



Automatisch bepalen van kruispuntconfiguraties

Het netwerk van het
Mobiliteitsspectrum automatisch
verrijken met
kruispuntkarakteristieken op basis
van databronnen van derden

Titel rapport

Automatisch bepalen van
kruispuntconfiguraties

Auteur

Lianne Cortenbach

Studentnummer

s1864300

E-mail

l.e.cortenbach@student.utwente.nl

Opleiding

Civiele Techniek

Begeleider Universiteit Twente

Dr. T. Thomas

Tweede beoordelaar Universiteit Twente

Ir. R. W. A. Siemes

Begeleiders Dat.mobility

Jakob Henckel en Sander van der Drift

Stageperiode

02-11-2020 – 02-02-2021

Publicatie datum

03-11-2021

© Copyright Dat.mobility

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport dat heb ik geschreven ter afsluiting van mijn bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Het onderzoek gaat in op het automatisch bepalen van kruispuntconfiguraties. Ik heb dit onderzoek uitgevoerd bij Dat.mobility waar ik 10 weken stage heb gelopen.

In de eerste plaats wil ik graag Sander van der Drift en Jakob Henckel bedanken. Zij hebben mij begeleid vanuit Dat.mobility. Ik kon altijd bij hen terecht voor vragen en in het bijzonder vragen over de software of de inhoud van de datasets. Elk voortgangsgesprek met hen zorgde ervoor dat ik steeds dieper in de opdracht dook. Dit leverde nieuwe inzichten op en wakkerde een enthousiasme aan om een goed resultaat neer te zetten.

Daarnaast zou ik Bastiaan Possel van de afdeling verkeersmanagement en -prognoses van Goudappel Groep willen bedanken voor zijn toelichting over de geschiedenis en toepassing van kruispuntmodellering. Ook wil ik Rogier van der Honing bedanken voor het toelichten van de kruispuntmodellering in OmniTRANS, het controleren van het resultaat en zijn advies over mogelijke aanvullingen en verbeteringen aan de methode.

Ook wil ik Tom Thomas, mijn begeleider van de Universiteit Twente, bedanken voor de waardevolle feedback op het proces en het eindrapport.

Als laatste zou ik graag mijn ouders willen bedanken voor de interessante discussies over mogelijke oplossingen voor problemen waar ik tegenaan liep en de feedback op het onderzoek.

Ik wens u veel leesplezier toe!

Lianne Cortenbach
Enschede, 2 februari 2021

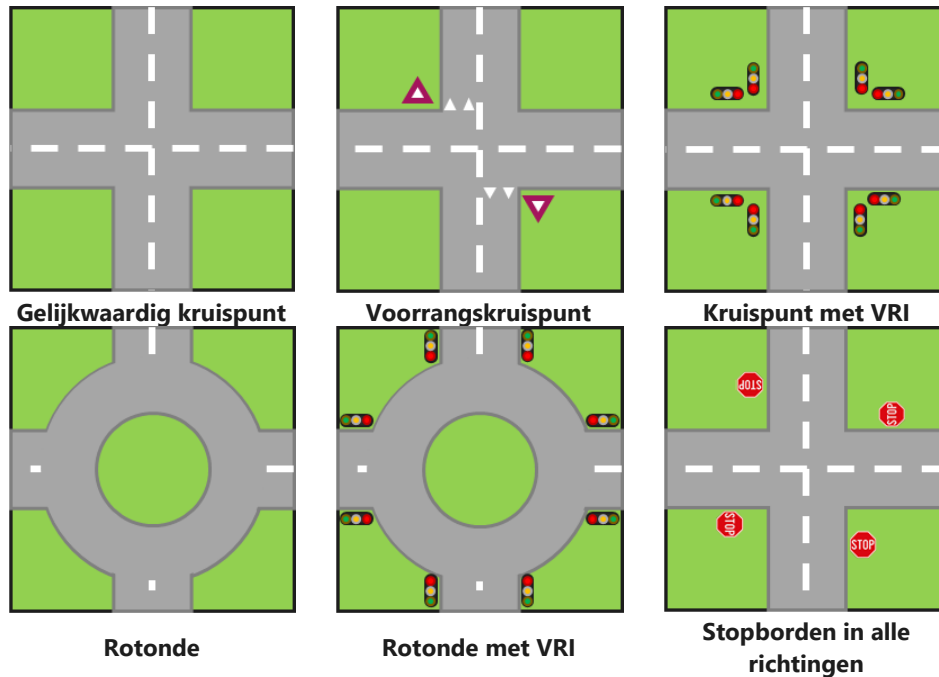
Inhoudsopgave

Begrippen	4
Summary	6
Samenvatting	8
1. Introductie	10
1.1 Aanleiding	10
1.2 Doel	10
1.3 Onderzoeksvragen	11
1.4 Afbakening	11
1.5 Relevantie	11
1.6 Leeswijzer	12
2. Literatuuronderzoek	13
2.1 Achtergrond	13
2.2 Kruispuntkarakteristieken automatisch bepalen	13
3. Kruispuntkarakteristieken	16
4. Databronnen	20
4.1 Nationaal Wegenbestand	20
4.2 Verkeersborden	21
4.3 OpenStreetMap	22
4.4 HERE netwerk	23
4.5 Vergelijken van databronnen	24
5. Methode	26
5.1 Voorrangskruispunten	26
5.2 Kruispunten met VRI	28
5.3 Rotondes	33

5.4	Koppelingen samenvoegen	36
6.	Validatie	37
6.1	Beoordeling door een expert	37
6.2	Voorrangskruispunten	38
6.3	Kruispunten met VRI	42
6.4	Rotondes	43
6.5	Kruispunten zonder type	44
7.	Discussie	45
8.	Conclusie	46
9.	Aanbevelingen	47
10.	Bibliografie	52
11.	Bijlagen	54
11.1	Datamodel van OmniTRANS	54
11.2	Technische benaming attributen databronnen	56
11.3	Relevante verkeersborden voor het kruispunttype	58
11.4	Koppeltabel opstelstrook configuratie	59
11.5	Schema configuratie rotonde	60
11.6	Validatie kruispunttypen	62

Begrippen

Met **kruispuntconfiguratie** worden de indeling en eigenschappen van één specifiek kruispunt bedoelt. Een individuele eigenschap van een kruispunt wordt een **kruispuntkarakteristiek** genoemd. Een van deze kruispuntkarakteristieken is het **kruispunttype**. Er wordt onderscheid gemaakt tussen gelijkwaardige kruispunten, voorrangskruispunten, kruispunten met een VRI, rotondes, rotondes met VRI en stopborden in alle richtingen.



Met **verkeersregelingsinstallatie (VRI)** wordt een verzameling van verkeerslichten bedoelt, die samen nodig zijn om de verkeersstromen op het kruispunt te regelen.

Het begrip **node** wordt gebruikt om een knooppunt in een wegennetwerk aan te duiden. Een node is altijd verbonden aan links. In een netwerk wordt het begrip **link** gebruikt om een wegen aan te duiden. Een link is altijd verbonden aan twee nodes. De link begint met een begin node en eindigt met een eind node.

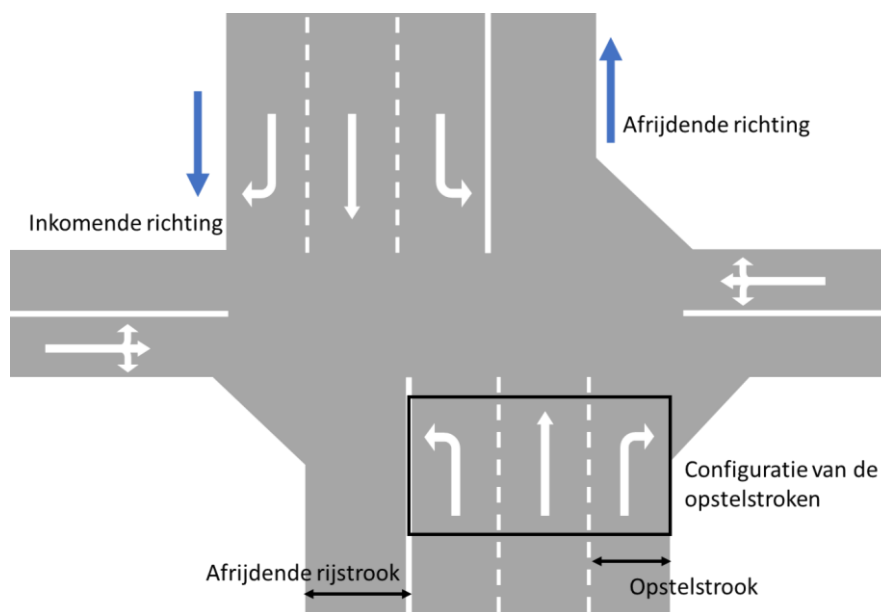


Met de **rijrichting** wordt de toegestane rijrichting op een wegvak bedoelt. Dit kan in beiden richtingen zijn, van de begin node naar de eind node of van de eind node naar de begin node.

Met de **inkomende richting** wordt de rijrichting bedoelt die naar het kruispunt toegaat. Met de **afrijdende richting** wordt de rijrichting bedoelt die van het kruispunt weggaat.

Een **opstelstrook** is een rijstrook op de inkomende richting van het kruispunt. In het geval dat er meerdere opstelstroken op een weg aanwezig zijn kan op deze strook worden voorgesorteerd voordat het kruispunt wordt overgestoken. Met de **configuratie van de opstelstroken** worden de pijlen op het wegvak bedoelt, die aangeven voor welke afslagrichting je kunt opstellen.

Een **afrijdende rijstrook** is een rijstrook in de afrijdende richting ten opzichte van het kruispunt. Deze rijstrook wordt gebruikt om het kruispunt te verlaten



Met de **intensiteit** op een wegvak wordt de hoeveelheid verkeer op het wegvak bedoeld.

Met de **capaciteit** wordt het maximale aantal voertuigen dat een weg per tijdseenheid kan passeren bedoeld. Een grotere capaciteit kan meer verkeer aan.

Met de **toedeling** wordt de verdeling van het verkeer over de wegvakken van een verkeersmodel bedoeld.

Met de **weerstand** wordt de kwaliteit van bereikbaarheid bedoeld. De weerstand zegt iets over de tijd die nodig is om een bepaalde verplaatsing te maken. Wanneer de weerstand op een wegvak hoger is, zullen er minder verplaatsingen over dit wegvak zijn.

Met **modaliteit** wordt de wijze waarop men zich verplaatst bedoeld. Hier worden onder andere te voet, met de fiets en met de auto onder geschaard.

OmniTRANS is een verkeersmodelleringsplatform voor verschillende modaliteiten, tijdsperioden en motieven. In dit model is het onder andere mogelijk om schattingen voor de verkeers- en vervoersvraag te doen, de verkeerstoedeling voor autoverkeer te bepalen en kruispuntvertragingen te berekenen.

Summary

While driving a car, you pass a lot of junctions. These junctions cause a certain delay during your trip. Junctions have certain properties that determine the delay. A roundabout causes a different delay than a intersection with traffic lights for example. A junction configuration consists of several junction properties like the junction type and some characteristics of the road sections. The modelling software OmniTRANS has a junction modelling module that calculates the junction delay on the basis of these junction properties. In practice, these junction properties are manually added to a network that is used in a traffic model. This is a time consuming task.

In this research, a method for automatically determining junction properties is developed. These properties are derived from data sources of third parties and connected to the network of the 'Mobiliteitsspectrum'. The 'Mobiliteitsspectrum' uses a national road file that is called 'het Nationaal Wegenbestand' (NWB). By joining the junction properties to the NWB automatically, less information has to be added manually. By creating an automatic method, it will be easy to repeat the method when the data sources are renewed.

Through a literature review, characteristics that influence the junction delay are found. In the next step, four data sources that carry information about junctions are analysed. Next to the NWB, open source project OpenStreetMap, a file from Rijkswaterstaat with all traffic signs in the Netherlands and the NAVSTREETS dataset from the firm HERE are analysed. For each characteristic a data source is chosen to derive the junction data from. The choice is based on the completeness, reliability and applicability of the data sources.

Different methods are used to determine the junction configurations. The location of priority junctions and their priority rules are determined with the location of traffic signs. Based on the distance from a priority sign to a junction, a join is made. Junctions with traffic lights and their corresponding configuration of the road sections are stored in the HERE network. This information is joined to the NWB on the basis of similarities between the location, driving direction and shape of the road sections of the two networks. Information about roundabouts is already stored in the NWB. The driving direction and priority rules of a roundabout are used to determine the configuration of these junctions.

The results showed that the right junction types are identified most of the time. From the junctions that were validated, 95% of the priority junctions, 100% of junctions with traffic lights and 100% of the roundabouts were indeed of the type that they are in real life. The priority rules at the priority junctions was properly joined in 75% of the junctions. The configuration of the road sections of junctions with traffic lights corresponds to real life in only 5% of the junctions. The configuration of road sections and the priority rules at roundabouts corresponds to real life in 90% of the cases.

It can be concluded that it is possible to derive junction configurations from the available data sources. The data can be converted to a form that is readable for OmniTRANS. The method does not perform well enough in determining the configuration of the road sections at junctions with traffic lights. The method does perform well in identifying junction types and the configuration of the road sections at priority junctions and roundabouts.

Samenvatting

Wanneer je met de auto rijdt, passeer je kruispunten en die kruispunten zorgen voor een bepaalde vertraging tijdens je reis. Kruispunten hebben een aantal eigenschappen die de lengte van de vertraging bepalen. Een rotonde veroorzaakt bijvoorbeeld een andere vertraging dan een kruispunt met verkeerslichten. Een kruispuntconfiguratie bestaat uit een aantal kruispuntkarakteristieken zoals het kruispunttype en een aantal karakteristieken van de wegvakken (configuratie van de opstelstroken, het aantal afrijdende rijstroken en de voorrangsregeling). De modelleringsoftware OmniTRANS kan aan de hand van deze karakteristieken de kruispuntvertraging berekenen. Kruispuntkarakteristieken worden in de praktijk handmatig toegevoegd aan een netwerk om te kunnen gebruiken in een verkeersmodel. Dit is een tijdrovende taak.

In dit onderzoek is een methode ontwikkeld om automatisch kruispuntconfiguraties af te leiden uit databronnen van derden en deze te koppelen aan het netwerk van het Mobiliteitsspectrum (Nationaal Wegenbestand, NWB). Wanneer het NWB als netwerkdata voor een verkeersmodel wordt gebruikt, hoeft er dankzij deze automatische methode minder kruispuntinformatie handmatig te worden toegevoegd. Daarnaast zal de automatisering ervoor zorgen dat de methode eenvoudig kan worden herhaald wanneer de bronbestanden worden vernieuwd.

Via een literatuuronderzoek is achterhaald welke kruispuntkarakteristieken invloed hebben op de kruispuntvertraging. Daarna zijn vier databronnen die informatie over deze karakteristieken bevatten geanalyseerd. Naast het NWB zijn dit open source project OpenStreetMap, het verkeersbordenbestand van Rijkswaterstaat en de NAVSTREETS dataset van de firma HERE. Op basis van de compleetheid, betrouwbaarheid en toepasbaarheid van de databronnen is bepaald welke databron het beste voor de koppeling gebruikt kan worden.

Er zijn verschillende methoden gebruikt om de kruispuntconfiguraties te bepalen. De locatie van voorrangskruispunten en de voorrangsregeling bij deze kruispunten is bepaald op basis van de afstand van een voorrangsbord tot een kruispunt. Kruispunten met een verkeersregelingsinstallatie en bijbehorende configuratie van de armen zijn opgeslagen in het HERE netwerk. Deze informatie is op basis van overeenkomsten tussen de locatie, rijrichting en vorm van de wegvakken tussen de beiden netwerken aan het NWB gekoppeld. Informatie over de rotondes is opgeslagen in het NWB. Aan de hand van de rijrichting en voorrangsregeling van een rotonde is voor deze kruispunten een configuratie bepaald.

Uit het onderzoek blijkt dat kruispunttypen goed geïdentificeerd worden door de methode. Van de gecontroleerde kruispunten is 95% van de voorrangskruispunten, 100% van de kruispunten met VRI en 100% van de rotondes juist geïdentificeerd. Het de voorrangsregeling werd bij voorrangskruispunten werd in 75% van de gevallen juist geïdentificeerd. De configuratie wegvakken bij een kruispunt met VRI komt bij

5% van de kruispunten overeen met de werkelijkheid. De configuratie van de wegvakken en de voorrangsregeling bij kruispunten die onderdeel zijn van een rotonde werd in 90% van gevallen goed afgeleid.

De conclusie kan worden getrokken dat het mogelijk is om kruispuntconfiguraties af te leiden uit de beschikbare databronnen. De data is te converteren naar een vorm waarmee het door OmniTRANS te lezen is. Bij het identificeren van de configuratie van de wegvakken bij kruispunten met VRI werkt de methode niet goed genoeg. De methode werkt met wel goed bij het identificeren van kruispunttypes en het bepalen van de configuratie van de wegvakken van rotondes en voorrangskruispunten.

1. Introductie

1.1 Aanleiding

Om een hoogwaardig en gedetailleerd beeld van de mobiliteit op ieder wegvak voor verschillende modaliteiten (auto, vracht, OV en fiets) te krijgen, heeft Dat.mobility het platform “Mobiliteitsspectrum” ontwikkeld. Dit is een data gedreven platform dat het mogelijk maakt om de verkeersintensiteiten op alle wegen in Nederland te bepalen. De verkeersgegevens in het Mobiliteitsspectrum zijn gebaseerd op zoveel mogelijk waargenomen verplaatsingsgegevens en het systeem maakt gebruik van verkeersmodel- en datafusietechnieken. Het datasysteem is consistent opgebouwd en wordt jaarlijks geactualiseerd.

Het Mobiliteitsspectrum maakt gebruik van het Nationaal Wegenbestand (NWB). Het NWB is een digitale representatie van het Nederlandse wegennet, bestaande uit links en nodes. Aan de links en nodes zijn allerlei wegkenmerken gekoppeld, zoals het adres, de toegestane rijrichting en het soort rijbaan (bijvoorbeeld hoofdrijbaan, deel van een rotonde of OV-baan). Binnen het NWB is echter niet veel informatie over kruispunten bekend. Het type kruispunt, zoals een rotonde of een voorrangskruispunt en eigenschappen van de wegvakken die aan het kruispunt zijn gekoppeld worden kruispuntkarakteristieken genoemd. De verzameling kruispuntkarakteristieken die voor één kruispunt gelden worden samen de kruispuntconfiguratie genoemd. Voor verkeersmodellen is dit belangrijke informatie. Het passeren van een kruispunt veroorzaakt een bepaalde vertraging omdat verkeersstromen elkaar kruisen. De ene stroom moet immers voorrang verlenen aan de andere. Daarmee heeft elke kruispuntconfiguratie een eigen kruispuntvertraging.

Zeker in de stad waar veel kruispunten voorkomen, kunnen de kruispuntvertragingen een grote invloed hebben op de reistijd. Daarmee heeft de kruispuntvertraging invloed op de snelste route van A naar B (Muijlwijk, 2012). Een goede inschatting van de kruispuntvertraging is van belang voor het inzicht in de verdeling van het verkeer over het netwerk in een verkeersmodel (Aashtiani & Iravani, 1999). Met behulp van de kruispuntconfiguraties kunnen kruispuntvertragingen worden berekend en kan er een realistische routekeuze worden gemodelleerd.

Naast het NWB bestaat er een aantal andere databronnen waar ook kruispuntinformatie in is opgeslagen. Het gaat hierbij onder andere om het open source project OpenStreetMap het verkeersbordenbestand van Rijkswaterstaat en NAVSTREETS dataset van de firma HERE.

1.2 Doel

Kruispuntconfiguraties worden in de praktijk handmatig toegevoegd aan een verkeersmodel. Dit is een tijdrovende taak. Het doel van dit onderzoek is om kruispuntconfiguraties automatisch toe te voegen aan het Nationaal Wegenbestand vanuit andere databronnen zodat er tijd bespaard wordt.

1.3 Onderzoeksvragen

Het doel van het onderzoek kan vertaald worden naar de volgende hoofdvraag:
Hoe kunnen kruispuntconfiguraties automatisch worden afgeleid uit databronnen van derden?

De hoofdvraag kan worden beantwoord door de onderstaande deelvragen te beantwoorden.

1. Welke kruispuntkarakteristieken worden gebruikt in een verkeersmodel?
2. Welke data zijn beschikbaar die iets zeggen over de configuratie van een kruispunt en wat is de kwaliteit en beschikbaarheid van deze databronnen?
3. Hoe kunnen de data met elkaar worden gecombineerd zodat er automatisch kruispuntconfiguraties kunnen worden gekoppeld aan het Nationaal Wegenbestand?
4. Wat is de kwaliteit van de automatisch toegewezen kruispuntconfiguraties ten opzichte van een handmatige toewijzing?

1.4 Afbakening

In dit onderzoek wordt alleen het wegennetwerk voor auto's meegenomen. De databronnen die zijn bestudeerd zijn het Nationaal Wegenbestand, een digitaal overzicht van alle verkeersborden in Nederland, OpenStreetMap en het HERE netwerk. De ontwikkelde methode zal bruikbaar zijn voor heel Nederland. De stad Deventer is gebruikt om de databronnen te beoordelen en de resultaten van de methode inzichtelijk te maken, omdat Nederland voor dit onderzoek een te groot gebied is om de kruispuntkarakteristieken overzichtelijk in één kaart te laten zien.

