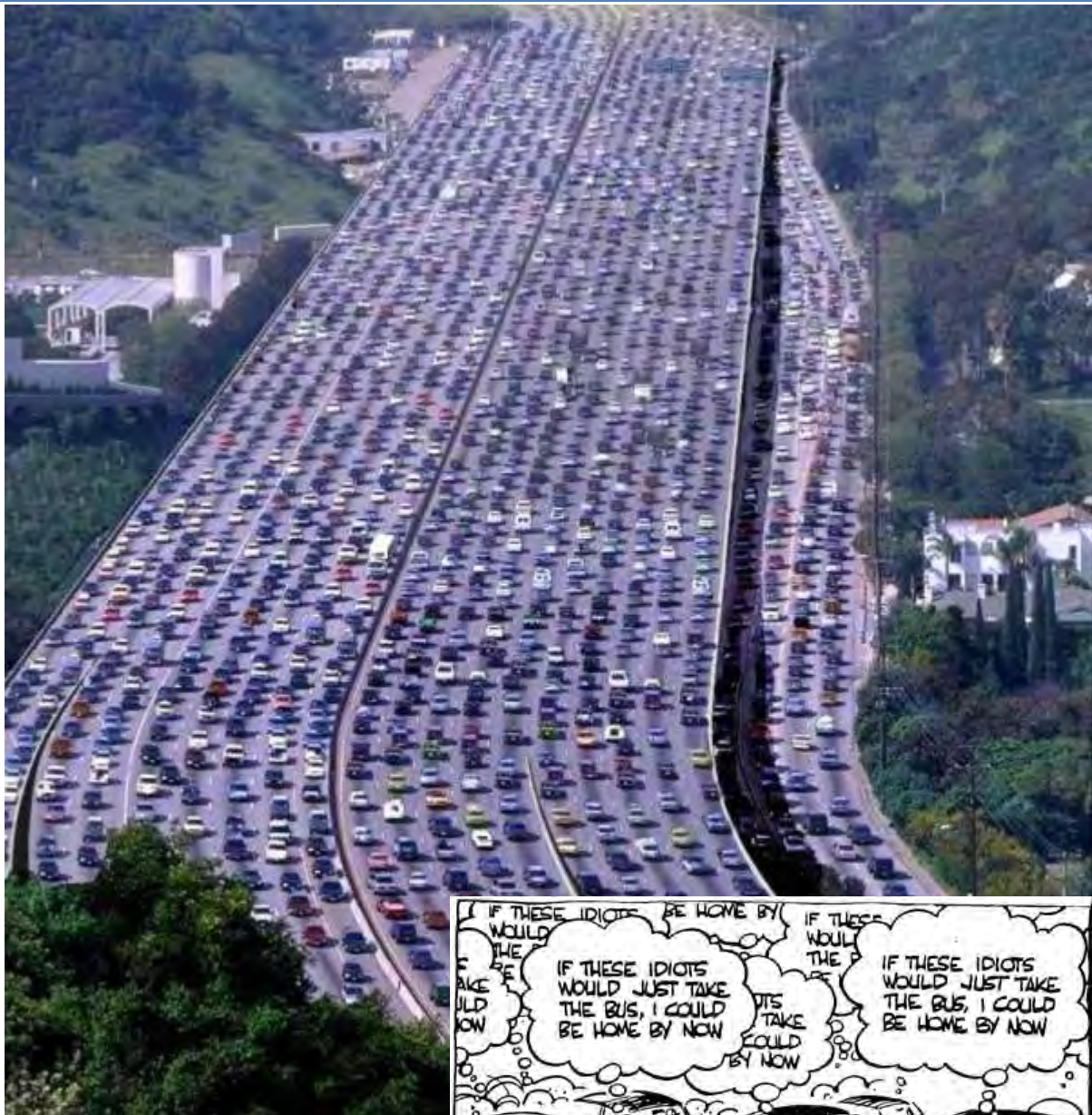


Filevorming: capaciteit of communicatie? *Reserveer je weg*



Begeleider: Rob van der Mei

Auteur: Thijs Broersen, 1577255

Inhoud

1 Inleiding	2
2 Het fileprobleem	3
2.1 Verkeerscapaciteit.....	3
2.2 De mogelijkheden om files te voorkomen	4
3 Een gecentraliseerd systeem.....	7
3.1 Input	7
3.2 Output	8
3.3 Communicatie	9
3.4 Datacentrum.....	9
3.5 Rekencentra	9
3.6 Implementatie en invoering	9
3.7 Integriteit.....	10
3.8 Dashboard	10
4 Simulatie.....	11
4.1 Tool.....	11
4.2 Werking simulatie.....	14
5 Resultaten.....	17
5.1 Voorbeelden zonder filevorming	17
5.2 Voorbeeld met filevorming	22
6 Conclusies, samenvatting en discussie.....	26
Bronvermelding.....	28

1 Inleiding

Files zorgen in Nederland voor een hoop ergernis. Vaak wordt gezegd: de Nederlandse wegen zijn te vol, want er ontstaan files door een tekort aan capaciteit. Zou dit werkelijk zo zijn? Filevorming is een fenomeen dat zich al ver terug in de geschiedenis voordeed. Ondanks de vele nieuwe wegen die erbij zijn gekomen is filevorming niet opgelost. Heeft het aanleggen van meer wegen dan wel nut? De kosten van aanleg en onderhoud zijn hoog en de filevorming blijft bestaan. Ik denk daarom dat te weinig capaciteit niet de enige oorzaak voor het fileprobleem is. Ik denk dat er beter gebruik gemaakt kan worden van de weg door meer communicatie.

We leven in een maatschappij die niet meer genoeg middelen beschikbaar heeft om iedereen te laten doen wij hij of zij wil. We moeten alles overleggen, vergunningen aanvragen, aan wetten en regels voldoen et cetera. Door de vooruitgang in communicatie-, computer- en transporttechnologie zijn vele markten sneller, efficiënter en mobieler geworden. We zijn allemaal overal en altijd bereikbaar, informatie is toegankelijker geworden door computernetwerken en op de wegen rijden steeds meer auto's. Een oplossing voor de files is er echter niet. We willen allemaal overal bereikbaar zijn. We willen allemaal de nieuwste gadgets. We zijn laks met het beschermen van onze privacy op internet, maar als we te horen krijgen dat we in de toekomst een kastje krijgen in de auto om ons te volgen, dan mag dit niet omwille van onze privacy. Dit terwijl we allemaal een mobiele telefoon bij ons dragen, die in principe al continu onze locatie aangeeft. Men kan al precies nagaan waar we elke dag heen gaan, wat voor kleren we dragen aan de hand van RFID-tags en wie onze vrienden zijn aan de hand van online profielen. Ga zo maar door.

