

# Simulatie van fietsstromen: (on)mogelijkheden van bestaande modellen

Fietsberaadnotitie





# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel en focus	2
1.3	Werkwijze	2
1.4	Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>Inventarisatie van fietsstromen</b>	<b>4</b>
2.1	Achterliggende vragen	4
2.2	Fietsstromen in de praktijk	5
<b>3</b>	<b>Inventarisatie van bestaande modellen</b>	<b>7</b>
3.1	Soorten modellen	7
3.2	Beschikbare modellen	8
3.3	Analytische modellen	9
3.3.1	Capacito	9
3.3.2	CAP-X Tool, HCS 2023 & Junctions	10
3.3.3	COCON & Synchro	10
3.3.4	Meerstrooksrotondeverkenner	10
3.3.5	Kruispuntverkenner	11
3.3.6	Kruispuntwijzer	11
3.3.7	LISA+	12
3.3.8	Sidra Intersection	13
3.3.9	CROW-Fietsberaad Tools	13
3.4	Simulatiemodellen	14
3.4.1	Software	15
3.4.1.1	TRANSIMS, MATSIM en Dynameq	15
3.4.1.2	Lynsig, TRANSYT en SimTraffic	15
3.4.1.3	Cube Dynasim	16
3.4.1.4	OpenTrafficSim	16
3.4.1.5	Eclipse SUMO	16
3.4.1.6	Simulatieprogramma LARGAS	16
3.4.1.7	Aimsun Next, Paramics Discovery en PTV Vissim	17
3.4.2	Basisstructuur simuleren van fietsers	17
3.4.2.1	Voertuigtypen	18
3.4.2.2	Strookgebonden simuleren van fietsers	18
3.4.2.3	Niet-strookgebonden simuleren van fietsers	19
3.4.2.4	Interactie van fietsers en voetgangers	20

<b>4</b>	<b>Conclusies</b>	<b>21</b>
4.1	(On)mogelijkheden van bestaande modellen	21
4.2	Wensen/kansen voor ontwikkeling	22
<b>5</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>23</b>
	<b>Bijlagen</b>	<b>25</b>
	Bijlage 1 – Betrokkenen	25
	Bijlage 2 – Inventarisatie van fietsstromen	26
	Bijlage 3 – Overzicht van bestaande software	30
	Analytische modellen	30
	Simulatiemodellen	31

# 1 Inleiding

Dit rapport is het resultaat van een onderzoek naar het simuleren van fietsstromen, uitgevoerd in opdracht van CROW-Fietsberaad in de periode van november 2022 tot en met mei 2023.

In dit hoofdstuk worden de aanleiding, het doel en de werkwijze van het onderzoek beschreven. Het hoofdstuk eindigt met een leeswijzer voor de rest van de rapportage.

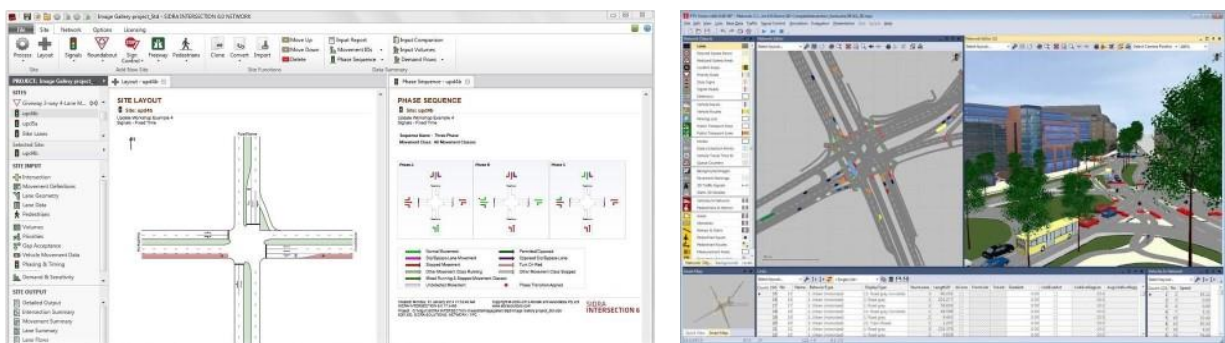
## 1.1 Aanleiding

Door de steeds groeiende stroom fietsers in het verkeer is er ook steeds meer behoefte aan het adequaat kunnen simuleren van fietsers op wegvakken en kruispunten. Dit is met name van belang om te kunnen bepalen waar in de toekomst doorstromingsproblemen zullen zijn en welke (ontwerp) aanpassingen een mogelijke oplossing daarvoor kunnen zijn. Het feit dat voorrang verleend moet worden aan fietsers, beïnvloedt de doorstroming van andere verkeersstromen, zoals het autoverkeer. Dit speelt in veel situaties, variërend van solitaire fietsoversteekplaatsen tot rotondes.



Figuur 1 Fietsers op kruispunten en wegvakken (bron: CROW-Fietsberaad)

Om de doorstroming op wegvakken en kruispunten te kunnen voorspellen, en daarmee verschillende inrichtingsvarianten te kunnen evalueren, wordt gebruikgemaakt van (simulatie)modellen. Er zijn zowel in Nederland als wereldwijd verschillende theoretische en commerciële (software) modellen beschikbaar.



Figuur 2 Voorbeelden van commerciële software modellen (Sidra Intersection en PTV Vissim).

Veel van deze modellen zijn traditioneel, niet of slechts beperkt in staat om de effecten van fietsverkeer adequaat te voorspellen. Alhoewel veel modellen de afgelopen jaren verbeterd zijn, is er nog geen duidelijk overzicht van de (on)mogelijkheden van het modelleren van fietsverkeer.

## 1.2 Doel en focus

Het doel van dit project is om de mogelijkheden van beschikbare modellen ten aanzien van de verkeersafwikkeling van fietsers in beeld te brengen en te bepalen welke uitbreidingen van en/of aanpassingen aan bestaande modellen noodzakelijk en/of gewenst zijn. Het idee is dat het resulterende overzicht partijen stimuleert tot verdere ontwikkeling van de modellen.

Er wordt daarbij hoofdzakelijk gekeken naar voorrangssituaties met fietsers op kruispunten en situaties met gemengd verkeer op wegvakken. Daarnaast wordt er alleen gekeken naar gedrag met betrekking tot verkeersafwikkeling en niet naar bijvoorbeeld routekeuze, vervoerswijzekeuze en ritgeneratie.

Met betrekking tot de inventarisatie van beschikbare modellen ligt de focus op (direct) beschikbare softwaretools en niet op theoretische modellen en prototypes van modellen beschreven in wetenschappelijke artikelen.

## 1.3 Werkwijze

In dit onderzoek zijn de volgende inhoudelijke stappen genomen:

- Inventarisatie van de effecten van fietsstromen
- Inventarisatie van bestaande modellen
- Inventarisatie van ontwikkelmogelijkheden en wensen

In eerste instantie is in beeld gebracht welke effecten van fietsstromen relevant zijn en welke meegenomen zouden moeten worden in rekenmodellen. Vervolgens is gekeken naar welke modellen er al beschikbaar zijn en in hoeverre die geschikt zijn om de beoogde effecten van fietsstromen te kunnen voorspellen. Tot slot is gekeken welke ontwikkelmogelijkheden en wensen er zijn.

Voor het uitvoeren van deze stappen zijn de volgende onderzoeksmethoden toegepast:

- Deskresearch/literatuuronderzoek
- Interviews
- Expertsessie
- Schriftelijke feedbackronde

Er is deskresearch/literatuuronderzoek gedaan waarbij is gekeken naar zowel wetenschappelijke artikelen als whitepapers, technische notities, internetartikelen, congresbijdragen, afstudeerrapporten en software handleidingen. In enkele gevallen zijn er ook gratis en/of demo-versies van software bestudeerd. Let wel, in dit onderzoek zijn geen rekenexercities met modellen gedaan om zodoende de prestaties te beoordelen.

Aanvullend op het deskresearch/literatuuronderzoek zijn interviews uitgevoerd met toepassers en ontwikkelaars van software modellen, voornamelijk adviesbureaus. Daarbij is vooral doorgevraagd over de (on)mogelijkheden van de gebruikte software modellen. Daarnaast is er een expertsessie georganiseerd waarvoor deskundigen van gemeenten, adviesbureaus en kennisinstellingen zijn uitgenodigd. In de expertsessie zijn de eerste resultaten gedeeld en is vooral gevraagd om aanvullende input ten aanzien van de vragen die met modellen beantwoord moeten worden en ontwikkelmogelijkheden en wensen. In figuur 3 wordt een impressie van de input van deskundigen tijdens de expertsessie gegeven. Het overzicht van de geïnterviewde personen en bedrijven en de deelnemerslijst van de expertsessie zijn te vinden in Bijlage 1 – Betrokkenen.





Figuur 3 Impressie van de input van deelnemers aan de expertsessie

Op basis van het deskresearch/literatuuronderzoek, de interviews en de expertsessie is een conceptrapport opgesteld, dat rondgestuurd is voor een schriftelijke feedbackronde. De feedback is verwerkt in deze eindrapportage.

#### 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt allereerst ingegaan op de inventarisatie van de effecten van fietsstromen. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de bestaande modellen en wordt besproken wat er wel en niet mogelijk is. In hoofdstuk 4 worden de conclusies van de evaluatie van bestaande modellen samengevat en wordt ingegaan op de ontwikkelmogelijkheden en wensen.

Bijlage 1 – Betrokkenen bevat respectievelijk een overzicht van de geïnterviewde deskundigen en de deskundigen die aanwezig waren bij de expertsessie. In Bijlage 2 – Inventarisatie van fietsstromen wordt een overzicht gegeven van alle onderdelen die van belang zijn bij het bepalen van de effecten van fietsstromen. Bijlage 3 – Overzicht van bestaande software bevat een tweetal overzichtstabellen van de bestaande modellen.

## 2 Inventarisatie van fietsstromen

In dit hoofdstuk wordt de inventarisatie van de effecten van fietsstromen beschreven. Daarbij is geïnventariseerd welke vormen van interactie van fietsverkeer en andere verkeersstromen er allemaal zijn en wat hun invloed is op de doorstroming van het verkeer. Uiteindelijk gaat het erom te bepalen waar modellen allemaal mee om moeten kunnen gaan als ze de effecten van fietsstromen juist willen kunnen voorspellen.

Eerst wordt ingegaan op de praktijkvragen die beantwoord moeten worden. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de aspecten waar in modellen rekening mee moet worden gehouden om de effecten van fietsstromen te kunnen voorspellen.

### 2.1 Achterliggende vragen

In dit project wordt gekeken naar voorrangssituaties met fietsers op kruispunten en situaties met gemengd verkeer op wegvakken. De belangrijkste vraag die daarbij in de praktijk doorgaans gesteld wordt is: Wanneer zijn aanvullende maatregelen gewenst? Dit kan bepaald worden door vragen te beantwoorden als: Wanneer ontstaan er te lange wachtrijen en/of wachttijden? Wanneer ontstaan er onveilige situaties of vallen er zelfs slachtoffers? Wanneer gaan fietsers zich anders gedragen door bijvoorbeeld meer risico te nemen bij het oversteken? Oftewel, tot welke combinatie van verkeersstromen is de verkeersafwikkeling en verkeersveiligheid voor een bepaalde situatie nog acceptabel? In de expertsessie werden de volgende achterliggende vragen benoemd:

- Verkeersafwikkeling:
  - Is de capaciteit van een kruispunt of wegvak voldoende voor autoverkeer?
  - Wat zijn de effecten van de fietsstromen op het autoverkeer?
  - Hoe is de afwikkeling van de verschillende modaliteiten?
  - Wat zijn de verliestijden, wachttijden en wachtrijen?
  - Wat is het aantal stops op een route?
  - Wat is de kwaliteit van de oversteekbaarheid van verkeersdeelnemers?
  - Wat is het effect op de OV-dienstregeling?
  - Voldoet een ontwerp nu en in de toekomst?
  - Is er voldoende opstelruimte voor auto's en fietsers? Oftewel, past het in de ruimte?
- Verkeersveiligheid:
  - Wanneer worden fietsers ongeduldig?
  - Wanneer gaan ze meer risico nemen?
  - Welk deel van de fietsers gaat ander gedrag vertonen?
  - Hoe is de overzichtelijkheid van de situatie?
  - Wat is de zichthoek voor vrachtauto's en bussen?
  - Wat is het gevoel van veiligheid voor fietser of voetganger?
  - Zijn er veel snelheidsverschillen?
  - Hoe is de oversteekbaarheid?
  - Welke vaardigheid heb je als fietser nodig om deel te nemen?