1.5 Relevantie

Verkeersmodellen zijn continu in ontwikkeling. De eerste versies modellen begonnen simpel en in de loop van de tijd werden de modellen steeds geavanceerder. Een belangrijke ontwikkeling is het toevoegen van kruispuntmodellering, waarmee aan de hand van kruispuntkarakteristieken, kruispuntvertragingen kunnen worden berekend. Kruispuntmodellering komt voort uit twee wensen. Enerzijds uit de wens om de toedeling van het verkeer en daarmee de routekeuze te verbeteren. Anderzijds is er vanuit gemeentes vaak de vraag om verkeersprognoses te doen voor bepaalde maatregelen die zij zouden willen invoeren. Wanneer een gemeente graag een rotonde zou willen aanleggen zouden zij van te voren willen weten welk effect dit zou hebben op de verkeersstromen in de stad. Wanneer kruispuntmodellering verwerkt is in het verkeersmodel, kunnen hier betere voorspellingen over worden gedaan.

Een van de doelen van het Mobiliteitsspectrum is om basisinformatie te leveren voor verkeersmodellen. De totstandkoming van verkeersmodellen is vaak een omvangrijk proces. Er gaat veel tijd zitten in het vergaren en verwerken van inputdata. Wanneer de data automatisch vergaard en verwerkt wordt, neemt het handwerk af. Een ander voordeel van een automatisch proces is dat het herhaalbaar is. De methode die wordt ontwikkeld zal toepasbaar zijn op verschillende versies van de databronnen. De databronnen worden jaarlijks geactualiseerd en kunnen na zo'n actualisatie direct als input voor de methode worden gebruikt. Hiermee wordt automatisch een geactualiseerde versie van de kruispuntkarakteristieken wordt gegenereerd.

1.6 Leeswijzer

In deze paragraaf beschreven hoe het verslag is opgebouwd. In hoofdstuk 2 is het literatuuronderzoek beschreven. Hier wordt ingegaan op achtergrond van kruispuntmodellering en bestaande methodieken voor het automatisch bepalen van kruispuntconfiguraties. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op deelvraag 1. De kruispuntkarakteristieken die worden gebruikt in een verkeersmodel zullen in dit hoofdstuk worden behandeld. In hoofdstuk 4 is het antwoord op deelvraag 2 gegeven. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de informatie die te vinden is in de databronnen en op de compleetheid en betrouwbaarheid van deze informatie. In hoofdstuk 5 wordt beschreven welk kruispuntkarakteristiek uit welke databron wordt afgeleid. Vervolgens wordt ook beschreven hoe deze karakteristiek wordt afgeleid. Hoofdstuk 5 gaat dus in op deelvraag 3. In het hoofdstuk Validatie wordt antwoord gegeven op deelvraag 4. Hier zal worden ingegaan op de kwaliteit van de methode. In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd en geïnterpreteerd. In het hoofdstuk discussie zullen de voor- en nadelen van de validatiemethode worden beschreven. In hoofdstuk 8 wordt ingegaan op de conclusie van het onderzoek. Tot slot wordt er in hoofdstuk 9 een aantal aanbevelingen gedaan om de methode te verbeteren en uit te breiden en wordt er een advies gegeven voor vervolgonderzoek.

2. Literatuuronderzoek

2.1 Achtergrond

Verkeersmodellen beschrijven menselijk gedrag en kunnen op basis van deze informatie de invloed van autonome ontwikkelingen en het gekozen beleid op het verkeer berekenen (van Wee & Annema, 2014). Verkeersmodellen in combinatie met verkeersdata zijn van belang bij het uitvoeren van toekomstonderzoek, het ontwikkelen van mobiliteitsbeleid en het doorrekenen van netwerkaanpassingen. Daarnaast kunnen modellen gebruikt worden om verschillende toekomstscenario's te vergelijken. Om zo goed mogelijk beleid te kunnen maken, is het van belang dat keuzes gebaseerd worden op verkeersmodellen van goede kwaliteit en geschikte data.

De input voor een verkeersmodel bestaat onder andere uit netwerkdata. Een netwerk bestaat uit nodes en links, ook wel knooppunten en wegvakken genoemd (van Wee & Annema, 2014). De links representeren de wegen en de nodes representeren de kruispunten. Netwerkdata bevat informatie over het netwerk zoals de locatie van links, de eigenschappen van links zoals het adres, de lengte van de link of de toegestane rijrichting en de ligging van bestemmingen en herkomsten. Een netwerk wordt gebruikt om verkeer aan toe te delen. Bij de toedeling van het verkeer wordt bepaald welke route de reiziger neemt van herkomst naar bestemming. De weerstand, ook wel de kwaliteit van bereikbaarheid genoemd, heeft invloed op de toedeling. Wanneer de weerstand op een wegvak hoger is, zal minder verkeer zich over dit wegvak verplaatsen. Voorbeelden van weerstanden zijn de reiskosten, comfort, betrouwbaarheid en de reistijd (van Wee & Annema, 2014). In dit onderzoek staat de reistijd centraal.

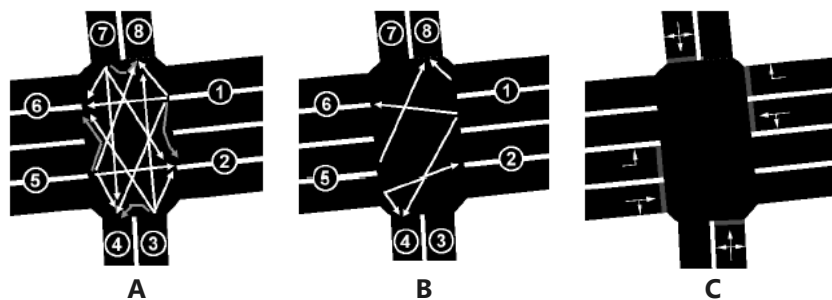
De vormgeving van het netwerk heeft invloed op de weerstand en daarmee op de reistijd. Wanneer een wegvak meerdere rijstroken heeft, kan er meer verkeer over verplaatsen dan wanneer een wegvak maar één rijstrook heeft. Naast wegvakken, kunnen ook kruispunten een weerstand hebben. Auto's die een kruispunt naderen moeten over het algemeen vertragen, het kruispunt oversteken en vervolgens weer versnellen. Hierdoor ontstaat een vertraging. Deze vertraging zal bij een rotonde anders zijn dan bij een kruispunt met een verkeersregelingsinstallatie. Om in een verkeersmodel een goede en waarheidsgetrouwe berekening van de reistijden te kunnen maken, is het dus van belang om kruispuntvertragingen mee te nemen in de berekening van reistijden (Muijlwijk, 2012). De vormgeving van een kruispunt is van belang bij het bepalen van deze kruispuntvertragingen (Megaborn, 2013).

2.2 Kruispuntkarakteristieken automatisch bepalen

Er bestaan verschillende studies waarbij kruispuntkarakteristieken automatisch zijn geïdentificeerd. In deze paragraaf worden studies beschreven waarin methodieken zijn ontwikkeld voor het identificeren van gelijkwaardige kruispunten, voorrangskruispunten, rotondes en kruispunten met verkeersregelingsinstallaties.

Ook bestaan er methodieken die gebruik maken van GPS data van voertuigen om kruispuntconfiguraties te bepalen.

Zo hebben (Krajewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005) gelijkwaardige kruispunten en voorrangskruispunten geïdentificeerd aan de hand van de maximale snelheid op een weg. Zij deden de aanname dat wanneer wegen met dezelfde maximale snelheid elkaar kruisen, dit kruispunt kan worden aangemerkt als een gelijkwaardig kruispunt, waar het verkeer dat van rechts komt voorrang heeft. Bij twee wegen met verschillende maximale snelheden werd het type voorrangskruispunt toegekend, waarbij de weg met de laagste snelheid voorrang moet verlenen. (Krajewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005) hebben ook een algoritme ontwikkeld om de configuratie van de opstelstroken op een kruispunt te bepalen aan de hand van de aanwezige nodes, links en het aantal rijstroken per link in een netwerk. De stappen in het algoritme zijn weergegeven in Figuur 2.1. Eerst wordt voor elke link bepaald via welke links het kruispunt kan worden verlaten. Vervolgens wordt elke aparte rijstrook aan een of meerdere uitgaande links gekoppeld. Daarna kan in stap C de configuratie van de opstelstroken worden bepaald. Het algoritme is toegepast op 177 kruispunten waarvan 98% procent een correcte configuratie gaf.



Figuur 2.1 - Methode om de configuratie van de rijstroken te bepalen (Krajewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005)

(Singh, Rana, & Jindal, 2019) hebben een methodiek ontwikkeld om de locatie van rotondes te bepalen. Het algoritme zoekt naar links die samen een gesloten kring vormen. Omdat niet elke gesloten kring van links per definitie een rotonde vormt, wordt er ook gekeken naar de rijrichting. Wanneer op deze links meer dan één rijrichting is toegestaan, dan zal de gesloten kring geen rotonde zijn. Als laatste wordt gekeken naar de vorm van de gesloten kring. Deze zal min of meer de vorm van een cirkel moeten hebben. Dit wordt gecontroleerd door de hoek tussen twee links die onderdeel van de gesloten kring zijn te berekenen. Een hoek tussen twee links moet stomp zijn (groter dan 90°) wanneer ze onderdeel van een rotonde zijn. Wanneer dit niet het geval is, zal de gesloten kring geen rotonde zijn. Van de rotondes die met dit algoritme zijn bepaald, was ongeveer 97% correct geïdentificeerd.

(Omachi & Omachi, 2010) (Chen, Shi, & Huang, 2015) (Chen & Huang, 2016) hebben bedacht dat kruispunten met een verkeersregelingsinstallatie geïdentificeerd kunnen worden aan de hand van de locatie van verkeerslichten. Zij hebben de locatie van de verkeerslichten bepaald aan de hand van luchtfoto's of foto's die gemaakt zijn door camera's die zijn gemonteerd op rondrijdende auto's. De verkeerslichten zijn geïdentificeerd aan de hand van de kleuren rood, geel en groen en de vorm die een

verkeerslicht heeft. Deze onderzoeken hebben respectievelijk een nauwkeurigheid van 89%, 96,97% en 95,7%.

GPS data van voertuigen kan ook worden gebruikt om kruispunten te identificeren. Door te bepalen op welke plekken auto's stoppen of een bocht maken, hebben (Wang, Wang, Song, & Raghavan, 2017) de locatie van kruispunten bepaald. Van de 321 geïdentificeerde kruispunten was 92,88% correct geïdentificeerd.

In een ander onderzoek is GPS data gebruikt om aan de hand van de locatie, snelheid en versnelling van een voertuig, de locatie van zebrapaden, verkeerslichten en rotondes te bepalen (Munoz-Organero, Ruiz-Blanquez, & Sánchez-Fernández, 2018). Het algoritme is op twee verschillende datasets gebruikt. Bij de eerste dataset is in 89% van de gevallen het juiste kruispunttype geïdentificeerd en bij de tweede dataset in 82% van de gevallen.

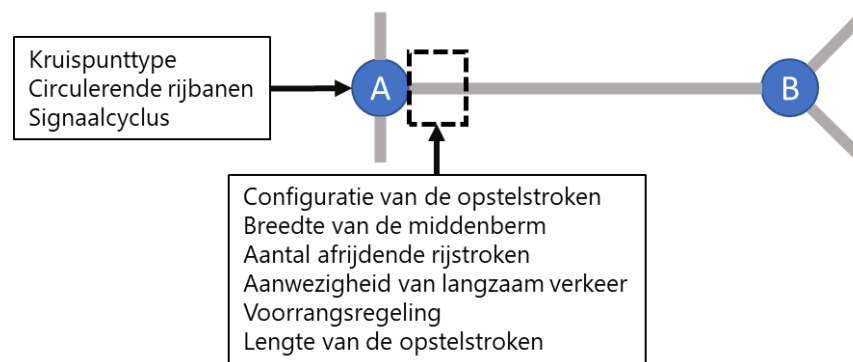
3. Kruispuntkarakteristieken

In dit hoofdstuk zal antwoord worden gegeven op de deelvraag: *Welke kruispuntkarakteristieken worden gebruikt in een verkeersmodel?* Door middel van literatuuronderzoek is onderzocht welke kruispuntkarakteristieken van belang zijn voor het modelleren van kruispunten. Vervolgens is in kaart gebracht welke kruispuntkarakteristieken als inputwaarden voor de modelleringsssoftware OmniTRANS worden gebruikt en op welke manier deze karakteristieken in het netwerk zullen moeten worden opgeslagen om door OmniTRANS te kunnen worden gelezen.

De configuratie van een kruispunt wordt bepaald door een aantal geografische kenmerken van het netwerk die invloed hebben op de kruispuntvertraging. Wanneer deze zogenoemde kruispuntkarakteristieken aan de hand van het datamodel van OmniTRANS worden opgeslagen in een netwerk, zal het netwerk direct bruikbaar zijn voor de kruispuntmodellering. Een netwerk bestaat uit nodes en links en op deze nodes en links kunnen verschillende kruispuntkarakteristieken worden opgeslagen.

In Tabel 3.1 op de volgende pagina is een overzicht te vinden van de belangrijkste karakteristieken, voorzien van een korte uitleg. In de derde kolom staat beschreven op welke manier de karakteristiek de kruispuntvertraging beïnvloedt. De kolom OT geeft aan of de karakteristiek in OmniTRANS gebruikt wordt als inputwaarde voor de kruispuntmodellering en of deze vereist of optioneel is. De karakteristieken die het belangrijkste zijn voor de kruispuntmodellering zijn de karakteristieken die verplicht zijn als invoer voor OmniTRANS. De kolom 'Locatie' geeft aan of de karakteristiek op een node of op een link moet worden opgeslagen, of dat deze door OmniTRANS wordt bepaald aan de hand van de geometrie van het netwerk. In bijlage 11.1 is te vinden hoe de karakteristieken moeten worden opgeslagen om door OmniTRANS te kunnen worden gelezen.

In Figuur 3.1 is weergegeven waar de kruispuntkarakteristieken van node A moeten worden opgeslagen. De kruispuntkarakteristieken die aan de nodes moeten worden gekoppeld, kunnen direct worden gekoppeld aan het identificatienummer van de node. Een link kan aan de kant van de beginnode (A) en eindnode (B) verschillende waarden voor dezelfde karakteristieken hebben. Daarom zal voor elke karakteristiek die aan een link verbonden is, worden opgeslagen of deze aan de kant van node A of aan de kant van node B ligt.



Figuur 3.1 - Voorbeeld netwerk met opslagplek voor de kruispuntkarakteristieken uit Tabel 3.1

Tabel 3.1- Kruispuntkarakteristieken

Karakteristiek	Uitleg	Invloed op de kruispuntvertraging	OT	Locatie	Bron
Kruispunttype	Type kruispunt. 1. Gelijkwaardig kruispunt 2. Voorrangs-kruispunt 3. Kruispunt met VRI 4. Rotonde 5. Rotonde met VRI 6. Stopborden in alle richtingen	De vertraging op de verschillende typen kruispunten wordt veroorzaakt door verschillende factoren. Op een gelijkwaardig kruispunt heeft het verkeer dat van rechts komt voorrang en hoeft dus niet te vertragen. Op een voorrangskruispunt of kruispunt met stopborden bepaalt de voorrangsregeling welke weg voorrang moet verlenen. Op een kruispunt of rotonde met VRI bepaalt de signaalcyclus welk verkeer op welk moment mag oversteken. Op een rotonde geldt altijd een vaste voorrangsregeling en zijn de conflictbewegingen weer anders dan op de andere type kruispunten.	Vereist	Node	(Bezembinder & Brandt, 2016), (Raadsen, Mein, Schilpzand, & Brandt, 2010), (Vasvári, 2015), (Krajewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005)
Aantal armen	Het aantal wegen dat verbonden is aan het kruispunt	Het aantal armen bepaalt het aantal conflictbewegingen op het kruispunt.	Vereist	Nodes en links	(Bezembinder & Brandt, 2016), (Transportation Research Board, 2000), (Vasvári, 2015)
Conflict bewegingen	Rijbewegingen die elkaar kruisen	De bewegingen die met elkaar in conflict zijn leveren een vertraging op, omdat ze niet tegelijkertijd het kruispunt kunnen passeren.	Vereist	Nodes en links	(Raadsen, Mein, Schilpzand, & Brandt,

					2010), (Brilon & Wu, 2001)
Signaalcyclus	De instelling van de VRI waarin groentijden zijn bepaald	In de signaalcyclus zijn de groentijden opgeslagen. De signaalcyclus bepaalt hoe lang een voertuig moet wachten bij een kruispunt of rotonde met VRI	Vereist bij kruispunttype 3 en 5	Link	(Bezembinder & Brandt, 2016), (Transportation Research Board, 2000), (Raadsen, Mein, Schilpzand, & Brandt, 2010)
Voorrangs-regeling	Welke weg voorrang heeft en welke weg voorrang moet verlenen	De wegen die voorrang moeten verlenen worden vertraagd. De wegen die voorrang hebben worden niet vertraagd.	Vereist bij kruispunttype 2 en 6	Link	(Bezembinder & Brandt, 2016), (Transportation Research Board, 2000), (Vasvári, 2015), (Krajewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005)
Configuratie van de opstelstroken	Configuratie van de opstelstrook van de arm van het kruispunt, bijvoorbeeld linksaf, rechtdoor, rechtsaf en rechtdoor gecombineerd	Wanneer er voor elke richting een aparte rijstrook is, zal het verkeer wat rechts af wil slaan niet worden vertraagd door verkeer dat rechtdoor of linksaf gaat. Wanneer er maar één opstelstrook is voor alle richtingen ontstaat er wel vertraging. De opstelstroken zijn ook bepalend voor de capaciteit van het wegvak. Bij kruispunten met een VRI is de configuratie van de opstelstroken bepalend voor de signaalcyclus.	Vereist	Link	(Bezembinder & Brandt, 2016), (Transportation Research Board, 2000), (Raadsen, Mein, Schilpzand, & Brandt, 2010), (Brilon & Wu, 2001), (Krajewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005),
Aantal afrijdende rijstroken	Aantal rijstroken op de arm die het kruispunt verlaten	Het aantal afrijdende rijstroken bepaalt de capaciteit van het kruispunt.	Vereist	Link	(Bezembinder & Brandt, 2016), (Aashtiani & Iravani, 1999)

Aantal circulerende rijbanen	Het aantal parallelle circulerende rijbanen op een rotonde	Het aantal circulerende rijbanen op een rotonde bepaalt de capaciteit van het kruispunt en het aantal conflictbewegingen, wat weer invloed heeft op de vertraging voor het verkeer dat de rotonde op rijdt.	Optioneel bij kruispunttype 4 en 5	Node	(Bezembinder & Brandt, 2016)
Breedte van de middenberm	Ruimte om te wachten voor links afslaand verkeer	Op de middenberm kan verkeer dat links af wil slaan maar geblokkeerd worden door verkeersstromen op het kruispunt, wachten tot dat het wel kan afslaan. Verkeer dat rechtdoor of rechtsaf wil slaan worden dan door dit verkeer niet geblokkeerd	Optioneel	Link	(Bezembinder & Brandt, 2016), (Transportation Research Board, 2000), (Raadsen, Mein, Schilpzand, & Brandt, 2010)
Aanwezigheid van langzaam verkeer	Aanwezigheid van een fietsers- of voetgangers-oversteekplaats	Bij aanwezigheid van langzaam verkeer bij kruispunten met een VRI zal een extra fase in de signaalcycclus worden toegevoegd. Deze extra fase zorgt voor een andere vertraging.	Optioneel bij type 3 en 5	Link	(Bezembinder & Brandt, 2016), (Brilon & Wu, 2001)
Lengte van de opstelstrook	Lengte van het wegvak vanaf waar de opstelstrook begint tot aan het kruispunt	De lengte wordt gebruikt om te bepalen wanneer er een rijvorming optreedt die langer is dan de lengte van de opstelstroken. Wanneer een dergelijke rijvorming optreedt zal de rij andere opstelstroken blokkeren en vertraging veroorzaken.	Optioneel	Link	(Bezembinder & Brandt, 2016), (Transportation Research Board, 2000)
Maximale snelheid	Maximale snelheid op aangrenzende links	Aan de hand van de maximale snelheid op aangrenzende links kan worden bepaald of een kruispunt een voorrangskruispunt of gelijkwaardig kruispunt is. Een kruising tussen wegen van dezelfde snelheid is een gelijkwaardig kruispunt en bij een kruising tussen wegen met verschillende snelheid moet de weg met de laagste snelheid voorrang verlenen.	-	-	(Krajzewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005)
Breedte van de arm	Breedte van de arm die verbonden is aan het kruispunt	In landen waar het aantal rijstroken niet bepalend is voor het aantal auto's dat op het wegvak past, wordt de breedte van de arm gebruikt om de capaciteit van de weg te berekenen.	-	-	(Aashtiani & Iravani, 1999)

4. Databronnen

Hoofdstuk 4 beschrijft het antwoord op de deelvraag: *Welke databronnen zijn beschikbaar die iets zeggen over de configuratie van een kruispunt en wat is de kwaliteit van deze databronnen?* Aan de hand van de gevonden kruispuntkarakteristieken in hoofdstuk 3, zijn verschillende datasets verkend. Dit zijn het NWB, een digitaal overzicht van alle verkeersborden in Nederland, data uit OpenStreetMap en data uit de NAVSTREETS dataset van de firma HERE. De datasets zijn verkend met de software QGIS. QGIS is een open source geografisch informatiesysteem dat het mogelijk maakt om de gegevens van de data sets in te zien. Op basis van de kwaliteit, de compleetheid en de beschikbaarheid van de data, is voor elk kruispuntkarakteristiek een databron gekozen. Vanuit deze databron zal het kruispuntkarakteristiek worden gekoppeld aan het NWB. In bijlage 11.2 is te vinden hoe de attributen waarmee de karakteristieken bepaald kunnen worden, zijn opgeslagen in de databronnen.

