

Veiligheid van fietsstraten: Een analyse van ongevallen en conflicten

M.J.M. Odijk^{1,2}, M. Nabavi Niaki¹

¹SWOV – Wetenschappelijk onderzoeksinstituut voor verkeersveiligheidsonderzoek

²University of Twente

Aanleiding

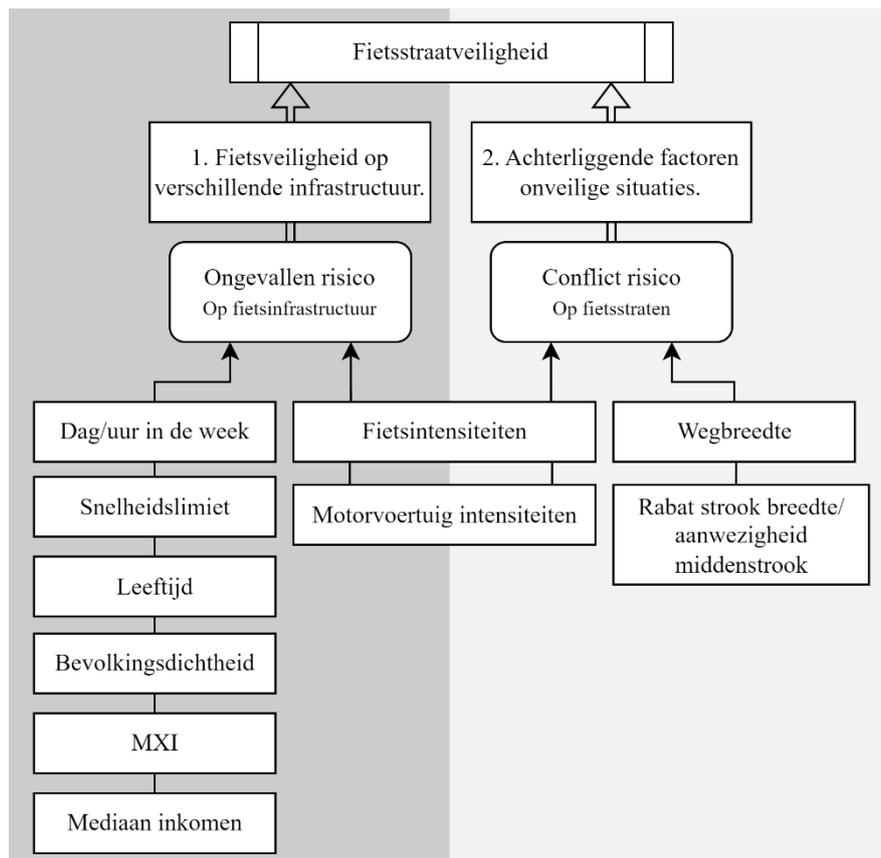
Sinds het begin van de eeuwwisseling is een nieuw type fietsinfrastructuur in opkomst: de fietsstraat. Met een doorstroombaan voor fietsers en een verblijfsfunctie voor auto's is het een ruimte-efficiënte oplossing voor het faciliteren van verschillende verkeersstromen. Echter, zijn de verkeersveiligheidseffecten onzeker, en worden gemengde verkeersomstandigheden geassocieerd met een hoger ongevalsrisico voor niet-gemotoriseerde voertuigen (Schepers, Kroeze, Sweers, & Wust, 2011; Schepers, Heinen, Methorst, & Wegman, 2013). Fietsers hebben meer baat bij vrij liggende fietsinfrastructuur dan fietsstroken of gemengde condities (van Petegem, Schepers, & Wijlhuizen, 2021). De interactie met motorvoertuigen speelt dus een grote rol, waar een toename in intensiteit van motorvoertuigen geassocieerd wordt met een afname in veiligheid (Chen & Shen, 2016; Uijtewilligen, et al., 2022). De bevindingen over de effecten van fietsintensiteiten op risico's zijn wisselend (Mapes, 2009; Vandenbulcke, et al., 2009; Schepers, Twisk, Fishman, Fyhri, & Jensen, 2017). Verder zijn omgevings- en wegontwerp variabelen zoals diversiteit in landgebruik (Chen & Shen, 2016; Schepers, Lovegrove, & Helbich, 2019), inwoners dichtheid (Park, Abdel-Aty, Lee, & Lee, 2015), mediaan inkomen van inwoners (Asadi, Ulak, Geurs, Weijermars, & Schepers, 2022), snelheidslimiet (Schepers, Lovegrove, & Helbich, 2019), en aanwezigheid van parkeerfaciliteiten (van Petegem, Schepers, & Wijlhuizen, 2021) of een bushalte (Prati, Puchades, De Angelis, Fraboni, & Pietrantonio, 2018), ook geassocieerd met veiligheid van fietsers. Het moment van verplaatsing is ook relevant, waarbij fietsers meer risico lopen op een (zwaarder) ongeval na zonsondergang (Vanparijs, Panis, Meeusen, & de Geus, 2015) en in het weekend (Dozza, 2017).

Een aantal studies heeft veiligheid op specifiek fietsstraten behandeld door middel van analyses van conflicten en ervaringen van gebruikers (DiGioia, Watkins, Xu, Rodgers, & Guensler, 2017; van Boggelen & Hulshof, 2019; Khut, 2012; Denvall & Johansson, 2013; Olsson & Elldér, 2023). Algemene bevindingen uit deze studies zijn dat fiets en auto intensiteiten, rijstrook en rabat strook breedtes, en snelheden significante invloed hebben op conflicten en/of het comfort en de beleving van reizigers. Ondanks deze studies is er weinig kennis over fietsstraat veiligheid wat betreft ongevalsrisico's voor fietsers, hoe deze vergelijken met andere fietsinfrastructuur, en de achterliggende factoren van onveilige situaties op fietsstraten. Het onderzoeksdoel van deze studie is daarom om meer inzicht in de veiligheid van fietsstraten te krijgen door middel van een analyse van historische ongevallen data en conflictsituaties. Hierbij behoren de volgende onderzoeksvragen:

1. Hoe verhouden de ongevalsrisico's op fietsstraten zich tot de risico's op andere fietsfaciliteiten, zoals wegen met fietsstroken, fietspaden en reguliere erftoegangswegen?
2. Wat is de relatie tussen het ongevallen risico's van fietsers en verkeersintensiteiten, snelheidslimiet, omgevingskarakteristieken, en sociaaleconomische variabelen, op verschillende fietsinfrastructuur?
3. Hoeveel, en wat voor type conflicten gebeuren er op fietsstraten, en wat zijn de achterliggende factoren van deze conflicten?