Het wordt eens tijd dat we deze taboe doorbreken en de communicatie- en computertechnologie veel meer betrekken bij het oplossen van maatschappelijke problemen. Wat we nodig hebben om de wegen in Nederland zoveel mogelijk filevrij te houden is communicatie. Dit moet ervoor zorgen dat we zoveel mogelijk informatie kunnen uitwisselen zodat we open kunnen zijn naar elkaar over ons weggebruik. Daarmee helpen we niet alleen anderen maar uiteindelijk ook onszelf en de gehele economie in Nederland.

In dit werkstuk zal ik een manier voorstellen en bestuderen om filevorming te verminderen. Deze manier zal gebruik maken van een reserveringssysteem. Voordat ik mijn idee presenteer, zal ik een introductie geven in een aantal principes, begrippen en bestaande ideeën over oplossingen voor het fileprobleem.

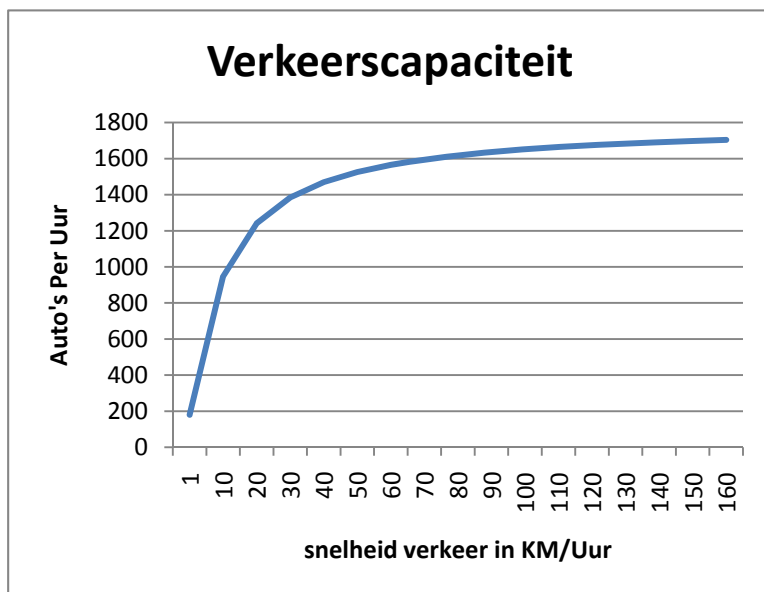
2 Het fileprobleem

In dit hoofdstuk zal ik eerst laten zien waarom verkeerscapaciteit van een stuk weg beperkt en kwetsbaar is. Vervolgens zal ik inzicht geven in de bestaande ideeën om filevorming te verminderen. Tenslotte zal ik een nieuwe weg openen naar de oplossing van het fileprobleem.

2.1 Verkeerscapaciteit

In het verkeer wordt veelal de term 'verkeerscapaciteit' gebruikt om te verwijzen naar het maximale aantal voertuigen per tijdseenheid dat een bepaald deel van de verkeersinfrastructuur kan verwerken. Ik zal in de rest van dit werkstuk enkel de term 'capaciteit' gebruiken om hiernaar te refereren.

Om een beeld te krijgen van de capaciteit van een stuk weg stellen we ons het volgende voor: we gaan uit van één rijbaan met maximale bezetting, waarop alle auto's een lengte van vijf meter hebben en elke automobilist een relatieve afstand van twee seconden op zijn voorganger aanhoudt. Het enige wat resteert is het bepalen van de voertuigsnelheid. Als we deze snelheid gelijkstellen aan oneindig, ∞ , kunnen we de praktische lengte van de auto gelijk aan nul stellen. Oneindig, zorgt dat de 5 meter lengte van de auto te verwaarlozen is als de auto's al 2 seconden afstand op hun voorganger houden, $\frac{5}{\infty} = 0$. De lengte van de auto bepaalt nu niet meer hoeveel wegdek hij bezet houdt maar enkel zijn volafstand welke we op 2 seconden hebben gezet. Nu kunnen we de doorstroming per uur bepalen. De rekensom hiervoor is het aantal seconden in een uur gedeeld door de gehouden afstand in seconden: $60 * 60 / 2 = 1800$. Onze theoretisch maximum (*upperbound*) in dit scenario is dus 1800 *auto's per uur*. In figuur 1 is de capaciteit van de rijbaan in dit scenario berekend voor snelheden tot 160 *km/uur*.



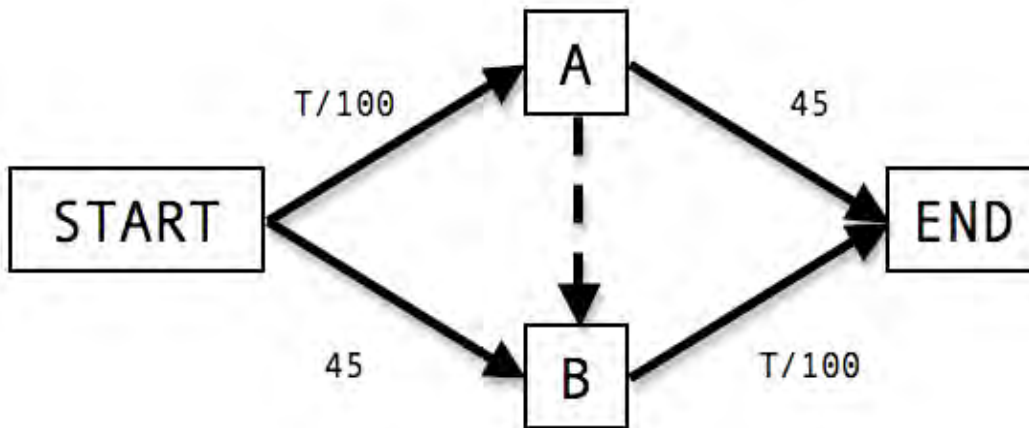
Grafiek 2.1: capaciteit van 1 rijbaan vs. voertuigsnelheid

In grafiek 2.1 is te zien hoe de capaciteit toeneemt naarmate de snelheid van de auto's toeneemt. We zien dat de capaciteit bij een lage snelheid sneller toeneemt dan bij een hoge snelheid en we weten dat hij zal convergeren naar 1800. Uit deze grafiek kunnen we afleiden dat wanneer de maximale capaciteit bij een willekeurige snelheid wordt overschreden, en het eerste proces in het ontstaan van een file - langzamer rijden - in werking treedt, we ons naar links

verplaatsen op de curve. Op dit punt is de capaciteit lager waardoor er opnieuw geremd moet worden. Het is duidelijk dat hier een vicieuze cirkel ontstaat en de file wordt geboren. Om files te voorkomen moeten we ervoor zorgen dat er een buffer blijft tussen de actuele drukte op de weg en de verkeerscapaciteit. Om dit te bereiken zal de automobilist gestimuleerd moeten worden in een meer flexibel te zijn in zijn of haar weggebruik met een betere spreiding van het verkeer als gevolg.

