

Rijstrookwisselgedrag scherper in beeld: een rij-experiment en online enquête

Marco de Baat – Goudappel Coffeng – mdbaat@goudappel.nl

Viktor Knoop – Technische Universiteit Delft – v.l.knoop@tudelft.nl

Serge Hoogendoorn – Technische Universiteit Delft – s.p.hoogendoorn@tudelft.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 23 en 24 november 2017, Gent

Samenvatting

Rijstrookwisselingen beïnvloeden de wegcapaciteit: weggebruikers kunnen alleen van rijstrook wisselen als een naastgelegen rijstrook ruimte biedt en laten na een rijstrookwisseling een ruimte vallen in de verkeersstroom op de oorspronkelijke rijstrook. Daardoor ontstaan er meer 'gaten' in de verkeersstroom en neemt de capaciteit af. Daarom is het van belang rijstrookwisselgedrag goed te begrijpen. Microscopische verkeersmodellen kunnen echter dit rijstrookwisselgedrag (nog) niet simuleren.

Grootschalig empirisch onderzoek heeft inzicht verkregen in de toepassing van vier strategieën. In een rij-experiment hebben 35 mensen een vastgestelde route gereden in een met camera's uitgeruste auto. Na het rijden van de route is hun rijgedrag besproken. Daarnaast is onder 1.250 mensen een online enquête gehouden.

De vier strategieën zijn:

1. *Snelheid leidend*; de bestuurder heeft een wenssnelheid en blijft deze nastreven door van rijstrook te wisselen als die een langzamere voorganger tegenkomt;
2. *Snelheid leidend met snelheidsverhoging*; dezelfde strategie als 1, maar als de bestuurder van rijstrook wisselt verhoogt die zijn snelheid;
3. *Rijstrook leidend*; een bestuurders heeft een voorkeur voor een rijstrook en blijft daar in rijden door zijn snelheid aan te passen aan zijn voorganger en
4. *Verkeer leidend*; een bestuurder heeft geen voorkeursnelheid of voorkeursrijstrook en past zijn gedrag aan op het verkeer om hem heen.

Een groot deel van de ondervraagden rijdt volgens de eerste of tweede strategie, maar onder bepaalde omstandigheden rijden mensen massaal volgens de derde of vierde strategie. De meeste microscopische simulatiemodellen veronderstellen dat alle mensen volgens de *snelheid leidende* strategie rijden. Nagenoeg alle ondervraagden passen meerdere strategieën toe, en velen zelfs drie. De keuze voor de strategie is afhankelijk van de omgeving, aantal rijstroken en eigen humeur/gevoel.

Op twee-strooksnelwegen houden automobilisten minder rechts omdat ze bang zijn vast te komen zitten tussen de vrachtwagens. Circa 15 – 25% haalt een ander weleens rechts in. Ook zijn er automobilisten die op geruime afstand van het beslipspunt rechts gaan rijden. Ouderen laten dit gedrag vaker zien dan jongeren. Zij doen dit soms op een veel grotere afstand dan waar verkeersmodellen nu van uitgaan. Dit verklaart mogelijk ook waarom microscopische simulatiemodellen moeite hebben met het accuraat simuleren van een wegvak met veel op- en afritten op korte afstand of rond weefvakken. De consequentie is dat verkeersproblemen worden onder- of overschat waardoor investeringen uitblijven of onnodig plaatsvinden. En welke strategie passen zelfrijdende voertuigen toe? En is dat ook de meest efficiënte strategie voor de verkeersdoorstroming? Genoeg aspecten voor discussie en nader onderzoek!

Aantal woorden samenvatting: 399. Deze paper beschrijft het afstudeeronderzoek van Marco de Baat ter afronding van de masteropleiding Transport & Planning aan de TU Delft, en is daarbij begeleid door Victor Knoop en Serge Hoogendoorn.

1. Introductie

In het vakgebied van de verkeerskundige worden doorgaans twee soorten verkeersmodellen toegepast: macroscopische modellen voor de prognose van verkeersstromen o.b.v. verplaatsingsgedrag, en microscopische modellen voor de analyse en het management van verkeerssystemen (bv. capaciteits- en verkeersafwikkeling studies). Microscopische modellen simuleren de bewegingen van individuele voertuigen door gebruik van een voertuig-volgmodel voor het longitudinaal gedrag van bestuurders en een rijstrookwisselmodel voor het laterale gedrag. Veel onderzoek is gedaan naar het volggedrag van automobilisten, maar minder naar het rijstrookwisselgedrag, ondanks dat rijstrookwisselingen van invloed zijn op de capaciteit van de weg. Een rijstrookwisseling kan alleen plaats vinden als voldoende ruimte aanwezig is op een van de naastgelegen rijstroken en na een rijstrookwisseling blijft een 'gat' (hiaat) over op de oorspronkelijke rijstrook. Daardoor heeft het aantal rijstrookwisselingen aanzienlijk effect op de doorstroming op snelwegen[1].

Ondanks alle moeite die gedaan is in het ontwikkelen van rijstrook-wisselmodellen, zijn de bestaande rijstrookwissel-modellen nog niet in staat alle situaties te simuleren die in werkelijkheid worden waargenomen [2]. Idealiter kan een rijstrookwissel-model al het gedrag simuleren dat wordt waargenomen in de werkelijkheid. Meer onderzoek is nodig om tot een dergelijk model te komen. Recent onderzoek [2] classificeert rijstrookkeuze volgens vier strategieën:

1. **Snelheid leidend:** Bestuurders bepalen hun wenssnelheid en proberen met die snelheid te blijven rijden. Als ze een langzamere bestuurder tegenkomen in hun huidige rijstrook dan zullen ze van rijstrook wisselen om hun snelheid te behouden.
2. **Snelheid leiden met snelheidsverhoging:** Deze strategie lijkt op de 'Snelheid leidend' strategie, echter bestuurders verhogen hun snelheid bij het inhalen van anderen.
3. **Rijstrook leidend:** Bestuurders kiezen een rijstrook op basis van hun relatieve snelheid en passen hun snelheid naar de andere voertuigen in die rijstrook aan.
4. **Verkeer leidend:** Bestuurders hebben geen voorkeur voor een rijstrook of snelheid, maar kopiëren de snelheid van hun medeweggebruikers. Dit kunnen enerzijds de langzamere bestuurders zijn maar anderzijds ook de snellere bestuurders.