## 2.2 Fietsstromen in de praktijk

Een stroom fietsers waaraan voorrang verleend moet worden, beïnvloedt de doorstroming van het autoverkeer. De omvang van die invloed is afhankelijk van de hoeveelheid fietsverkeer, de verdeling van de stroom in de tijd en de inrichting van de weg. Op rotondes binnen de bebouwde kom wordt de doorstroming van het oprijdende autoverkeer bijvoorbeeld beïnvloed door de fietsers op de rotonde. Ook door fietsers die al eerder afslaan, maar geen of voor de oprijdende automobilist niet zichtbaar, richting aangeven. Dit heet een schijnconflict. De invloed van het schijnconflict wordt weer gereduceerd door een bredere middenberm omdat de automobilist bij onzekerheid dan eerder de rotonde op zal rijden. Dit is slechts één voorbeeld van de interactie van fiets- en autoverkeer.

In Bijlage 2 – Inventarisatie van fietsstromen wordt een puntsgewijs overzicht gegeven van alle onderwerpen die van belang zijn voor het beschrijven van fietsstromen in de praktijk. In tabel 1 worden de aspecten die van belang zijn voor de modellen samengevat, waarna een korte toelichting per hoofdaspect volgt.

Tabel 1 Aspecten voor modellen

Hoofdaspect	Onderdelen
<b>1. Typerende situaties</b>	Aan-/vrijliggend fietspad voorrangskruispunt-/plein/-rotonde, voorrangskruispunt solitair fietspad, gemengd verkeer op wegvak (incl. fietsstraat), fietsvoorzieningen geregeld kruispunt.
<b>2. Specifieke fietsvoorzieningen</b>	Oversteek in één/twee keer, tweezijdig fietspad/fietsoversteek, rechtsaf voor fietsers vrij, deelconflicten, Alle richtingen groen (ARG), opgeblazen fietsopstelstrook (OFOS).
<b>3. Fietsstroom</b>	Omvang, wegvak/kruisend, één/twee richtingen, aankomstpatroon, soorten fietsen en fietsers.
<b>4. Fietsgedrag &amp; Interactie</b>	Naast elkaar fietsen (duofietsen), achter elkaar fietsen, fietsen in groepen (peletonvorming), vetergang, interactie met fietsers, voetgangers en gemotoriseerd verkeer (volggedrag, inhaalgedrag, hiaatacceptatie), schijnconflicten.
<b>5. Geometrische eigenschappen</b>	Breedte fietspad/-strook, breedte middenberm, afstand hoofdrijbaan en fiets-oversteek, diverse boogstralen/aansluitbogen, afstand tot voetgangersoversteekplaats, breedte en lengte opstelvak.
<b>6. Output/Interpretatie</b>	Wachttijd, wachtrij, verliestijd, capaciteit, reservecapaciteit, vertraging, verzadigingsgraad, belastingsgraad, intensiteit/capaciteitswaarde, level-of-service, oversteekbaarheid, aantal (bijna) ongevallen, ongevalskans, risicofactor, itime-to-collision, (on)veiligheidsbeleving, emissies.

## Toelichting op tabel

1. In de eerste plaats zijn er een aantal typerende situaties die van belang zijn voor het modelleren van fietsstromen, zoals een aan- of vrijliggend fietspad op een voorrangskruispunt, -plein of -rotonde. Op een rotonde waar de fietsers in de voorrang geregeld zijn, moet zowel het oprijdende als het van de rotonde afslaan (auto)verkeer voorrang verlenen aan de fietsstroom. Alhoewel de inrichting van voorrangskruispunten, -pleinen en -rotondes verschillend is, is het basisprincipe van voorrang verlenen aan fietsstromen overeenkomstig. Dat geldt ook voor een voorrangskruispunt met een solitair fietspad. Op wegvakken, inclusief fietsstraten, gaat het vooral om de menging van verkeersstromen. Op geregelde kruispunten worden fietsers meegenomen in de regeling. Modellen moeten met dergelijke typerende situaties om kunnen gaan om (de effecten van) het fietsverkeer goed te kunnen simuleren.
2. Vervolgens zijn er een aantal specifieke fietsvoorzieningen waarmee rekening gehouden moet kunnen worden. In zijn algemeenheid kan een kruisend fietspad, stromen in zowel één als twee richtingen hebben en kunnen fietsers in één of twee keer oversteken. Bij geregelde kruispunten kunnen deelconflicten met fietsers toegestaan worden en mag het rechtsafslaan de fietsverkeer soms vrij doorrijden. Daarnaast kan de regeling zo ingesteld zijn dat alle richtingen (voor fietsers en eventueel voetgangers) tegelijk groen krijgen (ARG) en kan er een opgeblazen fietsopstelstrook (OFOS) toegepast worden.
3. Zeer bepalend voor de effecten van het fietsverkeer zijn de eigenschappen van de fietsstroom, zoals de omvang, richting(en), verdeling en de samenstelling van de stroom. Een tweezijdige fietsstroom is doorgaans een stuk lastiger te doorkruisen, evenals een volledig in de tijd verdeelde stroom. Verschillende typen fietsen hebben een verschillend ruimtebeslag en elektrische fietsen hebben een hogere snelheid. Jongere fietsers gedragen zich anders dan oudere fietsers.
4. Een andere invloedsfactor betreft het gedrag van fietsers, inclusief de interactie met elkaar en andere verkeersdeelnemers. In tegenstelling tot gemotoriseerd verkeer, rijden fietsers zowel achter als naast elkaar en reizen, met name scholieren, vaak in groepen. Verschillende typen fietsen en fietsers hebben een verschillende vetergang en vertonen verschillend gedrag qua volggedrag, inhaalgedrag en hiaatacceptatie, zowel tussen fietsers onderling als tussen fietsers en andere verkeersdeelnemers. Automobilisten kunnen op verschillende manieren op fietsers reageren, zoals bijvoorbeeld bij schijnconflicten op rotondes. Het gedrag van verkeersdeelnemers kan per land, regio of zelfs stad of dorp verschillen.
5. Naast de algemene inrichting van een kruispunt of wegvak, hebben ook diverse geometrische eigenschappen invloed op de (effecten van) de fietsstromen. Zo is de breedte van het fietspad of de fietsstrook van invloed op het gedrag en gebruik en daarmee de capaciteit ervan. Een brede middenberm op rotondes kan het effect van schijnconflict reduceren. De lengte en breedte van opstelstroken en -vakken is bepalend voor de beschikbare opstelruimte en daarmee de wachtrijlengtes. Overgangsbogen en boogstralen kunnen van invloed zijn op het zicht en de opstelruimte. In Bijlage 2 – Inventarisatie van fietsstromen worden enkel de belangrijkste geometrische maten genoemd.
6. Tot slot moeten modellen in staat zijn om bepaalde output te genereren zodat de achterliggende vraag beantwoord kan worden (zie paragraaf 2.1). Daarbij zijn indicatoren voor zowel de verkeersafwikkeling als de verkeersveiligheid gewenst.

## 3 Inventarisatie van bestaande modellen

In dit hoofdstuk wordt de inventarisatie van bestaande modellen beschreven. Eerst wordt een korte uitleg gegeven over de verschillende soorten modellen. Daarna volgt een overzicht van de beschikbare modellen. De modellen kunnen ingedeeld worden in twee hoofdcategorieën: analytische modellen en simulatiemodellen. Voor beide soorten worden de belangrijkste voor- en nadelen ten aanzien van het modelleren van de effecten van fietsverkeer in het algemeen en voor specifieke software beschreven.

### 3.1 Soorten modellen

Een model is een schematische weergave van de werkelijkheid. Een verkeersmodel is een model dat inzicht geeft in de huidige en/of toekomstige verkeers- en vervoersstromen. In de context van dit onderzoek gaat het om een verkeersmodel dat de verkeersafwikkeling van (vracht)auto's, fietsers en voetgangers voor verschillende ontwerpvarianten van kruispunten en wegvakken kan voorspellen. Een model kan in principe bestaan uit één specifieke formule, zoals het intensiteitscriterium van Slop (1975), dat gebruikt kan worden om op een snelle manier te bepalen of er verkeerslichten op een voorrangskruispunt geplaatst kunnen of moeten worden. Dergelijke eenvoudige modellen kunnen ook in één of meerdere tabellen of grafieken weergegeven worden, op basis waarvan snel bepaald kan worden of een bepaalde inrichtingsvorm of -variant geschikt is. Een voorbeeld hiervan zijn de zogenaamde nomogrammen voor verschillende rotondevormen en fietsverkeer op basis van de capaciteitsformule van Bovy (CROW, 1998). In deze gevallen wordt eerder gesproken van een vuistregel dan een model. In de meeste gevallen bestaat een model echter uit een grote set van formules in één of meerdere algoritmes, verwerkt in software. Dat kan in de vorm van een spreadsheet, een webapplicatie of een volledige desktopapplicatie.

Voor het modelleren van de verkeersafwikkeling op kruispunten en wegvakken zijn wereldwijd diverse soorten modellen beschikbaar, die op verschillende manieren ingedeeld kunnen worden. Een veelgebruikt en logisch eerste onderscheid is die tussen analytische modellen en simulatiemodellen.

Analytische modellen bepalen de gemiddelde wachttijd en/of wachtrij van het verkeer in een richting op basis van de intensiteit/capaciteit verhouding in bijvoorbeeld een drukste uur. De intensiteiten zijn gegeven als invoer. De capaciteiten worden bepaald op basis van de intensiteiten en het ontwerp van een weg of kruispunt. De basiscapaciteit van een richting wordt in de modellen gereduceerd als er bijvoorbeeld gewacht moet worden voor een rood licht of als er voorrang verleend moet worden aan kruisend fietsverkeer. In de loop van de jaren zijn er veel methoden ontwikkeld om met zo veel mogelijk situaties rekening te kunnen houden bij het berekenen van de capaciteiten en wachttijden, zoals bijvoorbeeld met schijnconflicten op rotondes. Veel analytische modellen bevatten rekenmodellen die (deels) gebaseerd zijn op de Amerikaanse 'Highway Capacity Manual' (HCM) methoden (Transportation Research Board, 2016; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022). Sommige analytische modellen beperken zich tot het modelleren van specifieke kruispuntvormen, zoals (turbo)rotondes of geregelde kruispunten.

Simulatiemodellen gebruiken rekenregels om de voortgang van voertuigen en voetgangers in een verkeersnetwerk te voorspellen. Een simulatiemodel berekent elke tijdseenheid (bijvoorbeeld elke seconde) wat de voortgang van de verkeersdeelnemers is. Bij het bepalen van de voortgang wordt rekening gehouden met de interactie van de verkeersdeelnemers onderling en met de omgeving. Bij die interactie wordt bijvoorbeeld gekeken naar volggedrag, inhaalgedrag, rijstrookwisselgedrag en voorrang verlenen. De omgeving is doorgaans heel flexibel, op maat, op te geven als invoer. Wanneer er individuele voertuigen of voetgangers gesimuleerd

worden, dan wordt gesproken van microsimulatie. De meeste simulatiemodellen zijn in staat om alle kruispuntvormen en wegvakken te modelleren en zijn oorspronkelijk ontworpen voor het modelleren van autoverkeer, waarbij later fietsers en voetgangers toegevoegd zijn. Er zijn ook simulatiemodellen specifiek voor het modelleren van voetgangersstromen. Er zijn verschillende basismethoden voor het invullen van simulatiemodellen. In paragraaf 3.2 wordt daar nader aandacht aan besteed.

### 3.2 Beschikbare modellen

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de beschikbare software voor het modelleren van de verkeersafwikkeling op kruispunten en wegvakken. Het overzicht bevat software die gebruikt wordt in Nederland, aangevuld met software die internationaal gebruikt wordt. In bijlage 3 is een uitgebreid overzicht van alle software opgenomen.

Op basis van de beschikbare software is in tabel 3 een eerste vergelijking gemaakt van de twee hoofdcategorieën. De genoemde onderdelen gelden voor het grootste deel van de software in een categorie. In de paragrafen 3.3 en 3.4 wordt nader ingegaan op respectievelijk analytische modellen en simulatiemodellen.