Onderzoeksmethode

Dit onderzoek is opgesplitst in twee delen: 1) een analyse van historische ongevallen data op verschillende fietsvoorzieningen (fietsstraten, fietsstroken, fietspaden, en residentiële wegen), waarbij de ongevallen gewogen worden op basis van hun ernst, en 2) een ondersteunende conflictstudie op geselecteerde fietsstraten (figuur 1). De analyse van ongevallen geeft een indicatie over hoe de veiligheid op fietsstraten zich verhoudt tot die op andere voorzieningen, en de conflictstudie biedt ondersteunde inzichten over achterliggende factoren van onveilige situaties. Aan de hand van de literatuurbevindingen zijn de onderstaande factoren in het theoretische raamwerk toegevoegd aan de ongevallen risico modelstudie en/of de conflict analyse.



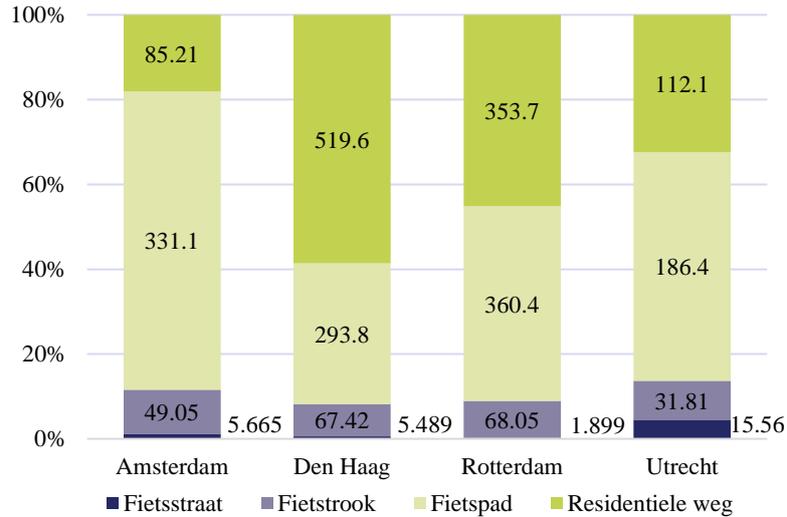
Figuur 1 Theoretisch raamwerk

De vier gemeenten Amsterdam, Rotterdam, Den Haag, en Utrecht vormen het studiegebied van dit onderzoek. Deze gemeenten zijn geselecteerd vanwege de hoeveelheid fietsstraten en beschikbaarheid van gemodelleerde fiets en motorvoertuig intensiteiten.

Ongevallen risico analyse

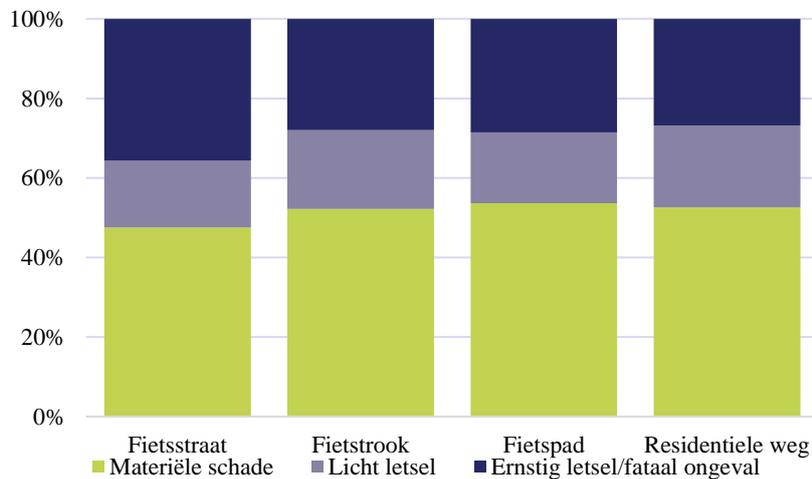
Voor de vergelijking van fietsveiligheid op verschillende infrastructuur is een ongevallen risico berekend aan de hand van 1) BRON geregistreerde ongevallen data (BRON, 2016-2021), 2) sociale kosten gerelateerd aan de zwaarte van letsel (Wijnen, 2022), en 3) de fietsintensiteiten op het segment (Uijtdewilligen, et al., 2022). Vervolgens is door middel van statistische toetsen en regressie modellen de veiligheid op verschillende fietsinfrastructuur vergeleken.

De locaties van fietsvoorzieningen zijn bepaald aan de hand het fietsersbond netwerk (Fietsersbond, 2020). Fietsvoorzieningen waarop geen gemodelleerde verkeersintensiteiten beschikbaar waren maken geen deel uit van deze studie. Van de 2.487 km fietsinfrastructuur in deze studie, is 28,6 km fietsstraat (~1%) (figuur 2).



Figuur 2 Verhoudingen lengte fietsvoorzieningen per gemeente inbegrepen in deze studie; Totale lengte [km] in labels 12.064 fiets gerelateerde ongevallen zijn geregistreerd tussen 7:00 en 22:00 in de jaren 2016-2021 op de zowel kruispunten als wegvakken in het netwerk, waarvan 101 op fietsstraten (BRON, 2016-2021). De BRON dataset is beperkt vanwege sterke onderregistratie van fietsongevallen zonder motorvoertuigen en ongevallen met licht/geen letsel. Deze beperkingen zorgen voor een onderschatting van het absolute niveau van onveiligheid, maar de dataset is wel voldoende geschikt voor het doel van deze studie: een indicatie geven over het verschil in veiligheid tussen fietsstraten en andere voorzieningen.

De ongevallen zijn vervolgens gewogen aan de hand van de sociale kosten gerelateerd aan de zwaarte van letsel (alleen materiele schade, licht letsel, en ernstig letsel tot fataal ongeval) (Wijnen, 2022). Het is hierbij belangrijk mee te nemen dat de registratiegraad afneemt met de letselernst, en dat dus de verhouding tussen de types niet de realiteit is.



Figuur 3 Ernst geregistreerde ongevallen per type fietsvoorziening

Zowel de fiets als auto intensiteiten op de wegsegmenten zijn verkregen uit uur-specifieke intensiteiten modellen van Uijtdewilligen, et al. (2022). Deze modellen zijn gebaseerd op Fietstelweek tellingen en motorvoertuig modellen van de gemeenten, die vervolgens gekalibreerd zijn aan de hand van telpunten. Op 49% van de fietsstraten waren er geen motorvoertuig intensiteit schattingen beschikbaar, en zijn deze geschat op basis van de wegbreedte, aangezien het wegprofiel bepaald wordt aan de hand van voertuigintensiteiten (van Boggelen & Hulshof, 2019).

Deze studie maakt onderscheid tussen vier verschillende tijdsperiodes: gemiddeld, spits, niet-spits, en weekend. Het is verwacht dat hierdoor de effecten van fiets en auto volumes op fietsveiligheid accurater geanalyseerd kunnen worden.

