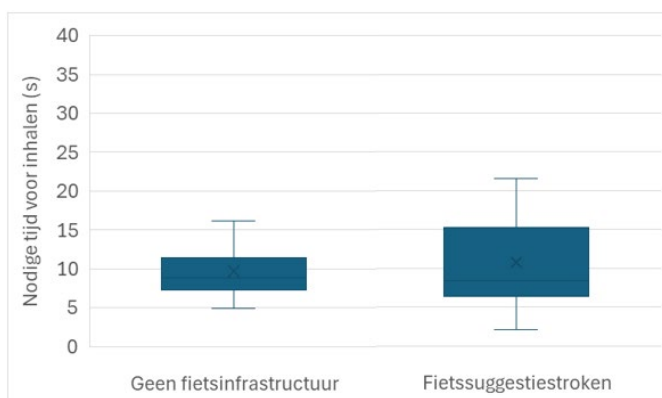
Inhaaltijd



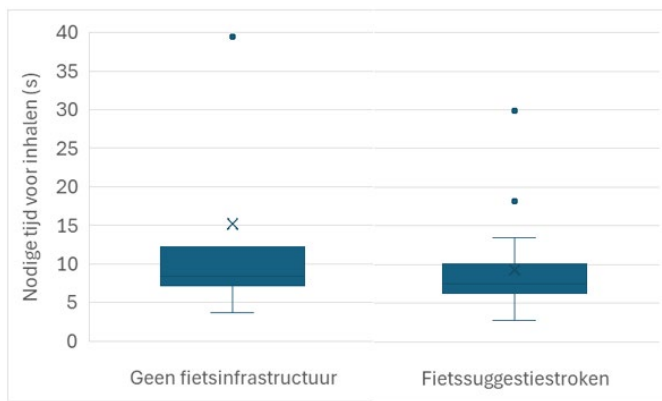
Figuur 57: Boxplots nodige inhaaltijd 1 fietser zonder tegenligger in tweerichtingsstraten



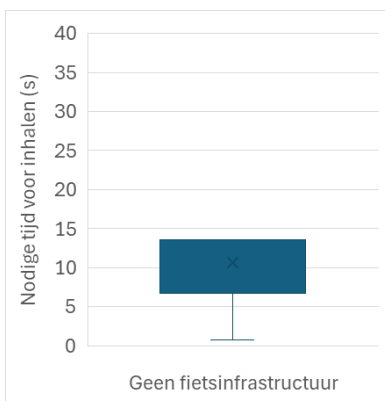
Figuur 58: Boxplots nodige inhaaltijd 1 fietser zonder tegenligger in eenrichtingsstraten



Figuur 59: Boxplots nodige inhaaltijd 1 fietser met tegenligger in tweerichtingsstraten

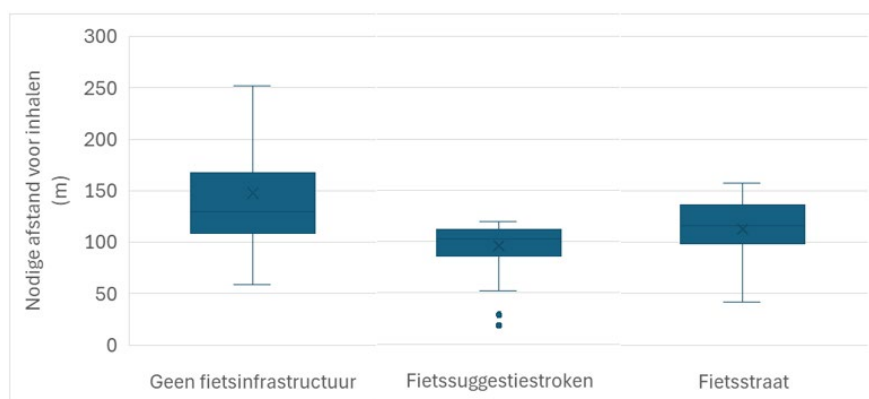


Figuur 60: Boxplots nodige inhaaltijd 2 fietsers zonder tegenligger in tweerichtingsstraten

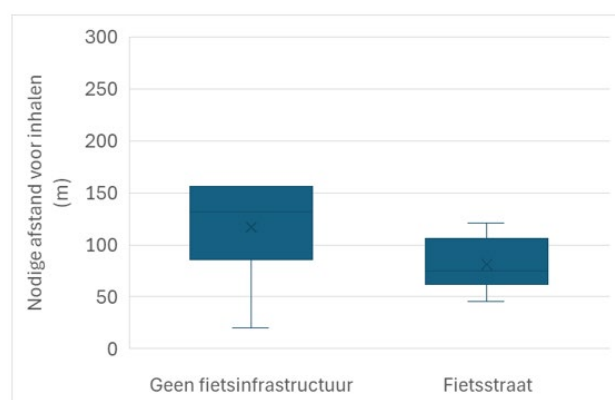


Figuur 61: Boxplots nodige inhaaltijd 2 fietsers zonder tegenligger in eenrichtingsstraten