Tabel 2 Beschikbare software

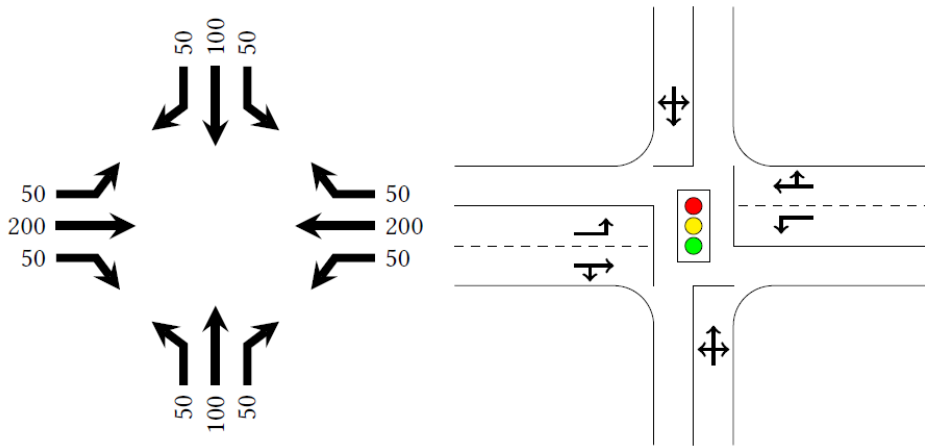
Hoofdcategorie	Software
<b>Analytisch</b>	Capacito, CAP-X Tool, COCON, CROW-Fietsberaad Tools, HCS 2023, Junctions (ARCADY, PICADY, OSCADY), Kruispuntverkenner, Kruispuntwijzer, LISA+, Meerstrooksrotondeverkenner, Sidra Intersection, Synchro
<b>Simulatie</b>	Aimsun Next (Legion), Cube Dynasim, Dynameq, LinSig, MATSim, OpenTrafficSim, PTV Vissim (PTV Viswalk), Paramics Discovery, SimTraffic, Simulatieprogramma LARGAS, SUMO, TransModeller, TRANSIMS, TRANSYT, TSIS-CORSIM, VISSIM-kruispunttool

Tabel 3 Vergelijking analytische en simulatiesoftware

Onderdeel	Analytisch	Simulatie
Verkeer	Voertuig-/voetgangersstromen	Individuele voertuigen/voetgangers
Tijdsaspect	Statisch (gemiddelde situatie)	Dynamisch
Rekenmodel	Op basis van capaciteits- en wachttijd-functies.	Op basis van voertuigvolggedrag, inhaalgedrag, rijstrookwisselgedrag, enzovoort.
Kruispunt- en wegvakvormen	Standaard kruispunt- en wegvakvormen met veel default eigenschappen.	Flexibele kruispunt- en wegvakvormen met vormgeving op maat.
Fietsers	Fietsers als overstekende stroom. Fietsers worden meegenomen in de capaciteitsreductie van gemotoriseerd verkeer. Fietsstroken soms instelbaar.	Verschillende voertuigklassen (o.a. fietsers) met eigen verkeersgedrag. Interactie tussen fietsers en andere verkeersdeelnemers is instelbaar. Fietsstroken instelbaar.

### 3.3 Analytische modellen

Het basisprincipe van een analytisch model is dat de gebruiker intensiteiten op kan geven voor de verschillende verkeersstromen op een kruispunt of wegvak, bijvoorbeeld in mvt's of pae's per uur en dat deze toegepast worden op een gegeven ontwerp om de gemiddelde wachttijd per richting te bepalen. Figuur 4 toont een voorbeeld van de benodigde invoer voor een analytisch model voor een kruispunt.



Figuur 4 Voorbeeld van de invoer van een analytisch model voor een kruispunt

Het detailniveau van hetgeen dat ingevoerd kan worden is per model verschillend. Dat geldt zowel voor de intensiteiten als het ontwerp. In het voorbeeld worden enkel de intensiteiten van het gemotoriseerde verkeer, het kruispunttype (geregeld) en de opstelstroken per kruispunttak ingevoerd. In de context van dit onderzoek zou je ook de intensiteiten en voorzieningen van overstekende fietsers in willen kunnen voeren. In de meeste modellen worden er veel meer ontwerpeigenschappen meegenomen in de berekening dan de gebruiker in kan voeren, vooral als het gaat om geometrische eigenschappen zoals de breedte van een strook of de boogstraal van een rotonde. Er wordt in de modellen dan gewerkt met default waarden.

In het vervolg van deze paragraaf worden de verschillende analytische modellen besproken met focus op de (on)mogelijkheden voor het modelleren van fietsstromen zoals besproken in het vorige hoofdstuk.

#### 3.3.1 Capacito

Capacito is een gratis tool van Trenso Verkeerskundige Software, met daarin vijf eenvoudige modules voor capaciteitsberekeningen op kruispunten. Het betreft:

- Intensiteitscriterium van Slop (bepalen noodzaak capaciteitsmaatregel kruispunt)
- Methode Harders (capaciteits-/wachttijdberekening kruispunt)
- Rotondemodel Brilon/Stuwe (capaciteits-/wachttijdberekening rotonde)
- Wachttijdformule van Akçelik (capaciteits-/wachttijdberekening verkeerslicht)
- Oversteekbaarheid van wegen voor voetgangers en fietsers

In de capaciteitsberekeningen kunnen geen fietsvoorzieningen en overstekende fietsers opgegeven worden. Fietsers kunnen enkel meegenomen worden als onderdeel van de in te voeren pae-waarde per uur per richting. Met de vijfde module kan de gemiddelde wachttijd voor fietsers (en voetgangers) voor het oversteken van een wegvak met motorvoertuigen en fietsers bepaald worden. Daarbij kunnen eigenschappen als de oversteeklengte, oversteeksnelheid, reactietijd en de snelheid en intensiteit op de rijbaan ingesteld worden.

### 3.3.2 CAP-X Tool, HCS 2023 & Junctions

De CAP-X (*'Capacity Analysis for Planning of Junctions'*) tool is een gratis spreadsheet waarmee de prestatie van een achttal verschillende kruispuntvormen (en diverse varianten) geëvalueerd kan worden op basis van gegeven intensiteiten. De tool is ontwikkeld in opdracht van en wordt uitgegeven door de Amerikaanse Federal Highway Administration. De tool is gebaseerd op de HCM methoden (Transportation Research Board, 2016) en bevat geen rekenmethoden om rekening te houden met de effecten van overstekende fietsers. Wel kan handmatig opgegeven worden welke oversteekvoorzieningen er zijn en met welke snelheid fietsers over kunnen steken. Op basis van deze invoer wordt een score(categorie) bepaald die iets zegt over de veiligheid en het comfortniveau van de fietsvoorzieningen (Federal Highway Administration, 2018).

HCS (*'Highway Capacity Software'*) 2023 is een desktopapplicatie ontwikkeld en verkocht door het Amerikaanse McTrans. Het is grofweg een uitgebreide versie van de CAP-X tool en is een directe implementatie van de HCM methoden (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022). HCS 2023 bevat rekenmethoden voor verschillende wegvak- en kruispuntvormen. Het model bevat uitgebreide opties voor het modelleren van de effecten van overstekende voetgangers en het bepalen van een level-of-service waarde voor voetgangers. Voor fietsers zijn, voor zover bekend, geen aparte opties aanwezig. Interessant is de koppeling met HSS (*'Highway Safety Software'*) van dezelfde ontwikkelaars, waarmee ongevalsrisico's voor allerlei kruispuntvormen en wegvakken bepaald kunnen worden. Een belangrijk nadeel is wel dat de modellen hoofdzakelijk gekalibreerd zijn voor de Amerikaanse praktijk.

Junctions is een desktopapplicatie ontwikkeld door het Engelse Transport Research Laboratory, gebaseerd op ruim drie decennia aan onderzoek en ontwikkeling. Het is een combinatie van de eerdere modules ARCADY (rotondes), PICADY (voorrangskruispunten) en OSCADY (geregelde kruispunten). Het is vergelijkbaar met HCS 2023 en bevat naast specifieke rekenmodellen voor de Engelse praktijk ook de optie om met de Amerikaanse HCM methoden te rekenen. Naast diverse indicatoren voor doorstroming kunnen ook ongevalsrisico's bepaald worden. Net als bij de Amerikaanse modellen zijn er veel mogelijkheden om rekening te houden met overstekende voetgangers. De opties voor fietsers lijken vooralsnog te ontbreken.

### 3.3.3 COCON & Synchro

COCON, ontwikkeld en verkocht door DTV Consultants, is de applicatie voor het ontwerpen en testen van verkeersregelinstallaties in Nederland. Het programma berekent een optimale starre regeling (met een cyclustijd en groentijden per richting) op basis van gegeven intensiteiten en een kruispuntontwerp (inclusief strookindeling en oversteekvoorzieningen). In die context biedt het uitgebreide mogelijkheden voor het meenemen van fietsvoorzieningen en fietsstromen. Op basis van de starre regeling in COCON kan een voertuigafhankelijke regeling opgesteld worden, die vervolgens in een extern simulatiemodel getest kan worden. In COCON kunnen enkel verschillende starre regelingen geëvalueerd worden. De nieuwste versie van COCON wordt aangeboden als webapplicatie.

Synchro is een vergelijkbaar pakket van het Amerikaanse Cubic, alhoewel de mogelijkheden voor fietsers daarin heel beperkt zijn.

### 3.3.4 Meerstrooksrotondeverkenner

De Meerstrooksrotondeverkenner is een gratis spreadsheet voor het evalueren van verschillende (turbo)rotondevormen. De spreadsheet is ontwikkeld door Fortuijn en Carton en aangeboden via de provincie Zuid-Holland. Het grootste deel van de achterliggende theorie wordt beschreven in CROW-publicatie 257

'Turborotondes' (CROW, 2008) en in het proefschrift 'Turborotonde en turboplein: ontwerp, capaciteit en veiligheid' van de Technische Universiteit Delft (Fortuijn, 2012). Het model bepaald op basis van gegeven intensiteiten de verzadigingsgraad voor een hele serie (turbo)rotondevormen. Omdat de rotondevormen bedoeld zijn voor toepassing buiten de bebouwde kom, is ervan uitgegaan dat overstekend fietsverkeer 'uit de voorrang' geregeld wordt. Het model bevat dus geen mogelijkheden voor fietsverkeer, anders dan fietsers mee te nemen in de op te geven intensiteiten in pae's per uur. In het afstudeeronderzoek 'Effecten van fietsers op de capaciteit van enkelstrooksrotondes' van Dragstra & Elferink (Dragstra, T. & Elferink, R., 2010) is een aanzet gegeven voor een uitbreiding van het model waarbij wel rekening gehouden wordt met overstekende fietsers. Deze uitbreiding is echter nooit verder ontwikkeld en toegevoegd aan de spreadsheet.

### 3.3.5 Kruispuntverkenner

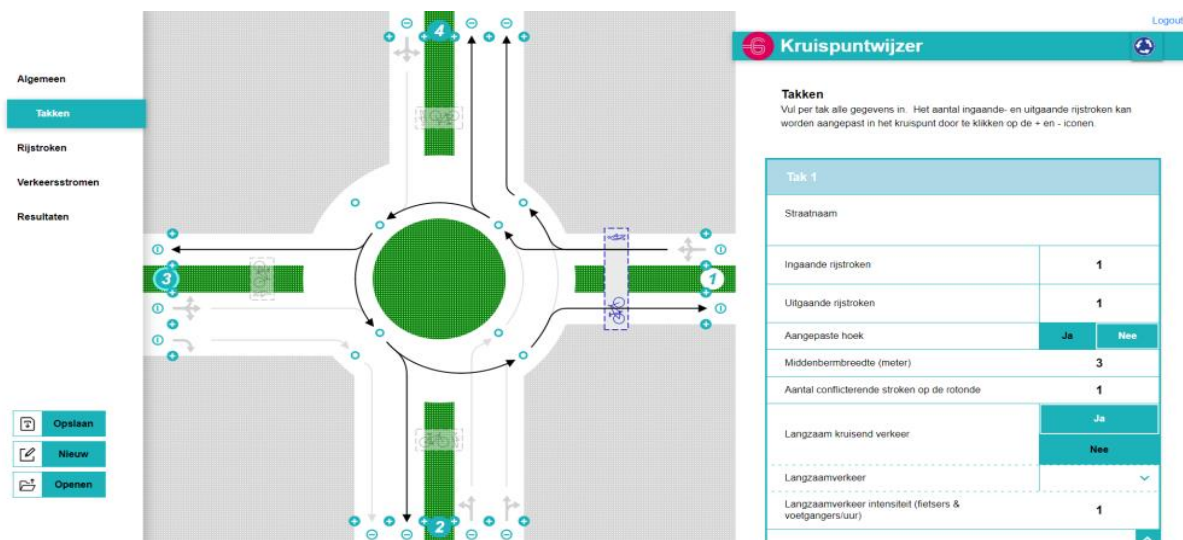
De Kruispuntverkenner is een webapplicatie, ontwikkeld in opdracht van het CROW, bedoeld om een snel inzicht te krijgen over de meest geschikte kruispuntvorm. De tool heeft slechts heel beperkte rekenmogelijkheden en is eigenlijk meer een stappenplan waarin de gebruiker op een systematische wijze langs verschillende criteria en randvoorwaarden loopt. Het rekendeel betreft een eenvoudige capaciteitscheck op basis van gegeven intensiteiten. Hierin kan ook opgegeven worden of er overstekende fietsers op de hoofd- en/of zijweg zijn en wat de hoeveelheid fietsers in het drukste uur is (<50, 50-200 of >200). Dit wordt meegenomen in het oordeel of de capaciteit van het kruispunt voldoende is. De Kruispuntverkenner geeft ook oordeel over de verkeersveiligheid op het kruispunt in het algemeen, de verkeersveiligheid voor gemotoriseerd verkeer en fietsers afzonderlijk en de oversteekbaarheid van fietsers over de zijweg. In de disclaimer staat dat er in de berekeningen beperkt rekening is gehouden met de aanwezigheid van fietsers en de effecten daarvan op de afwikkelingscapaciteit van de verschillende kruispuntvormen.