2.2 De mogelijkheden om files te voorkomen

Als we gaan kijken naar de mogelijkheden om files te voorkomen dan zullen we het niet gaan hebben over 'meer asfalt'. Het aanleggen van wegen is een zeer dure aangelegenheid. Dit extra wegdek vereist duur onderhoud. Asfalt slijt namelijk niet alleen door het verkeer, maar ook door weersomstandigheden zoals bijvoorbeeld vorst. Meer asfalt leidt tot meer wegcapaciteit, maar kost dus veel geld. Echter leidt het aanleggen van meer wegen niet altijd tot een betere doorstroming van het gehele netwerk. Dit wordt de Braess-paradox genoemd en heeft te maken met het feit dat het Nash-evenwicht niet altijd optimaal is [4]. Het gaat ervan uit dat elke individu zelfzuchtig is en het werkt als volgt:



Figuur 2.2:
Braess-
paradox
voorbeeld
[4]

Er zijn 4000 voertuigen die van START naar END willen. Tussen START en B en tussen A en END bevindt zich een grote weg. De reistijd is hier altijd gelijk aan 45, ongeacht de drukte. De weg tussen START en A en tussen B en END zijn kleinere wegen met een beperkte capaciteit. De reistijd bedraagt hier $T/100$, met T het aantal voertuigen. Tussen A en B zit een berg en deze voorkomt dat mensen rechtstreeks van A naar B kunnen reizen. Er ontstaat nu een Nash-evenwicht waarbij 2000 mensen via A reizen en 2000 mensen via B. De reistijd bedraagt: $\frac{2000}{100} + 45 = 65$. Nu wordt er een tunnel aangelegd tussen A en B. De reistijd door de tunnel is heel kort. Om het makkelijk te maken nemen we hiervoor nul. Het Nash-evenwicht dat ontstaat is $A = B = 4000$ dus de reistijd per voertuig: $\frac{4000}{100} + \frac{4000}{100} = 80$. De reden dat er gekozen wordt te reizen via A en B is het feit dat men van START naar A en van B naar END maximaal 40 aan reistijd kwijt is, terwijl van START naar B en van A naar END nog steeds gelijk is aan 45.

Capaciteit moet op vele plaatsen worden toegevoegd om ervan te kunnen profiteren. Als er een weg slechts op een enkel punt wordt verbreed en verderop is deze smaller, dan heb je te maken met een bottleneck en is er geen profijt te behalen van de extra rijbanen. Daarnaast is het aanleggen van meer kilometers weg een tijdrovende bezigheid en geeft het geen garantie dat het files oplost. Een voorbeeld hiervan is de M25, de ring van Londen, waar de maximum capaciteit al een week na de opening in 1986 werd overschreden met files als gevolg. Een ander interessant voorbeeld is te zien op de voorpagina van dit werkstuk. Het is een foto van een ongeveer twee keer tien banen tellende snelweg waarop ondanks zijn enorme capaciteit toch veel files staan. Een snelweg van dit kaliber is niet zomaar ontstaan maar in stappen vergroot en bij elke stap dacht men de files op te kunnen lossen. Het mag duidelijk zijn dat een vergroting van de capaciteit niet het beste middel is om de files op te lossen. Mensen zullen meer geneigd zijn tegelijkertijd gebruik te maken van de weg omdat de capaciteit veel groter is geworden of mensen maken meer gebruik van de weg om naar het werk te gaan in plaats van te verhuizen naar een plek dicht bij het werk.

2.3 Huidige etalage van methodes

Hoe kunnen automobilisten de juiste impulsen gegeven worden om beter gebruik te maken van de weg? Filevorming is een probleem dat zich over de hele wereld voordoet. In Nederland vindt dit over het algemeen alleen tijdens de ochtend- en avondspits plaats en in bijzondere situaties. Echter, over de jaren heen is het weggebruik alleen maar toegenomen en daarmee ook de lengte van de spitsuren. Deze piekmomenten worden gevolgd door dalmomenten waardoor de file zich nog oplost voor het volgende spitsuur begint. Als het verkeersaanbod te groot wordt dan is er een kans dat er een file ontstaat die niet meer oplost voordat het volgende piekmoment in verkeersaanbod begint. Dit gebeurde in augustus 2010 in China, er ontstond een file van 100 kilometer en die duurde 11 dagen.

In Nederland zijn er verschillende voorstellen gedaan om de automobilist te kunnen beïnvloeden. Enkele voorbeelden:

1. Betaalstroken, keuze in rijbanen, betaald doorrijden of gratis in de file staan
2. Rekeningrijden, betalen per gereden kilometer of tolheffing van een bepaald stuk weg en/of een bepaalde tijd [5]
3. (Vlakke) kilometerheffing, tarief per gereden kilometer en gedifferentieerd naar plaats en tijd [6]

In de vormen waarin ze gepresenteerd werden waren ze lastig implementeerbare, niet efficiënte of (bij het volk) verkeerd gevallen methoden. Rekeningrijden is bijvoorbeeld een naam die een negatieve lading met zich meedraagt en veel weerstand oproept bij het volk. Naast deze instrumenten zijn er ook de brandstofaccijnzen. Dit is een methode om het totale weggebruik terug te dringen door het algemeen duurder te maken. De effecten hiervan zijn meestal van korte duur en brengen eerder inflatie met zich mee. De methode is gericht op minder weggebruik in plaats van efficiënter weggebruik. Naast de instrumenten die de overheid heeft, bieden commerciële bedrijven ook mogelijkheden door file-informatie te verkrijgen. Hiermee kan de automobilist al iets beter rekening houden met files en beter gebruik maken van de weg. Toch komen we hiermee niet in de buurt van wat we willen: filevrije wegen. We proberen de berg op te komen waarvan we hopen dat de top ons een filevrije weg geeft, maar elke keer is het de verkeerde berg of we glijden steeds weer terug als we een stap omhoog willen doen.