4.1 Nationaal Wegenbestand

Het Nationaal Wegenbestand is een digitaal geografisch bestand van alle openbare wegen in Nederland. Dit bestand is eigendom van Rijkswaterstaat. Sinds 1998 wordt het NWB onderhouden door de Centrale Informatievoorziening (CIV) van Rijkswaterstaat. Samen met de wegbeheerder werkt het CIV continu aan het in stand houden en verbeteren van de volledigheid en actualiteit van het NWB. In de praktijk beslaat het NWB 98% van het gehele Nederlandse wegennet en het wordt maandelijks geactualiseerd (Rijkswaterstaat, 2020). Het NWB heeft daarom een hoge betrouwbaarheid en compleetheid.

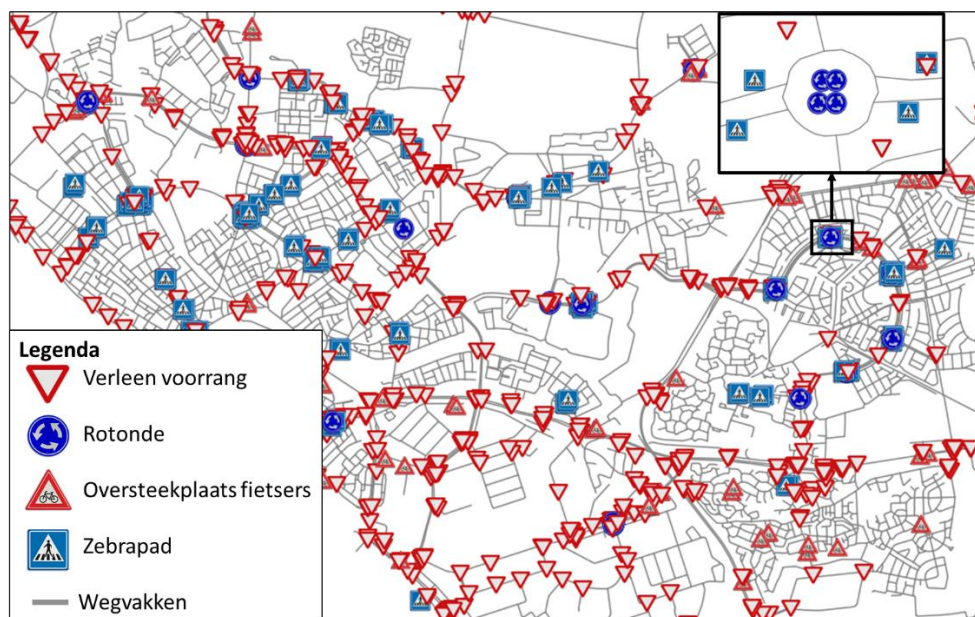


Figuur 4.1 - Nationaal Wegenbestand Deventer

Voor dit onderzoek zal het NWB het bestand zijn waaraan de kruispuntkarakteristieken zullen worden gekoppeld. Aan elk wegvak in het NWB zijn verschillende (administratieve) kenmerken gekoppeld, waaronder de straatnaam, de wegbeheerder en de baansubsoort. Met deze laatste variabele wordt gedefinieerd wat de functie van een wegvak in het netwerk is, waarbij een onderverdeling wordt gemaakt in hoofdrijbaan, parallelweg en rotonde. Daarnaast bestaat er ook een aanvullende tabel waarin de maximale snelheden op de wegvakken in Nederland zijn opgenomen. Figuur 4.1 laat de rotondes in Deventer zien. Deze zijn alleen nog niet in een bruikbare vorm opgeslagen.

4.2 Verkeersborden

Recentelijk is er via de Nationale Databank Wegverkeersgegevens een digitaal overzicht van alle verkeersborden in Nederland vrijgekomen. Jaarlijks worden beelden van alle wegen in de openbare ruimte vastgelegd met een 360° camera. Met behulp van algoritmen die aan de hand van deze beelden verkeersborden herkennen, is de data geïnventariseerd. De data is door HR groep (aanbieder op het gebied van verkeersveiligheid, bewegwijzering en straatbeleid) gecontroleerd en aan de hand van verschillende bronnen getoetst en gevalideerd. Het verkeersbordenbestand wordt jaarlijks geactualiseerd. Het bestand heeft een hoge betrouwbaarheid en compleetheid. Figuur 4.2 laat een selectie van vier verschillende verkeersborden uit het verkeersbordenbestand zien, ten opzichte van de wegvakken uit het NWB in Deventer.



Figuur 4.2 - Verkeersbordenbestand

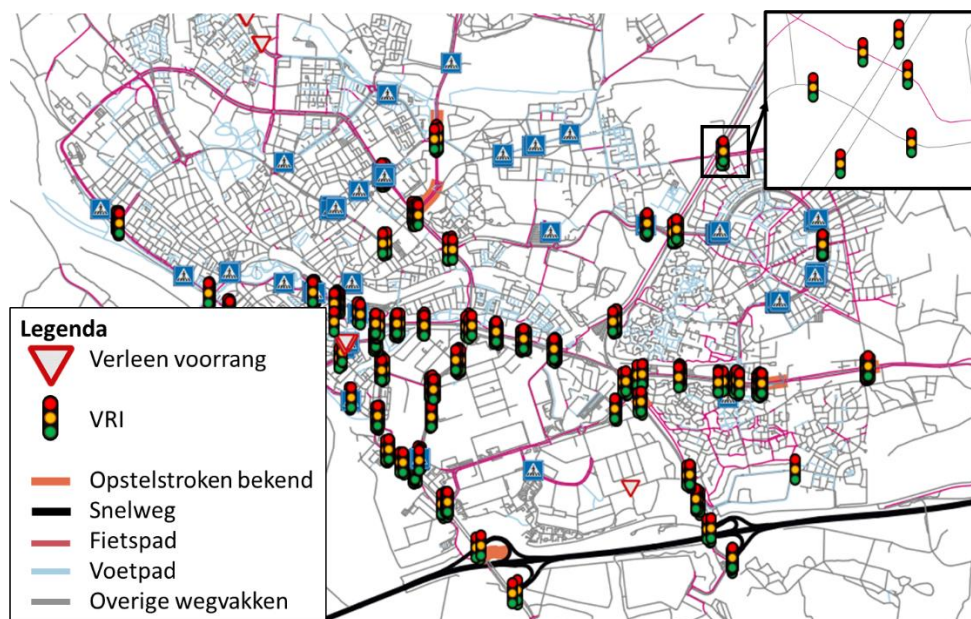
Elk bord heeft zijn eigen identificatienummer waaraan verschillende gegevens over het verkeersbord zijn gekoppeld. De borden worden aangeduid met de RVV-code (Reglement verkeersregels en verkeerstekens). In het RVV zijn de verkeersregels en verkeerstekens die in Nederland van toepassing zijn opgesteld (Ministerie van Infrastructuur en milieu, 1990). De code bestaat uit verschillende series die zijn aangeduid met een letter. Een voorbeeld van een serie is de B-serie die alle borden bevat die een voorrangssituatie aanduiden. Een lijst van de borden die eventueel

gebruikt kunnen worden bij het identificeren van kruispuntkarakteristieken is weergegeven in bijlage 11.2.

4.3 OpenStreetMap

OpenStreetMap (OSM) is een project dat geografische gegevens verzamelt en vrij beschikbaar maakt. Gegevens over bijvoorbeeld wegen, paden, cafés, treinstations worden verzameld en bijgehouden. Elk individu kan gegevens toevoegen aan OSM. Er is geen toezicht op de toevoegingen en daarom kan niet met zekerheid worden gezegd dat de beschikbare data betrouwbaar en van goede kwaliteit is (Arsanjani, Barron, Bakillah, & Helbich, 2013). De kwaliteit en betrouwbaarheid van de data hangt af van de persoon die de data heeft ingevoerd. (Jakobs & Mitchel, 2020) hebben onderzoek gedaan naar de betrouwbaarheid van de data in OSM in de regio Ottawa-Gatineau in Canada. Zij kwamen tot de conclusie dat er ervaren personen zijn die data van goede kwaliteit met een hoge nauwkeurigheid en betrouwbaarheid leveren en er zijn groepen personen die minder ervaren zijn en data van lagere kwaliteit toevoegen. (Arsanjani, Barron, Bakillah, & Helbich, 2013) hebben een zelfde soort onderzoek gedaan in Heidelberg in Duitsland en kwamen tot dezelfde conclusie.

De data in OSM wordt opgeslagen in nodes en links. In de links is het soort weg (snelweg, fietspad of voetpad), het aantal rijstroken per wegvak, de configuratie van de rijstroken, de maximale snelheid per rijstrook en de breedte van de rijstroken opgeslagen. Ook is in de wegen opgeslagen of het wegvak deel is van een rotonde. In de nodes is de locatie van VRI's, stop- en voorrangsborden, zebrapaden en ongecontroleerde oversteekplaatsen opgeslagen. Figuur 4.3 laat een overzicht zien van een deel van de kruispuntinformatie die in OSM is opgeslagen. Hierbij zijn de voorrangsborden, VRI's, snelwegen, fietspaden en voetpaden weergegeven. Op sommige plekken is de configuratie van de opstelstroken bekend. Dit is op een aantal wegvakken bij kruispunten met VRI.



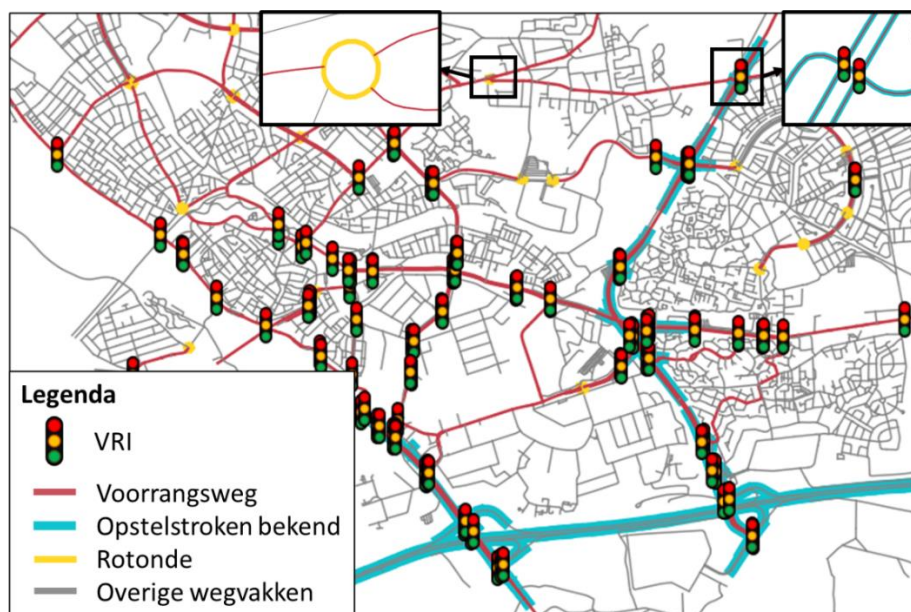
Figuur 4.3 – OpenStreetMap

Zonder de data zelf te valideren, is het lastig vast te stellen welke data uit OSM betrouwbaar en compleet is. Dit maakt OSM een minder betrouwbare databron. De compleetheid van de bovengenoemde kruispuntkarakteristieken in de data hangt af van de locatie. Er zijn locaties waar bijdragers veel informatie hebben ingevoerd en locaties waar weinig informatie is ingevuld.

4.4 HERE netwerk

Een volgende bron waarvan gebruik kan worden gemaakt, is het de dataset NAVSTREETS Street data van de firma HERE. De dataset bevat verschillende ruimtelijke gegevens zoals de positie van wegen, meren, rivieren en het treinspoor. Het wegennetwerk zit ook in deze dataset verwerkt. De data in de NAVSTREETS dataset is verkregen door het samenvoegen van een aantal basiskaarten die zijn verkregen van de plaatselijke overheden, nutsbedrijven en bedrijven die kaarten maken. De data is aangevuld met luchtfoto's en GPS tracks om de positie van de wegen zo accuraat mogelijk weer te geven. HERE valideert uiteindelijk de data door over de wegen te rijden en de data aan te vullen en verifiëren. Dit maakt het HERE netwerk een betrouwbare en complete bron.

Het HERE netwerk zelf bevat informatie over de maximale snelheid per weg, of het wegvak deel is van een rotonde en of het wegvak een voorrangsweg is. De dataset bevat de aanvullende tabellen 'Cdms' en 'Lanes' waarin respectievelijk de locatie van VRI's en de configuratie van opstelstroken bij kruispunten op hoofdwegen is opgeslagen. Figuur 4.4 laat een gedeelte van Deventer zien, waarin de voorrangswegen, rotondes en VRI's uit het HERE netwerk zijn weergegeven. Ook is te zien op welke wegvakken de configuratie van de opstelstroken bekend is. Hier is te zien dat de configuratie met name bekend is bij kruispunten met een VRI op de belangrijkste wegen. In totaal is de configuratie van de opstelstroken bij 70% van de kruispunten met VRI in Nederland bekend.



Figuur 4.4 -HERE netwerk Deventer

4.5 Vergelijken van databronnen

In de eerste kolom van Tabel 4.1 staan alle kruispuntkarakteristieken die zijn beschreven in hoofdstuk 3. In de overige kolommen is weergegeven in welke databronnen informatie over deze karakteristieken is te vinden. Een kruisje geeft aan dat er geen data over het karakteristiek in de databron te vinden is. Eén vinkje geeft aan dat er wel informatie is, maar dat het zo weinig is dat het eigenlijk niet bruikbaar is. Twee vinkjes geven aan er voldoende informatie is om te gebruiken voor de methode, maar dat de data niet voldoende compleet is. Drie vinkjes geven aan dat de data goed bruikbaar is voor de methode en dat de bron een hoge compleetheid heeft. De grijze kleur geeft aan dat het karakteristiek uit die databron niet gebruikt zal worden in de methode. De groene kleur geeft aan dat in het volgende hoofdstuk zal worden ingegaan op de bruikbaarheid van de informatie in de databron.

Op basis van de informatie die te vinden is in de databronnen, is een selectie gemaakt van de karakteristieken die zijn gebruikt in de methode. Omdat de karakteristieken zullen worden gekoppeld aan het NWB, zullen voor het aantal armen van de kruispunten en de conflictbewegingen het NWB worden gebruikt.

Een aantal karakteristieken komt niet in de databronnen voor. Die zullen vanaf nu dus ook niet meer beschouwd worden. Dit zijn de kruispunttypes 'gelijkwaardig' en 'rotonde met VRI', de signaalcyclus, de breedte van de middenberm en de lengte van de opstelstroken. Verder zal het kruispunttype 'stopborden in alle richtingen' buiten beschouwing worden gelaten, omdat dit type kruispunt niet voorkomt in Nederland. Daarnaast is het aantal rijbanen op een rotonde buiten beschouwing gelaten. Dit karakteristiek zal niet van toepassing zijn omdat rotondes uit meerdere knopen zijn gedigitaliseerd in het NWB. Hier wordt op terug gekomen in paragraaf 5.3. Omwille van de tijd die beschikbaar is voor het onderzoek zal nog een aantal karakteristieken buiten beschouwing worden gelaten. De aanwezigheid van langzaam verkeer is optioneel maar niet vereist als input voor OmniTRANS en wordt dus niet meegenomen in de koppeling. De breedte van de arm en de maximale snelheid worden niet als input voor de kruispuntmodellering gebruikt dus deze zullen ook buiten beschouwing worden gelaten. De maximale snelheid wordt in OmniTRANS wel gebruikt voor het primaire doel om de snelheid van het verkeer te bepalen, maar niet om een type kruispunt te bepalen zoals is beschreven in de methode uit de literatuur (Krajewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005).

Tabel 4.1 - Compleetheid van de databronnen

Karakteristiek		NWB	Borden	OSM	HERE
Kruispunttype	Gelijkwaardig	×	×	×	×
	Voorrangskruispunt	×	✓✓✓	✓	✓✓
	Kruispunt met VRI	×	×	✓✓✓	✓✓✓
	Rotonde	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
	Rotonde met VRI	×	×	×	×
	Stopborden	×	✓✓✓	×	×
Aantal armen		✓✓✓	×	✓✓✓	✓✓✓
Conflict bewegingen		✓✓✓	×	✓✓✓	✓✓✓
Signaalcyclus		×	×	×	×
Vorrangsregeling		×	✓✓✓	✓	✓✓

Configuratie opstelstroken	X	X	✓	✓✓
Aantal afrijdende rijstroken	X	X	✓✓	✓✓✓
Aantal circulerende rijbanen	X	X	X	✓✓✓
Breedte van de middenberm	X	X	X	X
Aanwezigheid langzaam verkeer	X	✓✓	✓	✓✓
Lengte van de opstelstrook	X	X	X	X
Maximale snelheid	✓	X	✓	✓
Breedte van de arm	X	X	✓	✓

De karakteristieken van de wegvakken die wel worden beschouwd, zijn de configuratie van de opstelstroken, het aantal afrijdende rijstroken en de voorrangsregeling. Daarnaast zullen de kruispunttypen 'voorrangskruispunt', 'kruispunt met VRI' en 'rotonde' uit de databronnen worden afgeleid. In het volgende hoofdstuk zal per type kruispunt (waar dat mogelijk en relevant is) worden ingegaan op de eigenschappen van de wegvakken. Wanneer er in meerdere bronnen informatie aanwezig is over de desbetreffende karakteristieken, zal de meest geschikte databron worden geselecteerd op basis van compleetheid, betrouwbaarheid en de hoeveelheid complicaties die optreed bij het koppelen van de data aan het NWB. Bij de laatste eigenschap is gestreefd naar zo min mogelijk complicaties.

5. Methode

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag: *Hoe kunnen de data met elkaar worden gecombineerd zodat er automatisch kruispuntconfiguraties kunnen worden gekoppeld aan het Nationaal Wegenbestand?* Hierin zal de methode voor het identificeren van de kruispunttypen voorrangskruispunt, kruispunt met VRI en rotondes met bijbehorende eigenschappen van de wegvakken worden beschreven. In de eerste stap is bepaald welke databron het meest geschikt is voor het afleiden van de kruispuntkarakteristieken. Daarna wordt per kruispunttype uitgelegd welke methode is toegepast om de databronnen aan het NWB te koppelen. De data is gekoppeld met de software PostgreSQL. PostgreSQL is een open source database systeem waarin met behulp van SQL verschillende bewerkingen op datasets kan worden gedaan. Door PostgreSQL te gebruiken kan de methode eenvoudig worden opgeslagen en worden herhaald met nieuwe versies van de databronnen.

5.1 Voorrangskruispunten

5.1.1 Dataselectie

Het verkeersbordenbestand, OSM en het HERE netwerk bevatten alledrie informatie waarmee de locatie van voorrangskruispunten en de voorrangregeling kan worden bepaald. Figuur 5.1 laat een gedeelte van Deventer zien waarin van alle drie de databronnen visueel is gemaakt welke informatie zij bevatten. Van het verkeersbordenbestand zijn de borden met RVV-code B06 (verleen voorrang) en B07 (stopbord) weergegeven. De in OSM gedigitaliseerde voorrangsborden zijn in het blauw aangeduid. De rode wegen zijn de wegen die in het HERE netwerk zijn aangemerkt als voorrangsweg.



Figuur 5.1 - Voorrangregeling verkeersbordenbestand, OSM en HERE netwerk, ingezoomd op een wijk

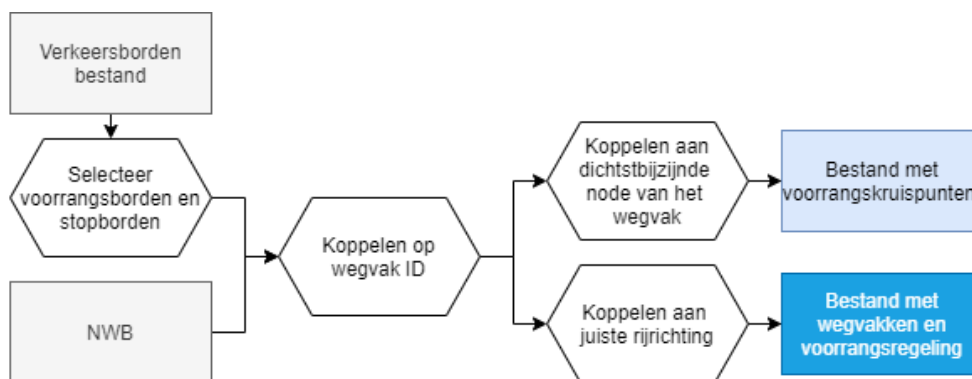
OSM bevat een klein aantal voorrangsborden. Waar een voorrangsbord is opgenomen in OSM, is deze ook opgenomen in het verkeersborden bestand. Met de voorrangswegen van het HERE netwerk is een groot deel van de voorrangskruispunten te identificeren. In Figuur 5.1 is echter te zien dat het verkeersborden bestand meer situaties aangeeft waar voorrang verleend moet worden. In de literatuur is de methode van (Krajzewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005) beschreven, waarbij voorrangskruispunten kunnen worden geïdentificeerd op plekken waar wegen met twee verschillende maximale snelheden elkaar kruisen. Er bestaan echter ook voorrangssituaties tussen wegen met dezelfde maximale snelheid. Daarom zouden bij het gebruik van de methode uit de literatuur niet alle kruispunten worden meegenomen.

Het verkeersborden bestand bevat meer voorrangssituaties dan het HERE netwerk en OSM. De methode uit de literatuur zou in dit geval ook niet alle voorrangskruispunten identificeren. Omdat het verkeersbordenbestand het meest compleet is, is ervoor gekozen om de voorrangssituatie te bepalen aan de hand van deze databron. In de volgende paragraaf wordt uitgelegd op welke manier de locatie van voorrangskruispunten met bijbehorende voorrangregeling is bepaald.