Het risico R (per fietser, uur en miljoen km) op segment i in periode T is berekend aan de hand van de som van de ongevallen O gewogen door hun ernst, gedeeld door het aantal observatie jaren j , het aantal uren t in periode T in het jaar, de segment lengte L , en de gemiddelde fiets intensiteit I .

$$R_{iT} = \frac{\sum_{n=1}^j O_j \times E_j}{j_i \times t_T \times L_i \times I_{fiets,iT}} \times 10^6 \quad (1)$$

De ongevalsrisico's zijn vervolgens gemodelleerd met het Tobit regressie model, geschikt voor het modelleren van gecensureerde/gelimiteerde afhankelijke variabelen (Tobin, 1958). Conventionele methodes resulteren in inconsistente uitkomsten aangezien nul-observaties gemodelleerd worden als 0% risico. In tegenstelling, in het Tobit model worden nul-observaties gezien als punten waar geen ongevallen zijn geobserveerd maar een waarschijnlijkheid op ongeval wel bestaat (Anastasopoulos, Tarko, & Mannering, 2008). Twee type regressie modellen zijn ontwikkeld: 1) met alle fietsvoorzieningen en een categorische variabele voor het type fietsvoorziening met fietsstraat als referentie, en 2) losse modellen voor elk type fietsvoorziening. De regressie modellen zijn verder uitgebreid, op basis van de literatuur, met verkeers-, omgevings- en wegontwerp variabelen (tabel 1).

Tabel 1 Data

Data	Bron
Ongevallen (locatie, type, betrokkenen)	BRON (2016-2021)
Fiets intensiteiten	Uitdewilligen, et al. (2022)
Motorvoertuig intensiteiten	
Fietsvoorzieningen (locatie, type)	Fietsersbond (2020)
Snelheidslimiet	
Bevolkingsdichtheid	
Leeftijdsgroepen	CBS (2022)
Mediaan inkomen	
MXI	Planbureau voor de Leefomgeving (2022)

De minimale hoeveelheid fietsstraten en ongevallen op fietsstraten limiteert de kwaliteit van de modellen. Om dit probleem te overkomen is het ADASYN (*Adaptive Synthetic Sampling Approach for Imbalanced Learning*) model gebruikt om synthetische data punten te genereren (He, Bai, Garcia, & Li, 2008). Dat betekent dat de minderheidsgroep (fietsstraten) is vergroot, tot 5% van de meerderheidsgroep (fietspaden), door het genereren van nieuwe “fietsstraten” vergelijkbaar met bestaande straten. Deze 5% is geselecteerd op basis van een gevoeligheidsanalyse waarbij de significantie van de model coëfficiënten geoptimaliseerd zijn, zonder grote veranderingen in de richting en de omvang van de coëfficiënten. De ADASYN methode is succesvol toegepast en gevalideerd in verkeersveiligheidsstudies (You, Wang, Fang, & Guo, 2017; Morris & Yang, 2021).

Conflictstudie

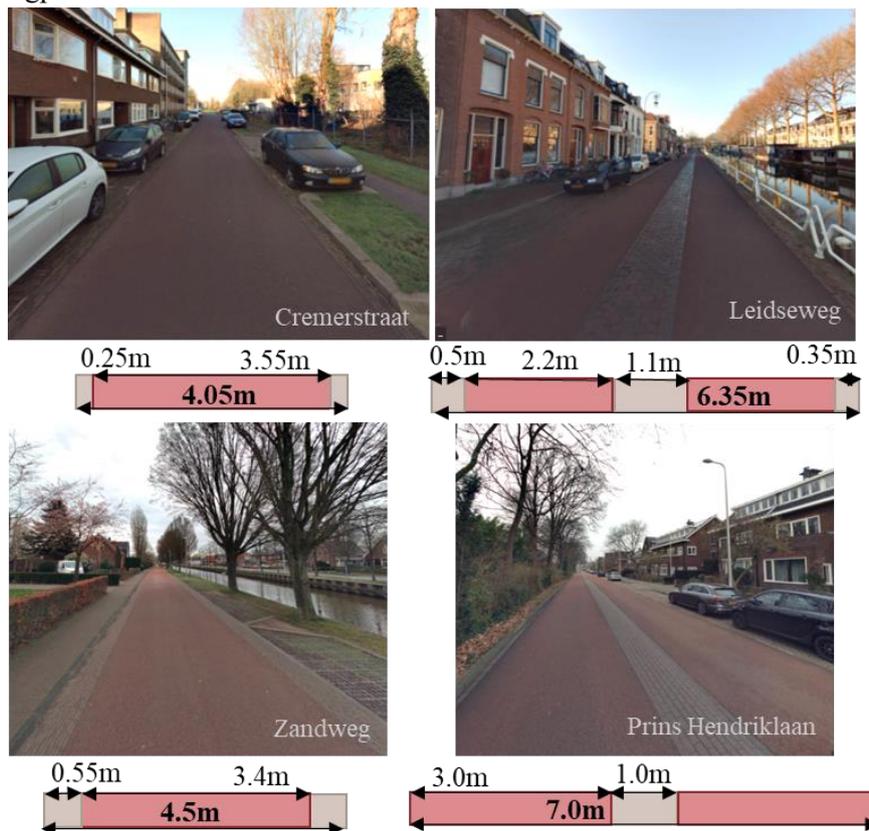
Een verkeersconflict is gedefinieerd als “een observeerbare situatie waarin twee weggebruikers elkaar zodanig treffen in tijd en ruimte dat er een risico van ongeval ontstaat wanneer hun gedrag niet veranderd” (vertaal van (Amundsen & Hydén, 1977)). Conflictobservaties geven inzicht in onveilige situaties zonder lange observatie periodes die noodzakelijk zijn in ongevallenstudies, en de noodzaak dat ongevallen gebeuren (Sayed, Zaki, & Autey, 2013). Deze studie gebruikt een variatie op de Nederlandse DOCTOR methode (tabel 2), waar twee parameters bepalen of een interactie een conflict is: 1) de waarschijnlijkheid dat de interactie een ongeval wordt, gemeten als de afstand tussen

weggebruikers in tijd en ruimte, en 2) de ernst van het ongeval, afhankelijk van de snelheid, massa en noodzaak van een uitwijkende manoeuvre.

Tabel 2 Ernst interactie tussen weggebruikers op fietsstraten van Godefrooij & Hulshof (2017); waar boven de rode lijn veilig is en onder de rode lijn een conflict.

Score	Inhalen & tegemoetkomend verkeer	Auto-achter-fietser
1	Geen hinder, veilige situatie.	Op comfortabele afstand.
2	Aangepast gedrag (“ruimte maken”), maar veilige situatie.	Dicht bij fietser (Hinderlijk).
3	Hinderlijk (hoge snelheid, op korte afstand), niet comfortabel, maar na aangepast gedrag is de kans op ongeval klein.	Hard remmen, dicht bij fietser (Gevaarlijk).
4	Erg hinderlijk, remmen of uitwijkende manoeuvre noodzakelijk om ongeval te voorkomen.	
5	Erg gevaarlijk (fysiek contact), in sommige gevallen leidend tot een ongeval.	