In het buitenland zijn er ook verschillende systemen bedacht en zelfs toegepast om automobilisten financieel te prikkelen hun weggebruik aan te passen. Enkele voorbeelden:

1. USA: **Congestion/Value Pricing**, tolheffing van een bepaald stuk weg en/of een bepaalde tijd
2. USA/AU: **HOV-lane (High-Occupancy Vehicle)**, een HOV-rijbaan is bedoeld voor voertuigen met meer dan twee personen, een manier om carpoolen te stimuleren. [7]
3. USA: **HOT-lanes (High Occupancy Toll)**, uitbreiding op HOV-lane, als voertuigen niet aan de voorwaarden voldoen mogen ze tegen betaling HOV-rijbanen gebruiken. [8]
4. Londen: **Congestion Charging**, betalen voor het gebruik van een bepaald gebied. [9]

Deze systemen hebben allemaal positieve effecten op het verplaatsingsgedrag van mensen. [2] Het zijn manieren om het weggebruik terug te dringen of mensen te laten carpoolen en om beter gebruik te maken van de weg. De doorstroming zal naar verhouding beter zijn naarmate de bezetting lager is omdat er dan op hogere snelheden kan worden gereden.

2.4 Een analogie met andere markten

Het alternatief voor meer asfalt is het optimaliseren van het weggebruik. Hoe kan ervoor gezorgd worden dat de doorstroming beter wordt in het huidige wegennet door mensen te sturen in hun weggebruik? In de huidige situatie weten mensen meestal niet wanneer de rest van Nederland van plan is waar en wanneer de weg te gebruiken.

Een goede start voor het onderzoeken van mogelijkheden om het weggebruik te optimaliseren is door in de markt te gaan kijken naar soortgelijke industrieën en de manier van aanpak daar.

Vervolgens kunnen we kijken of deze methode vertaald kan worden naar een passende vorm voor het wegennet in Nederland.

We kunnen een stuk weg, oftewel de ruimte voor een voertuig, vergelijken met een zitplaats die zich verplaatst over tijd. Tussen deze stukjes weg reserveren we ruimte om de afstand tot andere gereserveerde stukjes weg veilig te houden, zie dit als de beenruimte tussen de zitplaatsen. Vervolgens gaan we deze zogenaamde zitplaatsen, net als bij vliegtuigen, verkopen. We laten een deel van de zitplaatsen vooraf reserveren. Dit kan op elk moment voor het vertrek ($0 < \text{reservering} < \text{vertrek}$). Laat dit de basis zijn voor een systeem van weggebruik waarin de wegenbelasting, via het verkoop van stukjes weg, dynamisch dan wel semi-dynamisch (deel vast, deel variabel) zou kunnen worden geheven, en waarbij een zekere mate van marktwerking qua vraag-aanbod het mechanisme zal zijn om de gewenste spreiding van het verkeer te behalen.

3 Een gecentraliseerd systeem

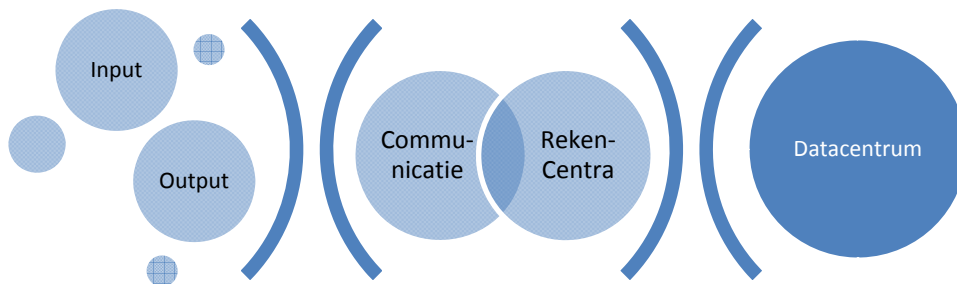
Om mensen meer sociaal gebruik te laten maken van de weg en ze zo het beste voor zichzelf en voor anderen te laten bereiken, is de eerste waaraan ik dacht: communicatie, hoe is er voor te zorgen dat mensen weten wat er gaande is op de weg en wat er nog gaat gebeuren? Zolang er verschillende instanties zijn die producten leveren om mensen advies in reizen te geven, zal er altijd verschil zijn tussen die adviezen, simpelweg omdat niet elke instantie over alle informatie kan beschikken door de verdeeldheid van de markt. Als er wel informatie zal worden uitgewisseld tussen die bedrijven dan zal het niet gratis zijn en bovendien hebben ze elk de middelen nodig om het rekenwerk te doen en de data bij te houden. Een niet erg efficiënt noch optimaal scenario.

Als we het maximale uit het wegennet willen halen dan moet er één systeem komen die alle beschikbare informatie opslaat en verwerkt. Om economische redenen is dit duurzaam, maar ook om praktische redenen zoals: betere oplossingen wegens meer data. Veel belangrijker is nog het feit dat een manier om mensen financieel te prikkelen een stuk eenvoudiger is. De bestaande wegenbelasting zou dan bijvoorbeeld op een eenvoudigere manier via dit systeem kunnen worden geheven dan wanneer iedereen de reserveringskosten betaalt aan een door hem gekozen organisatie.

Voor de communicatie zou het systeem gebruik kunnen maken van de bestaande technieken, zoals internet, personal computers, mobiele telefoons, navigatiesystemen, bestaande informatiesystemen van Rijkswaterstaat et cetera. Op deze manier is implementatie eenvoudiger en de drempel naar het volk toe lager.

Ik zal nu een concept Systeem omschrijven om een indruk te geven van wat mijn gecentraliseerde systeem inhoudt. Het systeem zal ik in verschillende componenten opdelen:

1. Input
2. Output
3. Communicatie
4. Datacentrum
5. Rekencentra



Figuur 3.1: visualisatie hiërarchie gecentraliseerd systeem

3.1 Input

De input is het rekenvoer voor het systeem om de bezetting op de weg te voorspellen en het bepalen van prijzen voor de ritten gedifferentieerd naar tijd en plaats. Laten we een aantal mogelijkheden noemen:

1. Route reserveringen
2. GPS data
3. Rijkswaterstaat data
4. Weer en andere factoren

1. Route reserveringen:

Mensen kunnen vooruitplannen en reserveringen doen voor wegruimte. Mensen kunnen bij vertrek aangeven welke route ze verwachten te rijden. Deze route kan nog steeds gemaakt worden door het door de automobilist gewenst systeem zoals bijvoorbeeld een navigatiesysteem, routeplanner op internet of zelf bepaald.