Verkeersmodellen gaan er veelal van uit dat alle bestuurders dezelfde rijstrook-wisselstrategie toepassen, namelijk snelheid leidend. Heterogeniteit van bestuurders wordt ingevoerd door bandbreedtes in te voeren voor de parameters die worden gebruikt. De vier strategieën in rijstrookkeuze die geïdentificeerd zijn kunnen echter niet (volledig) door een verschillende parameter-set ondervangen worden, omdat de onderliggende gedragsprincipes wezenlijk verschillen. Een simulatiemodel waarin deze vier strategieën wel zijn opgenomen kan echter nog niet toegepast worden in de praktijk, omdat niet bekend is hoe feitelijk gedrag zich verdeeld over de vier strategieën en de instellingen van de strategieën nog gekalibreerd en gevalideerd dienen te worden.

In de praktijk zijn microscopische simulatiemodellen in staat een groot aantal verkeerssituaties goed te beschrijven. De modellen worden op snelwegen met name gebruikt voor capaciteitsberekeningen en verkeersafwikkeling-studies. De parameters

van de gedragsmodellen zijn (eenmalig) gekalibreerd met macroscopische gegevens zoals verkeersintensiteiten en gemiddelde snelheden. Deze parameters worden (meestal) uit kostenbesparing niet voor iedere situatie opnieuw gekalibreerd, terwijl rijstrookwisselgedrag (door toepassing van andere strategieën) wel sterk afhankelijk is van de situatie. Zo zijn kritische situaties rond weefvakken vaak lastig te simuleren en laten ook de effecten van de verlaging van de snelheidslimiet naar 80 km/u i.c.m. trajectcontrole zich moeilijk voorspellen [3].

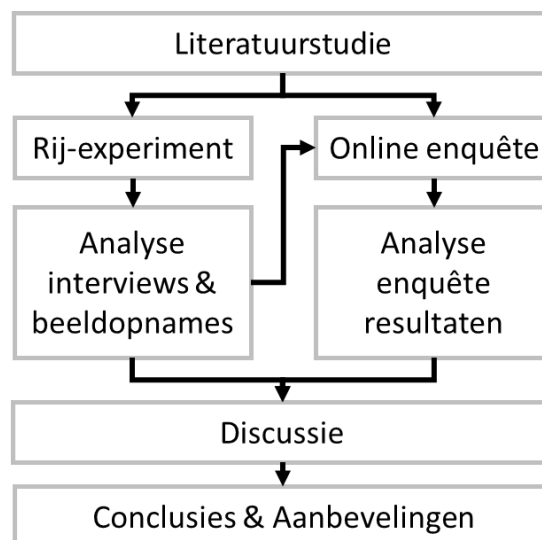
1.1 Onderzoeksdoel en onderzoeksvraag

Het doel van het onderzoek is inzicht krijgen in de toepassing van de vier rijstrookwisselstrategieën door automobilisten op autosnelwegen. Dit inzicht helpt om het rijgedrag van automobilisten beter te begrijpen en kan mogelijk bijdragen bij het implementeren van de vier rijstrookwisselstrategieën in microscopische simulatiemodellen. Specifiek betekent dit inzichtelijk maken hoeveel bestuurders die vier strategieën toepassen, wanneer wordt een strategie toegepast, en welke factoren zijn van invloed op de keuze van een rijstrookwisselstrategie. Daarop is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

'Hoe passen bestuurders strategie-gebaseerd rijstrookwisselgedrag toe op autosnelwegen?'

1.2 Onderzoeksmethode

Het onderzoek is in drie delen onderverdeeld: literatuurstudie, rij-experiment en een online-enquête, en zijn volgens het diagram van figuur 1 doorlopen. Voor deze opzet is gekozen omdat rijgedrag het best in de werkelijkheid onderzocht kan worden (rij-simulatoren hebben beperkingen) en verkeersdata uit inductielussen of *floating car data* niets kunnen vertellen over motieven achter waargenomen gedrag. Daarom is gekozen om mensen daadwerkelijk te vragen naar hun rijgedrag en de achterliggende gedachten.



Figuur 1: opzet van de onderzoeksmethode

In de literatuurstudie is onderzoek gedaan naar aspecten die rijstrookwisselgedrag beïnvloeden/bepalen, naar rijstrookwisselmodellen, en de geschiktheid van rij-experimenten en enquêtes om rijgedrag te onderzoeken.

De opgedane kennis en inzichten van de literatuurstudie zijn gebruikt om het rij-experiment op te zetten. Het doel van het rij-experiment is een brede en grondige inventarisatie te maken van relevante aspecten die rijstrookwisselgedrag beïnvloeden én eerste inzichten op te doen van de toepassing van de vier strategieën. In het rij-experiment hebben 35 mensen een vastgestelde route gereden over de snelweg in een met camera's uitgeruste auto. Na het rijden van de route is met deze mensen hun rijgedrag besproken m.b.t. rijstrookkeuze en snelheid op basis van de videobeelden.