De fietsstraatlocaties zijn geselecteerd aan de hand van de literatuur bevindingen (zie figuur 1). De vier fietsstraten variëren in ontwerp (rijstrook en rabat strook breedtes), en in fiets en motor voertuig intensiteiten (figuur 4). Op elke straat is video data voor 1 dag in Maart of April van 7:00-11:00 en 14:00-19:00 verzameld. Karakteristieken zoals het type conflict, ernst, betrokken weggebruikers, positie van weggebruikers, en geschatte snelheid zijn genoteerd voor alle interacties die vanwege en kritiek/krap wegprofiel tot een conflict kunnen leiden.



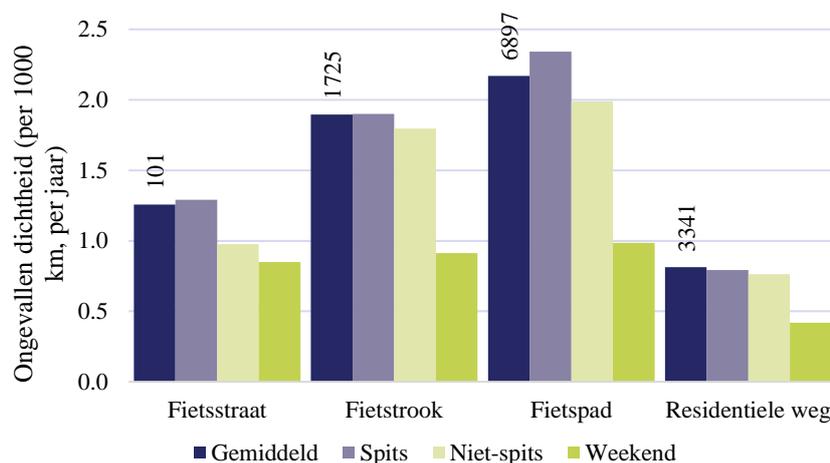
Figuur 4 Geselecteerde fietsstraten voor conflictstudie, op volgorde van breedte

Resultaten en Discussie

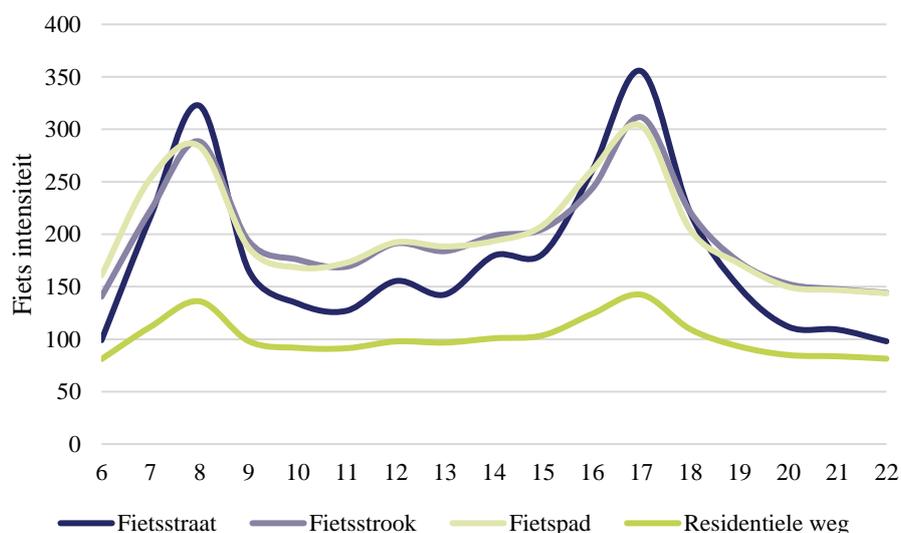
Dit hoofdstuk behandelt eerst omschrijvende resultaten van de ongevalsdichtheden en risico's, waarna de bevindingen van de gemodelleerde ongevalsrisico's en conflictstudie behandeld worden.

Omschrijvende resultaten van ongevallen dichtheid en risico

Figuur 5 geeft de ongevallen dichtheid op verschillende fietsvoorzieningen tijdens verschillende periodes weer. Deze is voor alle periodes lager op fietsstraten, dan op fietsstroken en fietspaden. Dat terwijl de fietsintensiteiten op deze voorzieningen vergelijkbaar zijn (figuur 6).



Figuur 5 Ongevallen dichtheid (per 1000 km, per jaar) voor verschillende fietsinfrastructuur types en tijdsperiodes, gelabeld met totaal aantal ongevallen



Figuur 6 Model fiets intensiteiten voor verschillende fietsvoorzieningen

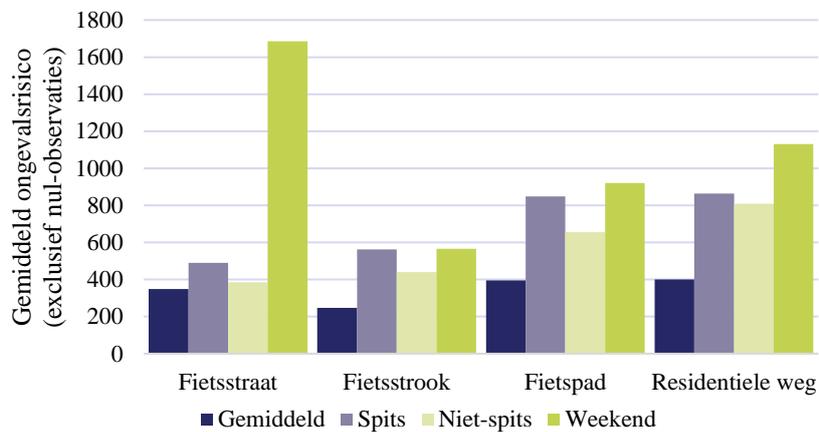
Figuur 7 en 8 geven respectievelijk de gemiddelde ongevalsrisico's exclusief en inclusief de segmenten zonder ongevallen. Zowel de gemiddelden met als zonder nul-observaties zijn getoetst aangezien in ongevalsrisico's analyses nul-observaties niet betekenen dat het risico voor fietsers in de realiteit ook nul is. Uit figuur 7 blijkt dat de berekende ongevalsrisico's hoger zijn op fietspaden en residentiele wegen, vergeleken met fietsstraten. Verder lijkt het risico erg hoog voor fietsers op fietsstraten in het weekend. Echter het gaat hier om een kleine hoeveelheid observaties van ernstige ongevallen, en is dit temporale verschil niet betrouwbaar. Wanneer de gemiddelde ongevallen risico's (excl. nul-observaties) op de verschillende fietsinfrastructuur worden vergeleken met tweezijdige z-toetsen blijken alleen de volgende verschillen significant:

- Het ongevallen risico op fietsstraten is lager dan op fietspaden over alle dagen, en lager dan op reguliere verblijfswegen buiten spits uren;
- Op fietsstraten het risico significant hoger in het weekend, ten opzichte van het gemiddelde;
- Het gemiddelde risico op fietsstroken is lager dan op fietspaden en residentiele wegen.