5.1.2 Koppelen

Een belangrijk kenmerk van een voorrangskruispunt is de aanwezigheid van een of meerdere voorrangsborden bij het kruispunt. De locatie van de voorrangsborden is opgenomen in het verkeersbordenbestand en de locatie van de kruispunten is opgenomen in het NWB. Door te bepalen bij welke nodes uit het NWB, voorrangsborden in de buurt liggen, kan worden bepaald welke kruispunten voorrangskruispunten zijn.

De uitgevers van het verkeersborden bestand hebben voor en 80% van de voorrangsborden een koppeling gemaakt met een wegvak van het NWB. Alle voorrangs- en stopborden zijn op basis van deze sleutel gekoppeld aan een wegvak. Elk wegvak is weer gekoppeld aan twee nodes. De node waar het voorrangsbord het dichtst bij staat heeft het type voorrangskruispunt toegewezen gekregen. De voorrangregeling is vervolgens aan de juiste rijrichting gekoppeld. Voor een tweerichtingsweg wordt het bord gekoppeld aan de inkomende richting. Indien het een éénrichtingsweg betreft, wordt het bord aan de eind node gekoppeld. In Figuur 5.2 is de methode schematisch weergegeven.



Figuur 5.2 - Methode om de voorrangskruispunten en bijbehorende voorrangregeling te herleiden

De koppeling tussen het verkeersbord en het wegvak uit het NWB is niet altijd correct. Met name op locaties waar veel verkeersborden bij in de buurt staan, komt het voor dat de koppeling niet correct is uitgevoerd. Dit is vaak het geval bij rotondes. Hier is dan een voorrangsbord gekoppeld aan een link die onderdeel is van een rotonde. Dit zou betekenen dat je voorrang moet verlenen op het moment dat je op de rotonde rijdt, wat in de praktijk niet voorkomt. Om deze reden zijn alle links die onderdeel van een rotonde zijn, in dit deel van de methode buiten beschouwing gelaten. De links die onderdeel van een rotonde zijn, zullen worden behandeld in paragraaf 5.3.

Het resultaat van de koppeling is een netwerk waarin de voorrangsregeling bij voorrangskruispunten is opgenomen. Figuur 5.3 laat het resultaat van de koppelingen zien. De gele punten geven de locaties van voorrangskruispunten weer en de blauwe wegen zijn wegen die voorrang moeten verlenen.



Figuur 5.3 - Resultaat van voorrangswegen en voorrangsregeling voor Deventer

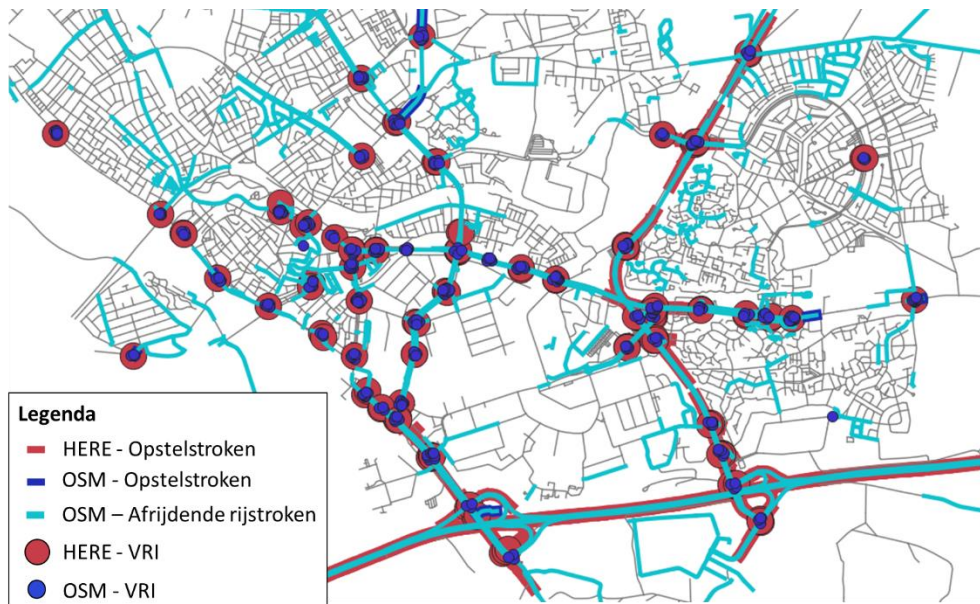
5.2 Kruispunten met VRI

5.2.1 Dataselectie

Het HERE netwerk en OSM bevatten informatie over de locatie van verkeersregelingsinstallaties. In Figuur 5.4 zijn de twee datasets weergegeven in één netwerk. Beiden datasets lijken vrijwel alle verkeersregelingsinstallaties te bevatten.

Omdat het HERE netwerk een hogere betrouwbaarheid heeft dan OSM, is gekozen om aan de hand van het HERE netwerk de locatie van VRIs te bepalen. Er is een aantal VRIs die niet in het HERE netwerk voorkomen maar wel in OSM. Dit zijn VRIs op bedrijven terreinen en VRIs die pas recent zijn geplaatst. De eerste categorie zijn kruispunten waar het doorgaande verkeer niet overheen komt. Deze kruispunten zullen geen invloed hebben op de reistijd van het overgrote merendeel van het verkeer. De tweede categorie zal worden aangevuld wanneer er een nieuwe versie van het HERE netwerk beschikbaar komt. OSM zal in dit geval dus ook niet als

aanvullende informatie worden gebruikt. Dit zou eventueel in een vervolgonderzoek wel gedaan kunnen worden.



Figuur 5.4 - Verkeersregelingsinstallaties en opstelstroken in het HERE netwerk en OSM

Bij een aantal kruispunten met VRI is in het HERE netwerk en OSM informatie beschikbaar over de configuratie van de opstelstroken. Omdat deze informatie in zowel OSM als in het HERE netwerk bij VRIs zijn opgeslagen, wordt de koppeling van dit karakteristiek in deze paragraaf beschreven. Bij OSM is de configuratie op een aantal willekeurige plekken ingevuld. In het HERE netwerk is de configuratie bij een aantal grote kruispunten bekend. De locaties waar de opstelstroken bekend zijn, zijn gemarkeerd in Figuur 5.4.

Op de wegvakken in het HERE netwerk waar de configuratie van de opstelstroken bekend is, is ook het aantal rijstroken bekend. Op de wegvakken die lichtblauw zijn gemarkeerd is in OSM het aantal rijstroken bekend. Bij wegen met tweerichtingsverkeer is alleen bekend hoeveel rijstroken er in totaal op het wegvak aanwezig zijn en dus niet in welke richting deze lopen. Met het aantal rijstroken op een wegvak kan het aantal afrijdende rijstroken worden bepaald.

Het HERE netwerk, OSM en het NWB hebben allemaal een andere geometrie. Het is een ingewikkelde en tijdsintensieve taak om de gegevens van het ene netwerk naar het andere netwerk over te zetten. Omwille van de tijd die beschikbaar is voor het onderzoek is het in dit geval wenselijker om de karakteristieken maar uit één databron te halen, zodat er ook maar één koppeling tussen verschillende netwerken hoeft te worden gemaakt. Daarnaast is het aantal afrijdende rijstroken op zichzelf is niet voldoende als input voor de kruispuntmodellering in OmniTRANS. Daarom is het in dit geval het belangrijkste om het aantal afrijdende rijstroken te bepalen op de locaties waar de configuratie van de opstelstroken bekend is. Omdat het HERE netwerk meer opstelstrookconfiguraties bevat dan OSM en omdat het HERE netwerk een hogere betrouwbaarheid heeft, zal deze databron worden gebruikt om de configuratie van de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken bij kruispunten met een VRI te bepalen. Het aantal rijstroken dat bekend is in OSM zou eventueel in

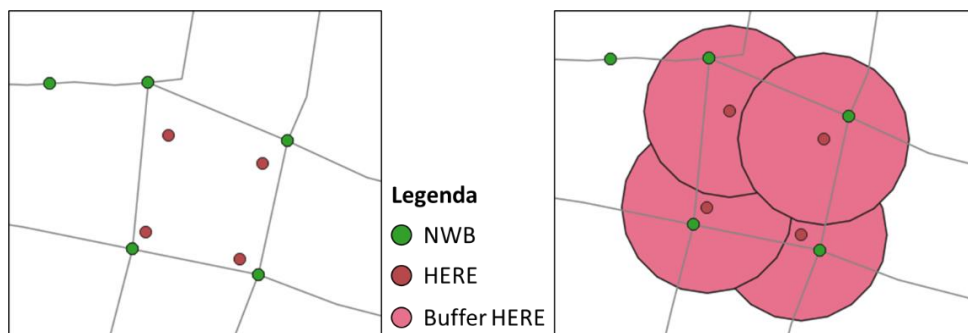
een vervolgonderzoek kunnen worden gebruikt in combinatie met de methode van (Krajzewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005). Hier zal op worden teruggekomen in hoofdstuk 9 Aanbevelingen.

5.2.2 Koppelen

Kruispunttype

In het hoofdstuk Literatuuronderzoek is een methode beschreven voor het identificeren van kruispunten met VRI aan de hand van foto's (Chen & Huang, 2016) (Chen, Shi, & Huang, 2015) (Munoz-Organero, Ruiz-Blancuez, & Sánchez-Fernández, 2018). In deze situatie was de locatie van VRIs nog niet bekend. Omdat in het HERE netwerk bekend is op welke locaties een VRI staat, hoeft er geen gebruik te worden gemaakt van de methode uit de literatuur. Door gebruik te maken van de aanvullende tabel 'Cdms' uit de NAVSTREETS dataset, waarin is opgeslagen aan welk uiteinde van een bepaald wegvak een VRI aanwezig is, is bepaald welke nodes uit het HERE netwerk van een VRI voorzien zijn.

Er bestaat nog geen directe koppeling tussen het HERE netwerk en het NWB. Zoals te zien is aan de linkerkant van Figuur 5.5, liggen de nodes van het NWB niet op dezelfde plek als de nodes van het HERE netwerk. De nodes liggen echter wel bij elkaar in de buurt. Daarom is er op basis van afstand een koppeling tussen de nodes van de verschillende netwerken gemaakt. Om de VRI nodes van het HERE netwerk is een buffer van 10 meter gemaakt zoals weergegeven aan de rechterkant van Figuur 5.5. Het kruispunttype 'kruispunt met VRI' wordt gekoppeld aan de dichtstbijzijnde node uit het NWB die binnen deze buffer valt. Het resultaat is een bestand waarin alle kruispunten met het type VRI zijn opgenomen.



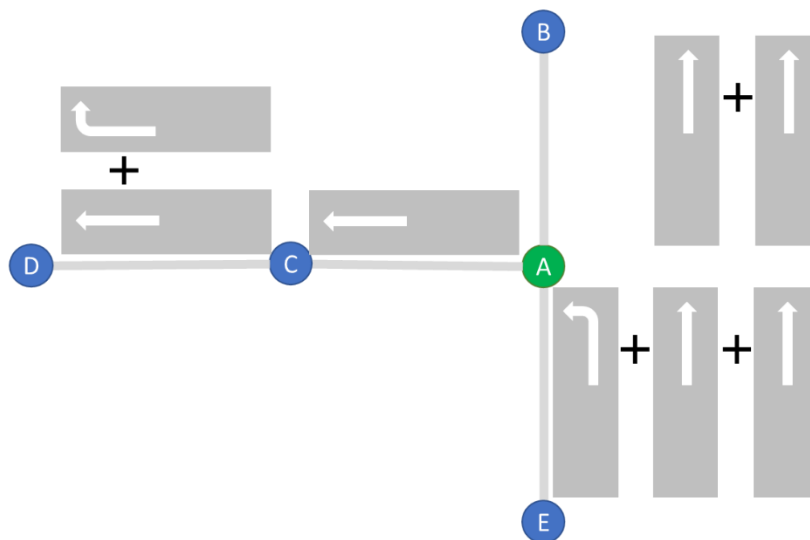
Figuur 5.5 - Verschillen tussen het NWB en het HERE netwerk

Het kruispunt in Figuur 5.5 is gedigitaliseerd als vier nodes. Dat betekent dat een auto die vanuit het zuiden komt en links af wil slaan, drie nodes passeert. OmniTRANS berekent per gepasseerde node een kruispuntvertraging. Voor deze auto zal dus drie keer een kruispuntvertraging worden berekend, wat bij elkaar opgeteld een langere tijd geeft dan de vertraging die daadwerkelijk optreedt. Omdat het niet wenselijk is om de geometrie van het NWB aan te passen, zullen de kruispunten op dezelfde manier gedigitaliseerd blijven en worden gekenmerkt als kruispunt met VRI. De gebruiker van het verkeersmodel zal de weerstand op de kruispunten moeten aanpassen zodat de kruispuntvertraging een realistische waarde krijgt.

Opstelstroken en afrijdende rijstroken

De configuratie van de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken is te herleiden uit het HERE netwerk. In de aanvullende tabel 'Lanes' van de NAVSTREETS dataset is de configuratie per rijstrook opgeslagen. Allereerst zullen de rijstroken worden geselecteerd die bedoeld zijn om een afslag te maken. Andere rijstroken uit deze tabel zijn niet relevant voor dit onderzoek. Vervolgens is de richtingscodering van het HERE netwerk omgezet in de richtingscodering die leesbaar is voor OmniTRANS. De volledige omzetting van de HERE codering naar de OmniTRANS codering is te vinden in bijlage 11.4. Het resultaat is een tabel waar per rijstrook de configuratie is vertaald naar de OmniTRANS codering. De volgende stap is om de configuratie per wegvak te bepalen. Dit is gedaan door de configuratie van de rijstroken die op hetzelfde wegvak liggen en dezelfde rijrichting hebben, aan elkaar te plakken. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 5.6.

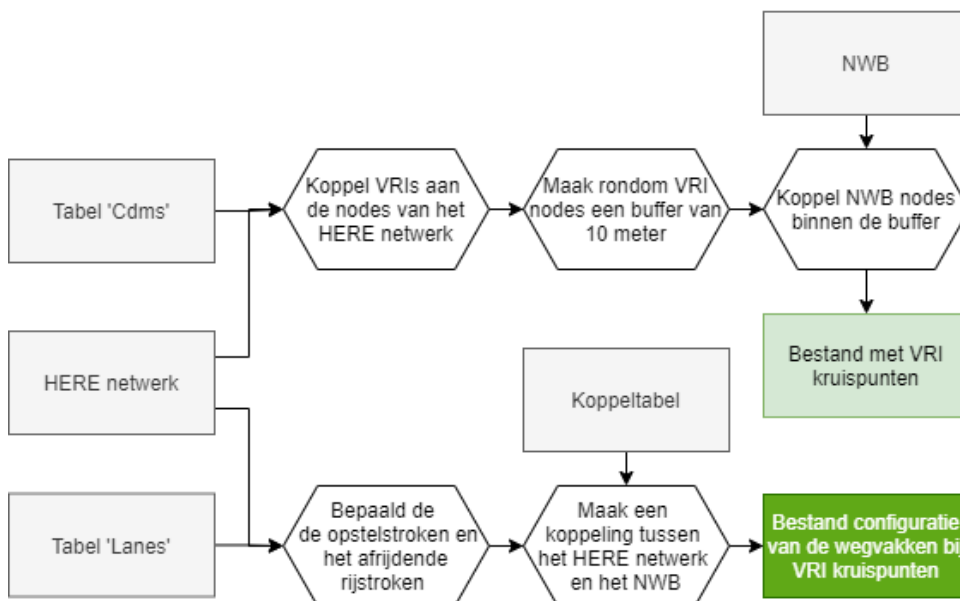
Het aantal afrijdende rijstroken kan worden bepaald aan de hand van het aantal rijstroken op een wegvak. In het HERE netwerk is dit gelijk aan het aantal opstelstroken op dezelfde link. Dit proces is schematisch weergegeven in Figuur 5.6. Het aantal afrijdende rijstroken dat vanaf kruispunt A naar het noorden gaat is 2. Het aantal afrijdende rijstroken vanaf kruispunt A naar het westen is 1. Het resultaat is een tabel waarin alle opstelstroken en afrijdende rijstroken zijn gekoppeld aan de wegen van het HERE netwerk.



Figuur 5.6 - Samenvoegen van de configuratie per rijstrook naar de configuratie per link

De volgende stap is om de configuratie uit het HERE netwerk te koppelen aan het NWB. Het NWB en het HERE netwerk zijn geometrisch gezien niet gelijk. Daarnaast komt het voor dat een wegvak in NWB gedigitaliseerd als één link waarop beiden rijrichtingen zijn toegestaan en dat hetzelfde wegvak in het HERE netwerk gedigitaliseerd als twee losse links. Dat.mobility heeft een tool waarmee een koppeltabel kan worden gemaakt voor de koppeling tussen het NWB en het HERE netwerk. Wegvakken die nagenoeg in dezelfde richting lopen en niet te ver uit elkaar liggen zijn aan elkaar gekoppeld. De tool genereert vervolgens een sleutel op basis van de rijrichting van de wegvakken zodat het juiste karakteristiek aan de juiste rijrichting wordt gekoppeld. Op basis van deze sleutel zijn de configuraties van de wegvakken in het HERE netwerk over gezet naar de wegvakken van het NWB.

Figuur 5.7 laat een overzicht van de methode zien om de kruispunten met VRI en bijbehorende configuratie van de opstelstroken af te leiden uit het HERE netwerk.



Figuur 5.7 - Methode voor het herleiden van kruispunten met VRI en bijbehorende configuratie van de wegvakken

Resultaat

Figuur 5.8 laat het resultaat van de koppeling van het HERE netwerk aan het NWB zien. De punten geven locaties waar een VRI aanwezig is weer en op de rood gemarkeerde wegen is de configuratie van de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken bekend.



Figuur 5.8 - Resultaat van de koppeling van de VRI locaties, configuratie van de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken voor Deventer

5.3 Rotondes

5.3.1 Dataselectie

Alle vier de databronnen bevatten informatie over de locaties van rotondes. In Figuur 5.9 zijn alle vier de datasets in één kaart weergegeven. De meeste rotondes komen in alle vier de datasets voor. Slechts vier rotondes komen alleen in één of twee datasets voor. Rotondes 1 en 4 zijn pas sinds kort een rotonde en zijn daarom waarschijnlijk nog niet opgenomen in de andere databestanden (Ubels, 2018) (Provincie Deventer, 2019). Rotonde nummer 2 staat op het terrein van een school en rotonde nummer 3 bevindt zich op een binnenplaats van een gebouw. Alle vier de datasets zouden in principe geschikt zijn om het kruispunttype rotonde te identificeren.



Figuur 5.9 - Rotondes in het HERE netwerk, NWB, Verkeersbordenbestand en OSM

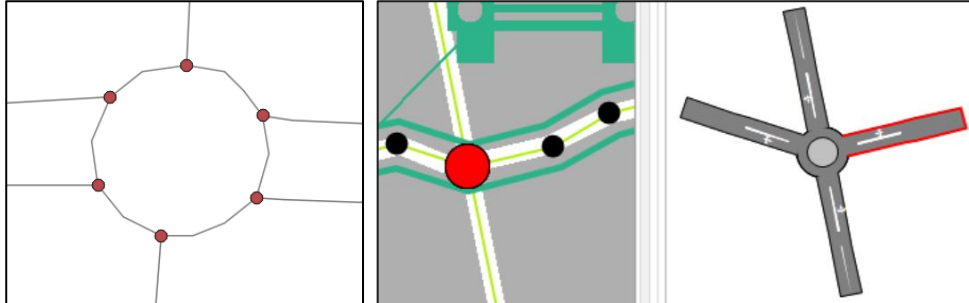
De configuraties zullen uiteindelijk moeten worden gekoppeld aan het NWB. Omdat het NWB even compleet is als de andere databronnen en een betrouwbare databron is, zullen rotondes bepaald worden aan de hand van het NWB. Daarnaast is het een stuk eenvoudiger om het NWB te gebruiken, omdat er geen nieuwe koppeling met een ander netwerk hoeft te worden gemaakt. Door het NWB te gebruiken zal er dus tijd worden bespaard en er is minder risico dat er gegevens in de koppeling verloren gaan.

5.3.2 Koppelen

In de literatuur is een methode beschreven waarbij rotondes kunnen worden geïdentificeerd aan de hand van de geometrie van het netwerk. Omdat de rotondes in het NWB al geïdentificeerd zijn, hoeft er in deze methode geen gebruik te worden gemaakt van de methode die in de literatuur is beschreven.

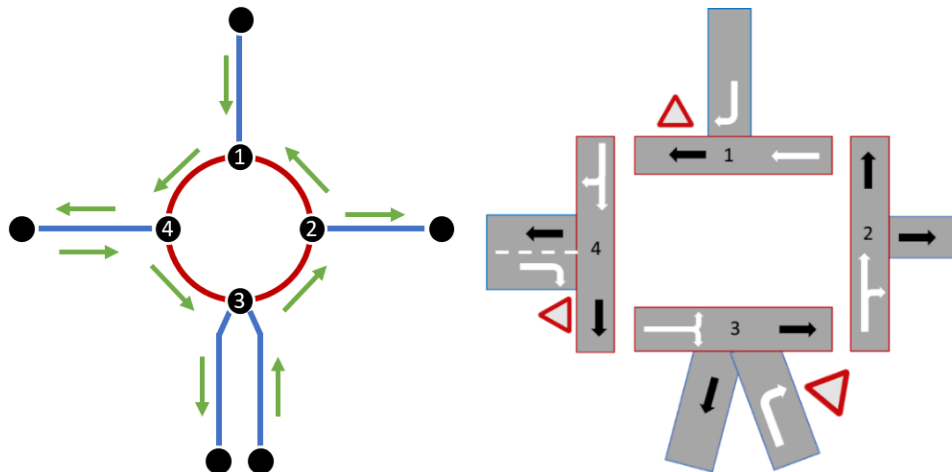
Zoals te zien is in Figuur 5.10 zijn rotondes in het NWB niet gedigitaliseerd als één node, maar als meerdere nodes binnen dezelfde rotonde. Op de plekken waar je de rotonde op of af kunt rijden bevindt zich een node. Het is een tijdrovende en ingewikkelde taak om alle rotondes te converteren naar één node. Daarnaast is het niet wenselijk om aanpassingen te doen aan de geometrie van het NWB. De knopen op de rotonde zullen daarom als losse kruispunten worden gezien. Per los kruispunt wordt dan een aparte kruispuntvertraging berekend. Wanneer de rotonde opgereden wordt, treedt er vertraging op omdat er voorrang moet worden verleend. Bij het afrijden van een rotonde treedt er geen vertraging op. OmniTRANS berekent

de kruispuntvertraging op dezelfde manier bij een kruispunt dat als rotonde is gekenmerkt, alleen dan is de vertraging aan één node gekoppeld. De som van de vertragingen van de losse nodes uit het NWB is dus ongeveer gelijk aan de vertraging die OmniTRANS zou berekenen als de rotonde uit één node bestaat.