De inzichten en camerabeelden van het rij-experiment zijn op hun beurt weer gebruikt als input voor de online enquête. Het doel van de enquête is inzicht krijgen in de toepassing van de rijstrookwissel-strategieën op een grote schaal. Het aantal deelnemers in het rij-experiment was vanwege praktische bezwaren beperkt, een online enquête daarentegen kon onder een groot aantal mensen verspreid worden. De enquête is via de ANWB verspreid onder een groot aantal nieuwsbriefabonnees, wat heeft geleid tot een response van 1250 volledige ingevulde enquêtes.

2. Literatuur

2.1 Verschillende soorten rijstrookwisselingen

Een van de eerste rijstrookwissel-theorieën[4] maakt onderscheid in verplichte en vrijwillige rijstrookwisselingen. Verplichte rijstrookwisselingen zijn nodig om een bepaalde route te blijven volgen (bv. van rijstrook wisselen naar een afrit), en vrijwillige rijstrookwisselingen worden gedaan om rij-omstandigheden te verbeteren voor de bestuurder zelf (bv. in geval een bestuurder een langzamere voorganger tegenkomt en van rijstrook wisselt om zijn wensnelheid aan te houden) of een andere bestuurder (bv. om ruimte te maken voor een invoegend voertuig). Later werd hieraan nog een derde categorie toegevoegd, namelijk *pre-emptive* rijstrookwisselingen [5]. Dit is een vroegtijdige wisseling om in de juiste rijstrook te komen voor een naderend in- of uitvoeging, terwijl deze wisseling niet vereist is voor een bestuurder om zijn route te volgen.

Later onderzoek [6] concludeert dat voorgaande indeling niet opgaat voor rijstrookwisselingen in congestie, omdat in dergelijke situaties ook opgelegde rijstrookwisselingen optreden wanneer bestuurders anderen dwingen van rijstrook te wisselen. Ten slotte, kunnen rijstrookwisselingen ook ingedeeld worden naar de manier waarop ze worden voorbereid en uitgevoerd, namelijk in vrije, gesynchroniseerde en coöperatieve rijstrookwisselingen [7]. Het type wordt bepaald door de grootte van de wens om van rijstrook te wisselen, is een bestuurder bereid zijn snelheid aan te passen om in de gewenste rijstrook te komen en zijn er anderen die daarbij hulp bieden door ruimte te creëren.

2.2 Aspecten die rijstrook-wisselgedrag beïnvloeden

De rijtaak kan in drie niveaus onderverdeeld worden [8]:

- strategisch
- tactisch
- operationeel

De drie niveaus verschillen van elkaar in hoe bewust een actie wordt uitgevoerd en de tijdsperiode waarover de actie plaats vindt. Op het strategische niveau worden beslissingen gemaakt over de bestemming, vervoerkeuze en routekeuze. Deze keuzes worden bewust gemaakt over een lange tijdsperiode. Op tactisch niveau bevinden zich keuzes met betrekking tot de rijomstandigheden, zoals de interactie met andere voertuigen, inhaalbewegingen en hiaat-acceptatie. Op het laagste niveau, operationeel, vinden taken plaats zoals gasgeven, sturen, schakelen en remmen. Deze taken vinden veelal onbewust plaats en duren slechts een fractie van een seconde. Rijstrook wisselen vindt plaats op het tactische niveau, en wordt dus redelijk bewust door een bestuurder uitgevoerd. Routine in autorijden zal er wel voor zorgen dat deze handelingen meer en meer op de automatische piloot worden uitgevoerd.

Rijgedrag op tactisch niveau wordt door een groot aantal factoren beïnvloedt [9], die onderverdeeld kunnen worden in sociaal-culturele invloeden (bv. rij-cultuur in Nederland, informele verkeersregels), ervaringsgerichte invloeden (opgedane rijervaring) en omgevingsinvloeden (tijdsdruk, alertheid).

Empirische studies hebben verder aangetoond dat persoonlijke karakteristieken (bv. geslacht), type voertuig, wegomstandigheden (droog of nat wegdek), infrastructurele kenmerken (bv. aanwezigheid van een oprit, spitsstroken), snelheidslimiet i.c.m. trajectcontrole allen invloed hebben op het rijgedrag/rijstrookwisselgedrag van automobilisten.

2.3 Rijstrookwisselgedrag in microscopische simulatiemodellen

Een microscopisch simulatiemodel bestaat meestal uit een volgmodel en een rijstrookwisselmodel. Verschillende modeltechnieken bestaan, maar het vaakst worden *rule-based* en *discrete-choice-based* modellen gebruikt om rijstrookwisselgedrag te simuleren. Veel van de ontwikkelde rijstrookwisselmodellen zijn gebaseerd op het keuzemodel van [4], waarbij de keuze om van rijstrook te wisselen gebaseerd is op de antwoorden van de volgende vragen:

- Is het mogelijk om van rijstrook te wisselen?
- Is het noodzakelijk om van rijstrook te wisselen?
- Is het wenselijk om van rijstrook te wisselen?

Volgens dit keuzemodel wordt een rijstrookwisseling gemaakt wanneer een bestuurder niet meer met zijn wensnelheid kan blijven rijden in de huidige rijstrook, de snelheid op een van de naastgelegen rijstroken dichterbij zijn wensnelheid ligt en er voldoende ruimte is om naar die rijstrook te wisselen. De verklarende variabelen volgens deze theorie zijn daarmee een bestuurders wensnelheid en de juiste rijstrook om een route te

volgen, terwijl recent onderzoek [2] juist heeft aangetoond dat er meerdere strategieën zijn en de rijstrookkeuze niet altijd van de snelheid afhangt.

Rijstrookwisselmodellen die gebaseerd zijn op discrete-keuze-algoritmes kunnen het geobserveerd gedrag al beter beschrijven. Voorbeelden van deze modellen zijn beschreven in [7] en [9]. Het rijstrookwisselmodel LRMS [7] is in staat gesynchroniseerde rijstrookwisselingen te simuleren, waarbij bestuurders hun snelheid aanpassen aan die van de naastgelegen rijstrook en daarin een bepaald hiaat op te zoeken om naartoe te wisselen. De motieven achter de wens om van rijstrook te wisselen hangen in dit model samen met de wensnelheid, de te volgende route en om rechts te houden als dat mogelijk is.