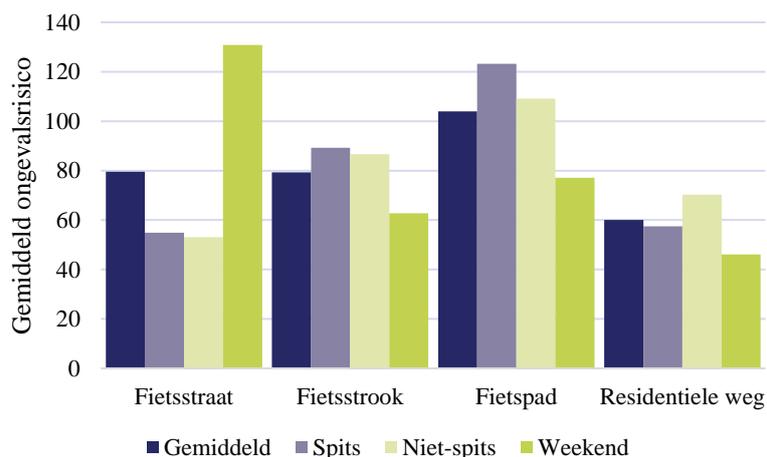
De statistische toetsen van de gemiddelde risico's op alle segmenten geven de volgende significante verschillen:

- Fietsstraten zijn veiliger dan fietspaden tijdens en buiten spitsuren, en veiliger dan fietsstroken buiten spitsuren.
- In alle periodes behalve het weekend zijn fietspaden gevaarlijker voor fietsers dan fietsstroken en residentiele wegen;
- Het risico op residentiele wegen is ook lager dan op fietsstroken.

Het significant hogere risico op fietspaden is tegenstrijdig met conclusies uit de literatuur waarin fietspaden veiliger bevonden worden voor fietsers (van Petegem, Schepers, & Wijlhuizen, 2021). Verder is het hogere risico op fietsstroken ten opzichte van wegen zonder fietsvoorzieningen ook tegenstrijdig met de literatuur, waarin deze gelijk scoren (van Petegem, Schepers, & Wijlhuizen, 2021). Dit kan betekenen dat de gebruikte data voor deze analyse niet de volledige realiteit over de veiligheidsverhoudingen tussen fietsvoorziening bevat, en het lagere risico op fietsstraten niet valide is.



Figuur 7 Gemiddeld ongevallen risico (excl. segmenten zonder observaties) per fietsvoorziening en periode

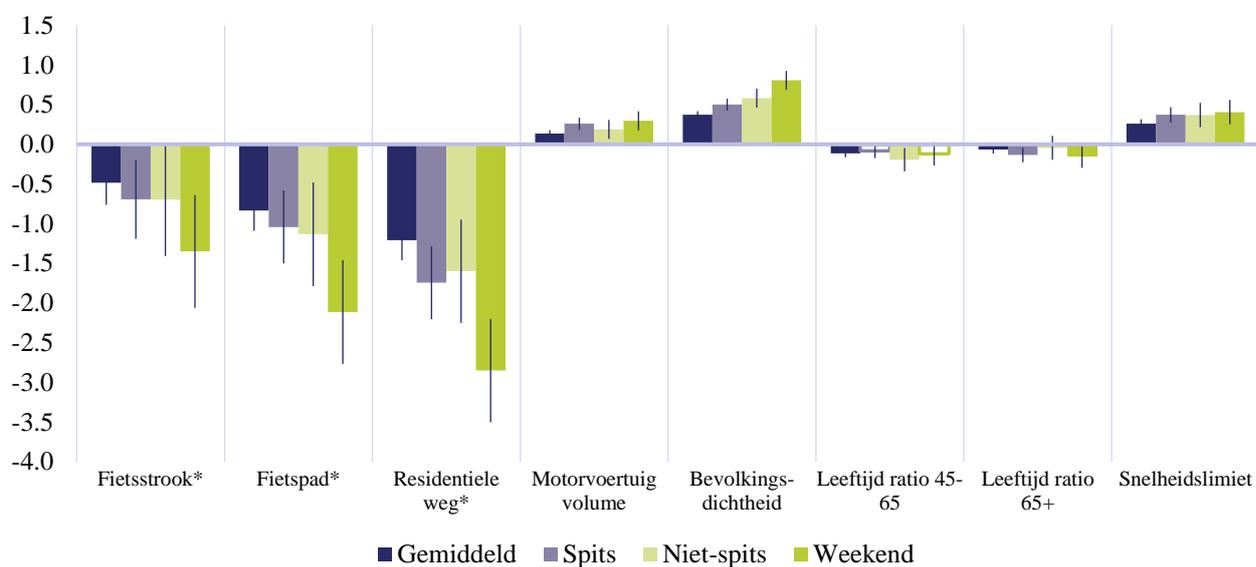


Figuur 8 Gemiddelde ongevalsrisico's (incl. segmenten zonder observaties) per fietsvoorziening en periode

Ongevalsrisico's modellen

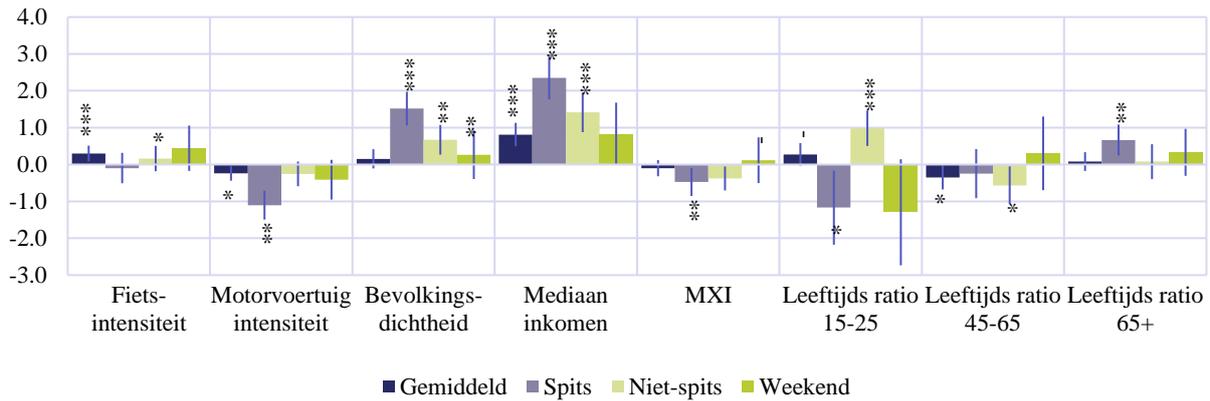
Figuur 9 bevat de resultaten van het model met alle fietsvoorzieningen en een categorische variabele voor het type fietsvoorziening met fietsstraat als referentie. Hieruit blijkt dat het ongevalsrisico op deze voorzieningen lager is dan op fietsstraten wanneer we controleren voor verkeers- en omgevingsvariabelen. Dit is tegenstrijdig met de eerdere bevindingen dat fietsers veiliger zijn op fietsstraten, ten opzichte van op fietspaden. Hierop aansluitend blijkt uit deze resultaten wél dat het veiligheidsverschil, ten opzichte van fietsstraten, groter is voor fietspaden dan voor fietsstroken. Dit verschil tussen analyse resultaten kan verklaard worden door het controleren voor omgevingsvariabelen zoals motorvoertuig intensiteiten en de snelheidslimiet.