2. GPS data:

Steeds meer mensen beschikken over navigatiesystemen en telefoons met GPS. Deze bronnen van data kunnen zeer nuttig zijn om real-time situaties te kunnen monitoren en te gebruiken voor informatieverstrekking aan medeautomobilisten.

3. Rijkswaterstaat data:

Rijkswaterstaat heeft informatie over de huidige situatie. Hij beschikt over veel informatiebronnen, zoals informatie over wegwerkzaamheden. Bovendien kunnen zijn camera's langs de weg een belangrijke input zijn voor controle op illegaal weggebruik. Hier zal ik later op terug komen.

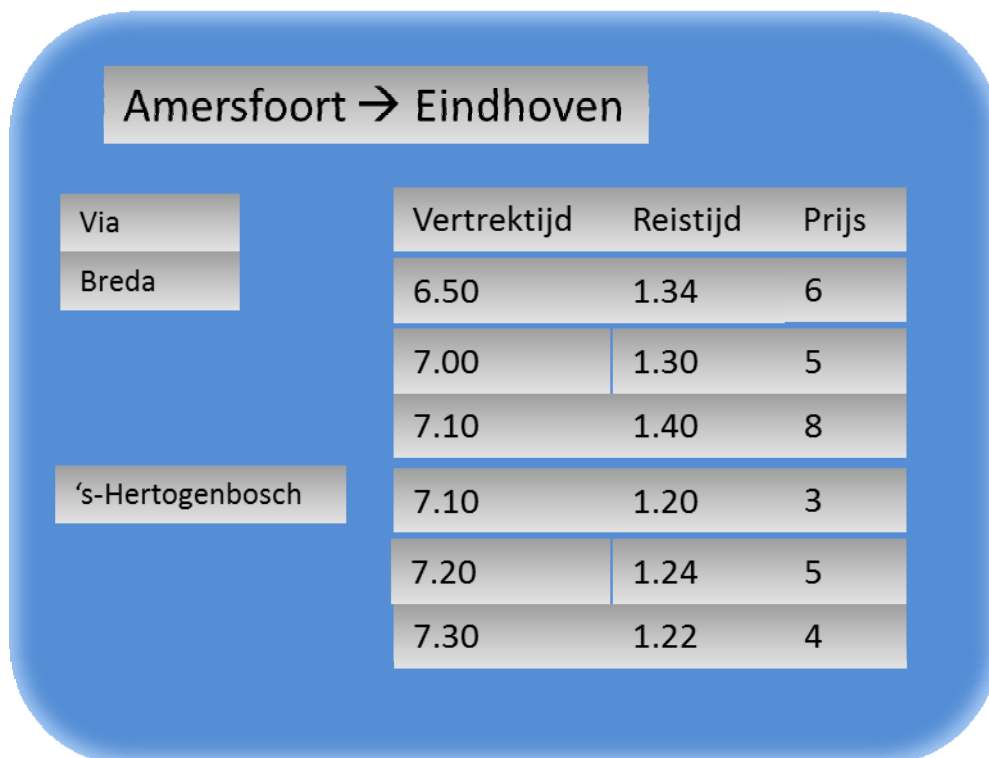
4. Weer en andere factoren:

Het weer kan een belangrijke invloed hebben op het weggebruik en rijgedrag. Bijvoorbeeld de voertuigsnelheid en de kans op ongelukken. Dit maakt het mogelijk om in combinatie met historische data betere voorspellingen te maken en/of tijdig aan knoppen te draaien om gewenste resultaten qua drukte te creëren. Andere factoren die van invloed kunnen zijn op verkeersdrukke, zoals grote evenementen waarbij aanzienlijk meer verkeer zich over bepaalde routes zal verplaatsen, zijn ook nuttig om te gebruiken in de voorspellingen.

3.2 Output

De output van het systeem is bedoeld om de automobilist op de juiste manier te prikkelen slim gebruik te maken van de weg. Een gebruiker wil immers niet te veel tijd kwijt zijn evenals te veel geld. Daarom stel ik me als output naar de gebruiker een lijst voor met verschillende mogelijke vertrektijden. Deze lijst bevat een aantal vertrektijden per gewenste routes met:

1. Reistijd
2. Prijs



The screenshot shows a reservation interface for the route Amersfoort to Eindhoven. It features a table with columns for departure time, travel time, and price. Two route options are shown: one via Breda and one via 's-Hertogenbosch. Each option lists three possible departure times.

Amersfoort → Eindhoven			
Via	Vertrektijd	Reistijd	Prijs
Breda	6.50	1.34	6
	7.00	1.30	5
	7.10	1.40	8
's-Hertogenbosch	7.10	1.20	3
	7.20	1.24	5
	7.30	1.22	4

Figuur 3.2: voorbeeld output met reserveringskeuzescherf

3.3 Communicatie

Een snelle en goedkope manier van communicatie met de automobilist en de informatiebronnen is door gebruik te maken van bestaande producten, zoals navigatiesystemen en Smartphones. En door gebruik te maken van bestaande infrastructuur, zoals het internet en de vele draadloze netwerken in Nederland, zoals mobiele netwerken en Wi-Fi. Een nieuw product maken kost veel tijd en geld. Ook zal een extra apparaat het dagelijks leven weer een stuk lastiger maken. Bovendien, als het apparaat ook navigatie aanbiedt dan worden de andere navigatieaanbieders buitenspel gezet, iets wat niet zomaar kan.

Als we navigatieaanbieders in Nederland een extensie geven of laten maken die binnen hun systeem werkt en de functies kan uitvoeren die nodig zijn voor het centrale systeem, dan hebben we al op een relatief eenvoudige manier een (groot) deel van de automobilisten bereikt. Voor mensen met Smartphones kan er een applicatie gemaakt worden die voor de functies zorgt. Tenslotte kan er een website worden gemaakt die dezelfde mogelijkheden biedt.

3.4 Datacentrum

De belangrijkste 'grondstof' om dit systeem te laten werken is 'data'. Data bevat veel meer informatie dan de meeste mensen denken. Om deze data, informatie, op te slaan zal een datacentrum nodig zijn. De omvang van het datavolume dat zal ontstaan is erg groot.