Verschillen in rijgedrag tussen mensen worden veelal gemodelleerd door te variëren met de parameters van het gedragsmodel of door het gebruik van logit-functies. Geen van de beschouwde rijstrookwisselmodellen is echter in staat de vier strategieën te simuleren.

2.4 Rij-experimenten en enquêtes voor onderzoek naar rijgedrag

Rij-experimenten kunnen op verschillende manieren opgezet worden. Het doel van het rij-experiment in deze context is om meer inzicht te krijgen in het rijstrookwisselgedrag en de motieven daarachter om rijgedrag beter te begrijpen. In de VS is een grootschalig rijonderzoek [10] geweest waarbij circa 100 voertuigen werden uitgerust met tal van sensoren om over een langere periode data te verzamelen over rijgedrag met betrekking tot snelheid, acceleratie, deceleratie en bijvoorbeeld knipperlichtgebruik. Bij een dergelijke opzet van een rij-experiment is het echter niet mogelijk ook daadwerkelijk de mensen te vragen naar de achterliggende gedachte achter een rijstrookwisseling, aangezien deze deels onbewust worden uitgevoerd. Er zijn ook rijonderzoeken geweest waarbij de mensen geïnterviewd zijn, net zoals in het huidige onderzoek. In een van deze twee onderzoeken moesten participanten een vastgestelde route rijden, en tijdens het rijden commentaar geven op hun rijgedrag. Een onderzoeker reed mee in de auto en beoordeelde de bestuurder op zijn rijgedrag. Nadelen van deze opzet is dat mensen beïnvloed worden door de aanwezigheid van andere personen in de auto, en daardoor minder hun natuurlijke rijgedrag vertonen. Overigens zal de aanwezigheid van camera's ook het rijgedrag van een deelnemer beïnvloeden, al wordt verwacht dat dit effect minder groot is dan bij de aanwezigheid van een onderzoeker in de auto.

Rij-experimenten waarbij sensoren worden geïnstalleerd in een voertuig kunnen over langere periode rijgedrag van bestuurders meten/observeren. Rij-experimenten waarbij bestuurders gevraagd worden naar hun rijgedrag zijn vanwege praktische redenen beperkt in tijdsduur. Bestuurders kunnen echter verschillende rijstijlen ook toepassen, een bestuurder rijdt niet altijd even hard of defensief/agressief. In de beperkte tijd dat rijgedrag wordt geobserveerd tijdens het rij-experiment kunnen niet alle rijstijlen van een bestuurder worden waargenomen. In de interviews zijn de deelnemers echter wel naar zo veel mogelijk aspecten van hun rijgedrag gevraagd.

In de interviews en de enquêtes zijn mensen gevraagd naar hun eigen rijgedrag. Je kunt je af vragen hoe betrouwbaar deze antwoorden zijn. Hoe goed zijn mensen in staat hun eigen gedrag te beschrijven? Ook gezien een deel van de rijtaak op de automatische

piloot wordt uitgevoerd, in het onbewuste. Een handboek voor focusgroep discussies geeft aan dat de interviewer een grote rol heeft in de betrouwbaarheid van de antwoorden. Het is van belang dat de interviewer een deelnemer vrij laat in zijn mening en geen oordeel velt, omdat een persoon anders terughoudend kan worden in zijn antwoorden. Deelnemers aan het rij-experiment van [2] waren goed in staat na een autorit van circa 25 minuten hun keuzes en motivaties achter hun rijgedrag toelichten.

De betrouwbaarheid van zelf-gerapporteerd rijgedrag middels enquêtes wordt geregeld ter discussie gesteld. Er kunnen behoorlijke verschillen zitten in wat mensen zeggen wat ze doen, en wat ze daadwerkelijk doen. Enerzijds kan dit komen door onwetendheid, maar mensen zijn soms ook geneigd sociaal wenselijke antwoorden te geven. Om dat laatste te voorkomen is het waarborgen van de anonimiteit van de deelnemers van groot belang. Ondanks enkele nadelen van enquêtes, blijft dit een methode die grote voordelen heeft gezien binnen relatief korte tijd en voor lage kosten een groot aantal respondenten ondervraagd kan worden.

3. Rij-experiment met interview

Het doel van het rij-experiment is meer inzicht te krijgen in de toepassing van de vier rijstrookwissel-strategieën en de aspecten die daarbij een rol spelen.