Figuur 5.10 - Weergave van een rotonde in het NWB (links) en weergave van een rotonde in OmniTRANS (rechts)

In het NWB is opgeslagen welke wegvakken onderdeel zijn van een rotonde. De twee nodes die aan deze wegvakken zijn verbonden worden opgeslagen als kruispunten die onderdeel zijn van een rotonde. Omdat de voorrangsregeling op een rotonde altijd hetzelfde is, kunnen de configuratie van de opstelstroken, het aantal afrijdende rijstroken en de voorrangsregeling van rotondes met één rijbaan worden voorspeld. Figuur 5.11 laat een schematische weergave zien van de mogelijke configuraties van kruispunten die onderdeel zijn van een rotonde. De linker afbeelding laat zien hoe dit in het netwerk eruit ziet. De groene pijlen zijn een weergave van de toegestane rijrichting. De rechter afbeelding laat zien hoe de configuratie van de rijstroken (witte pijlen), het aantal afslaande rijstroken (zwarte pijlen) en de voorrangsregeling (voorrangsborden) er in de vier verschillende gevallen uit zou zien.

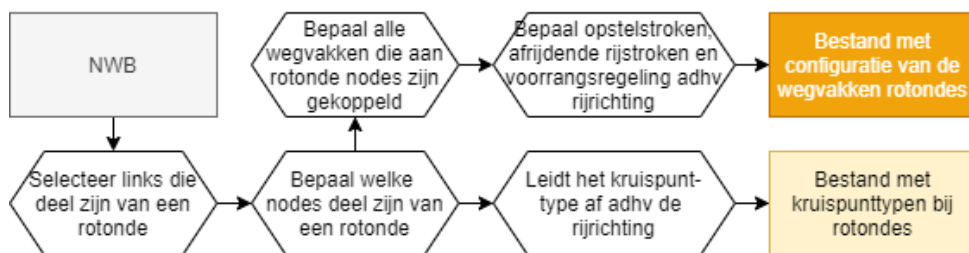


Figuur 5.11 - Schematische weergave van de mogelijke configuraties op een rotonde

De configuratie van kruispunt nummer 3 kan niet worden gelezen door OmniTRANS. Er mist op de tak vanuit het zuiden waarmee je het kruispunt op kan rijden een afslag naar links. Daarnaast zijn er te weinig voorrangsbornen voor een voorrangskruispunt met vier armen. Om deze reden zullen kruispunten die onderdeel zijn van een rotonde met 4 armen niet worden meegenomen in de koppeling. Dit is 3,17% van de kruispunten in Nederland die onderdeel zijn van een rotonde. Deze kruispunten

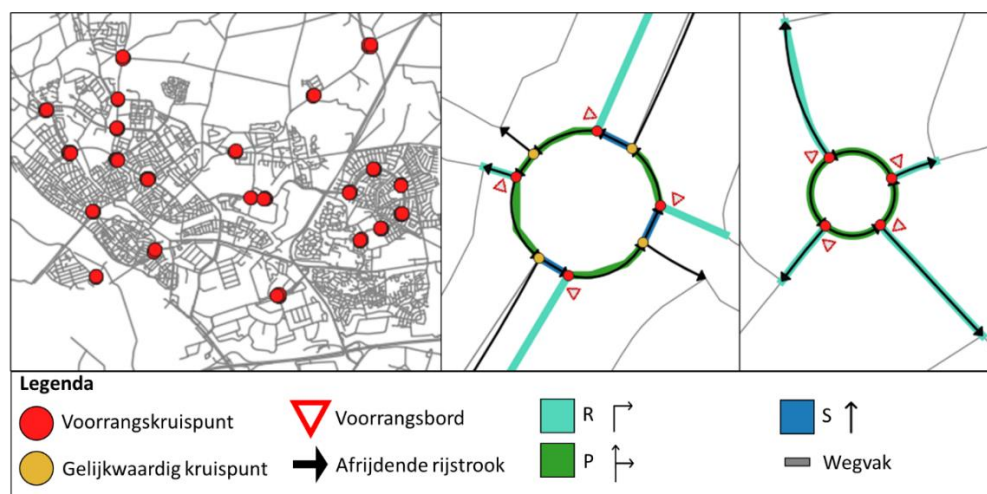
zullen bij het gebruik van het netwerk in een verkeersmodel handmatig moeten worden ingevoerd in OmniTRANS. In bijlage 11.4 staat beschreven hoe dit moet worden aangepakt. Verder valt het op dat kruispunt 2 op geen enkele link een voorrangsbord heeft. Dit betekent dat kruispunten van dezelfde vorm als kruispunt 2 het kruispunttype gelijkwaardig kruispunt krijgen. Kruispunt 1 en 4 zijn voorzien van het type voorrangskruispunt.

De configuratie van de wegvakken die verbonden zijn aan kruispunten 1, 2 en 4 kan worden bepaald aan de hand van een aantal kenmerken van de wegvakken. Ten eerste is het van belang om te weten of het wegvak onderdeel is van de rotonde, of dat het wegvak aan de rotonde grenst. Daarnaast is het van belang om te weten of het kruispunt waar we naar kijken de begin node of de eind node is van het desbetreffende wegvak is. Als laatste moet bekend zijn wat de rijrichting van het wegvak is. In bijlage 11.4 is de technische beschrijving van deze bepaling te vinden. Alleen nodes met 3 armen worden van een configuratie voorzien. Dit betekent dat 96% van de nodes die onderdeel van een rotonde zijn zullen worden geïdentificeerd. 4% van de nodes uit het NWB die onderdeel zijn van een rotonde heeft meer of minder dan 3 armen. De methode is schematisch weergegeven in Figuur 5.12



Figuur 5.12 - Methode voor het bepalen van kruispuntconfiguraties voor kruispunten die onderdeel zijn van een rotonde

Het resultaat van de koppeling en het voorspellen van de configuratie van de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken is weergegeven in Figuur 5.13. De linker afbeelding geeft de kruispunten weer die bij een rotonde horen. De twee rechter afbeeldingen zijn voorbeelden van de configuratie wanneer er op de rotonde wordt ingezoomd.

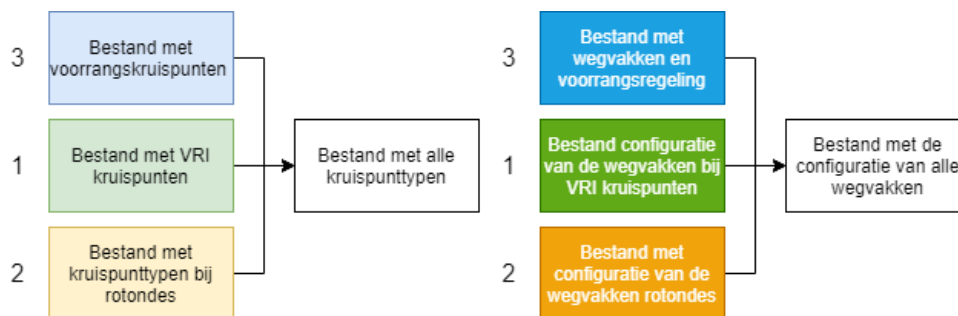


Figuur 5.13 - Resultaat koppeling rotondes voor Deventer

5.4 Koppelingen samenvoegen

In de vorige paragrafen is beschreven hoe de kruispuntkarakteristieken aan de node-nummers of wegvaknummers van het NWB zijn gekoppeld. Hierbij zijn zes losse bestanden gemaakt. De laatste stap is om de bestanden samen te voegen zodat er één bestand met alle nodes en één bestand met alle wegvakken ontstaat.

Er zijn kruispunten die door de methode meerdere typen kruispunten toegedeeld hebben gekregen. Dit komt omdat er ook voorrangsborden rondom rotondes en kruispunten met VRI zijn. Omdat elk kruispunt maar één type kruispunt kan hebben zijn de dubbele configuraties verwijderd. Hierbij wordt het type VRI als belangrijkste gezien, daarna de gelijkwaardige en voorrangskruispunten die onderdeel van een rotonde zijn en als laatste de voorrangskruispunten die aan de hand van de verkeersborden zijn geïdentificeerd. De wegvakken die dubbel voorkomen in het bestand zijn via dezelfde priorisering gefilterd. Het resultaat is een bestand met alle wegvakken en een bestand met alle kruispunten in Deventer. De methode voor het koppelen van de bestanden is weergegeven in Figuur 5.14.



Figuur 5.14 - Methode voor het koppelen van de resultaten uit de deelmethoden

6. Validatie

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag: *Wat is de kwaliteit van de automatisch toegewezen kruispuntconfiguraties ten opzichte van een handmatige toewijzing?* Eerst zijn de eindbestanden met nodes en links gecontroleerd door een expert. Daarna is van elk toegewezen type kruispunt een twintigtal willekeurig geselecteerde kruispunten gecontroleerd. Hier is gekeken of de toegewezen kruispuntconfiguratie klopt met de werkelijkheid. Wanneer dit niet het geval is, is achterhaald wat de achterliggende reden voor de fout is. Bij fouten waar het mogelijk is, is voor heel Deventer berekend hoe vaak de fout voorkomt. Als laatste is van 20 kruispunten die geen kruispunttype hebben toegedeeld gekregen, gecontroleerd welk type kruispunt dit in werkelijkheid is. Van deze kruispunten is achterhaald wat de reden is dat ze geen type hebben toegewezen gekregen. De legenda in Figuur 6.1 is van toepassing op alle paragrafen van dit hoofdstuk. De details van alle kruispunten die zijn gecontroleerd zijn opgenomen in bijlage 11.6.

Legenda		
 Het geselecteerde kruispunt	 Voorrangskruispunt	 Node uit het HERE netwerk
 Kruispunt zonder type	 Kruispunt met VRI	 Voorrangsbord

Figuur 6.1 - Legenda voor de kaarten in hoofdstuk 6

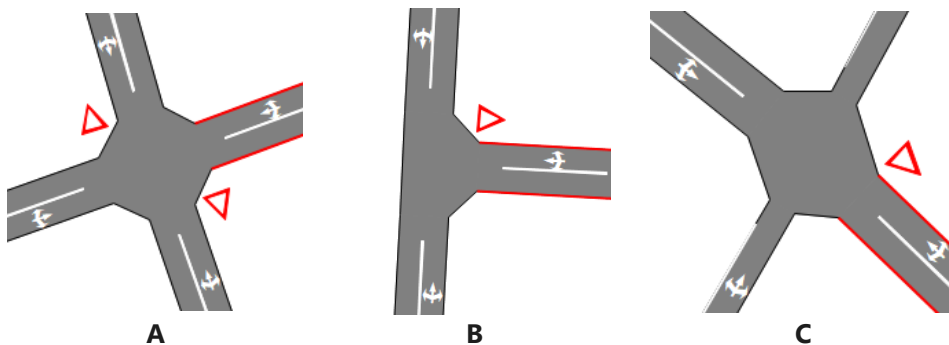
6.1 Beoordeling door een expert

In de eerste stap van de validatie is de dataset beoordeeld door een collega van de afdeling Verkeersmanagement en -prognoses. De bestanden met nodes en links die zijn gegenereerd met de methode uit hoofdstuk 5 zijn ingeladen in de modelleringsssoftware OmniTRANS. OmniTRANS gaf bij het toedelen van het verkeer meer dan 5000 foutmeldingen. Uit een analyse van deze foutmeldingen bleek dat er een aantal fouten in de methode zat en dat er nog mogelijkheden zijn om de methode aan te vullen. Deze fouten en aanvulmogelijkheden zullen in deze paragraaf worden besproken.

Vóór de controle werden er kruispunttypes toegewezen aan kruispunten met 1, 2 of meer dan 4 armen. Omdat OmniTRANS alleen kruispunten met 3 of 4 armen kan lezen, gaven deze kruispunten een foutmelding. Het kruispunttype is daarom verwijderd bij kruispunten die een ander aantal dan 3 of 4 armen hebben. Kruispunten met meer dan 3 of 4 armen zullen handmatig moeten worden ingevoerd en aangepast door de gebruiker van een verkeersmodel. Daarnaast ging er bij het samenvoegen van de bestanden met de links iets mis. Doordat er in het echt voorrangsborden bij kruispunten met een VRI staan, zijn deze borden gekoppeld aan de wegvakken om de voorrangsregeling bij voorrangskruispunten te bepalen. Omdat de bestanden van alle wegvakken zijn samengevoegd, kwam het in het eindbestand voor dat er bij sommige kruispunten met VRI ook een voorrangsbord aanwezig is. De methode om de links samen te voegen is daarom aangepast en alle

voorrangsborden bij kruispunten met een VRI zijn verwijderd. Daarnaast kwam het ook voor dat er voorrangskruispunten waren geïdentificeerd maar dat daar geen voorrangsbord bij aanwezig was. Dit kwam door een fout in het samenvoegen van de drie bestanden. Na het doorvoeren van de verbeteringen aan de methode is het aantal foutmeldingen teruggebracht tot 619.

Deze foutmeldingen worden veroorzaakt doordat op een groot deel van de wegvakken de configuratie van de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken niet bekend is. OmniTRANS vult hier automatisch op alle wegvakken die aan een gedefinieerd kruispunt liggen een opstelstrook in waar je naar links, rechtdoor en rechtsaf mag. Figuur 6.2 laat drie voorbeelden zien van kruispunten waar OmniTRANS automatisch de configuratie van de opstelstroken en de afrijdende rijstroken heeft gegenereerd. In situatie A waar het kruispunt een viertaks kruising is waar op alle armen beide rijrichtingen zijn toegestaan, zal de configuratie geen foutmelding opleveren. Bij een kruispunt met 3 armen, zoals in situatie B, zijn er op elke arm meer afslagmogelijkheden door OmniTRANS gegenereerd dan er in werkelijkheid zijn. Hier geeft OmniTRANS een foutmelding. In situatie C, waarbij een viertaks kruispunt niet op elke arm een afrijdende rijstrook heeft, zullen er ook meer afslagmogelijkheden gegenereerd zijn door OmniTRANS zijn dan er in werkelijkheid zijn. Ook hier geeft OmniTRANS een foutmelding. In hoofdstuk 9 zal een aanbeveling worden gedaan waarmee de methode kan worden aangevuld. Met deze aanvulling zullen foutmeldingen van deze soort niet meer optreden.



Figuur 6.2 - Voorbeelden van door OmniTRANS gegenereerde configuratie van opstelstroken afrijdende rijstroken

Daarnaast kwam er een aantal foutmeldingen voor bij voorrangskruispunten waar te veel of te weinig wegen voorrang moesten verlenen. Op dit probleem zal in de volgende paragraaf worden teruggekomen.

6.2 Voorrangskruispunten

Bij de controle van de voorrangskruispunten is van twintig willekeurige kruispunten de configuratie uit het eindbestand vergeleken met de configuratie op Google Maps. Hierbij zijn voorrangskruispunten die onderdeel van een rotonde zijn buiten beschouwing gelaten. Negentien van de twintig kruispunten die door de methode zijn geïdentificeerd als voorrangskruispunt zijn in werkelijkheid ook voorrangskruispunten. Er is één kruispunt gevonden dat in werkelijkheid een gelijkwaardig kruispunt is. Twee wegen die vlak naast elkaar en parallel aan elkaar liggen zijn verbonden door een korte link waar een voorrangsbord bij aanwezig is.

Dit voorrangsbord is door de methode om het bord aan de dichtstbijzijnde node te koppelen, aan de verkeerde node gekoppeld.



Figuur 6.3 - Voorrangskruispunt

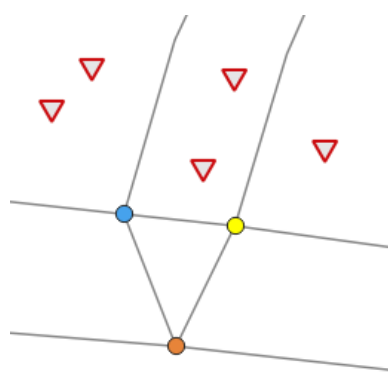
In 25% gevallen is er een fout gevonden in de voorrangsregeling. In één geval is het voorrangsbord gekoppeld aan een wegvak dat geen voorrang hoeft te verlenen. Hier is de koppeling tussen het verkeersbord en het NWB niet correct.

Bij een ander kruispunt was het kruispunt wel juist geïdentificeerd als voorrangskruispunt, maar door het verkeerde voorrangsbord. In de onderstaande afbeelding is aan de rechterkant een verkeersbord te zien dat bij een parallelweg hoort. Dit bord is in de koppeling tussen het NWB en de verkeersborden aan de hoofdweg gekoppeld in plaats van aan de parallelweg. De hoofdweg zou volgens de methode dan ook voorrang moeten verlenen aan de zijweg van het desbetreffende kruispunt. Aan de linkerkant van de afbeelding is het kruispunt te zien dat als voorrangskruispunt is geïdentificeerd. Er is wel een voorrangsbord aanwezig op de inkomende link die voorrang moet verlenen, maar er bestaat geen koppeling tussen dit bord en het NWB waardoor het bord niet meegenomen is in de methode.



Figuur 6.4 - Voorrangskruispunt

Daarnaast kwam het voor dat de geometrie van het NWB dusdanig afweek van de geometrie van Google Maps dat het niet te controleren was of het kruispunt de goede karakteristieken had toegedeeld gekregen. Daarom is in plaats van dit kruispunt een ander kruispunt gecontroleerd.



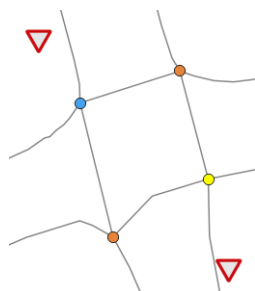
NWB



Google Maps

Figuur 6.5 - Voorrangskruispunt

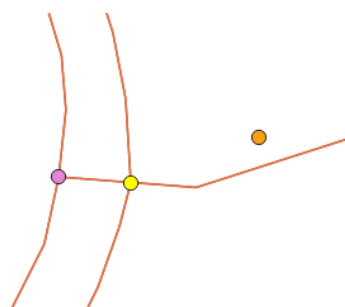
Verder ging het op drie plekken fout waar te veel of te weinig voorrangsborden aan een kruispunt zijn gekoppeld. In deze situaties is één weg in het NWB als twee losse links is gedigitaliseerd. Wat in feite één kruispunt is, zal dan uit twee of vier nodes bestaan. Aan de inkomende rijrichting is dan wel een voorrangsbord gekoppeld maar omdat er op de middenberm van het kruispunt geen bord meer staat, markeert de methode de tweede node die je tegenkomt als je het kruispunt oversteekt niet als voorrangskruispunt, terwijl je daar wel voorrang moet verlenen. OmniTRANS zou dan te weinig vertraging berekenen. Op dit soort plekken is de weg voorzien van haaiantanden.



NWB



Google Maps (rechter tak vanuit het zuiden)



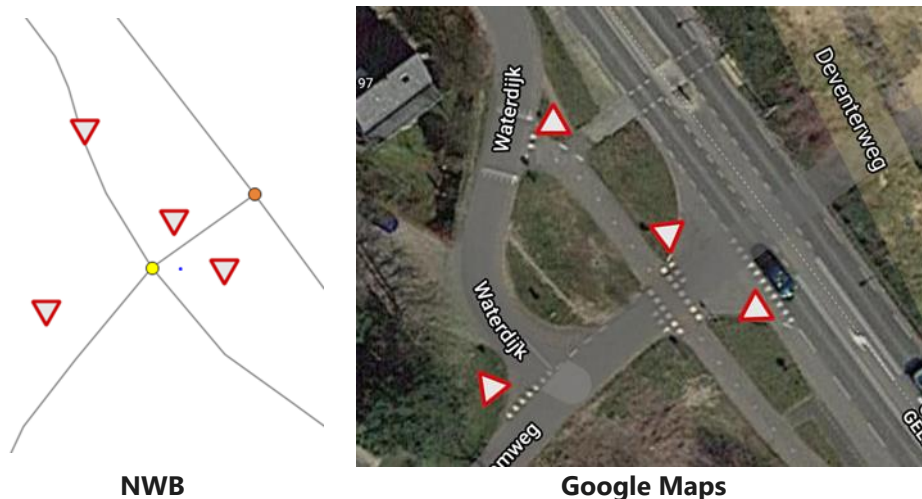
NWB



Google Maps

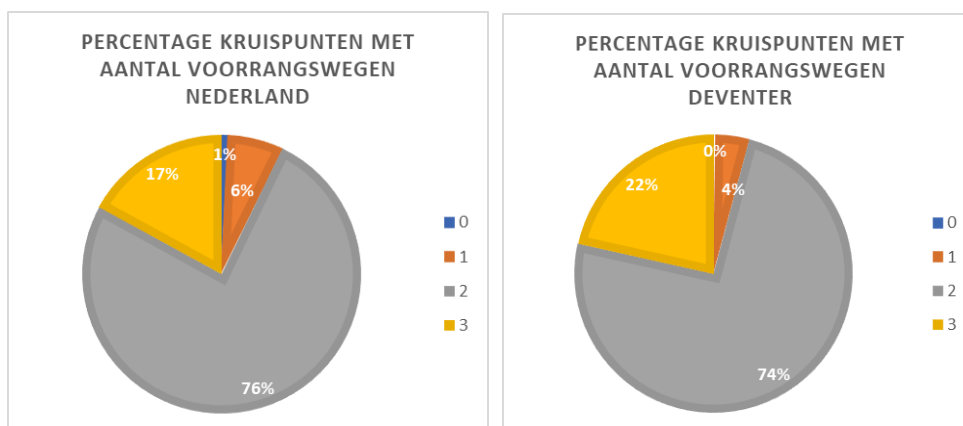
Figuur 6.6 – Twee voorrangskruispunten waarbij de voorrangsregeling niet van elk wegvak goed is bepaald door de aanwezigheid van een middenberm

Verder kwam het één keer voor dat een bord dat eigenlijk bij een fietspad hoort, gekoppeld is aan een wegvak van het NWB. Hierdoor moesten volgens de methode drie van de vier armen van een kruispunt voorrang verlenen. Ook in deze situatie wijkt de geometrie van het NWB erg af van de geometrie in Google Maps waardoor lastig te controleren is welk kruispunt in Google maps overeenkomt met het kruispunt in het NWB.