3.5 Rekencentra

Het hart van het systeem zal een rekencentrum zijn. Om specifieker te zijn zal een gecentraliseerde systeem waarschijnlijk opgedeeld moeten worden in meerdere kleine rekencentra om de reactietijd naar de gebruiker laag te houden. Elk rekencentrum zou dan een bepaald deel van de infrastructuur voor zijn rekening nemen. Elk rekencentrum zal gebruik maken van alleen de relevante data voor het betreffende gebied en de input, om alle output te genereren die er van hem verwacht wordt. Wanneer reken capaciteit onbenut zal zijn, wat zal voorkomen in rustige periodes zoals 's nachts, dan kan deze worden ingezet voor datamining taken. Datamining is het gericht zoeken naar verbanden in grote verzamelingen gegevens. Oftewel data omzetten in bruikbare informatie. Om een simpel voorbeeld te noemen: een automobilist rijdt elke dag dezelfde route op dezelfde tijd. Deze informatie kan zeer nuttig zijn bij het voorspellen van het verkeer voor een bepaalde dag.

3.6 Implementatie en invoering

Het systeem kan gefaseerd worden ingevoerd en steeds worden uitgebreid. In het begin zou het verstandig zijn om de invoering nog apart te houden van de wegenbelasting en alleen als reisadviesstool te laten functioneren. De prikkel waarmee dan invloed wordt uitgeoefend op de automobilist is tijd. Hiermee zal naar vermoeden al een betere spreiding van het verkeer ontstaan omdat iedereen voor de best mogelijk optie voor hem of haar zal kiezen om zo min mogelijk tijd te verliezen aan reizen. Hetgeen vergelijkbaar is met vraag en aanbod.

Een volgende (tussen)stap kan het invoeren van fictieve prijzen zijn. Op deze manier kunnen mensen bewust worden van hun rijgedrag en toegroeien naar de overgang die gaat komen. Het centrale systeem en de mensen die eraan werken kunnen bij deze eerste stappen meer kennis krijgen door de verzamelde data. De prijs van het weggebruik kan dan op een goede manier tot stand komen. Vele kinderziektes zouden dan al kunnen worden geëlimineerd.

De volgende stap, het invoeren van dynamische wegenbelasting, zal dan een stuk eenvoudiger zijn dan wanneer er voor een Big-Bang implementatie was gekozen.

3.7 Integriteit

Een volgend punt is het eerlijke en correcte gebruik van het systeem. Er is controle nodig omdat we gebruik maken van bestaande technieken om te communiceren met mensen en gebruiken dat om mensen het juiste bedrag voor in weggebruik te laten betalen. Misbruik van het systeem lijkt verleidelijk maar hiervoor zijn tal van mogelijkheden om te controleren of automobilist in het door hem opgegeven voertuig bevindt, of gereserveerde routes aangehouden worden, of de juiste rekening gemaakt wordt voor niet-gereserveerd weggebruik enzovoorts. Tegenwoordig zijn er genoeg mogelijkheden om opgegeven relaties te controleren. Een aantal voorbeelden: mobiel-auto door middel van bijvoorbeeld kenteken-IMEI (International Mobile Equipment Identity) met behulp van camera's voor kentekencontrole en locatiebepaling van IMEI, DIGID inlog navigatiesysteem met behulp van GPS locatie et cetera. Met behulp van fraudedetectiesystemen kunnen we tegenwoordig in data vrij eenvoudig misbruik ontdekken.

3.8 Dashboard

Het systeem zal veel mogelijkheden hebben om weggebruikers te beïnvloeden en om situaties door te rekenen.

Als draaiknoppen voor het systeem hebben we onder andere:

- de maximale bezetting op een bepaald tijdstip en datum
- de grote van een tijdsframe
- het aantal reserveringen en het aantal tijd frames dat ze vooraf kunnen worden gemaakt
- de prijs per wegsegment op een bepaald tijdstip en datum

en we zouden eraan kunnen toevoegen:

- betaalstroken invoeren
- brandstofaccijnzen verhogen/verlagen
- boetesysteem voor niet houden aan reserveringen, geplande route of het systematisch negatief beïnvloeden van de doorstroming op de weg
- een mechanisme om dynamische betaalstroken toe te passen

4 Simulatie

Om aan te tonen hoe het reserveringssysteem bijdraagt aan een betere doorstroming van het verkeer heb ik een simulatieprogramma geschreven om het initiële werking aan te tonen. Het programma simuleert een knooppunt in het verkeer. Dit is een plek waar de doorstroming over het algemeen moeizamer verloopt dan de doorstroming van de wegen die ernaar toe en ervan af lopen. Het doel van dit programma is om de verschillen in spreiding van het verkeer te illustreren onder verschillende omstandigheden.

Het knooppunt kan gezien worden als een hypothetische situatie waarin de wegen ernaar toe en ervan af een grote capaciteit hebben. Voor het gemak hebben we deze gelijk aan oneindig (∞) gesteld. Op deze manier houden we het model zo simpel mogelijk. Alleen het knooppunt is nu relevant als het gaat om filevorming.

Een bestaand stuk weg simuleren is te veel werk om in de korte tijd gegeven voor dit werkstuk te realiseren. Er komen te veel variabelen en mogelijkheden bij kijken om een reserveringssysteem zonder fouten en representatief te kunnen maken. Een geïsoleerde situatie creëren die geen invloed ondervindt van al deze variabelen is naar mijn mening plausibel om de effecten van reserveren ten opzichte van niet reserveren te analyseren.

Het aanbod van verschillende types voertuigen heb ik gereduceerd tot één, omdat dit verder geen invloed heeft op de berekeningen. Het gekozen voertuig kan gezien worden als het “gemiddeld voertuig”. De voertuigen hebben allemaal dezelfde snelheid, acceleratie, lengte, volgafstand et cetera. Zij zullen elkaar dus niet inhalen.

Elk tijdsframe heeft een capaciteit die enkel bestaat uit het aantal voertuigen dat het kan verwerken. Omdat alle voertuigen dezelfde eigenschappen hebben, zijn deze al verwerkt in de capaciteit. Snelheden en lengtes van voertuigen kunnen daarom worden weggelaten. Ook gaan we ervan uit dat elk voertuig deze relatieve afstand in seconden zal behouden tot zijn voorganger. Hierdoor kunnen we de kans op filevorming weglaten en stellen dat elke keer als het verkeersaanbod boven de capaciteit van het knooppunt komt er geremd wordt om de afstand tot de voorganger groter of gelijk aan de veilige afstand in seconden te houden. Op deze manier kunnen we alle berekeningen discreet houden omdat we alleen naar het knooppunt kijken en niet naar de weg ervoor en erna.