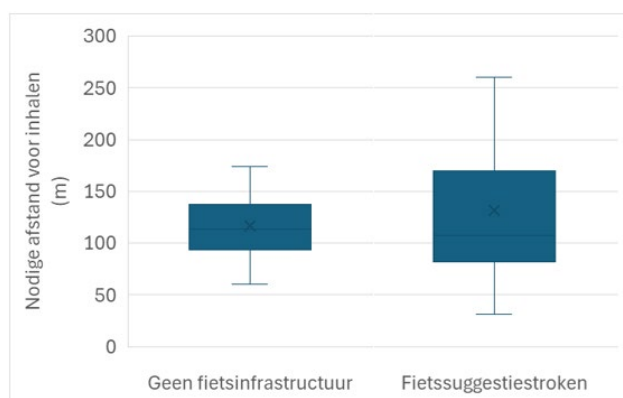
Inhaalafstand



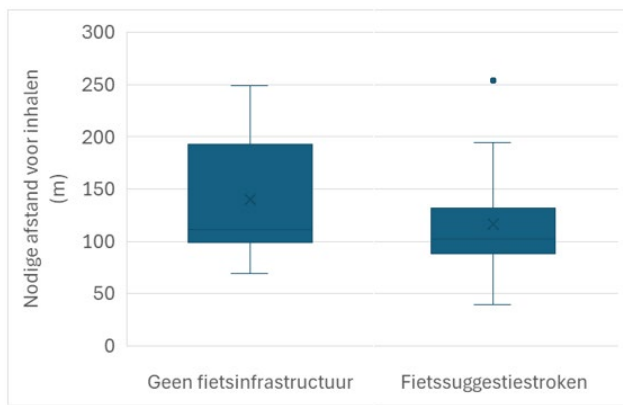
Figuur 62: Boxplots nodige inhaalafstand 1 fietser zonder tegenligger in tweerichtingsstraten



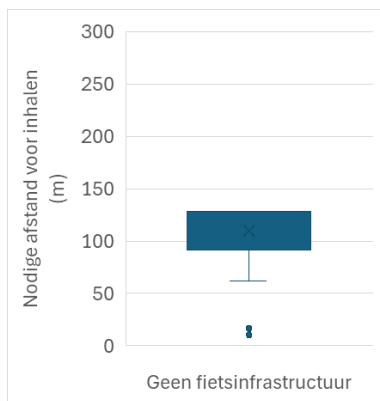
Figuur 63: Boxplots nodige inhaalafstand 1 fietser zonder tegenligger in eenrichtingsstraten



Figuur 64: Boxplots nodige inhaalafstand 1 fietser met tegenligger in tweerichtingsstraten



Figuur 65: Boxplots nodige inhaalafstand 2 fietsers achter elkaar in tweerichtingsstraten

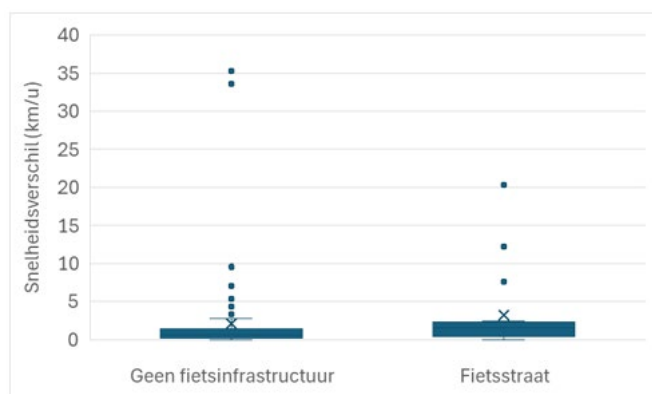


Figuur 66: Boxplots nodige inhaalafstand 2 fietsers achter elkaar in eenrichtingsstraten

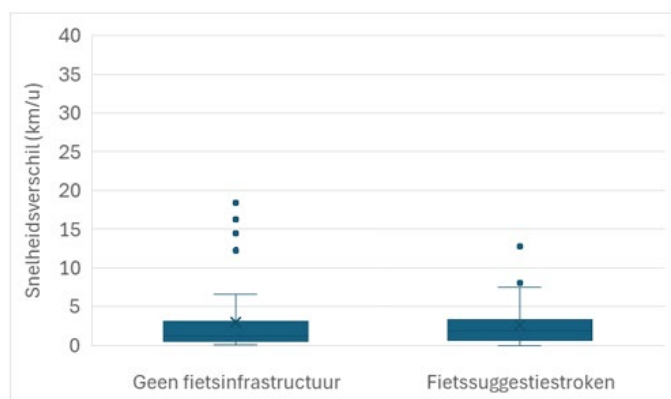
Snelheidsverschil



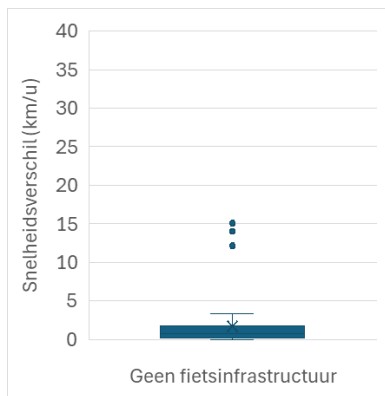
Figuur 67: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser zonder tegenligger in tweerichtingsstraten