Figuur 6.7 – Voorrangskruispunt

Van de fout waarbij er te veel of te weinig voorrangsborden zijn gekoppeld aan een kruispunt, is met PostgreSQL te berekenen bij hoeveel procent van de voorrangskruispunten dit voorkomt. Bij een voorrangskruispunt is het vereist dat er twee voorrangswegen aanwezig zijn. Bij een kruispunt met drie armen is er één weg die moet voorrang verlenen en bij een voorrangskruispunt met vier armen moeten twee wegen voorrang verlenen. Als eerst is er een selectie gemaakt van alle voorrangskruispunten in Nederland en Deventer met drie of vier armen. Vervolgens is voor deze kruispunten berekend hoeveel voorrangswegen aan het kruispunt zijn gekoppeld. Dit is bepaald door van alle kruispunten te bepalen hoeveel armen deze heeft. Vervolgens is per kruispunt berekend hoeveel borden er aanwezig zijn. Het aantal borden is afgetrokken van het aantal armen en het resultaat is het aantal voorrangswegen.



Figuur 6.8 - Aantal voorrangswegen per voorrangskruispunt met 3 of 4 armen

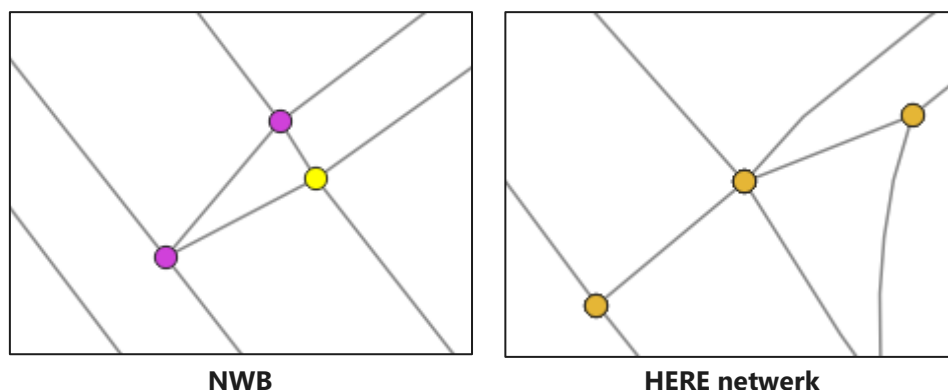
Figuur 6.8 laat voor Nederland en Deventer zien in hoeveel procent van de gevallen een kruispunt een bepaald aantal voorrangswegen heeft. Hier is uit op te maken dat in ongeveer 75% van de gevallen de configuratie van een voorrangskruispunt door OmniTRANS gelezen kan worden. In ongeveer 25% van de gevallen komt het voor dat er te weinig of te veel borden aan het kruispunt zijn gekoppeld.

6.3 Kruispunten met VRI

Twintig van de twintig kruispunten die door de methode geïdentificeerd zijn als kruispunt met VRI, zijn in werkelijkheid ook een kruispunt met VRI. Bij één kruispunt kwam de configuratie van de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken overeen met de werkelijkheid. Dit komt overeen met 5% van de kruispunten.

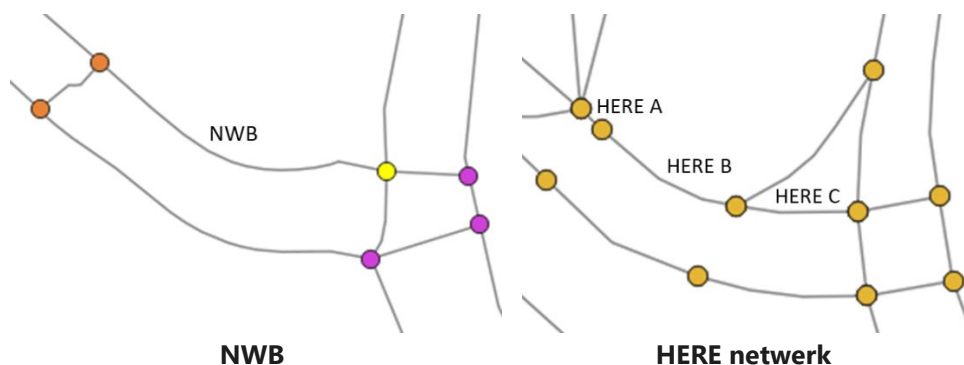
Van 13 kruispunten is in het HERE netwerk van geen enkel wegvak de configuratie van de opstelstroken of het aantal afrijdende rijstroken bekend. Daardoor was het voor deze kruispunten in het NWB niet mogelijk om de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken vast te leggen.

Van de wegvakken waarvan de configuratie van de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken wel bekend is in het HERE netwerk, ging de koppeling met het NWB in een aantal gevallen niet goed. Wanneer het NWB en het HERE netwerk geometrisch gezien erg van elkaar afwijken zoals in Figuur 6.9, worden ze door de tool die de koppeltabel maakt niet als het zelfde wegvak gezien. Er wordt dan geen sleutel gegenereerd waarmee de wegvakken aan elkaar verbonden kunnen worden.



Figuur 6.9 – Kruispunt met VRI

In de gevallen dat er wel een koppeling tussen het HERE netwerk en het NWB wordt gemaakt, komt het voor dat de configuratie van het kruispunt niet overeenkomt met de configuratie op Google Maps. Omdat een aantal wegen in het HERE netwerk uit meerdere links bestaat, waar deze in het NWB uit één link bestaan, komt het voor dat de configuratie van de verkeerde link uit het HERE netwerk, wordt overgezet naar het NWB. In het onderstaande voorbeeld staat het juiste aantal afrijdende rijstroken opgeslagen in link HERE C terwijl de link uit het NWB door de tool wordt gekoppeld aan HERE B, waar weer een ander aantal rijstroken in is opgeslagen.



Figuur 6.10 – Kruispunt met VRI

Daarnaast zijn er situaties waarin het aantal afrijdende rijstroken niet correct is bepaald. Dit komt door de manier waarop het aantal afrijdende rijstroken wordt bepaald. Hierbij is de busbaan ook meegenomen als afrijdende rijstrook, terwijl deze in werkelijkheid niet meetelt.

Soms komt het ook voor dat het aantal afrijdende rijstroken op het kruispunt niet correct is opgenomen in het HERE netwerk. Dit kan komen doordat een kruispunt verbouwd is. Daarnaast komt het op een aantal wegvakken voor dat de configuratie van de opstelstroken in het HERE netwerk slechts deels bekend is. In dit geval is het aantal opstelstroken wel bekend, maar de configuratie van de opstelstroken is onvolledig. Dit komt niet door de koppelmethode maar door de kwaliteit van de brondata.

Met behulp van PostgreSQL kan iets worden gezegd over de totale compleetheid van de koppeling met het NWB. In het netwerk van Deventer zijn 62 kruispunten met VRI die 3 of 4 armen hebben. Dit is 72% van het totaal aantal kruispunten met VRI. Van deze 62 kruispunten is berekend van welke kruispunten alle opstelstroken en alle afrijdende rijstroken bekend zijn. Dit is gedaan door te controleren of de configuratie van de opstelstroken bekend is op alle armen die naar het kruispunt toe gaan en of het aantal afrijdende rijstroken bekend is op alle armen die van het kruispunt weg gaan. Er zijn 17 kruispunten waar informatie over de wegvakken aan verbonden is. Bij 6 kruispunten is zowel de configuratie van de opstelstroken als het aantal afrijdende rijstroken bekend.

6.4 Rotondes

De controle van de rotondes is uitgevoerd door 20 willekeurige gelijkwaardige kruispunten te controleren. Wanneer het gelijkwaardige kruispunt ook in het echt onderdeel van een rotonde is, zijn ook de andere nodes van de rotonde gecontroleerd om te kijken of het type kruispunt klopt.

De 20 gecontroleerde kruispunten zijn in het echt ook allemaal onderdeel van een rotonde en de andere nodes die onderdeel van de rotonde hebben het juiste kruispunttype toegewezen gekregen. In 90% van de gevallen waren de configuratie van de opstelstroken, het aantal afrijdende rijstroken en de voorrangsregeling van de armen van het kruispunt correct bepaald.

In twee gevallen was het gelijkwaardige kruispunt onderdeel van een turborotonde. Hier klopte de configuratie van de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken

niet. In het NWB zijn ook de turborotondes van Nederland opgenomen, maar deze turborotonde is in het NWB gecodeerd als normale rotonde.

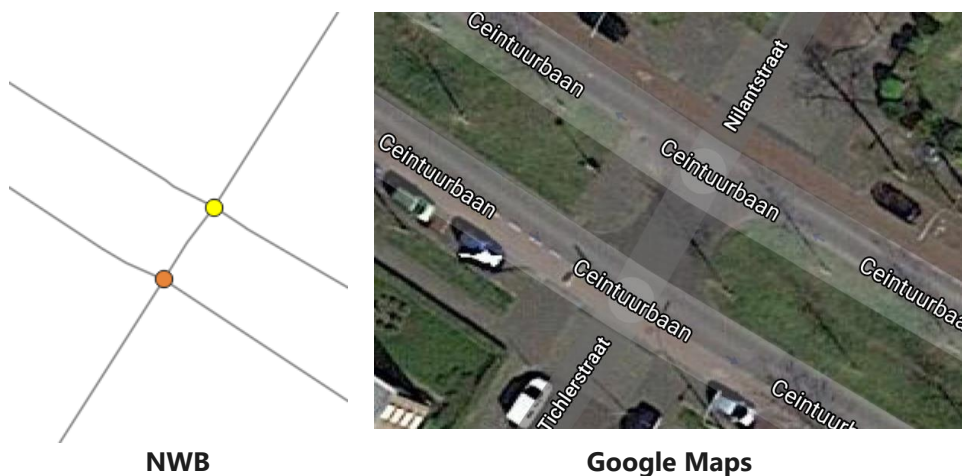


Figuur 6.11 – Turborotonde Zweedsestraat Deventer

6.5 Kruispunten zonder type

In de laatste stap van de validatie, zijn 20 willekeurige kruispunten die geen kruispunttype hebben toegedeeld gekregen gecontroleerd. In 19 van de 20 gevallen betrof het een gelijkwaardig kruispunt met voor elke rijrichting één rijstrook op de gekoppelde wegvakken. In de methode worden, op kruispunten die onderdeel van een rotonde zijn na, geen gelijkwaardige kruispunten geïdentificeerd. Het is dus logisch dat deze kruispunten zonder type in werkelijkheid het type gelijkwaardig kruispunt hebben.

Eén kruispunt is een voorrangskruispunt. Dit kruispunt is niet geïdentificeerd door de methode omdat er geen voorrangsbord bij een van de wegen staat. De wegen die aan het kruispunt verbonden zijn hebben wel een andere maximale snelheid. De wegen uit het noorden en uit het zuiden zijn namelijk beiden voorzien van een einde 30 km/u zone.



Figuur 6.12 – Voorrangskruispunten bij twee wegen met een andere maximale snelheid

7. Discussie

In dit hoofdstuk worden de voor- en nadelen van de validatiemethode beschreven. In het hoofdstuk aanbevelingen zal worden ingegaan op mogelijke verbeteringen voor de validatiemethode.

Een nadeel van de validatiemethode is dat er per kruispunttype maar 20 kruispunten zijn gecontroleerd. Dit komt doordat het handmatig valideren van de kruispunten veel tijd kost waardoor er niet genoeg tijd was om meer kruispunten te controleren. Er zouden meer kruispunten kunnen worden gecontroleerd als de validatie automatisch zou gaan. Dit zou bijvoorbeeld kunnen worden gedaan voor een stad waarvan het NWB al handmatig is voorzien van kruispuntconfiguraties. Hier kan een op een worden gecontroleerd welke gegevens in beide netwerken zitten en welke niet. Zo zouden er meer kruispunten in een kortere tijd kunnen worden gecontroleerd en kan er met meer zekerheid iets gezegd worden over de validiteit van de methode.

Een voordeel van handmatig valideren ten opzichte van automatisch valideren is dat in een oogopslag te zien is of de configuratie klopt of niet. Wanneer het niet klopt is daardoor ook vrij makkelijk te achterhalen waarom de configuratie niet klopt. Wanneer je dit automatisch zou doen zou je alsnog handmatig moeten controleren waarom de configuratie van het kruispunt onjuist is.

Een ander nadeel van de gebruikte validatie methode is dat de kruispunten gecontroleerd zijn met Google Maps. De beelden in Google Maps zijn in sommige gevallen ook niet overeenkomstig met de werkelijkheid omdat de foto's momentopnames zijn. Ondertussen kan er alweer iets veranderd zijn aan het kruispunt. Het zou betrouwbaarder zijn om naar Deventer te reizen en de kruispunten te valideren door ze in het echt te bekijken. Deze methode is natuurlijk een stuk tijdrovender dan de kruispunten controleren met Google Maps. Een voordeel van het valideren met Google Maps is dus dat het een relatief snelle manier is om handmatig te valideren.

Een goed punt van de uitgevoerde validatie is dat resultaat gecontroleerd is door een expert. Door deze controle konden er op het laatste moment nog een hoop fouten uit de methode worden gehaald, die het resultaat een stuk meer valide hebben gemaakt.

Daarnaast zegt de validatie nog niet zoveel over de tijd die deze methode kan besparen doordat een deel van de kruispunten niet meer handmatig hoeft te worden ingevuld. Er zou eerst met de dataset gewerkt moeten worden voor er kan worden geconstateerd hoeveel kruispunten nog handmatig moeten worden voorzien van een configuratie. Daar zal dan weer uit blijken hoeveel extra tijd er nog nodig is.

8. Conclusie

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de onderzoeksvraag *‘Hoe kunnen kruispuntconfiguraties automatisch worden afgeleid uit databronnen van derden?’* Er is onderzoek gedaan naar de inhoud van verschillende databronnen en een methode om uit deze databronnen bepaalde kruispuntkarakteristieken af te leiden.

Uit literatuuronderzoek is gebleken dat het kruispunttype, de configuratie van de opstelstroken, het aantal afrijdende rijstroken, de voorrangregeling en de signaalcyclus vereiste kruispuntkarakteristieken zijn bij het berekenen van de kruispuntvertraging in OmniTRANS.

De kruispunttypes ‘voorrangskruispunt’, ‘kruispunt met VRI’ en ‘rotonde’ zijn allemaal te herleiden uit één of meerdere databronnen. Voorrangskruispunten kunnen het best worden geïdentificeerd aan de hand van het verkeersbordenbestand van Rijkswaterstaat. Dit bestand is het meest compleet en betrouwbaar wat betreft de voorrangssituaties. Het HERE netwerk heeft de hoogste compleetheid en betrouwbaarheid voor kruispunten met een verkeersregelingsinstallatie en kan dus het beste worden gebruikt voor het identificeren van dit type kruispunt. De rotondes zijn al opgenomen in het NWB. Omdat het NWB een hoge compleetheid en betrouwbaarheid heeft, kunnen rotondes het beste worden afgeleid uit het NWB. De signaalcyclus is niet te herleiden uit de beschikbare databronnen.

Het identificeren van het type kruispunt gaat in 95% tot 100% van de gevallen goed. Er kan worden geconcludeerd dat de methode een hoge nauwkeurigheid heeft in het bepalen van de kruispunttypen. Het identificeren van de karakteristieken op de wegvakken van rotondes en voorrangskruispunten gaat in 75% tot 90% van de gevallen goed. Ook bij deze karakteristieken heeft de methode een hoge nauwkeurigheid. De methode heeft een lage nauwkeurigheid bij het bepalen van de configuratie van de wegvakken bij kruispunten met een VRI.

Daarnaast kan worden geconcludeerd dat de methode de karakteristieken in een leesbare vorm voor OmniTRANS opslaat. Het toepassen van de methode zorgt ervoor dat een stuk minder kruispuntkarakteristieken met de hand hoeven worden ingevuld. Het bestand is nog niet in een vorm dat het geschikt is om direct te gebruiken voor de verkeersmodellering. Een aantal eigenschappen zal nog met de hand moeten worden aangevuld. In hoofdstuk 9 zal een aanbeveling worden gedaan waarmee het bestand een stuk completer en meer geschikt voor de kruispuntmodellering kan worden gemaakt.

9. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden aanbevelingen gegeven om de methode om automatisch kruispuntconfiguraties te identificeren te verbeteren of aan te vullen. Daarnaast zal aan het eind een aanbeveling worden gedaan voor vervolgonderzoek.

Methode identificatie voorrangskruispunten

In de methode die in dit onderzoek is gebruikt, zijn voorrangskruispunten geïdentificeerd door te bepalen welke node het dichtst bij het voorrangsbord ligt. In de validatie kwam naar voren dat dit niet goed gaat wanneer een link kort is. Hierdoor kan het voorkomen dat het bord wel dichtbij de node staat waar hij bij hoort, maar dichterbij de node waar hij niet bij hoort, met als gevolg dat het bord aan de verkeerde node wordt gekoppeld. Het verschil in afstand tussen het bord en de twee nodes is in 3,93% van de verkeersborden minder dan 3 meter.

Er zijn twee andere eigenschappen van de verkeersborden waarmee een betere bepaling kan worden gedaan. De eerste is de locatie van het bord ten opzichte van de weg. Een verkeersbord kan op verschillende plekken worden geplaatst. Dit is met name aan de rechterkant, gezien vanuit de rijrichting waar het bord voor geldt of boven de weg (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, sd). In het verkeersbordenbestand is van een aantal borden bekend aan welke kant ten opzichte van de administratieve richting van het wegvak het bord staat. Aan de hand van deze waarde kan het bord aan de goede rijrichting worden gekoppeld, ook als de link kort is.

Wanneer er vanuit het oogpunt van waarneembaarheid behoefte aan is, komt het ook voor dat ter hoogte van rechts geplaatste borden ook een bord aan de linkerzijde van de weg staat. Hiervan zijn twee voorbeelden weergegeven in Figuur 9.1. Met deze uitzondering zal ook rekening moeten worden gehouden in de koppeling.



Figuur 9.1 - Voorbeelden waar zowel rechts als links ten opzichte van de rijrichting een verkeersbord staat

De tweede eigenschap van de locatie van de borden is dat ze haaks ten opzichte van de wegas worden geplaatst (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, sd). Van de wegvakken waarvan niet bekend is of ze aan de linker of rechterkant ten opzichte van de administratieve richting van de weg liggen, is in het verkeersbordenbestand de kompasstand van het bord bekend. Hierbij is de kompasstand 'zuid' toegekend

aan borden die naar het noorden wijzen, omdat het verkeer naar het zuiden toe rijdt. Door gebruik te maken van dit attribuut en de kompasstand van de wegen, kan worden bepaald bij welke rijrichting het bord hoort.

Verder is uit de validatie gebleken dat niet elke voorrangssituatie is voorzien van een stop- of voorrangsbord. Om een deel van deze kruispunten te identificeren, zou het advies zijn om gebruik te maken van de methode zoals die is beschreven door (Krajewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005). Voorrangskruispunten worden dan geïdentificeerd wanneer twee wegen met verschillende maximale snelheden elkaar kruisen.

Koppeling wegvakken NWB en verkeersborden

Uit de validatie is gebleken dat bij een aantal voorrangskruispunten de voorrangsregeling niet op de juiste manier is bepaald. Dit kwam een aantal keer doordat het verkeersbord aan het verkeerde wegvak is gekoppeld. Het advies is dan ook om de koppeling tussen de wegvakken en de verkeersborden te verbeteren. De koppeling zal op basis van de kompasstand van het bord en de afstand van het bord tot de weg moeten worden gemaakt.

Wat ook voorkwam, is dat een voorrangsbord dat eigenlijk bij een fietspad hoort aan de autoweg wordt gekoppeld. Met informatie over de ligging van de fietspaden uit het HERE netwerk, OSM of verkeersborden die een fietspad aanduiden, en de kompasstand van het bord zou kunnen worden bepaald welke borden bij fietspaden horen. Deze borden kunnen dan worden uitgesloten in het bepalen van voorrangskruispunten tussen autowegen.