3.1 Opzet

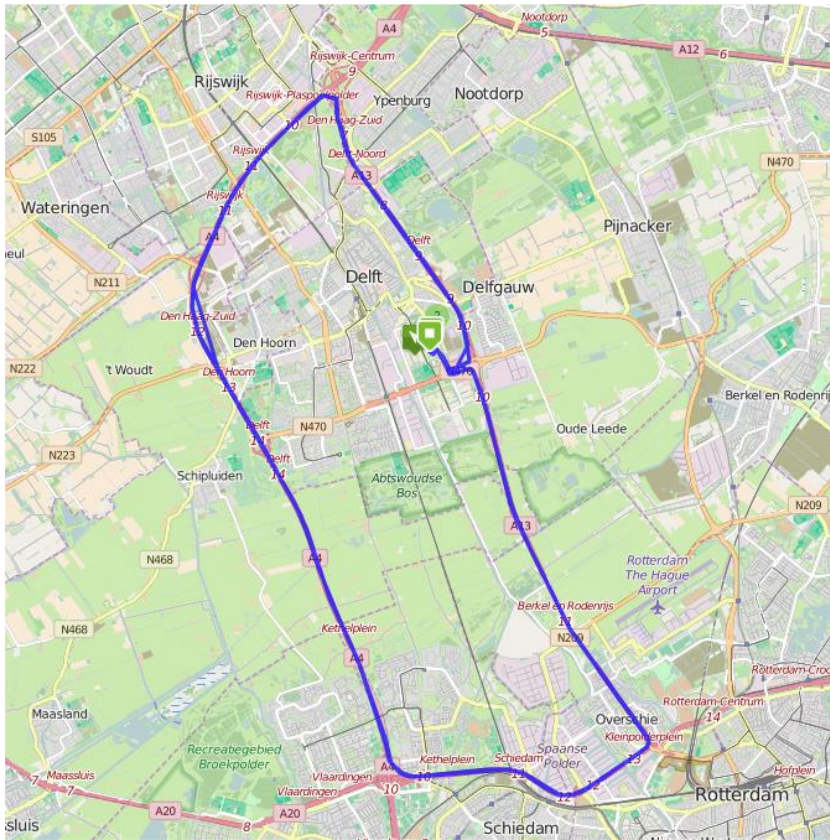
Deelnemers voor het rij-experiment zijn geworven middels flyers op de TU Delft en in het professionele en privé netwerk van de onderzoeker zelf. Op deze manier is getracht een gemixte groep van deelnemers te werven. Als compensatie voor hun tijd kreeg iedere deelnemer een cadeaubon van 25 euro. In totaal deden 34 mensen mee, waarvan 8 vrouwelijke deelnemers, leeftijden variërend van 18 tot 69 jaar, studenten en voltijd-werkenden, mensen die één keer per maand rijden en mensen die elke dag rijden.

Verspreid over enkele dagen in februari 2016 met wisselende weersomstandigheden (regen/droog, daglicht/schemer) werden de rij-experimenten gehouden. De meeste deelnemers reden buiten de spits, een paar deelnemers reden tijdens de spits waardoor het drukker was op de weg.

Iedere deelnemer heeft een vooraf bepaalde route gereden over de snelweg. De route is weergegeven in figuur 1 en leidt over (delen van) de A13, de A20 en de A4. Totaal was de route ongeveer 40 kilometer lang, en de deelnemers waren 30-40 minuten onderweg. Op de meeste stukken van de route geldt een snelheidslimiet van 100 km/u, enkel op de A13 bij Overschie geldt een limiet van 80 km/u. Het aantal rijstroken wisselde van 2 rijstroken tot 3 rijstroken.

De deelnemers reden in een auto (Toyota Prius) van de TU Delft waarin drie camera's geïnstalleerd waren om de verkeerssituatie voor- en achter de auto op te nemen. Vooraf werden de deelnemers geïnstrueerd over de auto en de route. Ze werden verteld te rijden zoals ze normaal ook zouden doen, en aan hun eigen veiligheid te denken. Sommige deelnemers waren bekend met de route, anderen niet en zij gebruikte een

navigatiesysteem om de route af te leggen. Tijdens het rijden van de route reed er niemand mee met de deelnemers, ze waren alleen in de auto.



Figuur 1: route van het rij-experiment



Figuur 2: camerabeeld van verkeerssituatie voor de auto

Na het rijden van de route werden de deelnemers geïnterviewd over hun rijgedrag. Het interview bestond uit twee delen: een deel met vaste vragen over het rijgedrag van de deelnemer in het algemeen en een deel waarbij aan de hand van de camerabeelden het rijgedrag en motieven daarachter werden besproken. Tijdens het interview werden de vier strategieën uitgelegd en besproken aan de deelnemers.

3.2 Uitkomsten rij-experiment

In tabel 1 is de verdeling van de deelnemers over de verschillende combinaties van strategieën weergegeven. Een bestuurder kan tijdens een rit meerdere strategieën toepassen, waardoor verschillende combinaties mogelijk zijn. De strategieën zijn toegewezen aan deelnemers op basis van het rij-experiment en antwoorden ten tijde van het interview. Ongeveer de helft van de bestuurders past een combinatie van drie strategieën toe, slechts twee deelnemers passen altijd een en dezelfde strategie toe. Het is echter niet bekend hoe vaak de deelnemers een strategie toepassen, vanwege de beperkte duur van het rij-experiment.

Aantal strategieën per persoon	Strategieën				Aantal deelnemers	Aantal deelnemers (subtotaal)
	Snelheid leidend	Snelheid met snelheidsverhoging	Rijstrook leidend	Verkeer leidend		
1	x				1	2 (6%)
		x			1	
2	x		x		2	10 (29%)
	x			x	1	
	x	x			4	
			x	x	1	
3		x	x	x	2	18 (53%)
	x	x	x		3	
	x	x		x	7	
4	x	x	x	x	8	4 (12%)
Aantal deelnemers	27 (79%)	30 (88%)	18 (53%)	17 (50%)	34 (100%)	34 (100%)

Tabel 1: verdeling van deelnemers over de combinaties van strategieën.