Figuur 68: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser zonder tegenligger in eenrichtingsstraten

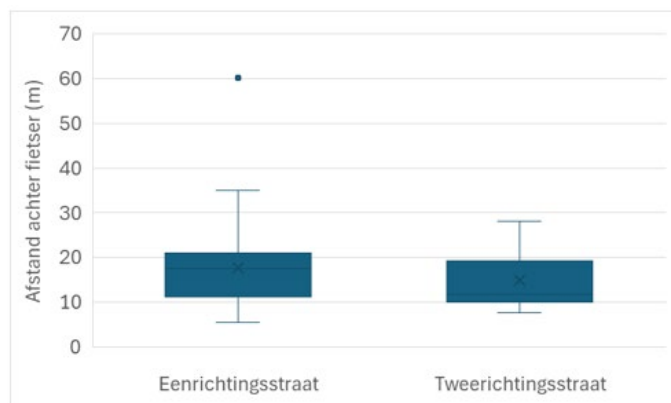


Figuur 69: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser met tegenligger in tweerichtingsstraten



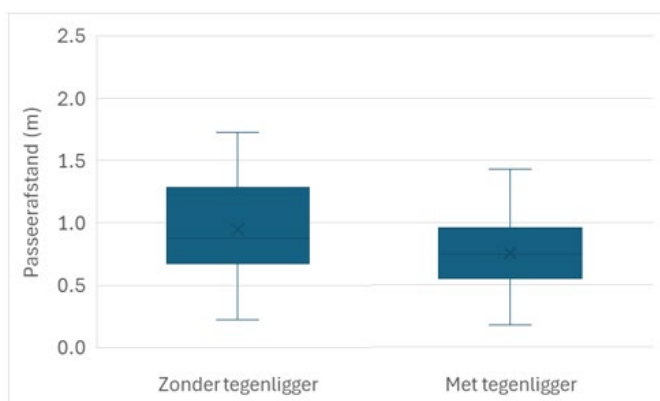
Figuur 70: Boxplots snelheidsverschil bij 1 fietser met tegenligger in eenrichtingsstraten

Gemiddelde afstand tussen auto en fietser in fietsstraten

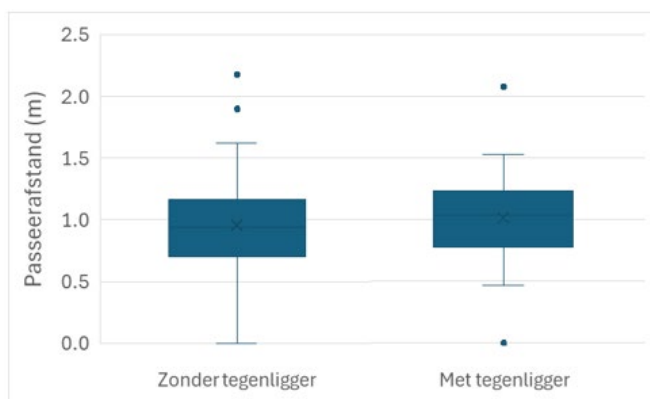


Figuur 71: Boxplots gemiddelde afstand achter 1 fietser zonder tegenligger op fietsstraten

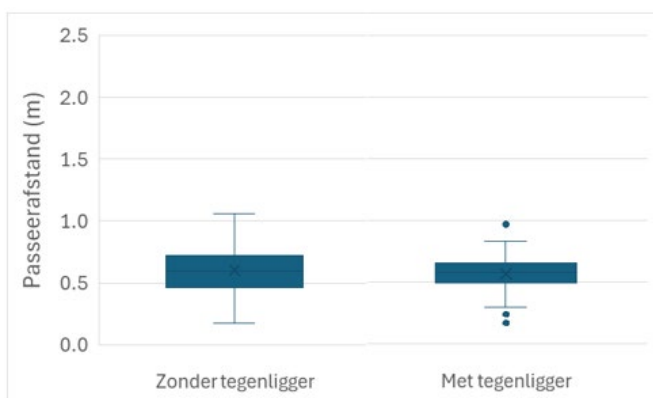
Passeerafstand fietsers met en zonder tegenligger



Figuur 72: Boxplots passeerafstand 1 fietser zonder en met tegenligger op wegen zonder fietsinfrastructuur in tweerichtingsstraten