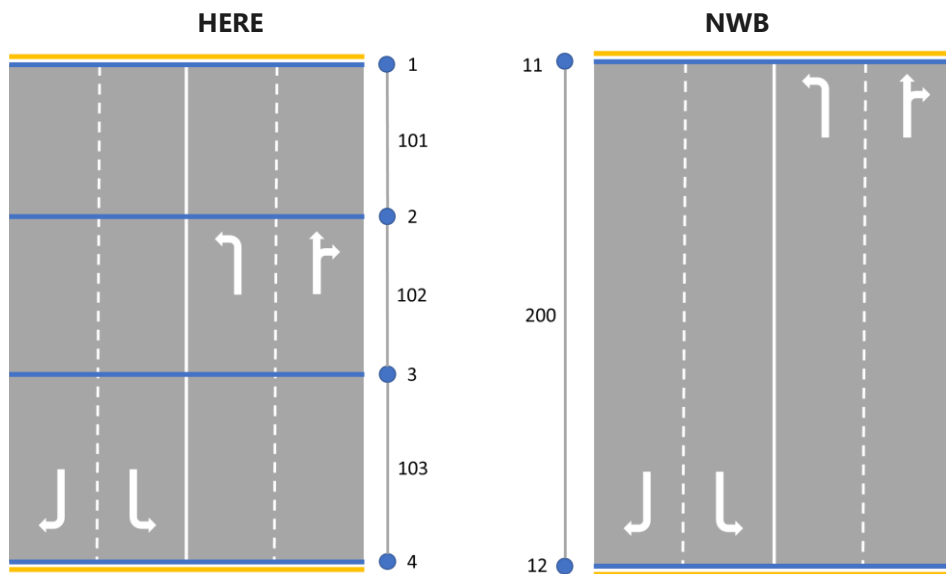
Langzaam verkeer

Omwille van de tijd is in dit onderzoek niet gekeken naar de aanwezigheid van langzaam verkeer bij kruispunten. OSM, het HERE netwerk en het verkeersbordenbestand bevatten informatie over de aanwezigheid van langzaam verkeer. In OSM zijn een aantal voetgangersoversteekplaatsen opgeslagen en de locatie van fiets en voetpaden is bekend. In het HERE netwerk zijn een aantal rijstroken als fietspad gecodeerd. In het verkeersborden bestand zijn verschillende soorten verkeersborden opgeslagen die de aanwezigheid van langzaam verkeer aanduiden. Zo zijn er aankondigingsborden voor fiets of voetpaden, waarschuwborden voor fietsers- of voetgangers oversteekplaatsen en borden die de locatie van een zebrapad aanduiden. Met deze informatie kan worden bepaald bij welke kruispunten langzaam verkeer aanwezig is.

Daarnaast viel het op dat bij 16 van de 20 gevalideerde rotondes fietspaden of zebrapaden aanwezig waren waar het verkeer dat op de rotonde rijdt voorrang aan moet verlenen. Wanneer er fietsers of voetgangers aanwezig zijn op de rotonde, zal dit invloed hebben op de kruispuntvertraging. In de manier waarop de kruispunten nu zijn geconfigureerd, zal deze vertraging niet worden meegenomen. In OmniTRANS kan op dit moment alleen nog langzaam verkeer worden toegedeeld aan een kruispunt met VRI. Het zou een mooie ontwikkeling zijn als deze optie ook mogelijk is bij andere kruispunten, zodat de invloed van het langzame verkeer ook wordt meegenomen in de berekening van de kruispuntvertraging.

Koppeling Here netwerk en NWB

Het komt voor dat een weg in het NWB gedigitaliseerd is als één link, waar de weg in het HERE netwerk gedigitaliseerd is als meerdere links. Figuur 9.2 laat schematisch zien hoe dit er uit ziet. In deze afbeelding is de gele lijn het kruisingsvlak. Het komt voor dat de configuratie van de rijstroken is opgeslagen in het wegvak dat direct aan het kruisingsvlak ligt maar het komt ook voor dat de configuratie in het HERE netwerk ligt opgeslagen in een wegvak dat niet aan het kruisingsvlak grenst, zoals in link 102. De koppeltabel tussen het HERE netwerk en het NWB zou kunnen worden verbeterd door bij de koppeling rekening te houden met de plek in het HERE netwerk waar de informatie ligt opgeslagen.



Figuur 9.2 - Verschillen in geometrie tussen het HERE netwerk en het NWB

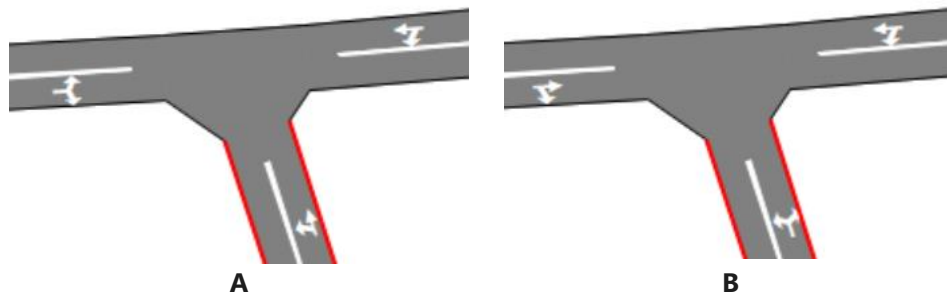
Voorspellen configuratie opstelstroken

Bij het inladen van de dataset in OmniTRANS, bleek het grootste aantal foutmeldingen te komen doordat op een groot deel van de kruispunten de configuratie van de opstelstroken en het aantal afrijdende rijstroken niet met de koppelmethode bepaald is.

Bij kruispunten waarvan bekend is dat op elke aangrenzende weg één rijstrook is, kan de configuratie redelijk makkelijk worden voorspeld. Hierbij is kennis nodig over het aantal wegvakken dat aan een kruispunt is gekoppeld, de hoek tussen de wegen en de toegestane rijrichting op de wegvakken.

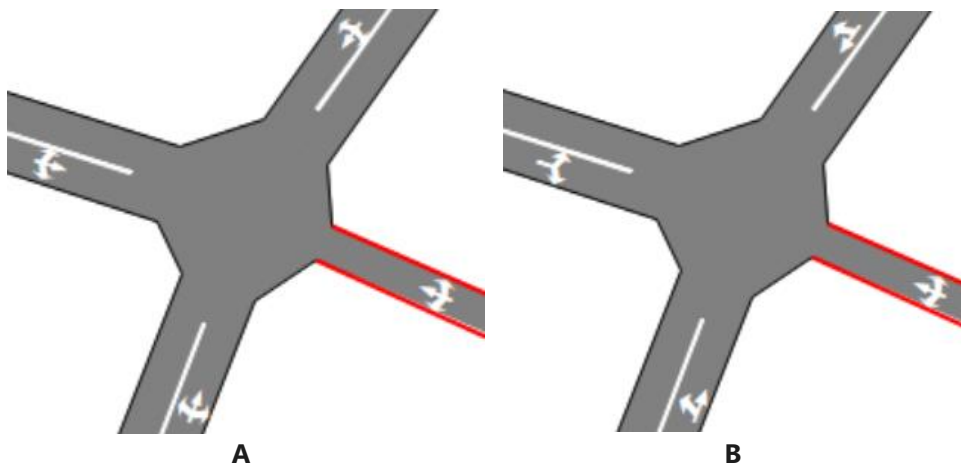
Bij een kruispunt waar drie wegen aan zijn gekoppeld, moet je vanaf elke arm een opstelstrook hebben waarop twee richtingen zijn toegestaan. OmniTRANS houdt rekening met de hoek tussen de wegvakken en verwacht op basis van die hoek een bepaalde configuratie. In Figuur 9.3 zijn twee verschillende opties voor de configuratie. OmniTRANS zou in situatie A een foutmelding geven. Hij zal in dit geval aangeven dat er vanuit het zuiden een overbodige rijstrook is voor rechtdoor en dat er een te weinig is voor rechtsaf. De configuratie die is gebruikt in situatie B zal wel worden geaccepteerd. Door de hoek tussen de wegen te berekenen, kan de configuratie van de opstelstrook worden voorspeld. In situaties waarbij het verschil tussen de hoeken van de wegen klein is en het dus lastig te zeggen is wat rechtdoor,

linksaf of rechtsaf is zullen beiden configuraties worden goedgekeurd (Bezembinder & Brandt, 2016).



Figuur 9.3 - Voorbeelden van configuraties van de opstelstroken bij een kruispunt met 3 armen

Figuur 9.4 laat een situatie zien waarin op de tak die uit het oosten komt maar een rijrichting is toegestaan. In dit geval zal de configuratie in situatie A, die OmniTRANS zelf genereert, een foutmelding opleveren. In situatie B is de configuratie van de opstelstroken zo ingedeeld dat geen enkele pijl gekoppeld is aan de weg die uit het oosten komt. Hier mag je het kruispunt namelijk niet verlaten. OmniTRANS geeft bij de configuratie in situatie B geen foutmelding.



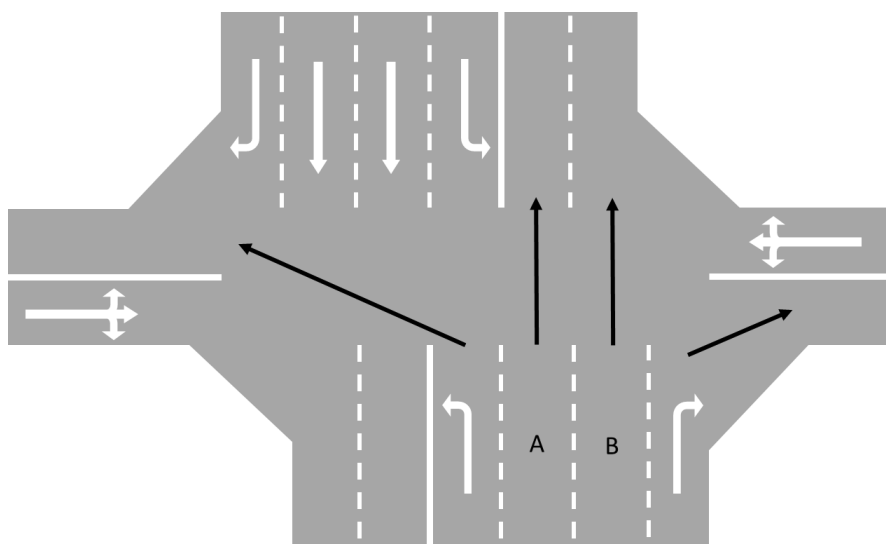
Figuur 9.4 - Configuratie van de opstelstroken

Daarnaast komt het voor dat de configuratie van de opstelstroken op de wegvakken deels bekend is in het HERE netwerk. Van 60% is alleen het aantal opstelstroken dat richting het kruispunt gaat bekend. Bij 11% van de kruispunten is naast het aantal opstelstroken, ook van een aantal opstelstroken de configuratie bekend. Deze configuraties zouden kunnen worden aangevuld.

Aan de hand van de wegvakken waar de configuratie deels bekend is, zou de configuratie van de onbekende opstelstroken kunnen worden voorspeld. Figuur 9.5 laat een voorbeeld zien waarbij van twee rijstroken die uit het zuiden komen, geen configuratie bekend is. Omdat er aan de overkant van het kruispunt twee afrijdende rijstroken zijn, zou het logisch zijn dat op deze twee rijstroken een opstelstrook zou zijn waar je rechtdoor mag.

Daarnaast zou de methode van (Krajzewicz, Hertkorn, Ringel, & Wagner, 2005) die is beschreven in hoofdstuk 2.2 kunnen worden gebruikt om de configuratie van de opstelstroken te bepalen, wanneer bekend is hoeveel rijstroken er op elke arm van

het kruispunt aanwezig zijn. Voor het identificeren van het aantal rijstroken op een wegvak, zou de informatie uit het HERE netwerk en beschikbare informatie uit OSM kunnen worden gebruikt, mits deze informatie gevalideerd wordt. Daarnaast kan met de Basisregistratie Grootchalige Topografie (een digitale kaart van Nederland waarop de fysieke inrichting op 20 centimeter nauwkeurig is weergegeven) de wegbreedte van de wegvakken ter hoogte van een kruisingsvlak worden bepaald. Vervolgens zou op basis van deze breedte het aantal rijstroken kunnen worden bepaald.



Figuur 9.5 - Voorbeeld van een kruispunt waar de configuratie deels bekend is

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In dit onderzoek wordt per type kruispunt maar één methode gebruikt om de kruispuntkarakteristieken af te leiden. In een vervolgonderzoek zouden verschillende methoden kunnen worden gebruikt. Een voorbeeld van een andere methode zou zijn om voorrangssituaties te bepalen aan de hand van de plekken waar haaiantanden op het wegdek zijn aangebracht. Hiervoor zou eerst een bron moeten worden gevonden of gemaakt waarin deze informatie is opgeslagen. De resultaten van de methoden kunnen met elkaar worden vergeleken. Deze vergelijking zou kunnen uitwijzen of één specifieke methode beter is dan een andere. Het zou ook kunnen uitwijzen dat verschillende methodes elkaar zouden kunnen aanvullen om een completer resultaat te krijgen.

Om de kwaliteit van de methode verder te toetsen zou een stad kunnen worden gebruikt die al een keer gebruikt is in een verkeersmodel met kruispuntmodellering. Aan een dergelijk model zijn alle kruispuntkarakteristieken al toegevoegd. Door de controleren hoeveel kruispunten overeenkomen, hoeveel kruispunten niet overeenkomen en hoeveel kruispunten nog missen in de dataset kan iets worden gezegd over de kwaliteit van de methode.

10. Bibliografie

- Aashtiani, H., & Iravani, H. (1999). Use of intersection delay functions to improve reliability of traffic assignment model. *14th Annual International EMME/2 Conference*. Chicago, Illinois: Wilbur Smith Associates.
- Arsanjani, J., Barron, C., Bakillah, M., & Helbich, M. (2013). *Assessing the Quality of OpenStreetMap Contributors together with their Contributions*. Leuven: AGILE.
- Bezembinder, E., & Brandt, F. (2016). Junction Modelling in OmniTRANS. Dat.Mobility.
- Brilon, W., & Wu, N. (2001). Capacity at Unsignalized Intersections Derived by Conflict Technique. *Transportation Research record*(1776), 82-90.
- Chen, Z., & Huang, X. (2016). Accurate and reliable detection of traffic lights using multiclass learning and multiobject tracking. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 28 - 42.
- Chen, Z., Shi, Q., & Huang, X. (2015). Automatic Detection of Traffic Lights Using Support Vector Machine. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (pp. 37 - 40). Seoul Korea: COEX.
- Costea, D., & Leordeanu, M. (2016). *Aerial image geolocation from recognition and matching of roads and intersections*.
- Jakobs, K., & Mitchel, S. (2020). *OpenStreetMap quality assessment using unsupervised machine learning methods*. Ottawa, Canada: John Wiley & Sons Ltd.
- Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Ringel, J., & Wagner, P. (2005). *Preparation of Digital Maps for Traffic Simulation; Part 1: Approach and Algorithms*. Berlin: German Aerospace Centre, Institute of Transportation Research.
- Megaborn. (2013). *Onderzoek verkeerseffecten bouwprogramma Dieperhout e.o.*
- Ministerie van Infrastructuur en milieu. (1990). *Reglement verkeersregels en verkeerstekens 1990 (RVV 1990)*. Opgehaald van Overheid.nl: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0004825/2020-01-01>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (sd). *Uitvoeringsvoorschriften BABW inzake verkeerstekens*. Opgehaald van Overheid.nl: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0009104/2017-07-01>
- Muijlwijk, H. (2012). *Static Traffic Assignment with Junction Modelling*. University of Twente & OmniTRANS.
- Munoz-Organero, M., Ruiz-Blancuez, R., & Sánchez-Fernández, L. (2018). Automatic detection of traffic lights, street crossings and urban roundabouts combining outlier detection and deep learning classification techniques, based on GPS traces while driving. *Computer, Environment and Urban Systems*, 1 - 8.

- Omachi, M., & Omachi, S. (2010). *Detection of Traffic Light Using Structural Information*.
- Overzicht alle officiële verkeersborden. (2020). Opgehaald van Informatiebord.nl: <https://www.informatiebord.nl/oefenen/verkeersborden-overzicht/>
- Provincie Deventer. (2019, September 10). *N244 Holterweg tussen Bahtmen en Holten 10 dagen afgesloten*. Opgehaald van Centraal Deventer: <https://www.centraaldeventer.nl/deventer-algemeen/n344-holterweg-tussen-bathmen-en-holten-10-dagen-afgesloten/>
- Raadsen, M., Mein, H., Schilpzand, M., & Brandt, F. (2010). Implementation of a single dynamic traffic assignment model on mixed urban and highway transport networks including junction modeling. Takayama, Japan.
- Rijkswaterstaat. (2020). Handleiding Nationaal Wegenbestand (NWB-wegen). RWS - CIV - DOA.
- Singh, R., Rana, P., & Jindal, N. (2019). *A novel approach for detecting roundabouts in maps based on analysis of core map data*. Punjab, India: Springer Science+Business Media, LCC, part of Springer Nature 2020.
- Transportation Research Board. (2000). Manual, Highway Capacity. United States of America: National Academy of Sciences.
- Ubels, M. (2018, November 25). Rotonde moet eind maken aan bijna-ongelukken op Wezenland in Deventer. *Tubantia*.
- van Wee, B., & Annema, J. (2014). *Verkeer en vervoer in hoofdlijnen*. Bussum: Uitgeverij Coutinho.
- Vasvári, G. (2015). *Identification of junction specific volume-delay functions by methods of traffic simulation*. Budapest: Budapest University of Technology and Economics.
- Wang, J., Wang, C., Song, X., & Raghavan, V. (2017). Automatic intersection and traffic rule detection by mining motor-vehicle GPS trajectories. *Computers, Environment and Urban Systems*, 19 - 29.
- Wujcicki, A. (2010). *Automatic detection of the number of lanes into which a road is divided*.

11. Bijlagen

11.1 Datamodel van OmniTRANS

De inputwaarden die zijn voorzien van de letter (n) moeten worden opgeslagen in een node en de inputwaarden die zijn voorzien van de letter (l) moeten worden opgeslagen op een link. Bij elk karakteristiek staat beschreven welke mogelijke invoerwaarden OmniTRANS accepteert en of er restricties aan deze inputwaarden vastzitten.

Tabel 11.1 - Datamodel van OmniTRANS

Karakteristiek	OmniTRANS	Invoerwaarden	Restricties
Kruispunttype	Junctiontype (n)	<ongedefinieerd> 1: Gelijkwaardig kruispunt 2: Voorrangskruispunt 3: Kruispunt met VRI 4: Rotonde 5: Rotonde met VRI 6: Stopborden in alle richtingen	Maximaal 1 waarde
Aantal armen	Berekent OmniTRANS	-	Minimaal 3 en maximaal 4 armen per kruispunt
Aantal circulerende rijbanen	Ralanes (n)	Geheel aantal	Maximaal 2
Voorrangsregeling	Sign (l)	Aanwezigheid van een bord aan het einde van de link, 0: geen bord 1: voorrangsbord 2: stopbord	Maximaal 1 waarde
Configuratie van de opstelstroken	Lanesmask (l)	L: linksaf S: rechtdoor R: rechtsaf Q: linksaf en rechtdoor P: rechtsaf en rechtdoor U: linksaf en rechtsaf A: alle richtingen B: busbaan	Volgorde zoals die ook op de weg is. Er mogen geen conflicterende bewegingen voorkomen. Er is geen maximum voor het aantal aan letters.