### 3.3.6 Kruispuntwijzer

De Kruispuntwijzer is een webapplicatie ontwikkeld door Goudappel en wordt aangeduid als de opvolger van Omni-X. Met de Kruispuntwijzer kan de verkeersafwikkeling voor verschillende kruispuntvormen bepaald worden. Naast gelijkwaardige kruispunten, voorrangskruispunten en geregelde kruispunten kan ook gerekend worden aan vrijwel alle mogelijke (turbo)rotondevormen en voorrangspoleinen. De Kruispuntwijzer bevat ook de rekenmethoden uit de eerder genoemde Meerstrooksrotondeverkenner. Voor ongeregelde kruispunten kan opgegeven worden hoeveel voetgangers en fietsers er per tak (gecombineerd) oversteken. Het model neemt dit mee in de capaciteitsberekeningen voor het oprijdende en afrijdende autoverkeer, hetgeen van invloed is op de uiteindelijk te bepalen gemiddelde wachttijd. In de capaciteitsberekening wordt rekening gehouden met de lengte van de oversteek, de breedte van de middenberm (schijnconflict) en of in één of twee keer overgestoken kan worden.

Voor geregelde kruispunten kunnen de overstekende voetgangers- en fietsstromen apart opgegeven worden. Het model neemt dit mee in de bepaling van een (optimale) regeling (met cyclustijd en groentijden) en daarmee in de bepaling van de gemiddelde wachttijd. Figuur 5 toont een schermafbeelding van de Kruispuntwijzer voor een rotonde met overstekende fietsers en voetgangers.

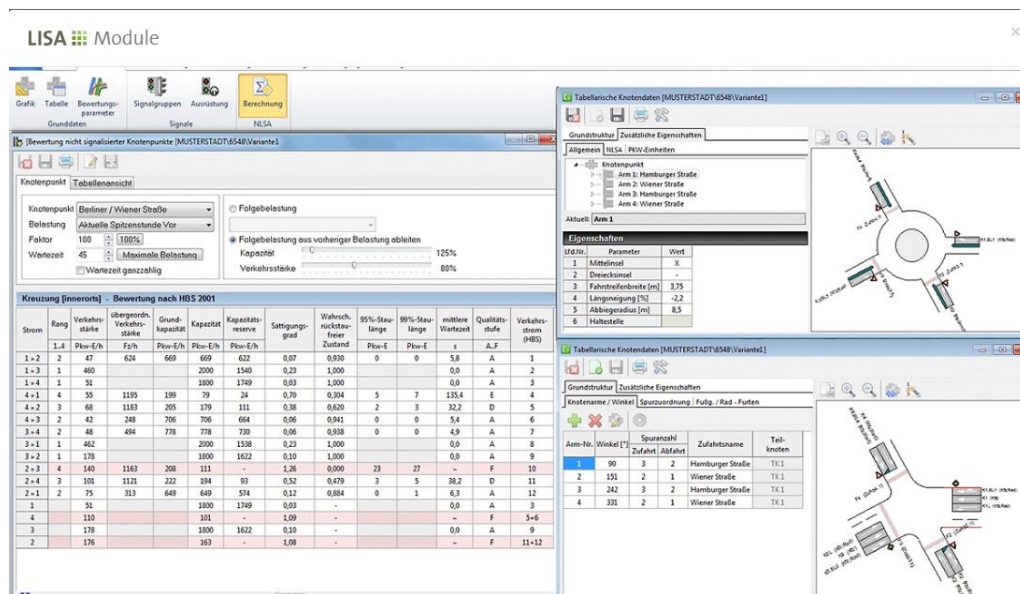




Figuur 5 Schermafbeelding van de Kruispuntwijzer (bron: Goudappel.nl)

### 3.3.7 LISA+

LISA+ is een desktopapplicatie ontwikkeld door het Duitse Schlothauer & Wauer. Het is qua opzet vergelijkbaar met HCS 2023 en Junctions. Daarnaast bevat het uitgebreide mogelijkheden voor het ontwerpen van verkeerslichtenregelingen (vergelijkbaar met COCON). Voor ongeregelde kruispunten en rotondes is het mogelijk het aantal overstekende fietsers op te geven. Figuur 6 toont een voorbeeld van een schermafbeelding van LISA+ voor ongeregelde kruispunten. Het model maakt onder andere gebruik van de HBS methoden (FGSV, 2015), die worden gezien als de Duitse versie van de HCM methoden.

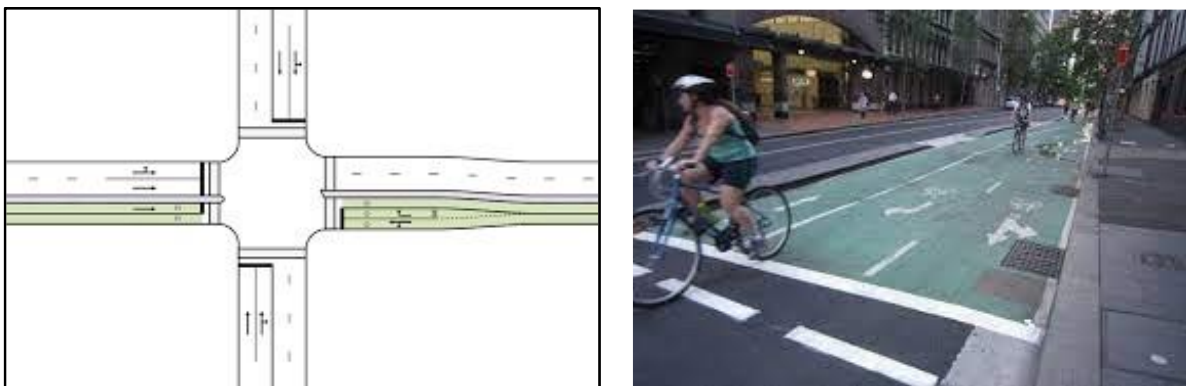


Figuur 6 Schermafbeelding van LISA+ (bron: Schlothauer.de)

### 3.3.8 Sidra Intersection

Sidra Intersection is een desktopapplicatie die al sinds 1975 ontwikkeld wordt door het Australische Sidra Solutions (of een voorloper daarvan). Het is in de basis vergelijkbaar met HCS 2023, Junctions en LISA+. Een belangrijk verschil is dat de onderliggende rekenmodellen een soort van tussenvorm zijn tussen analytische modellen en simulatiemodellen met betrekking tot strook(wissel)gedrag.

In Sidra Intersection kunnen ook specifieke fietsstroken opgegeven worden en is het mogelijk om verschillende voertuigklassen, zoals fietsers, te definiëren. De ontwikkelaars noemen Sidra Intersection een micro-analytisch model. Het model bevat ook mogelijkheden voor het bepalen van brandstofverbruik en emissies (CO<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub>). De software wordt in ruim 90 landen wereldwijd toegepast. Voor zover bekend is het nog niet toegepast in Nederland. Figuur 7 toont een afbeelding van een kruispunt met specifieke fietsstroken (in het groen) in Sidra Intersection.



Figuur 7 Afbeelding van een kruispunt met fietsstroken in Sidra Intersection (bron: Sidra Solutions)

### 3.3.9 CROW-Fietsberaad Tools

In opdracht van CROW-Fietsberaad zijn in de loop van jaren een aantal eenvoudige tools ontwikkeld die helpen bij het ontwerpen van wegvakken en kruispunten met fietsverkeer. Deze tools zijn gratis beschikbaar en eenvoudig te downloaden via de website van CROW-Fietsberaad. In de context van dit onderzoek is het goed om de volgende tools te benoemen:

- Breedtetool Fietspaden
- Ontmoetingenvoorspeller voor gemengde profielen
- Rekentool Capaciteit Fietspaden bij VRI's
- Rekentool autocapaciteit bij kruizen van fietsstromen in de voorrang

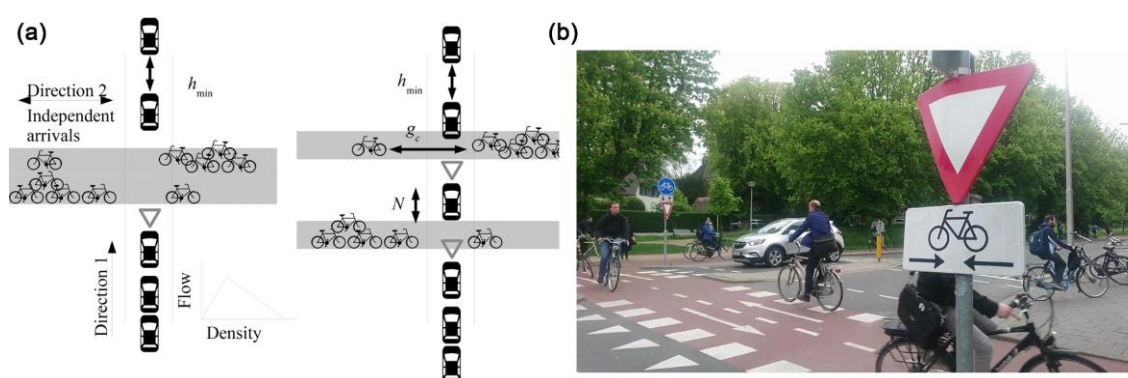
De Breedtetool Fietspaden is een spreadsheet waarmee eenvoudig de aanbevolen breedte voor een fietspad bepaald kan worden. De tool geeft een breedtelabel als maat voor de kans op gevaarlijke situaties en/of discomfort. Naast de omvang van de fietsstroom per richting kunnen ook percentages ingesteld worden voor duofietsers, brede fietsen (bv. bakfietsen of scootmobielen) en brom-/snorfietsen. Qua ontwerp kan gevarieerd worden met de basisbreedte en instellingen voor de obstakelvrije ruimtes.

De Ontmoetingenvoorspeller voor gemengde profielen is een spreadsheet die als hulpmiddel dient bij het ontwerpen van straten met een gemengd profiel in het algemeen en fietsstraten in het bijzonder. Met de tool kan de gewenste rijbaanbreedte en het gewenste profiel bepaald worden. Op basis van de uurintensiteiten van auto's en fietsers, de verdeling per richting, de gemiddelde snelheden, de percentages duofietsers en busen/vrachtwagens en de breedte van een eventuele rabatstrook, wordt de gewenste rijbaanbreedte o.b.v.

hinderlijke ontmoetingen tussen fietsers en motorvoertuigen en tussen (brom-)fietsers onderling bepaald. In de tool kan ook geanalyseerd worden wat de gevolgen van verschillende rijbaanbreedtes zijn voor het aantal 'te krappe' ontmoetingen en een gemiddeld rapportcijfer voor alle fietsers.

De *Rekentool Capaciteit Fietspaden bij VRI's* is een webapplicatie waarmee berekend kan worden wat de benodigde opstelruimte is voor fietsers bij verkeerslichten. De opstelruimte wordt bepaald door de fietsintensiteit zelf en de afstelling van de verkeerslichten. Daarnaast kunnen met de tool ook de roodtijd, groentijd en fietspadbreedte berekend worden.