Vaak waren deelnemers zich ook niet bewust dat ze een bepaalde strategie toepassen. Niet iedereen geeft namelijk bewust gas bij het inhalen, maar na het zien van de beelden bleek toch dat ze dit deden. Een aantal bestuurders houdt ook niet goed rechts, ondanks de verkeersregel dat als het mogelijk is je rechts moet houden. Doordat er bijvoorbeeld een of meerdere vrachtwagens op de rechter rijstrook reden bleven de deelnemers in de middelste rijstrook 'hangen', omdat ze niet vast wilde komen zitten op de rechterstrook. In sommige gevallen kan dit gedrag echter ook als rijstrook-leidend gezien worden, omdat er momenten waren dat er ruim voldoende ruimte op de rechter rijstrook was dat er rechts gehouden kon worden. Een groot aantal aspecten die van invloed zijn op rijstrookwisselgedrag en motieven om strategieën toe te passen zijn geïdentificeerd middels het rij-experiment, een aantal voorbeelden:

- Het kan bijvoorbeeld comfortabel zijn om even in dezelfde rijstrook te blijven rijden en hun snelheid aan te passen.
- De drang om met de eigen wenssnelheid te rijden neemt in het algemeen af wanneer het drukker wordt op de weg, waardoor bestuurders meer strategie 3 of 4 toepassen.
- Sneller rijdend achteropkomend verkeer kan ervoor zorgen dat bestuurders zich iets opgedrongen voelen en bij het rijstrook wisselen ook de snelheid iets verhogen, om

anderen niet te lang te hinder. Ook het omgekeerde is gevonden: sommige bestuurders zeggen zich door niemand te laten beïnvloeden.

- Bestuurders die gebruik maken van cruise control rijden vaker met strategie 1.
- Mensen rijden met de verkeersstroom mee volgens strategie 4, omdat ze bij willen dragen aan een stabiele verkeersstroom of omdat ze dat veiliger vinden. Ook zijn er bestuurders die sneller willen rijden dan de rest, en daardoor ook hun snelheid laten afhangen van anderen.

4. Online enquête met videobeelden van verkeerssituaties

De enquête is gebruikt om op grote schaal inzicht te verkrijgen in de toepassing van de verschillende strategieën. Een veel grotere steekproef kan namelijk verkregen worden middels enquêtes dan middels rij-experimenten, zodoende kunnen relaties tussen persoonlijke kenmerken en rijstroomwisselgedrag onderzocht worden.

4.1 Opzet enquête

In de enquête zijn 14 vragen opgenomen die zijn geïntroduceerd met een filmpje van een verkeerssituatie. Respondenten werd gevraagd het filmpje te kijken, en te bepalen wat ze aan het einde zouden doen wat betreft snelheid en rijstrookkeuze. De filmpjes bestaan uit videomateriaal van het rij-experiment. In de filmpjes is de huidige 'eigen' snelheid, de snelheidslimiet en een binnenspiegel voor de verkeerssituatie opgenomen. Zodoende wordt een realistische situatie geschetst. De filmpjes duren circa 10 tot 15 seconden. De respondenten kunnen kiezen uit een aantal meerkeuzeantwoorden of een eigen antwoord te formuleren, ieder meerkeuzeantwoord komt overeen met een strategie. In de enquête zijn mensen ook gevraagd naar een aantal persoonskenmerken zoals leeftijd, rijervaring en rijfrequentie.

De vragen zijn onderverdeeld in een aantal categorieën:

- *Strategie 1, 2 of 3.* Filmpjes om rijgedrag te kunnen onderscheiden voor verschillende situaties naar de eerste drie strategieën.
- *Strategie 4.* Laten mensen hun rijgedrag beïnvloeden door anderen, zoals snelle achteropkomers of snelle voorbijgangers?
- *Rechts rijden.* Wanneer houdt iemand wel rechts en wanneer niet?
- *Rechts inhaalgedrag.* Zou je een 'onnodig' linksrijder via zijn rechterkant inhalen?
- *Vrijwillig rijstrookwisselgedrag rond opritten.* Maken bestuurders ruimte voor voertuigen op de invoegstrook?



Figuur 3: voorbeeld filmpje (<https://www.youtube.com/watch?v=1mwKM7IVIBo>)

De enquête is verspreid in het eigen netwerk van de onderzoekers, op de TU Delft en in meerdere nieuwsbrieven van de ANWB. Onder alle enquête deelnemers is een cadeaubon van 50 euro verloot. In totaal hebben 1.258 respondenten de enquête ingevuld, mensen tussen 20 en 25 jaar oud en boven de 60 jaar zijn licht oververtegenwoordigd in de steekproef. Middels statistische analyses is onderzocht of relaties bestaan tussen persoonskenmerken en rijgedrag.

4.2 Uitkomsten enquête

In tabel 2 is de verdeling weergegeven van de respondenten over de vier strategieën. De resultaten laten een zelfde beeld zien als het rij-experiment, namelijk dat de meeste mensen strategie 1 toepassen. Maar ook dat er situaties zijn waarin massaal strategie 3 wordt toegepast. In een van de scenario's dienden bestuurders over 3000 meter de afslag te nemen, waarbij groot aantal op de rechter rijstrook blijft rijden ondanks een lagere snelheid. In een ander scenario dient ook een route gevolgd te worden, maar rijdt er een langzame vrachtwagen, een groot deel van de respondenten besluit daarachter te blijven en zijn snelheid aan te passen. Interessant is ook het scenario waarin de bestuurder in het filmpje door meerdere auto's ingehaald, en ondanks dat er met de wensnelheid van de respondent wordt gereden, besluiten toch veel mensen harder te gaan rijden.

Scenario	Thema	Rijstrookwissel-strategie							Open antwoorden
		1	2	3	4	1/2	3/4	3*	
2	Strategie 1,2,3	77%	10%	12%	1%	-	-	-	0%
3	Strategie 1,2,3	56%	43%	-	-	-	-	-	1%
4	Strategie 1,2,3	-	-	-	-	27%	73%	-	0%
6	Strategie 1,2,3	-	-	44%	-	28%	-	27%	1%
9	Strategie 1,2,3	85%	11%	3%	-	-	-	-	1%
11	Strategie 1,2,3	-	-	-	12%	87%	-	-	1%
13	Strategie 1,2,3	20%	18%	61%	-	-	-	-	1%

Tabel 2: verdeling van respondenten over de verschillende rijstrookwissel-strategieën

In tabel 3 is weergegeven in hoeveel respondenten rechts houden voor verschillende situaties. Dit verschilt sterk per situatie. Met name in geval in de verte een vrachtwagen op de rechter rijstrook rijdt, houden bestuurders minder rechts. Ook in geval van een tweestrook-snelweg (scenario 10) houden bestuurders minder rechts dan in geval van een driestrooks-snelweg (scenario 8). In geval van een spitsstrook wordt nog minder rechts gehouden (scenario 14).