		0-9: special lane	Voorbeelden van configuraties: 'LLSSSR', 'LSR', 'LP' 'A'
Lengte van de opstelstrook	Approachlength (l)	Aantal meters	Geheel getal
Breedte van de middenberm	WidthCR (l)	Aantal meters	Kommagetal
Aantal afrijdende rijstroken	Exitlanes (l)	Geheel getal	Maximaal 6
Aanwezigheid van langzaam verkeer	Slowtraffic (l)	0: geen langzaam vervoer 1: wel langzaam vervoer	Maximaal 1 waarde
Signaalcyclus	Signaltype (n)	1: Manual 2: Automated (optimised) 3: Actuated (cycle time) 4: Actuated (vehicle)	Maximaal 1 waarde

11.2 Technische benaming attributen databronnen

Tabel 11.2 - Attributen uit het Nationaal Wegenbestand

Attribuut	Uitleg	Waarden
Wvk_id	identificatienummer van een wegvak	INT
Jte_id_beg	identificatienummer van de begin node van het wegvak	INT
Jte_id_end	identificatienummer van de eind node van het wegvak	INT
Rijrichtng	De toegestane rijrichting van de link	B = beiden, H = $A \rightarrow B$, T = $B \rightarrow A$
Bst_code	aanduidingscode voor een wegvak	NRB en MRB zijn rotondes
Geom	De positie van de links die samen het wegennetwerk vormen	Geometrie

Tabel 11.3 - Attributen uit het digitale verkeersborden bestand

Attribuut	Uitleg	Waarden
Traffic_sign_id	het identificatienummer van het verkeersbord	INT
RVV_Code	de aanduidingscode voor het verkeersbord	Zie bijlage
Road_wvk_id	het wegvak ID van het NWB waaraan het verkeersbord gekoppeld is	INT
Location_geometry	De positie van de punten die de verkeersborden representeren	Geometrie

Tabel 11.4 - Attributen uit OpenStreetMap

Attribuut	Uitleg	Waarden
Highway (links)	Geeft aan wat voor soort weg het is	autoweg, fietspad, voetpad
Junction	Geeft aan of een weg een deel van een rotonde is (roundabout)	Yes / No
Lanes	Geeft het aantal rijstroken aan	INT
Highway (nodes)	Bevat verschillende kenmerken aan zoals	VRI, stop- en voorrangsborden, zebrapaden en ongecontroleerde oversteekplaatsen
Turn	Configuratie van de rijstroken	left straight right
Maxspeed	Maximale snelheid per rijstrook	INT
Width	De breedte van elke rijstrook	FLOAT
Geom_links	De positie van de links die de wegvakken representeren	Geometrie
Geom_nodes	De positie van de nodes die attributen weergeven	Geometrie

Tabel 11.5 - Attributen uit Streets van het HERE netwerk

Attribuut	Uitleg	Waarden
Link_id	Identificatienummer van het wegvak	INT
Ref_in_id	Identificatienummer van de begin node van het wegvak	INT
Nref_in_id	Identificatienummer van de eind node van het wegvak	INT
Speed_cat	Snelheidscategorie van het wegvak	INT
From/to_lanes	Aantal wegvakken van/naar de begin node van het wegvak	INT
Dir_travel	Toegestane rijrichting op het wegvak	B = Beide, F = $A \rightarrow B$, T = $B \rightarrow A$
Roundabout	Is het wegvak onderdeel van een rotonde	Y = Ja, No = Nee
Priorityrd	Is het wegvak een voorrangsweg	Y = Ja, N = Nee
Geom	Positie van de links die de wegvakken representeren	Geometrie

Tabel 11.6 - Attributen uit Cdms van het HERE netwerk

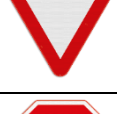
Attribuut	Uitleg	Waarden
Link_id	Identificatienummer van het wegvak	INT
Cond_type	Type conditie op het wegvak	16 = VRI
End_of_lk	Kant van de link waarop de conditie aanwezig is	R = reference node, N = non reference

tabel 11.7 - Attributen uit Lanes van het HERE netwerk

Attribuut	Uitleg	Waarden
Link_id	Identificatienummer van het wegvak	INT
Lane_id	Identificatienummer van de rijstrook	INT
Lane_nr	Numer die de volgorde van de rijstroken aangeeft	INT
Dir_trav	Rijrichting waarvoor de configuratie geldt	F = $A \rightarrow B$, T = $B \rightarrow A$
Dir_cat	Rijrichting van de rijstrook	(1 = Rechtdoor, 4 = rechts, 64 = links, etc)
Lane_typ	Type rijstrook	(1 = normale rijstrook, 2048 = rijstrook voor een afslag, 65536 = fietspad)
Ar_auto	Mogen er auto's op de rijstrook	Y = Ja, N = Nee
Ar_bus	Mogen er bussen op de rijstrook	Y = Ja, N = Nee

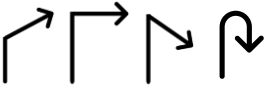
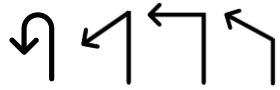
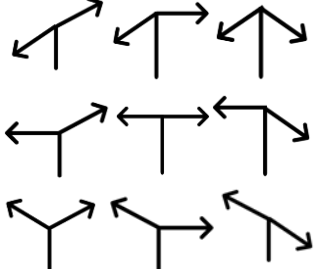
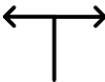
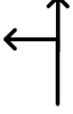
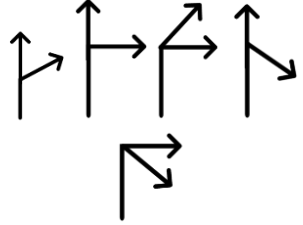
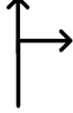
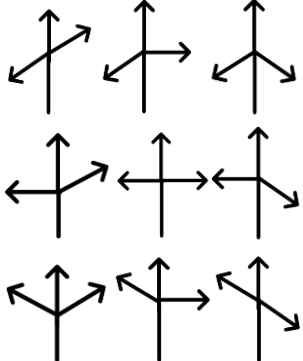
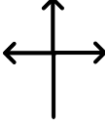
11.3 Relevante verkeersborden voor het kruispunttype

Tabel 11.8 - Verkeersborden die relevant zijn voor het kruispunttype met code en betekenis
(Overzicht alle officiële verkeersborden, 2020)

Bord	RVV-code	Betekenis
	B01	Vorrangsweg
	B02	Einde vorrangsweg
	B03	Vorrangskruispunt je hebt voorrang
	B04	Vorrangskruispunt weg van links
	B05	Vorrangskruispunt weg van rechts
	B06	Vorrangskruispunt – verleen voorrang
	B07	Stoppen voor vorrangsweg
	D01	Rotonde
	J22	Vooraanduiding voetgangers oversteekplaats
	J23	Vooraanduiding voetgangers oversteekplaats
	J24	Vooraanduiding oversteekplaats (brom-)fietsers
	L02	Voetgangersoversteekplaats/zebrapad

11.4 Koppeltabel opstelstrook configuratie

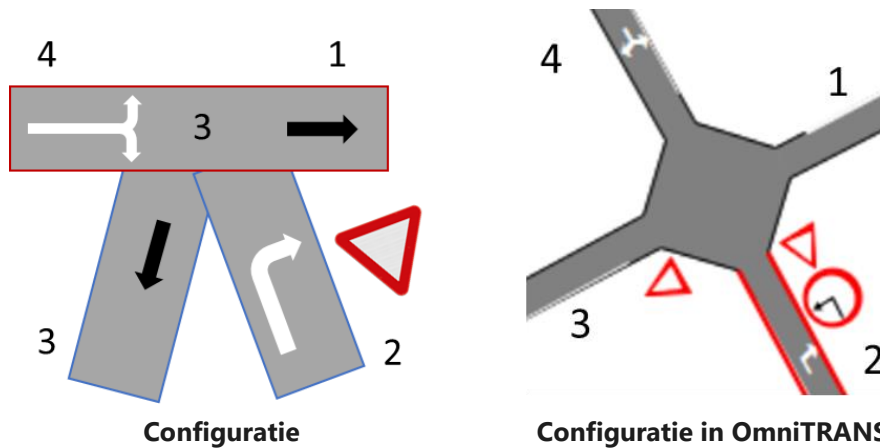
Tabel 11.9 - Koppeltabel codering direction category van HERE netwerk omzetten naar codering OmniTRANS

HERE		OmniTRANS	
0		0: onbekend	
1		S: rechtdoor	
2, 4, 8, 2048		R: rechtsaf	
16, 32, 64, 128		L: linksaf	
34, 36, 40, 66, 68, 72, 130, 132, 136		U: linksaf en rechtsaf	
33, 65, 96, 129, 192		Q: linksaf en rechtdoor	
3, 5, 6, 9, 12		P: rechtsaf en rechtdoor	
35, 37, 41, 67, 69, 73, 131, 133, 137		A: alle richtingen	

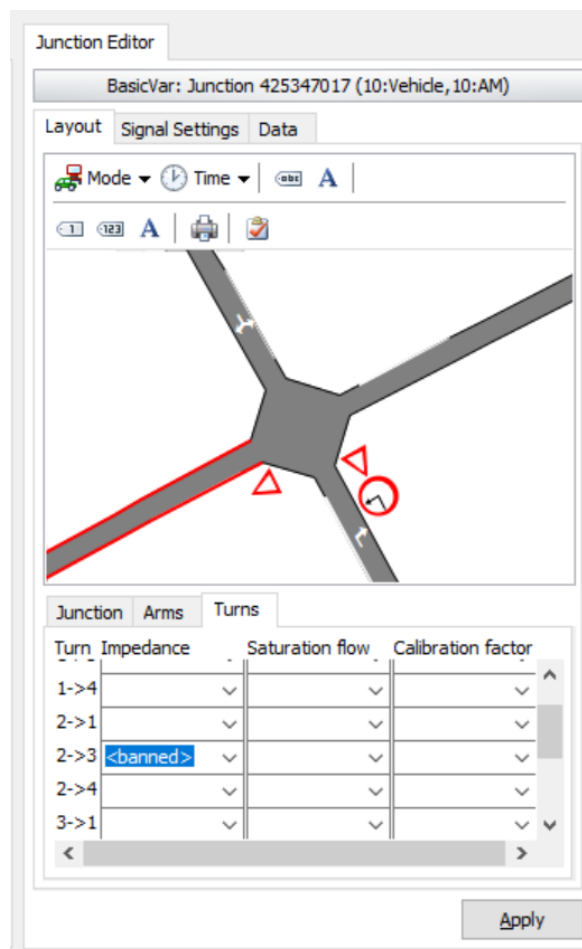
Sommige rijstroken zijn busbanen. Deze zijn te identificeren doordat ze verboden zijn voor auto's en wel toegankelijk zijn voor de bus. Hier wordt de waarde 'B' aan toegekend.

11.5 Schema configuratie rotonde

Kruispunt nummer 3 uit Figuur 5.11 heeft maar een arm met een voorrangsbord. Kruispunten met vier armen moeten op twee armen een voorrangsbord hebben om door OmniTRANS gelezen te kunnen worden. Daarnaast verwacht OmniTRANS dat je vanaf de tak waarop je de rotonde oprijdt zowel naar rechts als naar links mag, terwijl linksaf slaan op een rotonde niet zou kunnen. Deze kruispunten zullen handmatig moeten worden aangepast door de gebruiker van het verkeersmodel.



Figuur 11.1 - Configuratie van een kruispunt met vier armen dat onderdeel is van een rotonde



Figuur 11.2 - Junction modeler in OmniTRANS

Het eerste probleem kan worden aangepast door op arm drie in de richting die naar het kruispunt toe gaat een voorrangsbord te plaatsen. Omdat er op arm 3 geen verkeer richting het kruispunt kan rijden, zal dit bord geen effect hebben op de kruispuntvertraging. Het tweede probleem kan worden opgelost door de bocht van arm 2 naar arm 3 te verbieden. Dit kan handmatig worden ingevoerd in de junction editor van OmniTRANS, zoals weergegeven in Figuur 11.2. Het resultaat is een configuratie die er zo uitziet als het kruispunt aan de rechterkant van Figuur 11.1.

Aan de hand van het schema in Figuur 11.3 is bepaald wat de configuratie wat het wegvakken zou moeten zijn bij kruispunten 1, 2 en 4. De armen die onderdeel van de rotonde zijn, kunnen als configuratie van de opstelstroken een 'S' (rechtdoor) of een 'P' (rechtdoor gecombineerd met rechtsaf) hebben. Het is een S wanneer het wegvak dat geen deel is van de rotonde alleen bedoeld is om de rotonde op te rijden. Het is een P wanneer het wegvak dat geen deel is van de rotonde (ook) bedoeld is om van de rotonde af te rijden.

rotonde	beg/end	rijrichting	lanesmas_ab	exitlane_ab	sign_ab	lanesmas	exitlane_ba	sign_ab
ja	beg	H					1	
ja	end	H	S, P					
ja	beg	T				S, P		
ja	end	T		1				
nee	beg	H					1	
nee	beg	T				R		1
nee	end	H	R		1			
nee	end	T		1				
nee	beg	B				R	1	1
nee	end	B	R		1	1		

Figuur 11.3 - Schema voor het voorspellen van de opstelstroken, afslaanrijstroken en voorrangregeling bij rotondes

11.6 Validatie kruispunttypen

Tabel 11.10 - Validatie voorrangskruispunten

Nummer	Type echt	Vorrangs-regeling	Opmerkingen
428348007	Vorrangskruispunt	Correct	
432344007	Vorrangskruispunt	Correct	
437343004	Vorrangskruispunt	Correct	
423345089	Vorrangskruispunt	Correct	
430358006	Vorrangskruispunt	Niet correct	Bord gekoppeld aan verkeerd wegvak
421355016	Vorrangskruispunt	Correct	
423347181	?	?	Niet goed controleerbaar door geometrie NWB en Google Maps
432344007	Vorrangskruispunt	Correct	
417350018	Vorrangskruispunt	Correct	
417353007	Vorrangskruispunt	Niet correct	Bord gekoppeld aan verkeerd wegvak.
412353104	Vorrangskruispunt	Niet correct	Één tak te weinig die voorrang moet verlenen, komt door geen bord op het middenstuk
417351105	Vorrangskruispunt	Correct	
418355009	Vorrangskruispunt	Correct	
413357014	Vorrangskruispunt	Correct	
415350027	Vorrangskruispunt	Correct	
432345008	Vorrangskruispunt	Correct	
415353002	Gelijkwaardig kruispunt	Niet correct	Bord aan verkeerde node gekoppeld door koppeling op afstand
433348089	Vorrangskruispunt	Correct	
425356003	Vorrangskruispunt	Correct	
418345078		Niet correct	Één tak te weinig die voorrang moet verlenen, komt door geen bord op het middenstuk
419343061	Vorrangskruispunt	Niet correct	Drie richtingen moeten voorrang verlenen. Geometrie NWB en

			Google Maps wijken af. Minstens een bord hoort bij fietspad
--	--	--	--

Tabel 11.11 - Validatie kruispunten met VRI

Nummer	Echt	Wegvakken	Opmerkingen
419343050	VRI	Niet correct	4 taks, allemaal 1 rijrichting Tak 1 – geen lanesmas en geen exit Tak 2 – Lanesmas met onbekende richtingen, geen exit (door rijrichting) (wel in lanes) Tak 3 – geen lanesmas en geen exit Tak 4 – geen lanesmas (door richting) wel exit aantal maar niet correct. Busbaan is meegenomen en afgesteld op configuratie volgend kruispunt waar 5 opstelstroken zijn. (wel in lanes)
600034482	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
422347179	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
417345047	VRI	Niet correct	4 taks, allemaal 1 rijrichting Tak 1 – Goed gekoppeld, incompleet in HERE Tak 2 – Goed gekoppeld, incompleet in HERE Tak 3 – Goed gekoppeld Tak 4 – Geen lanesmas door r, wel exit maar fout (staat 2 en moet 1 zijn). Verkeerde wegdeel gekoppeld want later is weg wel 2 rijstroken.
416348088	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
418347049	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
419347006	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
417346005	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
418344104	VRI	Correct	3 taks 1 – correct in lanes en in NWB 2 – in lanes correct, 3 exit lanes – en correct in NWB 3 – correct in lanes, correct overgenomen in NWB
418348117	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
418348115	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel

415347034	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
414348047	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
416347094	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
417345094	VRI	Niet correct	3 taks, allemaal 1 richting Tak 1 – lanesmas correct (geen exit door rr) Tak 2 – 1 exit lane, correct gekoppeld maar fout in HERE (zijn 2 exit lanes ipv 2) Tak 3 – 1 exit lane, correct gekoppeld, fout in here
424349155	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
416347035	VRI	Niet correct	Niet opgenomen in lanes tabel
417345084	VRI	Niet correct	4 taks 1 – goed in here en goed gekoppeld 2 – goed in here wel gekoppeld 3 – goed in here, verkeerde wegdeel gekoppeld 4 – Verkeerde wegdeel gekoppeld
419343051	VRI	Niet correct	4 taks, 3 heen, 1 beiden 1 – geen configuratie (wel in here, niet gekoppeld door verschil geometrie en niet gekoppelde sleutel) 2 – correct gekoppeld en correct met echt 3 – correct gekoppeld en correct met echt 4 – niet correct, busbaan ook meegenomen als exitlane
417346009	VRI	Niet correct	3 taks 1- goed gekoppeld, richting niet bekend in HERE 2 - weg die in NWB gezien wordt als rijrichting B terwijl je vanaf dit kruispunt niet die weg mag oprijden 3 - niet in here dus niet in nwb

Tabel 11.12 - Validatie rotondes

Jte_nummer	Echt	Rotonde	Configuratie	Opmerkingen
423348044	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten op rotonde kloppen ook Fietspad en paar takken zebrapaden

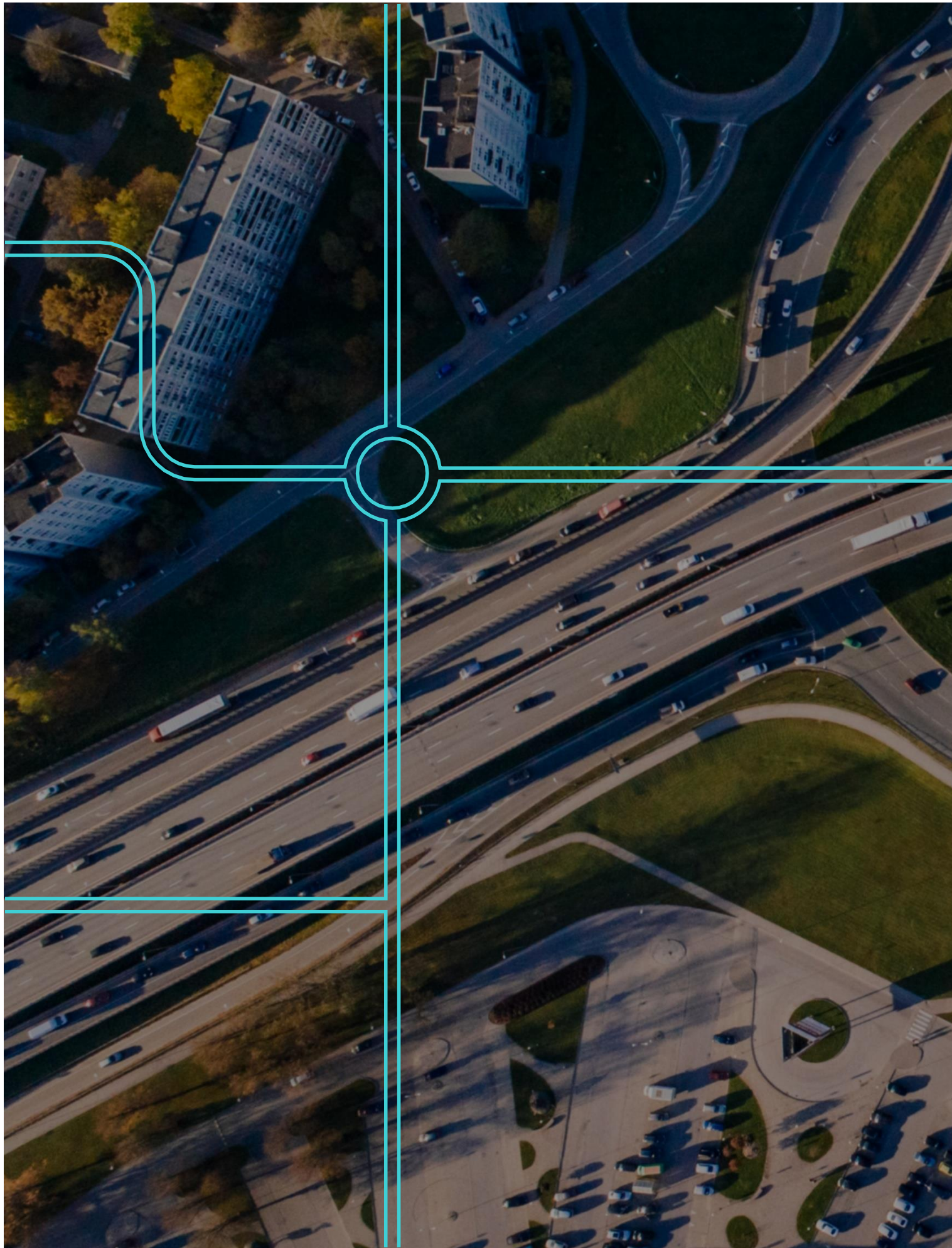
413351094	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten kloppen ook Fietspad en zebrapad
424349146	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten kloppen ook Fietspad en zebrapaden
423350084	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten kloppen ook Fietspad en zebrapaden
414352114	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten kloppen ook Fietspad
421353022	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten kloppen ook Geen fietspad of voetpad
424350057	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten kloppen ook Fietspad en zebrapad
424349147	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten kloppen ook Fietspad en zebrapaden
414351117	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten kloppen op 1 na, van lithstraat in NWB 1 rijrichting waar dat in praktijk niet zo is Fietspad en zebrapad 
424350051	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten ook Fietspad en zebrapad
415350197	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten ook Fietspad en zebrapad
424349141	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten kloppen ook Fietspad en zebrapaden
423348045	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten op rotonde kloppen ook Fietspad en paar takken zebrapaden

423350061	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Deel rotonde, configuratie klopt Andere kruispunten kloppen ook Fietspad en zebrapaden
424349144	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Deel rotonde, configuratie klopt Andere kruispunten kloppen ook Fietspad en zebrapaden
423348051	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Deel rotonde, configuratie klopt Ander kruispunten kloppen ook Fietspad en zebrapaden
420346043	Gelijkwaardig	Ja	Klopt niet	Rotonde met twee rijbanen. Andere kruispunten kloppen qua type wel. Geen fietspad
423355014	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten ook Geen fietspad
412352118	Gelijkwaardig	Ja	Klopt	Andere kruispunten ook Geen fietspad
420346041	Gelijkwaardig	Ja	Klopt niet	Rotonde met twee rijbanen. Andere kruispunten kloppen qua type wel. Geen fietspad

Tabel 11.13 - Validatie kruispunten met zonder kruispunttype

Jte_nummer	Echt	Opmerkingen
419348044	Gelijkwaardig	
420352019	Gelijkwaardig	
414349026	Gelijkwaardig	
422347096	Gelijkwaardig	
424346114	Gelijkwaardig	
438351005	Gelijkwaardig	
421350037	Gelijkwaardig	
421353012	Gelijkwaardig	
421348046	Gelijkwaardig	

415347037	Gelijkwaardig	
415350174	Vorrangskruispunt	Geen voorrangsbord aanwezig, wel verschil tussen snelheden
415348168	Gelijkwaardig	
413355021	Gelijkwaardig	
412353029	Gelijkwaardig	
419348107	Gelijkwaardig	
417348106	Gelijkwaardig	
412349024	Gelijkwaardig	
421353009	Gelijkwaardig	
413350133	Gelijkwaardig	
418352007	Gelijkwaardig	



Dat.mobility BV is onderdeel van Goudappel Groep.

Snipperlingsdijk 4
7417 BJ Deventer
The Netherlands

Postbus 161
7400 AD Deventer
The Netherlands

+31(0) 570 666 222
info@datmobility.nl
www.datmobility.nl

BTW NL 0062 45 079 B01
KVK 2710 3813
IBAN NL59 INGB 0701 2168 08