De Rekentool autocapaciteit bij kruisen van fietsstromen in de voorrang is een spreadsheet die in samenwerking met de Technische Universiteit Delft ontwikkeld is op basis van onderzoek naar het splitsen van de stromen van overstekende fietsers waaraan voorrang verleend moet worden (Knoop et al., 2021). Figuur 8 toont een illustratie uit het onderliggende onderzoek. Met deze tool kan bepaald worden wat de capaciteit van een weg is voor een verschillend aantal voertuigen dat tussen de twee (rijrichtingen van) kruisende stromen opgesteld kan worden. Als invoer kunnen de intensiteiten van beide rijrichtingen en het kritische hiaat opgegeven worden. Tijdens de expertsessie van dit project is de eerste versie gepresenteerd. De tool is beschikbaar op de website van CROW-Fietsberaad ([link](#)).



Figuur 8 Voorbeelden van het wel en niet splitsen van de fietsstroom (a) en een voorbeeld in Delft (b) (bron: Knoop et al., 2021)

### 3.4 Simulatiemodellen

Zoals gezegd berekent een simulatiemodel elke tijdseenheid (bijvoorbeeld elke seconde) wat de voortgang van de verkeersdeelnemers in een netwerk is. Wanneer er individuele voertuigen of voetgangers gesimuleerd worden, dan wordt gesproken van microscopische simulatie of kortweg microsimulatie. Als tegenhanger zijn er ook macroscopische en mesoscopische simulatiemodellen waarmee respectievelijke stromen en groepen of pakketten van voertuigen gesimuleerd worden. Macro- en mesoscopische simulatiemodellen richten zich hoofdzakelijk op grote netwerken en routekeuze en minder op specifieke verkeersafwikkeling op wegvakken en kruispunten. Soms worden macro-, meso- en microscopische technieken in één model of softwarepakket gecombineerd. In de context van dit onderzoek ligt de focus logischerwijs op microsimulatie. De modellen die in deze paragraaf besproken worden zijn dan ook vooral microscopische simulatiemodellen.

Veruit de meeste simulatiemodellen zijn gebaseerd op een aanpak die gebruik maakt van een voertuigvolgmodel voor het simuleren van de longitudinale verplaatsing van voertuigen en een rijstrookwisselmodel voor het simuleren van de laterale verplaatsing van voertuigen. Een voertuigvolgmodel gebruikt de eigenschappen van een leidend voertuig om het gedrag van volgende voertuigen in die strook te bepalen.

Er zijn verschillende soorten voertuigvolgmodellen. Een veelgebruikte is het Wiedemann model. Elk model

heeft een aantal parameters waarmee het volgedrag wordt weergegeven. Vrijwel alle modellen hebben parameters voor de acceleratie en deceleratie van voertuigen en één of meerdere kalibratieparameters om het gedrag van een specifiek voertuigtype te voorspellen. Het rijstrookwisselmodel bepaalt of het lonend is om van strook te wisselen, bijvoorbeeld om voor te sorteren voor een kruispunt of om in te halen. Daarbij wordt rekening gehouden met de positie en snelheid van andere voertuigen. Meer hierover in de paragraaf 3.4.2.

In tegenstelling tot auto's, zijn fietsers (en voetgangers) veel minder gebonden aan stroken. Er kunnen vaak meerdere fietsers naast elkaar rijden in een strook en fietsers kunnen gemakkelijker ingehaald worden of zelf inhalen via een deel van een strook. In diverse modellen zijn hiervoor speciale opties toegevoegd voor het beter simuleren van fietsverkeer, bijvoorbeeld door een strook op te delen in meerdere virtuele stroken of door fietsers lateraal vrij te laten bewegen. Meer hierover in paragraaf 0.

Een tweetal alternatieve benaderingen voor simulatiemodellen zijn gebaseerd op respectievelijke cellular automata (CA) modellen en social force (SF) modellen. In CA modellen wordt de ruimte opgedeeld in allemaal discrete cellen. Interactie tussen verkeersdeelnemers vindt plaats zodra ze dezelfde cel als doel hebben. Door de cellen voldoende klein te maken kunnen ook fietsers en voetgangers gesimuleerd worden. Hierdoor kunnen verkeersdeelnemers flexibeler door het netwerk bewegen. De CA aanpak wordt nog slechts beperkt toegepast in software. In SF modellen wordt niet via stroken of cellen bewogen, maar wordt de interactie tussen verkeersdeelnemers binnen een vlak geregeld via de tweede wet van Newton: kracht verandert snelheid. Deze aanpak wordt vooral gebruikt in simulatiemodellen voor voetgangers, die in sommige gevallen weer geïntegreerd kunnen worden in simulatiemodellen voor auto's. Meer hierover in paragraaf 3.4.2.4.

### **3.4.1 Software**

Vanwege het grote aantal beschikbare simulatiemodellen, overeenkomstige basisprincipes en grote verschillen in functionaliteiten voor fietsers worden de beschikbare modellen in deze paragraaf kort besproken. In de volgende drie paragrafen wordt kort nader ingegaan op de (on)mogelijkheden van het simuleren van fietsverkeer met microsimulatiemodellen in het algemeen, waarbij in sommige gevallen verwezen wordt naar de in deze paragraaf genoemde software.

#### **3.4.1.1 TRANSIMS, MATSIM en Dynameq**

TRANSIMS, MATSIM en Dynameq zijn simulatiemodellen die zich vooral richten op grote stedelijke netwerken. TRANSIMS en MATSIM zijn gratis beschikbaar en open-source. Dynameq is ontwikkeld door het Canadese Inro, dat inmiddels onderdeel is van het Amerikaanse Bentley Systems. Voor zover bekend is het niet mogelijk om de verkeersafwikkeling van fietsers met deze modellen te simuleren. TSIS-CORSIM 2023 is een microsimulatiemodel ontwikkeld door het Amerikaanse McTrans. Het heeft een sterke koppeling met het analytische HCS 2023. Het lijkt geen mogelijkheden voor het simuleren van fietsers te hebben.

#### **3.4.1.2 Lynsig, TRANSYT en SimTraffic**

Lynsig, TRANSYT en SimTraffic zijn commerciële microsimulatiemodellen voor het testen en ontwikkelen van kruispunten met (vooral voertuigafhankelijke) verkeersregelininstallaties. Lynsig is ontwikkeld door het Amerikaanse JCT Consultancy, TRANSYT door het Engelse TRL Software en SimTraffic door het Amerikaanse Cubic. De modellen bevatten mogelijkheden voor het simuleren van voetgangers. Er zijn voor zover bekend geen specifieke mogelijkheden voor fietsers. In Nederland zijn in het verleden, veelal in opdracht van Rijkswaterstaat, tools ontwikkeld zoals FLASH/FLEXSYT-II en RWS C-Regelaar. Deze tools kunnen rekening houden met fietsers. De huidige stand van zaken van gebruik, beschikbaarheid en onderhoud is echter onduidelijk.

#### 3.4.1.3 Cube Dynasim

Cube Dynasim is een microsimulatiemodel als onderdeel van het wereldwijd gebruikte modelpakket Cube van het Amerikaanse Bentley Systems. Oorspronkelijk is het model ontwikkeld in Frankrijk en Engeland. Het is in staat om fietsers te simuleren, maar er is erg weinig informatie over te vinden. Datzelfde geldt voor TransModeller, onderdeel van het modelpakket TransCad van het Amerikaanse Caliper Corporation.

#### 3.4.1.4 OpenTrafficSim

OpenTrafficSim is een open-source platform met allerlei bouwstenen voor micro- en macroscopisch simuleren, ontwikkeld en onderhouden door de Technische Universiteit Delft. Het is mogelijk om fietsers te simuleren. Over de bruikbaarheid van het model voor concrete praktijksituaties is (nog) weinig bekend.

#### 3.4.1.5 Eclipse SUMO

Eclipse SUMO (Simulation of Urban Mobility) is een open-source microsimulatiemodel, ontwikkeld vanuit het Duitse DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt). Het heeft een grote en actieve community met een goed onderhouden website, uitgebreide documentatie en een jaarlijks meerdaags congres. Het model biedt mogelijkheden voor het simuleren van fietsers. In de documentatie wordt gemeld dat dit een onderwerp is dat nog in ontwikkeling is en een aantal tekortkomingen heeft. Er worden wel een aantal (tijdelijke) oplossingen voor enkele tekortkomingen beschreven. Ondertussen wordt er gewerkt aan het verbeteren van het fietsmodel, zie o.a. Twadle et.al. (2016) en Karakaya et.al. (2022).

#### 3.4.1.6 Simulatieprogramma LARGAS

Simulatieprogramma LARGAS is een microsimulatietool ontwikkeld in opdracht van CROW met als doel het concept 'Langzaam rijden gaat sneller' voor kruispunten te simuleren. In de tool kan een streng van kruispunten ingevoerd worden. Per kruispunt kan aangegeven worden of het voorrangskruispunt, voorrangsplein (verschillende vormen), rotonde of geregeld kruispunt is. Daarnaast kan ingesteld worden hoe de voorrang van het fietsverkeer geregeld wordt en kunnen diverse geometrische eigenschappen ingesteld worden. De intensiteiten van zowel auto, fiets, vrachtauto, OV en voetgangers kunnen ingevoerd worden. Tot slot is het mogelijk een aantal parameters in te stellen ten aanzien van het gedrag m.b.t. snelheid, hiaatacceptatie, schijnconflicten en temperament. Als uitvoer worden diverse indicatoren voor de afwikkeling van zowel het auto- als fietsverkeer gegeven. Het model geeft ook een indicatie van emissies ( $PM_{10}$  en  $NO_2$ ).



Figuur 9 Schermafbeelding van LARGAS simulatieprogramma met een voorrangsplein

### 3.4.1.7 Aimsun Next, Paramics Discovery en PTV Vissim

De in Nederland en wellicht ook wereldwijd meest gebruikte en uitgebreidste commerciële micro- simulatiemodellen zijn Aimsun Next, Paramics Discovery en PTV Vissim. In de praktijk worden deze modellen ook wel aangeduid als 'de grote drie'. Aimsun Next is het model van het gelijknamige Spaanse Aimsun, Paramics Discovery is het model van het Schotse/Engelse Systra en PTV Vissim is van de Duitse PTV Group. Alhoewel er geen officiële cijfers zijn, wordt PTV Vissim in Nederland veruit het meest gebruikt. Goudappel heeft de VIS-SIM-Kruispunttool ontwikkeld, waarmee op basis van een aantal reeds gebouwde kruispuntvormen snel Vissim simulaties gestart kunnen worden. Daarbij kunnen ook voetgangers- en fietsstromen in gesteld worden.

Aimsun Next, Paramics Discovery en PTV Vissim zijn in staat om fietsers te simuleren. Voor alle drie de modellen geldt, dat er in de afgelopen jaren nieuwe functionaliteiten voor fietsers zijn toegevoegd, zoals het niet-strookgebonden simuleren en het instellen van specifieke fietsvoorzieningen (zoals een OFOS). Aimsun Next bevat de mogelijkheid voor een koppeling met het voetgangerssimulatiemodel Legion terwijl PTV Vissim met PTV Viswalk gekoppeld kan worden.

### 3.4.2 Basisstructuur simuleren van fietsers

Een basisstructuur in alle simulatiemodellen is dat het gedrag van verkeersdeelnemers ingesteld kan worden door enerzijds algemene gedragsparameters en anderzijds locatiespecifieke instellingen. De algemene gedragsparameters kunnen opgegeven worden via een voertuigtype (en/of voertuigklasse) terwijl de locatiespecifieke instellingen ingevoerd kunnen worden voor een wegvak en/of strook. Een basisvoorwaarde voor het simuleren van fietsers is het kunnen instellen van één of meerdere voertuigtypen voor fietsers en het kunnen invoeren van wegvakken en stroken die (alleen of gemengd) toegankelijk zijn voor fietsers. Alle simulatiemodellen waarin fietsers meegenomen kunnen worden hebben deze functionaliteiten.