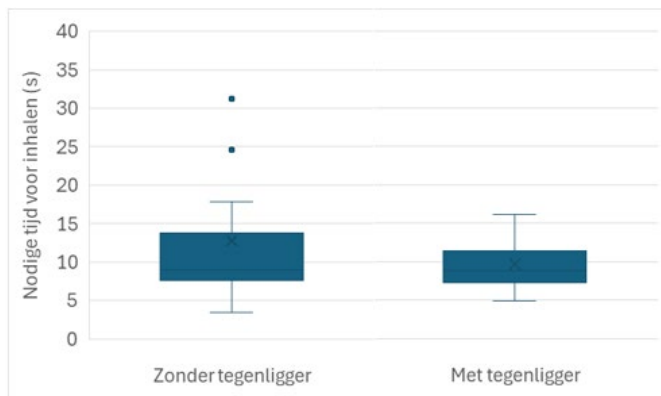


Figuur 73: Boxplots passeerafstand 1 fietser zonder en met tegenligger op wegen met fietssuggestiestroken in tweerichtingsstraten

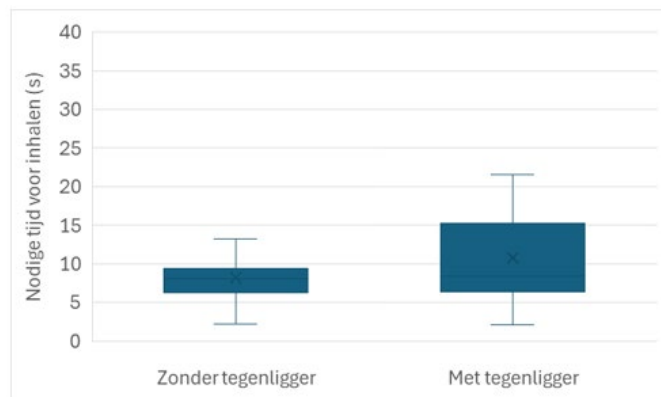


Figuur 74: Boxplots passeerafstand 1 fietser zonder en met tegenligger op wegen met aanliggende fietspaden in tweerichtingsstraten

Nodige tijd voor het inhalen van fietsers met en zonder tegenligger

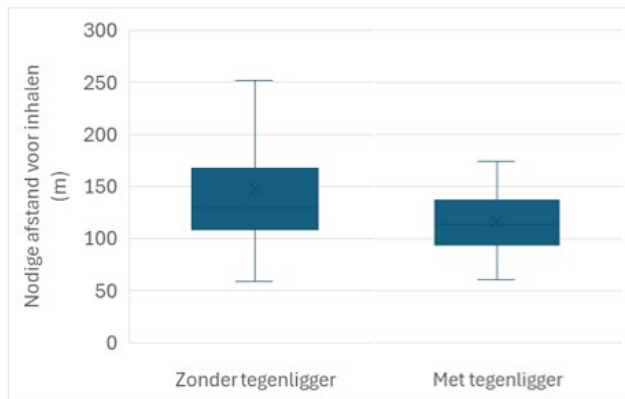


Figuur 75: Boxplots inhaaltijd 1 fietser zonder en met tegenligger op wegen zonder fietsinfrastructuur in tweerichtingsstraten

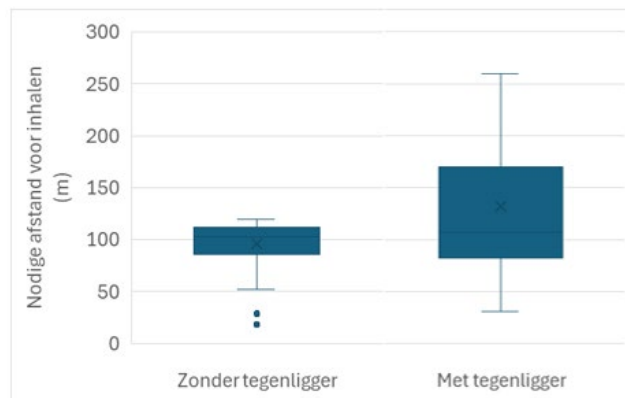


Figuur 76: Boxplots inhaaltijd 1 fietser zonder en met tegenligger op wegen met fietssuggestiestroken in tweerichtingsstraten

Nodige afstand voor het inhalen van fietsers met en zonder tegenligger

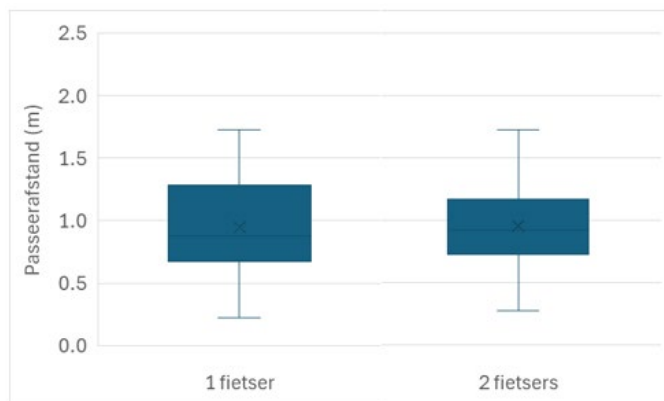


Figuur 77: Boxplots inhaalafstand 1 fietser zonder en met tegenligger op wegen zonder fietsinfrastructuur in tweerichtingsstraten