Verder zijn, vergelijkbaar met bevinding van eerdere studies, de motor voertuig intensiteiten (Chen & Shen, 2016; Uijtdewilligen, et al., 2022), inwoners dichtheid (Park, Abdel-Aty, Lee, & Lee, 2015), en snelheidslimiet (Schepers, Lovegrove, & Helbich, 2019) positief geassocieerd met ongevallen risico van fietsers. De fiets intensiteiten, diversiteit in landsgebruik, het mediaan inkomen van inwoners, en het leeftijdsratio van jongere groepen waren geen significante voorspellers van ongevallen kosten risico's en zijn uit de modellen gehaald.



Figuur 9 Tobit regressie modellen voor ongevallen risico op fietsinfrastructuur, voor vier tijdperiodes. *Categorie variabele met fietsstraat als referentie. Notitie: Gevulde staaf = significant met $p < 0,001$; Regressie coëfficiënten gestandaardiseerd met SD; Zwarte lijnen als betrouwbaarheidsinterval 95%.

Het tweede type regressie model bestaat uit losse modellen voor elk type fietsvoorziening. In het fietsstraat model zijn motorvoertuig intensiteiten negatief geassocieerd zijn met risico's voor fietsers (figuur 10), terwijl dit gemiddeld voor alle fietsvoorzieningen positief is. Dit kan verklaard worden doordat de motorvoertuig intensiteiten op de helft van de fietsstraten geschat zijn aan de hand van het wegprofiel. Het is aannemelijker dat motorvoertuigen een negatief effect hebben op fietsveiligheid op fietsstraten (van Boggelen & Hulshof, 2019; Denvall & Johansson, 2013; Olsson & Elldér, 2023). Verder volgt uit het fietsstraat model dat fietsintensiteiten licht positief geassocieerd zijn met ongevallen risico's.



Figuur 10 Tobit regressie modellen voor ongevallen risico op fietsstraten, voor vier tijdsperiodes.
 Notitie: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; - $p < 0,1$.

Conflictstudie resultaten

De observatie van 36 uur video, verdeel over 4 straten, resulteerde in 1031 veilige interacties en 71 conflicten (6.4%) (Tabel 3).

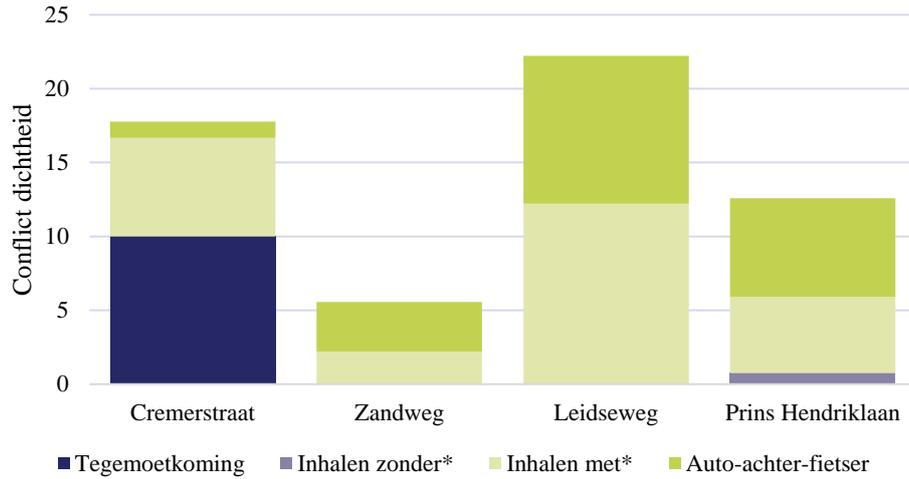
Tabel 3 Geobserveerde interacties per type en ernst (1-3 of 5)

	Totaal*	Geen hinder, veilige situatie.	Aangepast gedrag ("ruimte maken"), maar veilige situatie.	Hinderlijk (hoge snelheid, op korte afstand), niet comfortabel, maar na aangepast gedrag is de kans op ongeval klein.	Erg hinderlijk, remmen of uitwijkende manoeuvre noodzakelijk om ongeval te voorkomen.	Erg gevaarlijk (fysiek contact), in sommige gevallen leidend tot een ongeval.
Inhalen	696	581	85	28	2	0
Tegemoetkomen	257	189	57	11	0	0

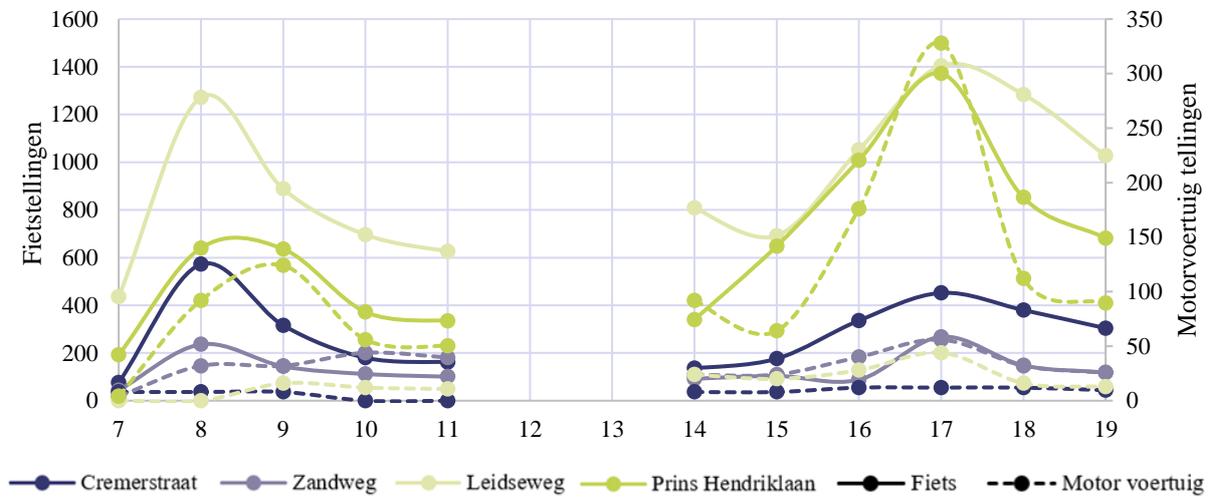
	Totaal*	Op comfortabele afstand.	Dicht bij fietser (Hinderlijk)	Hard remmen, dicht bij fietser (Gevaarlijk).
Auto-achter-fietser	144	115	27	2

* Vanwege manuele analyse van de video zijn alleen mogelijk kritische interacties genoteerd