Scenario	Thema	Wisselen naar rechter rijstrook?		Open antwoorden
		Ja	Nee	
7	Rechts rijden/strategie 4	57%	42%	1%
8	Rechts rijden	88%	12%	0%
10	Rechts rijden	76%	23%	1%
14	Rechts rijden	73%	25%	2%

Tabel 3: naleving van de 'rechts houden'-regel in verschillende scenario's

De meerderheid van de respondenten zou anderen niet rechts inhalen, zoals te zien is in tabel 4. De meerderheid maakt ook ruimte voor voertuigen op de invoegstrook om in te voegen, de meeste door van rijstrook te wisselen, maar een enkeling ook door de snelheid aan te passen.

Scenario	Thema	Rechts inhalen?	
		Ja	Nee
1	Rechts inhalen	20%	80%
5	Rechts inhalen	16%	84%

Tabel 4: percentage van mensen dat rechts in haalt

Scenario	Thema	Coöperatief gedrag?			
		Ja		Nee	Open antwoorden
		Rijstrookwisseling	Snelheidsaanpassing		
12	Vrijwillige rijstrookwisseling	72%	11%	16%	1%

Tabel 5: percentage van mensen dat ruimte maakt voor invoegers

De respondenten laten een grote variatie aan rijgedrag zien, er zijn nagenoeg geen identieke combinaties van antwoorden gegeven op de enquête. Statistische tests zijn gedaan om relaties tussen persoonskenmerken en rijgedrag te onderzoeken. Er zijn een aantal relaties significant gevonden middels een Chi-square test, maar de Cramer's V test resulteerde vaak in een verwaarloosbaar klein verschil. Alleen in scenario 6 is een middelgroot en significant verschil gevonden op basis van leeftijd. In scenario 6 dient de respondent over 3000 meter de afslag te nemen. Dit is nog een behoorlijke afstand, want de eerste afrit vermelding staat op circa 1300 meter stroomopwaarts van de afrit. In een dergelijke situatie blijven ouderen vaker in de rechter rijstrook rijden tot aan de afrit en daarbij hun snelheid aanpassen dan jongeren, die vaker nog van rijstrook wisselen om met hun wenssnelheid te rijden. Het volgen van een bepaalde route heeft significant effect op de rijstrookkeuze en daarmee de rijstrookwissel-strategie. Ten slotte, iemands wenssnelheid en leeftijd hebben ook een significante relatie: jongeren hebben gemiddeld een hogere wenssnelheid dan ouderen.

4.3 Validatie

Een aantal deelnemers van het rij-experiment heeft ook de enquête ingevuld, waarmee de enquête gevalideerd is. Van in totaal 147 antwoorden in de enquête komen 127 (86%) overeen met de bevindingen van het rij-experiment. De overige 20 antwoorden corresponderen niet, dit kan mogelijk verklaard worden door dat mensen niet altijd bewust zijn van hun eigen gedrag of dat mensen in exact dezelfde situatie niet altijd hetzelfde reageren/handelen. Persoonlijke omstandigheden zoals vermoeidheid, alertheid en frustratie zijn van invloed op een persoons rijgedrag.

5. Nederlandse automobilisten vergeleken met Amerikanen en Zwitsers

De enquête is ook (beperkt) verspreid in de VS en Zwitserland, dit heeft respectievelijk 40 en 59 respondenten opgeleverd. Daarmee zijn deze streekproeven niet representatief, maar een vergelijking met de antwoorden van de Nederlandse respondenten levert wel interessante verschillen op:

- Amerikanen blijven vaker in hun rijstrook rijden dan Nederlanders. In de VS gelden andere verkeersregels dan in NL. Overigens verschillen de verkeersregels van staat tot staat, maar in de meeste staten geldt dat vrachtwagens rechts dienen te houden en het overige verkeer zo veel mogelijk in hun rijstrook dienen te blijven: het *keep your lane* systeem. De Nederlandse respondenten zijn het overigens niet met elkaar eens of dit systeem ook in Nederland ingevoerd zou moeten worden, reacties lopen uiteen van sterk voor tot sterk tegen.
- Zwitsers sorteren eerder voor bij een afslag dan Nederlanders. Het verschil in infrastructuur in Zwitserland en Nederland kan hiervoor een verklaring zijn. De uitvoegstroken in Zwitserland zijn doorgaans een stuk korter dan in Nederland. Daardoor is er minder lengte om af te remmen, en zijn automobilisten dus geneigd en gewend om op tijd voor te sorteren indien ze een afrit moeten nemen.
- Zwitsers halen minder vaak rechts in dan Nederlanders. Zou dit komen doordat verkeersovertredingen in Zwitserland zwaarder bestraft worden dan in Nederland? Of misschien zijn de Zwitsers gewoon een netter volk dan de Nederlanders?

6. Discussie en conclusies

Onderzoek is gedaan naar strategieën in rijstrookwisselgedrag op autosnelwegen middels een rij-experiment en een online enquête. In een met camera's uitgeruste auto hebben 34 mensen een vastgestelde route gereden, waarna hun rijgedrag is besproken in een interview met de onderzoeker. Voornaamste doel was de motieven achter hun rijgedrag en aspecten die daar invloed op hebben achterhalen. Om de steekproef te vergroten en betrouwbaarder inzicht te krijgen in de verdeling van autobestuurders over de rijstrookwissel-strategieën is een online enquête uitgezet, die door 1.258 mensen is ingevuld.