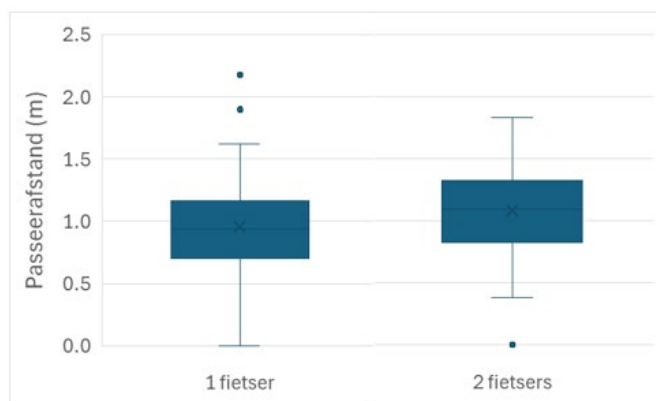


Figuur 78: Boxplots inhaalafstand 1 fietser zonder en met tegenligger op wegen met fietssuggestiestroken in tweerichtingsstraten

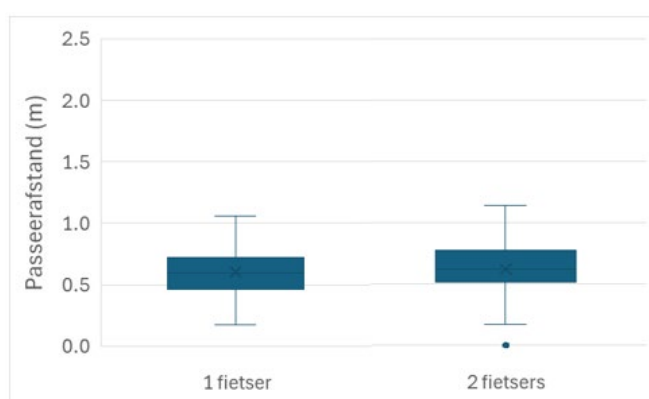
Passeerafstand voor één fietser versus twee fietsers



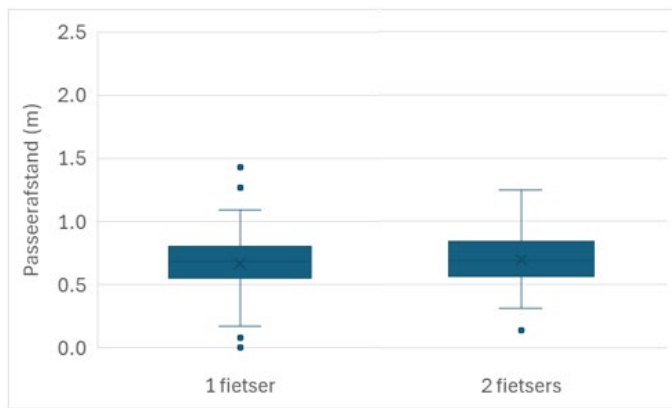
Figuur 79: Boxplots passeerafstand 1 fietser en 2 fietsers op wegen zonder fietsinfrastructuur in tweerichtingsstraten



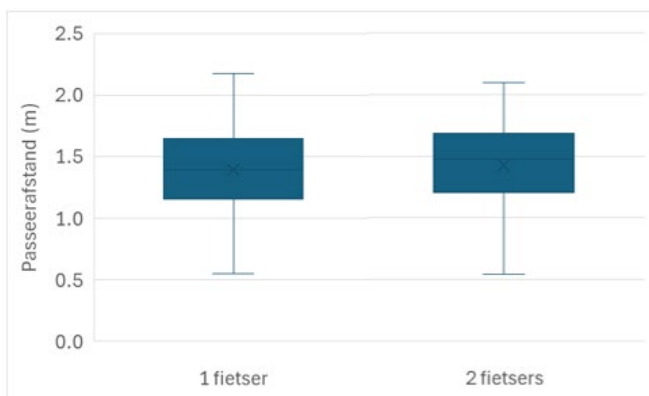
Figuur 80: Boxplots passeerafstand 1 fietser en 2 fietsers op wegen met fietssuggestiestroken in tweerichtingsstraten



Figuur 81: Boxplots passeerafstand 1 fietser en 2 fietsers op wegen met aanliggende fietspaden in tweerichtingsstraten