### 3.4.2.1 Voertuigtypen

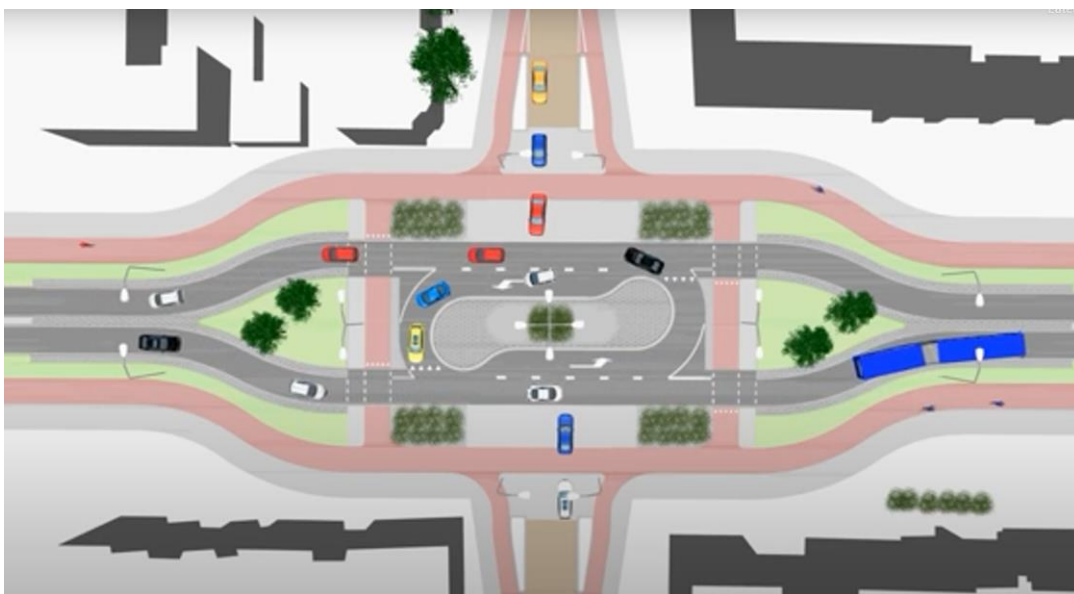
Voertuigklassen worden gebruikt voor het groeperen van voertuigtypen voor visualisatie, evaluatie of voor het instellen van gedeelde gedragsparameters. Afhankelijk van de software en de daarin gebruikte voertuigvolg- en rijstrookwisselmodellen kunnen per voertuigtype parameters ingesteld worden ten aanzien van de (minimale/maximale/gewenste) acceleratie, deceleratie, snelheid, volgafstand en reactietijd, evenals diverse functieparameters en maatvoeringen (lengte, breedte, hoogte). De verschillende simulatiemodellen bieden een standaard set van parameters voor de fiets, waarbij doorgaans aangegeven wordt dat die gekalibreerd is. Literatuur hierover is echter schaars.

Een bekend voorbeeld is de studie van het COWI (2013) waarin aanbevelingen gedaan worden voor PTV Vissim op basis van een uitgebreide studie in Kopenhagen in Denemarken. Deze set is in verschillende studies gebruikt als basis en lokaal aangescherpt zoals door Grigoropoulos et.al. (2020) en Kathis et.al. (2021) in Duitsland, Aldred et.al. (2017) in Engeland en Perez Castro (2020) in Zweden. Thijsen (2021) geeft een uitgebreid overzicht van de beschikbare parametersets voor fietsers in PTV Vissim en beargumenteert welke het beste voor een case in Nederland gebruikt kunnen worden.

Voor zover bekend is er geen uitgebreide studie naar de kalibratie van fietsparameters voor Nederland gedaan. Tijdens de interviews en de expertsessie is aangegeven dat de adviesbureaus deels met de standaard en deels met een eigen set van parameters werken. Enkelen gaven aan dat ze dit door stagiaires en afstudeerders hebben laten uitzoeken, zoals bijvoorbeeld Zeefat (2022) voor Goudappel. In veel gevallen zijn de resultaten van dergelijke onderzoeken niet openbaar beschikbaar.

### 3.4.2.2 Strookgebonden simuleren van fietsers

Alle (relevante) simulatiemodellen hebben de mogelijkheid een voertuigtype/-klasse te koppelen aan een wegvak of strook. In figuur 10 wordt een voorbeeld getoond van een voorrangsplein met fietspaden en -strooken, gesimuleerd in PTV Vissim.



Figuur 10 Schermafbeelding van een voorrangsplein met fietspaden in Vissim (bron: [www.crow.nl](http://www.crow.nl)).



### 3.4.2.3 Niet-strookgebonden simuleren van fietsers

Het basisuitgangspunt van het strookgebonden simuleren van voertuigen is dat de voertuigen achter elkaar blijven rijden in een strook en inhalen via een naastgelegen strook. Dit is niet hoe fietsers zich in werkelijkheid gedragen. Fietsers gaan bijvoorbeeld naast elkaar fietsen en halen elkaar in binnen een strook. Dat is het geval voor een specifieke fietsstrook, maar ook als fietsers gebruik maken van stroken waar ook gemotoriseerd verkeer rijdt. Daarnaast kunnen fietsers tussen auto's door rijden om bijvoorbeeld een (OFOS) opstelvak voor een kruispunt te bereiken. Auto's kunnen fietsers ook gemakkelijker inhalen door slechts een deel van de naastgelegen strook te hoeven gebruiken. Om dit te kunnen simuleren moeten fietsers (en andere voertuigen) zich binnen (een deel van) een strook kunnen bewegen, oftewel niet-strookgebonden.

In het verleden was dit allemaal niet mogelijk in simulatiemodellen. In de afgelopen jaren zijn deze functionaliteiten toegevoegd aan bijvoorbeeld PTV Vissim, Aimsun Next en Paramics Discovery. In figuur 11, figuur 12 en figuur 13 worden voorbeelden van deze drie pakketten getoond.



Figuur 11 Schermafbeelding van naast elkaar rijdende fietsers in Vissim (bron: PTV Group)



Figuur 12 Schermafbeelding van niet-strookgebonden afhandeling van fietsers op een kruispunt in Aimsun Next (bron: aimsun.com)



Figuur 13 Schermafbeelding van een OFOS in Paramics Discovery (bron: paramics.co.uk)

De gedragsparameters voor voertuigtypen zijn daarbij uitgebreid met parameters voor het specifieke gedrag binnen een strook en/of het vrij kunnen bewegen over (delen van) stroken, inclusief bijvoorbeeld het voorsorteren van afslaande fietsers binnen een strook. Hierbij speelt nog sterker dan bij de standaard parameters voor het voertuigvolg- en rijstrookwisselgedrag dat er nog weinig informatie te vinden is over de kalibratie en daarmee de toepasbaarheid van deze parameters in (specifieke delen van) Nederland. Uit de interviews bleek dat PTV Vissim en Aimsun Next wel met (een deel van) deze functionaliteiten in enkele projecten in Nederland toegepast zijn. In een studie in opdracht van CROW-Fietsberaad naar fietsstraten uit 2019 werd nog gemeld dat het niet lukte om verschillende situaties met fietsers op fietsstraten met PTV Vissim goed genoeg na te bootsen, terwijl PTV Vissim op dat moment de meeste mogelijkheden hiervoor leek te hebben. Inmiddels zijn de mogelijkheden in alle pakketten uitgebreid, maar blijft het de vraag hoe goed ze de Nederlandse werkelijk-

heid kunnen simuleren. Een regelmatig gehoorde opmerking is dat fietsers te 'voorzichtig' zijn met inhalen. Dit kan doorgaans eenvoudig opgelost worden door het model te kalibreren op een vergelijkbare situatie.

#### 3.4.2.4 Interactie van fietsers en voetgangers

Wellicht nog een stap verder is de interactie van fietsers en voetgangers. Voetgangers bewegen namelijk nog minder strookgebonden. In specifieke simulatiemodellen voor voetgangers, zoals PTV Viswalk en Legion, wordt doorgaans uitgegaan van een social force (SF) model, waarin voetgangers volgens bepaalde regels in een vlak of gebied bewegen. PTV Viswalk kan vervolgens geïntegreerd worden met PTV Vissim, terwijl Legion met Aimun Next samen kan werken. Hierdoor is het mogelijk twee verschillende gedragsmodellen binnen één simulatieomgeving te gebruiken. Alhoewel hier de nodige toepassingen van zijn, wordt er in de interviews genoemd dat er ook nog de nodige beperkingen zijn. "Er lijkt nog een stap/schakel te ontbreken in de integratie/samenwerking tussen de modellen". Het simuleren van bijvoorbeeld shared-space situaties met voetgangers, fietsers en gemotoriseerd verkeer lijkt nog een brug te ver.

In PTV Vissim kan de interactie van fietsers en voetgangers goed gemodelleerd worden als de hoek waaronder ze kruisen groot genoeg (dichter bij 90 graden) is. Hoe kleiner de hoek, hoe lastiger het wordt om de interactie realistisch te modelleren.

Ten aanzien van fietsers is het de vraag of deze niet ook in het SF model gesimuleerd kunnen worden, zodat er meer flexibiliteit is in de bewegingen en de interactie met andere verkeersdeelnemers. Thijsen (2021) heeft dit voor PTV Viswalk uitgezocht en komt tot de voorlopige conclusie dat dit nog lastig is, getuige figuur 14 met een onrealistische ophoping van wachtende voetgangers midden op een fietspad.



Figuur 14 Onrealistische ophoping van wachtende voetgangers op een fietspad in PTV Viswalk (bron: Thijsen, 2021)

## 4 Conclusies

In dit hoofdstuk worden de conclusies van de evaluatie van bestaande modellen samengevat en wordt ingegaan op de ontwikkelmogelijkheden en wensen.

### 4.1 (On)mogelijkheden van bestaande modellen

Op basis van de inventarisatie van de bestaande modellen kunnen een aantal conclusies samengevat worden. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar modeltypen.

#### Analytische modellen

- Er zijn voldoende mogelijkheden voor het bepalen van de effecten van overstekende fietsers op het gemotoriseerde verkeer voor diverse kruispuntvormen, inclusief (turbo)rotondes en voorrangspoleinen. Daarbij wordt rekening gehouden met diverse conflictvormen. Ook met schijnconflicten.
- Nog (lang) niet alle situaties zijn beschikbaar, zoals een tweerichtingsoversteek voor fietsers of het kruisen van solitaire fietspaden. De, ten tijde van het schrijven van deze rapportage, nog in ontwikkeling zijnde – Rekentool autocapaciteit bij kruisen van fietsstromen in de voorrang kan hier (groten)deels wel in voorzien.
- De fietsstroom is heel beperkt instelbaar. Vaak wordt aangenomen dat er één gemiddelde stroom is en/of wordt uitgegaan van één bepaald aankomstpatroon, bijvoorbeeld met een Poisson of uniforme verdeling. In sommige modellen zijn er wel mogelijkheden om iets in te stellen voor de samenstelling van de stroom, zoals het aantal of aandeel bromfietsers, duofietsers, enzovoort.
- Er is meestal geen output voor de fietsers zelf. Output is vooral gericht op gemotoriseerd verkeer.
- Het modelleren van gemengd verkeer op wegvakken en kruispunten, zoals bijvoorbeeld op fietsstraten, ontbreekt grotendeels nog.
- Er zijn weinig tot geen mogelijkheden om rekening te houden met de interactie van fietsers en voetgangers.

#### Simulatiemodellen

- De effecten van strookgebonden fietsstromen zijn goed te bepalen.
- Vaak worden standaard sets van parameters voor voertuigtypen/-klassen gebruikt. Die parameters zijn niet of nauwelijks gekalibreerd voor een (lokale) Nederlandse situatie. Het is vaak niet duidelijk of de parameters goed genoeg zijn. Er zijn over het algemeen ook weinig mogelijkheden (qua tijd en geld) in studies om nader te kalibreren of valideren.
- Er zijn veel mogelijkheden voor het modelleren van niet-strookgebonden gedrag van fietsers.
- De interactie van fietsers (onderling) en voetgangers en bijvoorbeeld shared space situaties zijn nog beperkt mogelijk.
- De output is voor alle voertuigtypen/-klassen, dus ook voor fietsers beschikbaar.
- Er is nog weinig zicht op en vraag naar andere output-indicatoren dan verkeersafwikkeling, zoals bijvoorbeeld veiligheid.

#### Algemeen

- Er zijn vrijwel geen output-indicatoren voor beleving en veiligheid of die zijn heel lastig te bepalen.