De broncode en java-applet is te vinden onder: <http://www.few.vu.nl/nl/studenten/stagebureau-wiskunde-informatica/bwi-werkstuk/bwi-werkstukken-online/index.asp>

4.1 Tool

Het programma bevat de volgende knoppen:

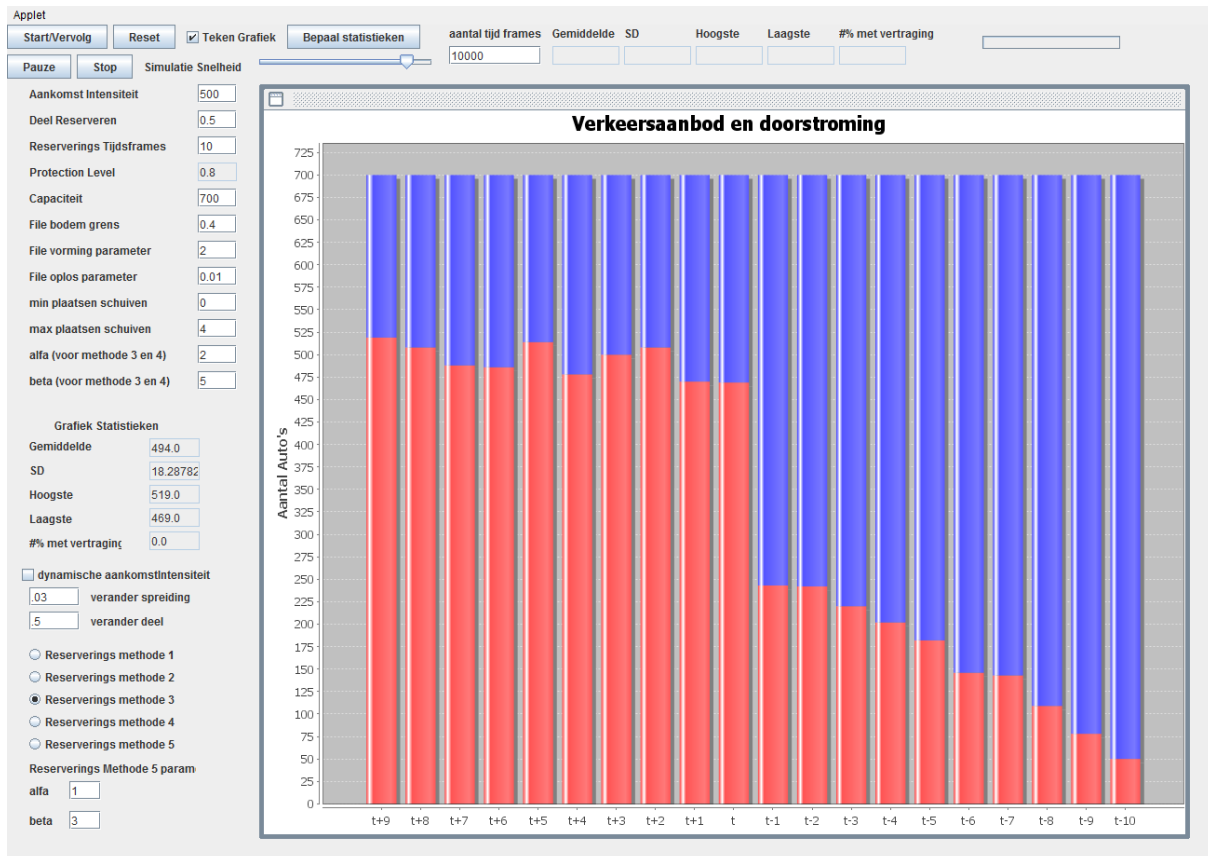
Start/Vervolg:	De simulatie wordt gestart of vervolgd in geval van pauze.
Pauze:	De simulatie wordt gepauzeerd.
Stop:	De simulatie wordt beëindigd.
Reset:	De opgeslagen simulatie data wordt gewist.
Teken Grafiek:	Het tekenen van de grafiek kan aan/uit gezet worden. Het uitschakelen ervan maakt hogere simulatie snelheden mogelijk.
Simulatie Snelheid:	Bepaalt de simulatie snelheid stapsgewijs. Links = snel, rechts = langzaam.
Bepaal statistieken:	Statistieken over een x-aantal tijdsframes worden opgenomen. Aantal tijdsframes = aantal tijdsframes waarover wordt opgenomen.

Het programma heeft de volgende outputs:

	Bezette capaciteit
	Vrije capaciteit
	Verloren capaciteit

Grafiek statistieken:

1. Gemiddelde: gemiddelde van de zichtbare tijdsframes die het knooppunt gepasseerd zijn.
2. Variantie: variantie van de zichtbare tijdsframes die het knooppunt gepasseerd zijn.
3. Hoogste: de hoogst gemeten bezetting op de tijdsframes die het knooppunt gepasseerd zijn.
4. Laagste: de laagste gemeten bezetting op de tijdsframes die het knooppunt gepasseerd zijn.
5. #% met vertraging: het aantal mensen dat door file vertraging heeft opgelopen. Aantal tijdsframes dat voertuigen meer dan verwacht over de reis hebben gedaan.



Figuur 4.1.1: Screenshot simulatietool

De variabelen waarmee geëxperimenteerd kan worden zijn de volgende:

- t **Tijdsframe:** met tijdsframe t wordt het knooppunt aangeduid. Elk tijdsframe kleiner dan t is het knooppunt al gepasseerd. Elk tijdsframe groter dan t moet het tijdsframe nog passeren.
- A **Aankomst Intensiteit:** het gemiddelde aantal voertuigen dat per tijdsframe aankomt in het systeem. $A > 0$
- A_{R_d} **Aankomst Intensiteit reserveringen:** het gemiddelde aantal voertuigen dat per tijdsframe een reservering maakt in het systeem. $A_{R_d} > 0$
- A_{1-R_d} **Aankomst Intensiteit zonder reservering:** het gemiddelde aantal voertuigen dat per tijdsframe zonder reservering aankomt op het knooppunt in het systeem. $A_{1-R_d} > 0$
- V_t **Verkeersaanbod:** Het verkeer dat in tijdsframe t aankomt (bij het knooppunt) $V_t = V_{t_{1-R_d}} + V_{t_{R_d}}$.
- $V_{t_{R_d}}$ **Verkeersaanbod met reservering:** Het verkeer met reservering dat in tijdsframe t aankomt (bij het knooppunt). Deze is Poisson verdeeld met parameter A_{R_d} wat we noteren met: $V_{t_{R_d}} \sim Pois(A_{R_d})$