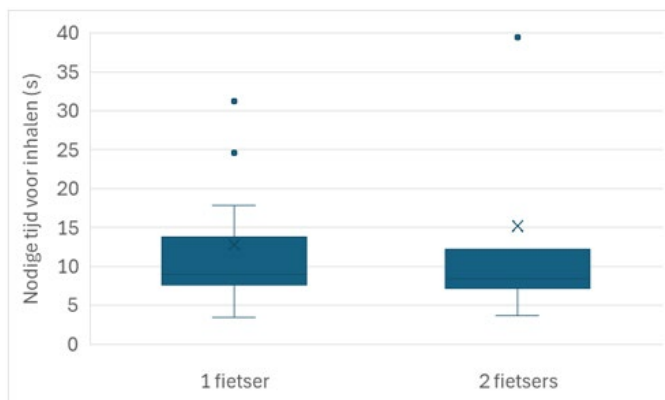


Figuur 82: Boxplots passeerafstand 1 fietser en 2 fietsers op wegen zonder fietsinfrastructuur in eenrichtingsstraten

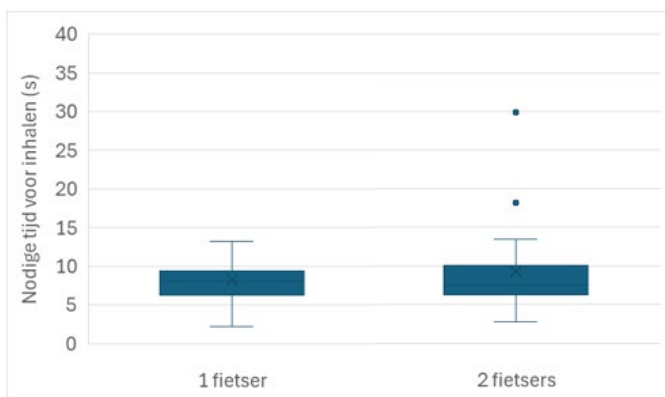


Figuur 83: Boxplots passeerafstand 1 fietser en 2 fietsers op wegen met een aanliggend fietspad in eenrichtingsstraten

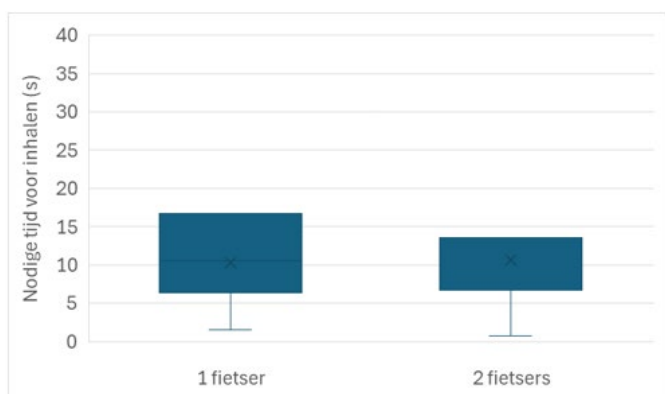
Nodige tijd voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers



Figuur 84: Boxplots nodige inhaaltijd 1 fietser en 2 fietsers in tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur

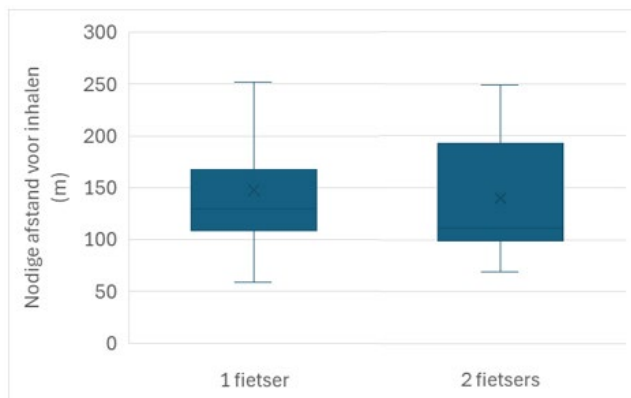


Figuur 85: Boxplots nodige inhaaltijd 1 fietser en 2 fietsers in tweerichtingsstraten met fietssuggestiestroken

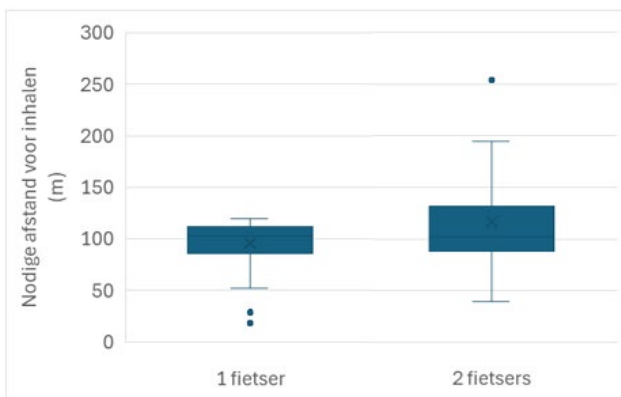


Figuur 86: Boxplots nodige inhaaltijd 1 fietser en 2 fietsers in eenrichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur

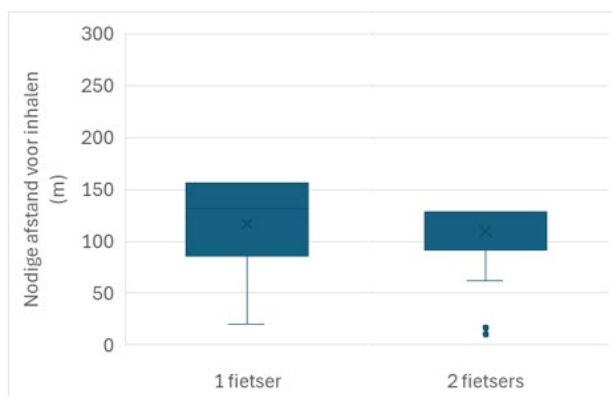
Nodige afstand voor het inhalen van één fietser versus twee fietsers



Figuur 87: Boxplots nodige inhaalafstand 1 fietser en 2 fietsers in tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur

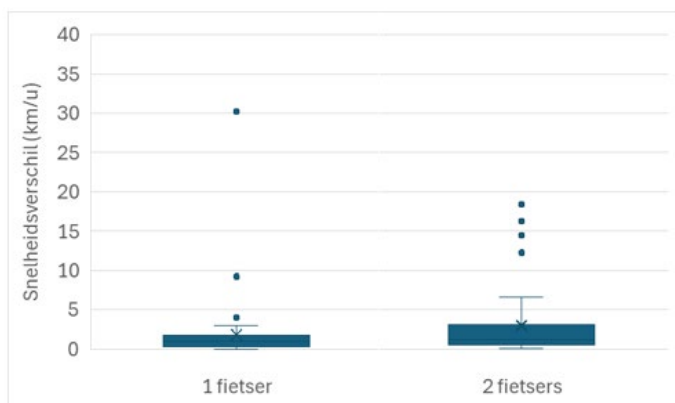


Figuur 88: Boxplots nodige inhaalafstand 1 fietser en 2 fietsers in tweerichtingsstraten met fietssuggestiestroken

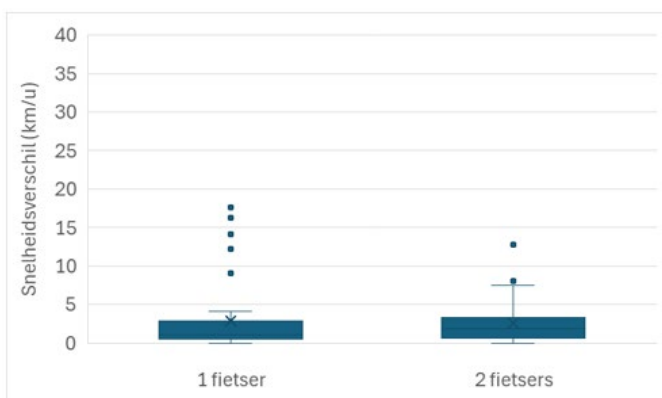


Figuur 89: Boxplots nodige inhaalafstand 1 fietser en 2 fietsers in eenrichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur

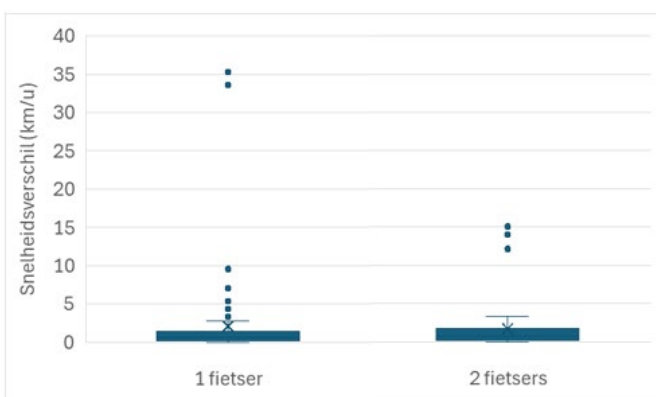
Snelheidsverschil voor één fietser versus twee fietsers



Figuur 90: Boxplots nodige snelheidsverschil inhalen 1 fietser en 2 fietsers in tweerichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur



Figuur 91: Boxplots nodige snelheidsverschil inhalen 1 fietser en 2 fietsers in tweerichtingsstraten met fietssuggestiestroken



Figuur 92: Boxplots nodige snelheidsverschil inhalen 1 fietser en 2 fietsers in eenrichtingsstraten zonder fietsinfrastructuur

Bijlage F: Resultaten voorbevraging

Wat is uw leeftijd?

- 15–19 jaar: 1 deelnemer
- 20–24 jaar: 36 deelnemers
- 25–29 jaar: 2 deelnemers
- 30–34 jaar: 1 deelnemer
- 35–39 jaar: 2 deelnemers
- 40–44 jaar: 1 deelnemer
- 50–54 jaar: 3 deelnemers
- 55–59 jaar: 3 deelnemers
- 60–64 jaar: 1 deelnemer
- 65+ jaar: 4 deelnemers

Geboortjaar

- Man: 41 deelnemers
- Vrouw: 13 deelnemers

Welk type rijbewijs/rijbewijzen bezit u?