Figuur 11 illustreert hoe de conflict dichtheden sterk verschillen tussen de geanalyseerde straten en types conflicten. De meest voorkomende type conflicten zijn *inhalen met tegemoetkomend verkeer* (45%) en *auto-achter-fietser* (36%). Bij 94% van de conflicten was minimaal één auto betrokken. De analyse van motor voertuig-betrokken-conflicten laat zien dat maar in 18% van deze conflicten het wegprofiel te krap was (waar het wegprofiel smaller is dan de benodigde breedte voor de voertuigcombinatie). De voornaamste karakteristieken van onveilige interacties tussen fietsers en auto's waren: snelheden boven de limiet (30km/h) (24%), fietsers die niet rechts aanhouden op de rijstrook (10%), en hoge volumes fietsers die de ingeschatte beschikbare ruimte verkleinen waardoor auto's laat afzien van inhalen (17%). Verder is de kans dat motorvoertuigen of duo-fietsers betrokken raken in een conflict 1.5 tot 15 keer groter dan bij gewone fietsers. Denvall & Johansson (2013) concluderen dat duo-fietsers voordeel hebben aan fietsstraten aangezien ze meer ruimte bieden, echter duo-fietsers waren bij 32.9% van de conflicten betrokken, terwijl zij 8-20% van de fietsers bevatten.



Figuur 11 Conflict dichtheid per fietsstraat en type conflict

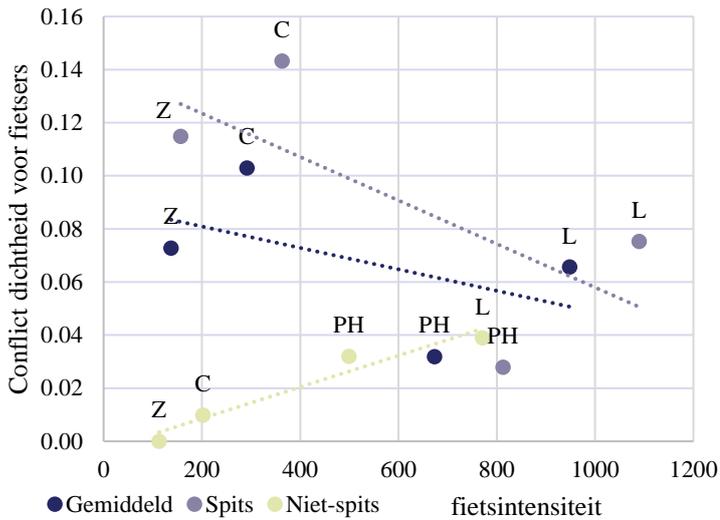


Figuur 12 Fiets en motorvoertuig tellingen op conflictstudie fietsstraten

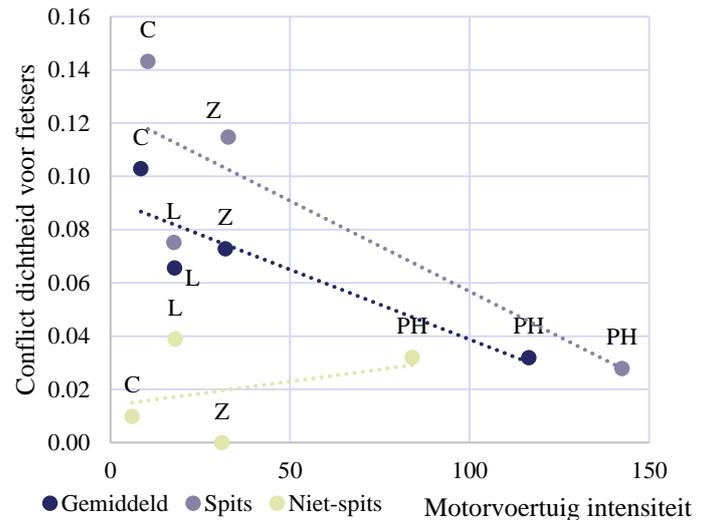
Correlatie toetsen tussen (verhoudingen tussen) verkeersintensiteiten, en conflict dichtheden en risico's resulteerde in de volgende bevindingen:

- Positieve relaties zijn gevonden tussen het aantal fietsers betrokken in een conflict en zowel de fietsvolumes, als de fiets-auto verhouding;
- Conflict risico's voor fietsers zijn positief gerelateerd aan fietsintensiteiten buiten de spits, maar (zwak) negatief met fiets en auto intensiteiten binnen spitsuren en gemiddeld over de dag heen (figuur 13 en 14).

Dus, deze bevindingen suggereren een hoger risico voor fietsers op fietsstraten met lage fiets en/of motorvoertuig intensiteiten. Echter kunnen er geen harde conclusies getrokken worden op basis van deze kleine selectie straten. Als laatste blijkt uit een vergelijking van het percentage (onveilige) motorvoertuig interacties per straat (figuur 15) en de motormoertuig intensiteiten (figuur 12), dat motor voertuigen vaker betrokken zijn bij (onveilige) interacties op fietsstraten met lage motorvoertuig intensiteiten.



Figuur 13 Relatie tussen fiets intensiteiten en conflict risico's voor fietsers



Figuur 14 Relatie tussen motor voertuig intensiteiten en conflict risico's voor fietsers

Conclusies en Aanbevelingen

Deze studie vergroot het inzicht in fietsstraatveiligheid door de analyse van zowel historische ongefallen data als conflict situaties.

De modelstudie van ongevalsrisico's op fietsstraten en andere fietsvoorzieningen geeft een eerste indicatie over fietsstraatveiligheid. Belangrijke bevindingen zijn dat de gemiddelde ongefallen risico's op fietsstraten significant lager zijn dan op fietspaden en niet significant verschillen met fietsstraten of residentiele wegen. Uit de regressie modellen komt dat fietsers een hoger risico lopen op fietsstraten ten opzichte van andere voorzieningen.

Wat betreft de invloed van fiets en motorvoertuig intensiteiten zijn de resultaten van de modelstudie onbetrouwbaar vanwege de beperkingen in de data. De conflictstudie geeft echter wel een duidelijke indicatie dat conflictrisico's voor fietsers hoger zijn op fietsstraten met lage motorvoertuig intensiteiten en een hoge fiets-motorvoertuig verhouding.

Vanwege de beperkingen in de ongefallen en verkeersintensiteiten data, zoals de onderregistratie van fietsongevallen zonder motorvoertuigen en ongefallen met licht/geen letsel, en het gebruik van gemodelleerde fietsintensiteiten, en de geschatte motorvoertuig intensiteiten op de helft van de fietsstraten, kunnen de resultaten van de ongevalsrisico's analyse alleen verkennend gebruikt worden. Verder onderzoek is nodig voor een concreter inzicht in fietsstraatveiligheid, en hoe ze zich daarin verhouden in het netwerk. Bevindingen uit de modelstudie en conflictstudie geven echter wel aanknopingspunten voor volgende onderzoeksrichtingen.