## 4.2 Wensen/kansen voor ontwikkeling

Gegeven de (on)mogelijkheden van de bestaande modellen zijn er de volgende kansen/wensen voor ontwikkeling:

- Er is sterke behoefte aan het uitbreiden en kalibreren van de gedragsparameters voor fietsers in simulatiemodellen voor verschillende locaties/regio's in Nederland. Dit zou goed centraal geregeld kunnen worden. Eén set voor meerdere simulatiemodellen is lastig, omdat er verschillende gedragsmodellen en parameters gebruikt worden. Toch is het de moeite waard om te kijken of er inspanningen gedeeld kunnen worden. Het is zeker de moeite waard om gegevens over kalibratie van simulatiemodellen (openbaar) te delen.
- Of minimaal een gezamenlijke dataset met fietsgedrag maken die gebruikt kan worden om de verschillende modellen op te kalibreren. En ook om meer inzicht te krijgen in de verschillende soorten fietsers of inzicht in het moment waarop fietsers van gedrag veranderen (meer risico nemen en zich onveilig gaan gedragen).
- Het is niet mogelijk of zelfs wenselijk om alle details in een (simulatie)model te stoppen of het zou heel erg veel inspanning kosten om dat voor elkaar te krijgen. Wellicht kan het grootste deel van het effect dat je wilt bepalen ook met minder inspanning bereikt worden (80/20-regel)?
- Er is behoefte aan de (door)ontwikkeling van eenvoudige en snelle vuistregels voor bepaalde situaties. Is het mogelijk om op basis van een eerder genoemde gezamenlijke dataset verbanden te vinden die als basis dienen voor de vuistregels die vervolgens aan bestaande modellen toegevoegd kunnen worden?
- In deze studie lag de focus op het simuleren van de verkeersafwikkeling. Er is behoefte aan een overzicht/inventarisatie van de mogelijkheden van routekeuze voor fietsverkeer.
- Er lijkt soms een gat te zitten tussen wetenschap en praktijk m.b.t. de implementatie van nieuwe modeltechnieken. Hoe gaan we dit aanpakken? Dit wordt gezien als een taak (of kans) voor universiteiten en hogescholen samen met CROW en commerciële partijen.
- Alle bestaande modellen zijn ofwel gebaseerd op simulatiemodellen voor auto's of voetgangers. Er is niet een simulatiemodel dat specifiek voor fietsers is ontworpen. Dit zou een interessante onderzoeks-/ontwikkelrichting zijn. Bijvoorbeeld op basis van onderzoek van de TU Delft - Chou (2020).
- Er is specifiek behoefte aan data over het gedrag van fietsers en gemotoriseerd verkeer op fietsstraten en andere straten met gemengd verkeer.
- Veel achterliggende vragen hebben te maken met veiligheid en beleving. Er is gerede twijfel of dit wel (goed genoeg) met modellen bepaald kan worden.

## 5 Bibliografie

Korte vermelding	Bronvermelding
Aldred et.al., 2017	Aldred, R. Best, L. & Jones, P. (2017) Cyclists in shared bus lanes: Could there be unrecognised impacts on bus journey times? In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport, 12 July 2017, London, 135-151.
Beelen 2015	Beelen, V.J.H. (2015). Bicycle friendly junction designs: A comparison between two junction types, Master thesis in Civil Engineering & Management, University of Twente, Enschede.
Chou, 2020	Chou, C.-Y. (2020). Verification of cyclist simulation model, Master thesis in Civil Engineering for Transport & Planning, Delft University of Technology, Delft.
COWI, 2013	COWI (2013). Micro Simulation of Cyclist in Peak Hour Traffic, COWI, Copenhagen.
CROW, 1998	CROW (1998). Eenheid in rotondes, CROW-publicatie 126, CROW, Ede.
CROW, 2008	CROW (2008). Turborotondes, CROW-publicatie 257, CROW, Ede.
CROW, 2016	CROW (2016). Ontwerpwijzer fiets, CROW-publicatie 351, CROW, Ede.
CROW-Fietsberaad, 2019	CROW-Fietsberaad (2019). Evaluatie discussienota Fietsstraten, Fietsberaadpublicatie 32, CROW-Fietsberaad, Utrecht.
CROW-Fietsberaad, 2019	CROW-Fietsberaad (2019). Fietsdrukte op kruispunten: innovaties, pilots, kennis en ervaring, Fietsberaadnotitie, CROW-Fietsberaad, Utrecht.
Dragstra, 2010	Dragstra, T. & Elferink, R. (2010). Effecten van fietsers op de capaciteit van enkelstrooksrotondes, Afstudeerscriptie Verkeerskunde, Christelijke Hogeschool Windesheim, Zwolle.
Federal Highway Administration, 2018	Federal Highway Administration (2018). Capacity Analysis for Planning of Junctions (CAP-X) Tool User Manual, Report No. FHWA-SA-18-067, U.S. Department of Transport, Washington D.C.
Fernandes, 2017	Fernandes, P. & Coelho, M.C. (2017). Pedestrian and cyclist impacts on vehicular capacity and emissions at different turbo-roundabout layouts, Transportation Research Procedia 27, 452-459.
FGSV, 2015	FGSV (2015). Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, FGSV Nr. 299, FGSV Verlag, Köln.
Fortuijn, 2012	Fortuijn, L.G.H. (2012). Turborotonde en turboplein: ontwerp, capaciteit en veiligheid, proefschrift, Technische Universiteit Delft, Delft.
Grigoropoulos et.al. (2020)	Grigoropoulos, G., Kathis, H., Busch, F., Baier, M., Junghans, M. & Leonhardt, A. (2020). Verkehrsablauf an signalisierten Knotenpunkten mit hohem Radverkehrsaufkommen, In: Proceedings of the HEUREKA 2020, 1-2 April 2020, Stuttgart.
Karakaya et.al., 2022	Karakaya, A., Köhler, K., Heinovski, J., Dressler, F., & Bermbach, D. (2022). A Realistic Cyclist Model for SUMO Based on the SimRa Dataset. 2022 20th Mediterranean Communication and Computer Networking Conference (MedComNet), 166-173.
Kathis et.al. (2021)	Kathis, H., Keler, A. & Bogenberg, K. (2021) Calibrating the Wiedemann 99 Car-Following Model for Bicycle Traffic, Sustainability 2021, 13, 3487.
Knoop et.al., 2021	Knoop, V.L., Wierbos, M.J. & Van Boggelen, O. (2021). Capacity Gains in Splitting Cross Traffic into Multiple Sub-Streams, Transportation Research Records, 2676(1), 736–746.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022	National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022). Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis, The National Academies Press, Washington D.C.
Perez Castro (2020)	Perez Castro, G. (2020). Modelling behavior of cyclists to evaluate bicycle traffic performance, Master thesis in Transport and Geoinformation Technologies, KTH Royal Institute Technology, Stockholm.
PTV Group, 2022	PTV Group (2022). PTV Vissim 2022 User Manual, PTV GmbH, Karlsruhe.
Slop, 1975	Slop, M. (1975). Criteria voor het aanbrengen van verkeerslichten, Verkeerskunde.
Thijsen (2021)	Thijsen, S. (2021). Microsimulation of cyclists' behavior: Evaluating the impacts of traffic demand and infrastructure design on cyclists' behavior, Master thesis in Construction Management & Engineering, Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
TØI, 2015	TØI (2015). An assessment of the available simulation models for the planning and design of safe urban intersections for pedestrians and cyclists, Institute of Transport Economics, Norwegian Centre for Transport Research, Oslo.
Transportation Research Board, 2016	Transportation Research Board (2016). Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis, The National Academies Press, Washington D.C.
Twadle et.al., 2016	Twadle, H., Grigoropoulos, G. & Busch, F. (2016). Integration of an External Bicycle Model in SUMO.
Zeefat (2022)	Zeefat, P. (2022). Fietsgedrag in Vissim, Afstudeerscriptie Ruimtelijke Ontwikkeling - Mobiliteit, Hogeschool Windesheim, Zwolle.

# Bijlagen

## Bijlage 1 – Betrokkenen

**Interviews** gehouden met:

- Mark van den Bos, Goudappel
- Erik de Romph & William van Genugten, RoyalHaskoningDHV
- Falco de Jong, Sweco
- Robin Huizinga & Tobias Kretz, PTV Nederland / PTV Group

**Deelnemers aan de expertsessie** op vrijdag 17 maart:

- Sjoerd Linders, Gemeente Amsterdam
- Herbert Tiemens, Gemeente Utrecht
- Anne Jousma, Gemeente Utrecht
- Henk Tromp, MOVE Mobility
- Eric van Berkum, Universiteit Twente
- Eveline de Jong, Mobycon
- Marie-Jette Wierbos, Sweco
- Rimme Nicolai, Sweco
- Mark-Jan Olijve, gemeente Emmen
- Mark van den Bos, Goudappel
- Erik de Romph, RoyalHaskoningDHV
- Astrid van der Schriek-Gijtenbeek, RoyalHaskoningDHV
- Sjoert Bakker, DTV Consultants
- Axl Booman, DTV Consultants
- Victor Knoop, Technische Universiteit Delft
- Stan Wolters, CROW
- Otto van Boggelen, CROW Fietsberaad
- Erwin Bezembinder, verkeersmodellering.nl



## Bijlage 2 – Inventarisatie van fietsstromen

Onderwerpen:

- Soorten interacties
- Modaliteiten die voorrang moeten verlenen aan fietsers
- Karakteristieken van de fietsstroom
- Situaties
- Inrichtingselementen
- Output

### Ad1. Soorten interacties

Er zijn drie hoofdgroepen van interacties:

- Voorrang verlenen
- Schijnconflicten
- Blokkeren/inhalen

Voorrang verlenen

- Voorrang verlenen aan fietsers van rechts  
o.a. bij gelijkwaardig kruispunt, voorrangskruispunt, solitaire fietsoversteek, rotonde met tweezijdige fietsoversteek, VRI (verkeersregelinstallatie) met ARG (alle richtingen tegelijk groen)
- Voorrang verlenen aan fietsers van links  
o.a. bij voorrangskruispunt, rotonde, solitaire fietsoversteek
- Voorrang verlenen aan fietsers die rechtdoor op dezelfde weg gaan  
o.a. bij gelijkwaardig kruispunt, voorrangskruispunt, rotonde, VRI met deelconflict, VRI met ARG
- Korte bocht voor lange bocht  
o.a. bij gelijkwaardig kruispunt, voorrangskruispunt, VRI met deelconflict, VRI met ARG

Schijnconflicten

Als een verkeersdeelnemer onnodig voorrang verleent aan een andere verkeersdeelnemer omdat de eerste denkt dat de stromen kruisen, terwijl dat niet zo blijkt te zijn, dan is er sprake van een schijnconflict. Op rotondes binnen de bebouwde kom wordt de doorstroming van het oprijdende autoverkeer bijvoorbeeld beïnvloed door de fietsers op de rotonde. Ook door fietsers die al eerder afslaan, maar geen of voor de oprijdende automobilist niet zichtbaar, richting aangeven. Dit heet een schijnconflict.

Soorten schijnconflicten:

- Onterecht voorrang verlenen aan fietsers van rechts  
Fietser slaat rechtsaf, deelnemer wil linksaf, o.a. bij voorrangskruispunt.
- Onterecht voorrang verlenen aan fietsers van links  
Fietser slaat rechtsaf, deelnemer wil rechtsaf, rechtdoor of linksaf, o.a. bij oprijden van rotonde, voorrangskruispunt.
- Onterecht voorrang verlenen aan fietser rechtdoor op dezelfde weg  
Fietser slaat rechtsaf, deelnemer wil ook rechtsaf, o.a. bij rechts afslaan vanaf voorrangsweg, VRI met deelconflict, verlaten van rotonde.

## Blokkeren/inhalen

- Inhalen op dezelfde weg  
Fietsers die ingehaald worden, Fietsers die onderling inhalen.
- Blokkade door wachtende fietsers  
Wachtende fietsers die voorrang verlenen aan een andere verkeersstroom, OFOS (opgeblazen fietsopstelstrook).
- Blokkade door motorvoertuigen die voorrang moeten verlenen aan fietsers  
o.a. bij wachtende voertuigen bij verlaten van rotonde, terugslag naar andere oprijdende takken, of wachtende linksafslaande voertuigen op een voorrangskruispunt door rechtdoorgaande tegemoetkomende fietsers.

## Ad2. Modaliteiten

Modaliteiten die voorrang moeten verlenen aan de stroom van fietsers:

- Gemotoriseerd verkeer/motorvoertuigen (personenauto's, vrachtauto's, bussen, motoren, etc.)
- Andere fietsers
- Voetgangers

Een hoger percentage vrachtverkeer/bussen in de verkeersstroom kan de doorstroming negatief beïnvloeden omdat deze meer moeite hebben om een geschikt/veilig hiaat te vinden in de te doorkruisen fietsstroom.