Het rij-experiment heeft aangetoond dat mensen verschillende strategieën toepassen gedurende hun trip. Soms houden ze vast aan een snelheid en wisselen ze van rijstrook om die snelheid te behouden, maar soms houden ze vast aan een rijstrook en passen ze hun snelheid aan. Microscopische simulatiemodellen gaan er vaak van uit dat bestuurders altijd hun wenssnelheid nastreven, behalve op het moment dat ze een route moeten volgen en dienen uit te voegen op een bepaald punt.

De resultaten geven weer welke strategieën worden toegepast, maar niet hoe vaak iemand deze toepast. Een aantal situaties is wel geïdentificeerd waarbij een groot aantal mensen een andere strategie toepast dan hun 'default' strategie. Meer onderzoek is nodig om dit verder te kwantificeren en te implementeren in microscopische simulatiemodellen.

In Nederland zijn er steeds meer snelwegen met 3 rijstroken of meer, waarbij rijstrookwisselgedrag sterk kan verschillen met hoe er op 2-strook snelwegen wordt gereden. Zo blijven bestuurders vaker in een rijstrook hangen en wordt er meer rechts ingehaald. De rechts rijden regel is ingevoerd in de tijd dat er nog veel 2-strooks snelwegen waren; zijn deze regels nog steeds handig op 3-, 4- of 5- strooks snelwegen? Dit onderzoek heeft laten zien dat bestuurders lang niet altijd netjes rechts houden. Op een 2-strookssnelweg waarop relatief veel vrachtverkeer rijdt, blijven veel bestuurders op de linker strook rijden. Daardoor ontstaan ruimtes op de rechterstrook die niet opgevuld worden, waardoor dus capaciteit onbenut blijft. Daarom is inzicht in rijstrookwisselgedrag ook voor beleidsmakers relevant. Want er zijn mogelijk situaties waar de huidige modellen de capaciteit onder- of overschatten en er misschien toch geïnvesteerd had moeten worden, of omgekeerd.

Invoeren van het *keep your lane* systeem in Nederland is niet zo eenvoudig, en ook de verkeersveiligheid hoeft dit niet ten goede te komen. Maar is het huidige systeem dan wel veilig? Dit onderzoek heeft aangetoond dat er zowel een groep bestuurders is die graag vasthoudt aan dezelfde rijstrook (en daarbij de rechts rijden regel negeert) en een groep bestuurders die anderen rechts inhaalt. Daarvan wordt vaak gezegd dat bestuurders kunnen schrikken als ze rechts ingehaald worden, maar of dat tot extra verkeersonveiligheid leidt dient nader onderzocht te worden.

Zelfrijdende voertuigen zijn erg actueel op het moment. Verschillende fabrikanten zijn hier momenteel mee bezig. Maar welke rijstrookwissel-strategie past een zelfrijdend voertuig eigenlijk toe? En is dit wel de meest efficiënte strategie voor de verkeerafwikkeling? En zal niet, vaker dan nu het geval, is de 'snelheid leidende' strategie toegepast gaan worden indien bestuurders in een zelfrijdend voertuig rijden? Daardoor wordt mogelijk nog meer van rijstrook gewisseld, waardoor meer hiaten in de verkeersstroom ontstaan en de capaciteit wordt verlaagd. Het zou ook kunnen zijn dat juist door de verschillen in snelheid en de wisselingen een evenwicht ontstaat. We zien namelijk ook dat bij de trajectcontroles de variatie in snelheid wegvalt. Dat gecombineerd met de "rechts-rijden regel" zorgt ervoor dat de linker rijstrook onderbenut wordt.

Welke rijstrookwisselstrategie is het meest efficiënt, bij welke strategie kunnen zo veel mogelijk voertuigen over de weg, en bij welke strategie ben jij zelf het snelste thuis? Mogelijk is de rijstrook-leidende strategie voor de capaciteit gunstig, terwijl de snelheid-leidende strategie je het snelste thuis brengt. Om uit te zoeken hoe we deze twee met elkaar in overeenstemming kunnen brengen, ook om bijvoorbeeld goede keuze te maken voor zelfrijdende voertuigen, is meer onderzoek nodig.

Literatuur

- [1] Mauch, Michael and Michael J Cassidy (2002). Freeway traffic oscillations: observations and predictions. *Proceedings of the 15th international symposium on transportation and traffic theory*, pp. 653–674.
- [2] Keyvan-Ekbatani, Mehdi, Victor L Knoop and Winnie Daamen (2015b). Categorization of the lane change decision process on freeways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*.

- [3] Tool, OGP, JR Bokma en SP Hoogendoorn (2006). 80, niet altijd prachtig? *Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*.
- [4] Gipps, PG (1986). A model for the structure of lane-changing decisions. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 20, No. 5, pp. 403–414.
- [5] Wei, Heng, Eric Meyer, Joe Lee and Chuen Feng (2000). Characterizing and modeling observed lane-changing behavior: lane-vehicle-based microscopic simulation on urban street network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1710, pp. 104–113.
- [6] Hidas, Peter (2005). Modelling vehicle interactions in microscopic simulation of merging and weaving. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 13, No. 1, pp. 37–62.
- [7] Schakel, Wouter, Victor Knoop and Bart van Arem (2012). Integrated lane change model with relaxation and synchronization. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2316, pp. 47–57.
- [8] Michon, John A (1984). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? *Human behavior and traffic safety*.
- [9] Toledo, Tomer, Haris Koutsopoulos and Moshe Ben-Akiva (2003). Modeling integrated lanechanging behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1857, pp. 30–38.
- [10] Dingus, Thomas A, SG Klauer, VL Neale, A Petersen, SE Lee, JD Sudweeks, MA Perez, J Hankey, DJ Ramsey, S Gupta and Others (2006). *The 100-car naturalistic driving study, Phase II-results of the 100-car field experiment*.