- Rijbewijs A: 3 deelnemers
- Rijbewijs B: 54 deelnemers
- Rijbewijs C: 1 deelnemer
- Rijbewijs D: 1 deelnemer

Hoelang bezit u uw rijbewijs?

- 0–4 jaar: 30 deelnemers
- 5–9 jaar: 8 deelnemers
- 10–14 jaar: 1 deelnemer
- 15–19 jaar: 2 deelnemers
- 20–24 jaar: 2 deelnemers
- 25–29 jaar: 0 deelnemers
- 30–34 jaar: 2 deelnemers
- 35–39 jaar: 3 deelnemers
- 40–44 jaar: 1 deelnemer
- 45–49 jaar: 2 deelnemers
- 50–59 jaar: 3 deelnemers

Hoeveel kilometers rijdt u per jaar?

- 0 tot 4.999 km: 10 deelnemers
- 5.000 tot 9.999 km: 10 deelnemers
- 10.000 tot 14.999 km: 13 deelnemers
- 15.000 tot 19.999 km: 8 deelnemers
- 20.000 tot 25.000 km: 4 deelnemers
- Meer dan 25.000 km: 9 deelnemers

Rijdt u meestal handgeschakeld of via automatische versnelling?

- Handgeschakeld: 32 deelnemers
- Automatisch: 22 deelnemers

Gebruikt u vaak cruise control of rijhulpsystemen?

- Ja: 33 deelnemers
- Nee: 21 deelnemers

Heeft u last van wagenziekte?

- Ja: 6 deelnemers
- Nee: 48 deelnemers

Heeft u al eerder een rijsimulator gebruikt?

- Ja: 15 deelnemers
- Nee: 39 deelnemers

Indien ja op de vorige vraag: Had u last van simulatorziekte?

- Ja: 1 deelnemer
- Nee: 14 deelnemers

Heeft u lichamelijke beperkingen?

- Ja: 3 deelnemers
- Nee: 51 deelnemers

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

- Ja: 51 deelnemers
- Nee: 3 deelnemers

Bent u onder invloed van alcohol of drugs?

- Ja: 0 deelnemers
- Nee: 54 deelnemers

Bijlage G: Resultaten nabevraging

Hoe was uw ervaring met de rijsimulator?

- Uitstekend: 15 deelnemers
- Goed: 29 deelnemers
- Gematigd: 9 deelnemers
- Slecht: 1 deelnemer
- Zeer slecht: 0 deelnemers

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

- Uitstekend: 2 deelnemers
- Goed: 21 deelnemers
- Gematigd: 25 deelnemers
- Slecht: 4 deelnemers
- Zeer slecht: 2 deelnemers

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

- Duizeligheid: 12 deelnemers
- Misselijkheid: 5 deelnemers
- Geen van beide: 37 deelnemers

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

- Uitstekend: 4 deelnemers
- Goed: 20 deelnemers
- Gematigd: 19 deelnemers
- Slecht: 8 deelnemers
- Zeer slecht: 3 deelnemers

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

- Uitstekend: 20 deelnemers
- Goed: 25 deelnemers
- Gematigd: 7 deelnemers
- Slecht: 2 deelnemers
- Zeer slecht: 0 deelnemers

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

- Uitstekend: 14 deelnemers
- Goed: 24 deelnemers
- Gematigd: 14 deelnemers
- Slecht: 1 deelnemer
- Zeer slecht: 1 deelnemer

Hoe veilig vond u een weg zonder fietsinfrastructuur?

- Uitstekend: 7 deelnemers
- Goed: 8 deelnemers
- Gematigd: 13 deelnemers
- Slecht: 20 deelnemers
- Zeer slecht: 6 deelnemers

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

- Ja: 8 deelnemers
- Nee: 46 deelnemers

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

- Ja: 49 deelnemers
- Nee: 5 deelnemers

Welke fietsinfrastructuur werd als de veiligste optie beschouwd?

- Weg zonder fietsvoorzieningen: 0 deelnemers
- Fietssuggestiestroken: 3 deelnemers
- Fietsstraat: 30 deelnemers
- Aanliggende fietspaden: 21 deelnemers

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

- Ik vond het in het algemeen wel goed, maar de rij ervaring kan moeilijk 100% overeenkomen met de realiteit en dus een ware gevoel geven over het rijden. Het inhalen van fietsers en hoe ze geplaatst waren, is wel goed uitgevoerd.
- Snelheidsgevoel was niet aanwezig.
- Wegversmalling maken bij inrijden van fietsstraat.
- De rem werkt traag. De stuurinput geeft te veel reactie.
- Geen snelheids interactie gevoel.
- Bij fietssuggestiestroken rij je sneller dan normaal om fietsers voorbij te steken in vergelijking met een fietsstraat. Dit kan zorgen voor onveilige situaties met het tegenliggend verkeer.
- Fietssuggestiestroken beter 30 km/u, dat is veiliger.