## Ad3. Karakteristieken van de fietsstroom

Bijzonderheden in de fietsstromen:

- Omvang
- Aankomstpatroon (uniform, normaal, Poisson, specifiek/op maat)
- Peloton-vorming (groepen fietsers)
- Naast elkaar fietsen, duofietsers (één, twee (of drie fietsers) naast elkaar)
- Interactie fietsers onderling (volggedrag, vetergang, inhaalgedrag, hiaat acceptatie)
- Interactie/menging fietsers en andere verkeersdeelnemers (*Wanneer/hoe halen fietsers auto's, bussen, etc. in? Fietsers en voetgangers onderling?*)
- Eén/tweerichtings-stromen (gescheiden rijstroken?)
- Samenstelling van de fietsstroom:
  - o Soorten fietsen (gewone fietsen, elektrische fietsen, bakfietsen)
    - Verschil in snelheid en ruimtebeslag, inhaalgedrag
  - o Soorten fietsers (ouderen, basisschool kinderen, middelbare scholieren, etc.)
    - Verschil in snelheid, handelingsnelheid, peloton-vorming, inhaalgedrag

#### Ad4. Situaties

Indeling van situaties:

- Kruispunten
- Wegvakken

Situaties op kruispunten:

- Gelijkwaardig kruispunt
- Voorrangskruispunt
  - o Solitaire fietsoversteek
  - o Voorrangspein
- Ronde
  - o Fietsronde
- Verkeersregelinstallatie

Situaties op wegvakken:

- Gemengd verkeer
- Solitaire fietspaden-/snelwegen
- Fietsstraat

#### Ad5. Inrichtingselementen

Welke specifieke inrichtingsvormen of -elementen hebben invloed op de effecten van de fietsstroom?

Type fietspad/strook:

- Gemengd
  - o Fietsstraat
  - o Wandel- en fietsgebied
- Fietsuggestiestrook
- Vrijliggend fietspad, fietssnelweg

Fietsvoorziening op rotonde (met fietsers in de voorrang):

- Fietsers op de rijbaan
- Fietsers op aanliggende fietsstrook
  - o Met/zonder fysieke scheiding
- Fietsers op vrijliggend fietspad
  - o Rond
  - o Vierkant (carré rotonde)

Geometrische eigenschappen:

- Breedte fietspad/strook
- Breedte middenberm tak rotonde
- Breedte middenberm voorrangskruispunt/VRI
- Afstand tussen hoofdrijbaan en fietsoversteek
- Diverse boogstralen rotonde
- Maten aansluitbogen

- Afstand tot voetgangersoversteekplaats
- Breedte en lengte opstelvak

VRI voorzieningen:

- Wijze van afhandeling fietsers in regeling, deelconflicten, ARG, etc.
- Detectie van fietsverkeer (lussen, drukknoppen)
- Aanwezigheid van wachttijdvoorspeller-/teller
- OFOS of andere opstelvakken
- Fietsers rechtsaf door door toegestaan
- Coördinatie/groene golf
- Regendetectie

#### **Ad6. Output**

Mogelijke effectindicatoren:

- Verkeersafwikkeling/doorstroming:
  - o Vertraging, wachttijd
  - o Belastingsgraad, I/C-waarde
  - o Verzendingsgraad
  - o Capaciteit (gecorrigeerde)
  - o Restcapaciteit
  - o Level-of-service
  - o Wachtrij(lengte)
  - o Gemiddelde snelheid
  - o Betrouwbaarheid
  - o Oversteekbaarheid
- Veiligheid
  - o Aantal (bijna) ongevallen
  - o Ongevalskans, risicofactor
  - o Time-to-collision
  - o Oversteekbaarheid
  - o Gevoel van (on)veiligheid
- Milieu
  - o Emissies

### Bijlage 3 – Overzicht van bestaande software

#### Analytische modellen

Naam	Ontwikkelaar	Omschrijving	Fiets
Capacito	Trenso Verkeerskundige Software, Nederland	Vijf eenvoudige modules voor het evalueren van kruispuntvormen.	Met één module kan de overstekbaarheid van wegen voor fietsers bepaald worden.
CAP-X Tool	USDOT FHWA, Verenigde Staten	Spreadsheet waarmee snel de I/C-waarden van een lijst van kruispuntvormen bepaald kan worden. Gratis beschikbaar.	De tool geeft per kruispuntvorm een score voor potentiële voetgangers- en fietsvoorzieningen.
COCON	DTV Consultants, Nederland	Software voor het ontwerpen van verkeersregelingen.	Fietsvoorzieningen en fietsstromen t.b.v. het ontwerpen en testen van verkeersregelingen.
CROW-Fietsberaad Tools	CROW-Fietsberaad, Nederland	Diverse tools (spreadsheets en webapplicatie) om op eenvoudige en snelle manier uitspraken te doen over fietsvoorzieningen.	Breedte van fietspaden, breedte/profiel van fietsstraten, opstelruimte bij VRI's, capaciteit bij overstekende fietsers.
HCS 2023	McTrans, Verenigde Staten	Software waarmee de doorstroming op meerdere kruispuntvormen bepaald kan worden. Implementatie van de 'Highway Capacity Manual' methoden.	Geen mogelijkheden om (overstekende) fietsers mee te nemen?
Junctions	TRL Software, Verenigd Koninkrijk	Software waarmee de doorstroming voor meerdere kruispuntvormen bepaald kan worden. Voorheen losse modules: ARCADY, PICADY, OSCADY.	Geen mogelijkheden om (overstekende) fietsers mee te nemen?
LISA+	Scholthauer & Wauer, Duitsland	Software waarmee de doorstroming voor meerdere kruispuntvormen bepaald kan worden.	Effecten van overstekende fietsers op afwikkeling van gemotoriseerd verkeer. Fietsvoorzieningen en fietsstromen t.b.v. het ontwerpen en testen van verkeersregelingen.
Meerstrooks-rotondeverkenner	Provincie Zuid-Holland, Nederland	Spreadsheet waarmee snel de I/C-waarden van een lijst van (turbo)rotondes bepaald kan worden. Gratis beschikbaar.	Geen mogelijkheden om (overstekende) fietsers mee te nemen (behalve samen met gemotoriseerd verkeer via pae's).
Kruispuntverkenner	CROW, Nederland	Webapplicatie voor afwegen van kruispuntvormen. Beperkte rekenfuncties.	Geen mogelijkheden om fietsers mee te nemen (behalve in de pae's op het kruispunt).
Kruispuntwijzer	Goudappel, Nederland	Webapplicatie voor evaluatie van verschillende kruispuntvormen.	Effecten van overstekende fietsers op afwikkeling van gemotoriseerd verkeer.
Sidra Intersection	Sidra Solutions, Australië	Software waarmee de doorstroming van meerdere kruispuntvormen bepaald kan worden.	Effecten van overstekende fietsers op afwikkeling van gemotoriseerd verkeer. Voertuigklasse(n) voor fiets. Fietsstroken op kruispunten.
Synchro	Cubic Corporation, Verenigde Staten	Software voor het ontwerpen van verkeersregelingen.	Geen of hele beperkte mogelijkheden om fietsers mee te nemen.

## Simulatiemodellen

Naam	Ontwikkelaar	Omschrijving	Fiets
Aimsun Next	Aimsun, Spanje	Wereldwijd gebruikt pakket voor het simuleren van allerlei stedelijke verkeerssituaties. Kan gecombineerd worden met Legion.	Sinds een paar jaar, uitgebreide mogelijkheden voor het simuleren van fietsverkeer (voertuigtypen, fietsstroken, niet-strookgebonden fietsgedrag, opstelstroken voor fiets).
CUBE Dynasim	Bentley Systems, Verenigde Staten	Simulatiepakket als onderdeel van algehele verkeersmodelleringspakket Cube.	Basismogelijkheden voor het simuleren van fietsverkeer. Weinig over te vinden.
Dynameq	Inro, Canada	Simulatiepakket als onderdeel van algehele verkeersmodelleringspakket Emme.	Voor zover bekend zijn er geen mogelijkheden voor het simuleren van de verkeersafwikkeling van fietsverkeer.
LinSig	JCT Consultancy, Verenigd Koninkrijk	Software voor het ontwerpen en testen van verkeersregelingen.	Geen mogelijkheden om fietsers mee te nemen (behalve samen met gemotoriseerd verkeer via pae's).
MATSim	MATSim Association, Zwitserland	Agent-based open-source simulatiemodel voor grote stedelijke/regionale modellen.	Voor zover bekend zijn er geen mogelijkheden voor het simuleren van de verkeersafwikkeling van fietsverkeer.
OpenTrafficSim	TU Delft, Nederland	Open-source simulatieplatform.	Basismogelijkheden voor het simuleren van fietsverkeer.
PTV Vissim	PTV Group, Duitsland	Wereldwijd gebruikt pakket voor het simuleren van allerlei stedelijke verkeerssituaties. Kan gecombineerd worden met PTV Viswalk. In Nederland meest gebruikte pakket.	Uitgebreide mogelijkheden voor het simuleren van fietsverkeer (voertuigtypen, fietsstroken, niet-strookgebonden fietsgedrag, opstelstroken voor fiets).
Paramics Discovery	SYSTRA, Verenigd Koninkrijk	Wereldwijd gebruikt pakket voor simuleren van allerlei stedelijke verkeerssituaties.	Recentelijk uitgebreid met uitgebreide mogelijkheden voor het simuleren van fietsverkeer (voertuigtypen, fietsstroken, niet-strookgebonden fietsgedrag, opstelstroken voor fiets).
SimTraffic	Cubic Trafficware, Verenigde Staten	Software voor het ontwerpen en testen van verkeersregelingen.	Geen mogelijkheden om fietsers mee te nemen (behalve samen met gemotoriseerd verkeer via pae's).
Simulatietool LARGAS	CROW, Nederland	Gratis toegankelijke simulatietool voor het simuleren van een streng van drie kruispunten.	Bevat uitgebreide mogelijkheden voor het afwickelen en instellen van fietsverkeer (op fietspaden).
SUMO	DLR, Duitsland	Open-source simulatiemodel met actieve community en goede documentatie. Is sterk in ontwikkeling.	Basismogelijkheden voor het simuleren van fietsverkeer.
TransModeller	Caliper Corporation, Verenigde Staten	Simulatiepakket als onderdeel van algehele verkeersmodelleringspakket TransCad.	Basismogelijkheden voor het simuleren van fietsverkeer. Weinig over te vinden.
TRANSIMS	LANL, Verenigde Staten	Open-source simulatiemodel voor het modelleren van grote stedelijke/regionale modellen.	Voor zover bekend zijn er geen mogelijkheden voor het simuleren van de verkeersafwikkeling van fietsverkeer.
TRANSYT	TRL Software, Verenigd Koninkrijk	Software voor het ontwerpen en testen van verkeersregelingen.	Geen mogelijkheden om fietsers mee te nemen (behalve samen met gemotoriseerd verkeer via pae's).
TSIS-CORSIM	McTrans, Verenigde Staten	Simulatiemodel voor het modelleren van stedelijke netwerken met kruispunten. Sterke koppeling met HCS 2023.	Voor zover bekend zijn er geen mogelijkheden voor het simuleren van de verkeersafwikkeling van fietsverkeer.
VISSIM-kruispunttool	Goudappel, Nederland	Tool waarmee snel allerlei kruispunten met PTV Vissim getest kunnen worden.	Kan kruispunten met fietsvoorzieningen en fietsstromen genereren.

## Colofon

Simulatie van fietsstromen:  
(on)mogelijkheden van  
bestaande modellen  
Fietsberaadnotitie

### uitgave

Kennisplatform CROW, Ede

### versienummer

Versie 1.1, december 2023

### tekst

Erwin Bezembinder, verkeersmodellering.nl

### eindredactie

Stan Wolters, CROW-Fietsberaad

### contact

Kennisplatform CROW

klantenservice@crow.nl

### Over CROW

CROW bedenkt slimme en praktische oplossingen voor vraagstukken over infrastructuur, openbare ruimte, verkeer en vervoer in Nederland. Dat doen we samen met externe professionals die kennis met elkaar delen en toepasbaar maken voor de praktijk.

CROW is een onafhankelijke kennisorganisatie zonder winstoogmerk die investeert in kennis voor nu en in de toekomst. Wij streven naar de beste oplossingen voor vraagstukken van beleid tot en met beheer in infrastructuur, openbare ruimte, verkeer en vervoer en werk en veiligheid. Bovendien zijn wij experts op het gebied van aanbesteden en contracteren.

### Over CROW-Fietsberaad

CROW-Fietsberaad is het kenniscentrum van de Nederlandse overheden voor fietsbeleid. CROW-Fietsberaad wordt gefinancierd uit het KpVV-Meerjarenprogramma dat CROW uitvoert in opdracht van de gezamenlijke overheden.

De doelstelling van CROW-Fietsberaad is de ontwikkeling, verspreiding en uitwisseling van praktijkgerichte kennis voor fietsbeleid. Daarbij richt CROW-Fietsberaad zich op een brede doelgroep: iedereen die direct of indirect betrokken is bij de ontwikkeling en uitvoering van fietsbeleid.

**Praktische kennis  
direct toepasbaar**