Bronnen

- Allen, B. L., Shin, B. T., & Cooper, D. J. (1978). Analysis of traffic conflicts and collisions. *Transportation Research Board*(667), 67-74.
- Amundsen, F. H., & Hydén, C. H. (1977). Proceedings of the First Workshop on Traffic Conflicts. Oslo/Lund: Institute of Transport Economics/Lund Institute of Technology.
- Anastasopoulos, P., Tarko, A. P., & Mannering, F. L. (2008). Tobit analysis of vehicle accident rates on interstate highways. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 768-775.
- Asadi, M., Ulak, M. B., Geurs, K. T., Weijermars, W., & Schepers, P. (2022). A comprehensive analysis of the relationships between the built environment and traffic safety in the Dutch urban areas. *Accident Analysis and Prevention*, 172.
- BRON. (2016-2021). Verkeersveiligheid en ongevallencijfers.
- CBS. (2022). Statline Open Data.
- Chen, P., & Shen, Q. (2016). Built environment effects on cyclist injury severity in automobile-involved bicycle crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 86, 239-246.
- CROW Fietsberaad. (2021). *Evaluatie discussienotitie Fietsstraten*. CROW Fietsberaad.
- Denvall, H., & Johansson, S. (2013). *Bicycle Priority Street*. Master thesis, Chalmers University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Gothenburg, Sweden.
- DiGioia, J., Watkins, K. E., Xu, Y., Rodgers, M., & Guensler, R. (2017). Safety impacts of bicycle infrastructure: A critical review. *Journal of Safety Research*, 105-119.
- Dozza, M. (2017). Crash risk: How cycling flow can help explain crash data. *Accident Analysis and Prevention*, 105, 21-29.
- Fietsersbond. (2020). Fietsrouteplanner. Retrieved from Routeplanner.fietsersbond.nl.
- Godefrooij, H., & Hulshof, R. (2017). Toepassingsmogelijkheden Fietsstraten. *Nationaal verkeerskundecongres*. DTV Consultants and CROW.
- Hayward, J. C. (1972). *Near miss determination through use of scale of danger*. Pennsylvania: The Pennsylvania State University.
- He, H., Bai, Y., Garcia, E. A., & Li, S. (2008). ADASYN: Adaptive synthetic sample approach for imbalanced learning. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks* (pp. 1322-1328). Hong Kong, China: IEEE World Congress on Computational Intelligence.
- Khut, R. (2012). *Bicycle Boulevards: Statistical analysis of the presence of bicycle boulevards and their influence on bicycle-to-work rates in Portland, Oregon*. Thesis, University of Oregon, Department of Planning, Public Policy and Management.
- Kraay, J. H., van der Horst, A. R., & Oppe, S. (2013). *Handleiding conflictobservatietechniek DOCTOR*. Leidschendam; Soesterberg: Institute for Road Safety Research SWOV; Institute for Perception TNO.
- Mapes, J. (2009). *Pedaling Revolution. How cyclists are Changing American Cities*. Oregon State University Press.
- Morris, C., & Yang, J. J. (2021). Effectiveness of resampling methods in coping with imbalanced crash data: Crash type analysis and predictive modeling. *Accident Analysis & Prevention*.

- Olsson, S. R., & Elldér, E. (2023). Are bicycle streets cyclist-friendly? Micro-environmental factors for improving perceived safety when cycling in mixed traffic. *Accident Analysis and Prevention*.
- Park, J., Abdel-Aty, M., Lee, J., & Lee, C. (2015). Developing crash modification functions to assess safety effects of adding bike lanes for urban arterials with different roadway and socio-economic characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, 74, 179-191.
- Planbureau voor de Leefomgeving. (2022, June 24). *RUNDIFUN 2022: Ruimtelijke dichtheden en functiemenging in Nederland*. Retrieved from pbl.nl: <https://www.pbl.nl/publicaties/rudifun-2022-ruimtelijke-dichtheden-en-functiemenging-in-nederland>
- Prati, G., Puchades, V. M., De Angelis, M., Fraboni, F., & Pietrantonio, L. (2018). Factors contributing to bicycle-motorvehicle collisions: a systematic literature review. *Transport Reviews*, 38, 184-208.
- Sayed, T., Zaki, M. H., & Autey, J. (2013). Automated safety diagnosis of vehicle-bicycle interactions using computer vision analysis. *Safety Science*, 59, 163-172.
- Schepers, P., Heinen, E., Methorst, R., & Wegman, F. (2013). Road safety and bicycle usage impacts of unbundling vehicular and cycle traffic in Dutch urban networks. *EJTIR*, 13(3), 221-238.
- Schepers, P., Kroeze, P. A., Sweers, W., & Wust, J. C. (2011). Road factors and bicycle-motor vehicle crashes at unsignalized priority intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 43(3), 853-861.
- Schepers, P., Lovegrove, G., & Helbich, M. (2019). Urban form and road safety: Public and active transport enable high levels of road safety. In *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning* (pp. 383-408). Springer.
- Schepers, P., Twisk, D., Fishman, E., Fyhri, A., & Jensen, A. (2017). The Dutch road to high level of cycling safety. *Safety Science*, 92, 264-273.
- SWOV. (2018). *Sustainable Safety 3rd edition - The advanced vision for 2018-2030*. Den Haag: SWOV.
- Tobin, J. (1958). Estimation of relationships for limited dependent variables. *Econometrica*, 26, 24-36.
- Uijtdewilligen, T., Baran, U. M., Wijnhuizen, G. J., Bijleveld, F., Dijkstra, A., & Geurs, K. T. (2022). How does hourly variation in exposure to cyclists and motorised vehicles affect cyclist safety? A case study from a Dutch cycling capital. *Safety Science*, 152.
- Ulak, M. B., Ozguven, E. E., Spainhour, L., & Vanli, O. A. (2017). Spatial investigation of aging-involved crashes: A GIS-based case study in Northwest Florida. *Transport Geography*, 58, 71-91.
- van Boggelen, O., & Hulshof, R. (2019). *Fietsberaadnotitie aanbevelingen fietsstraten binnen de kom*. Utrecht: CROW Fietsberaad.
- van Petegem, J. W., Schepers, P., & Wijnhuizen, G. (2021). The safety of physically separated cycle tracks compared to marked cycle lanes and mixed traffic conditions in Amsterdam. *EJTIR*, 21(3), 19-27.
- Vandenbulcke, G., Thomas, I., de Geus, B., Degraeuwe, B., Torfs, R., Meeusen, R., & Panis, L. I. (2009). Mapping bicycle use and the risk accidents for commuters who cycle to work in Belgium. *Transport Policy*, 16, 77-87.

- Vanparijs, J., Panis, L. I., Meeusen, R., & de Geus, B. (2015). Exposure measurement in bicycle safety analysis: A review of the literature. *Accident Analysis and Prevention*, 84, 9-19.
- Wijnen, W. (2022). *Maatschappelijke kosten van verkeersongevallen in Nederland: actualisatie 2020*. Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM).
- You, J., Wang, J., Fang, S., & Guo, J. (2017). An optimized real-time crash prediction model on freeway with over-sampling techniques based on support vector machine. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 555-562.