- $V_{t_{1-R_d}}$ **Verkeersaanbod zonder reservering:** Het verkeer zonder reservering dat in tijdsframe t aankomt (bij het knooppunt). Deze is Poisson verdeeld met parameter A_{1-R_d} wat we noteren met: $V_{t_{1-R_d}} \sim Pois(A_{1-R_d})$
- R_d **Deel Reserveren:** Het aantal personen dat een reservering maakt voordat ze de weg op gaan. $1 - R_d$ is het aantal voertuigen dat zonder reservering de weg opgaat en in de simulatie direct bij het knooppunt binnenkomt. $0 \leq R_d \leq 1$
- Res_t **Reservering Tijdsframes:** Aantal tijdsframes voor het knooppunt waar reserveringen in kunnen worden gedaan. $Res_t > 0$
- C **Capaciteit:** Het maximum aantal voertuigen per tijd frame. $C > 0$
- C_t **Huidige Capaciteit:** Capaciteit van het knooppunt op tijdstip t . $F_{bg} * C \leq C_t \leq C$
- F_{bg} **File bodem grens:** De ondergrens tot waar de capaciteit van het knooppunt kan dalen in file situaties. $0 \leq F_{bg} \leq 1$. Een grens om een minimum doorstroming aan te geven die er altijd zal zijn.
- F_v **File vorming snelheid:** De snelheid waarmee de capaciteit afneemt op het moment dat er een aanbod van voertuigen ontstaat die groter is dan de huidige capaciteit van het knooppunt. $F_v \geq 0$
- F_o **File oplos snelheid:** De snelheid waarmee de capaciteit toeneemt op het moment dat er een aanbod van voertuigen ontstaat die kleiner is dan de huidige capaciteit van het knooppunt. $F_o \geq 0$
- T_g **Gewenste Tijdsframe:** Een trekking voor het aantal tijdsframe waarin een persoon bij voorkeur een reservering wil maken. Verdeling afhankelijk van de gekozen methode.
- S **Plaatsen schuiven:** Een trekking voor het aantal tijdsframes dat een persoon maximaal wil afwijken van het gewenste tijdsframes. Verdeling afhankelijk van de gekozen methode.
- S_{min} **Min plaatsen schuiven:** Ondergrens voor het bepalen van het maximale aantal tijdsframes dat een persoon wil schuiven. $0 \leq S_{min} \leq S_{max}$
- S_{max} **Max plaatsen schuiven:** Bovengrens voor het bepalen van het maximale aantal tijdsframes dat een persoon wil schuiven. $S_{min} \leq S_{max}$
- S_α **Alfa voor plaatsen schuiven:** Alfa voor het bepalen van het maximale aantal tijdsframes dat een persoon wil schuiven. $S_\alpha \geq 0$
- S_β **Bèta voor plaatsen schuiven:** Bèta voor het bepalen van het maximale aantal tijdsframes dat een persoon wil schuiven. $S_\beta \geq 0$
- D_A **Dynamische aankomstintensiteit:** Een optie waarmee de aankomstintensiteit variabele varieert per tijdsframe. Dit wordt gedaan door gebruik te maken van een sinusfunctie.

$$D_A = \begin{cases} True, & Aan \\ False, & Uit \end{cases}$$
Deze optie is toegevoegd om het simuleren van drukke en minder drukke momenten, zoals spitsuren, te simuleren.
- D_v **Verander spreiding:** Een parameter om de sinusfunctie langere of kortere periodes toe te kennen. $D_v \geq 0$
- D_d **Verander deel:** Een parameter om het deel van de aankomsten in te stellen dat door de sinusfunctie wordt beïnvloed. $0 \leq D_d \leq 1$

Voor de manier waarop we het reserveringssysteem zouden kunnen laten werken en de manier de verdeling van S eruit zou kunnen

- R_{m_1} **Reservering methode 1:** Per tijdsframe worden $\frac{A_{R_d}}{Res_t}$ reserveringen onafhankelijk van elkaar gedaan. Met: $V_{t_{R_d}} \sim Pois(\frac{A_{R_d}}{Res_t})$ en $S \sim Unif(S_{min}, S_{max})$. Synoniem hieraan: binnen een tijdsframe reserveert iedereen precies tegelijk en houdt geen rekening met elkaar.

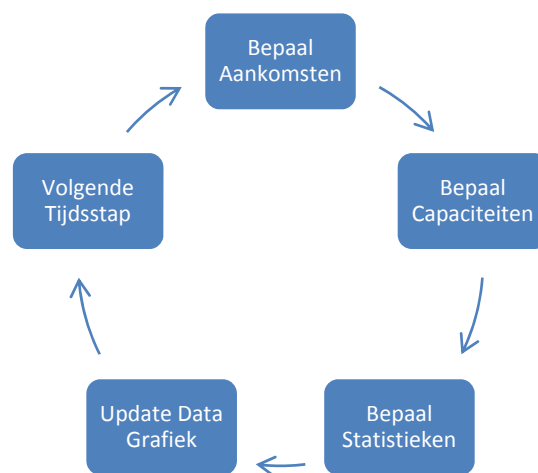
- R_{m_2} **Reservering methode 2:** Per tijdsframe worden $\frac{AR_d}{Res_t}$ reserveringen afhankelijk van elkaar gedaan. Met: $V_{t_{R_d}} \sim Pois(\frac{AR_d}{Res_t})$ en $S \sim Unif(S_{min}, S_{max})$. Synoniem hieraan: binnen een tijdsframe reserveert iedereen één voor één en houdt rekening met elkaar.
- R_{m_3} **Reservering methode 3:** Idem. Methode 1 met als verschil dat het aantal tijdsframes dat elk persoon maximaal wil wijken van zijn gewenste tijdsframe bepaald wordt door middel van een bèta verdeling. $V_{t_{R_d}} \sim Pois(\frac{AR_d}{Res_t})$ en $S \sim Beta(\alpha, \beta) * (S_{max} - S_{min}) + S_{min}$
- R_{m_4} **Reservering methode 4:** Idem. Methode 2 met als verschil dat het aantal tijdsframes dat elk persoon maximaal wil wijken van zijn gewenste tijdsframe bepaald wordt door middel van een bèta verdeling. $V_{t_{R_d}} \sim Pois(\frac{AR_d}{Res_t})$ en $S \sim Beta(\alpha, \beta) * (S_{max} - S_{min}) + S_{min}$
- R_{m_5} **Reservering methode 5:** Idem. Methode 4 met als verschil dat het gewenste tijdsframe gekozen wordt volgens een bèta-verdeling. $T \sim Res_t * Beta(\alpha, \beta)$ en $S \sim Beta(\alpha, \beta) * (S_{max} - S_{min}) + S_{min}$

4.2 Werking simulatie

De simulatie is bedoeld om aan te tonen dat reserveringsmethoden invloed hebben op de doorstroming en wat de verschillen ongeveer zullen zijn ten opzichte van de huidige situatie in het verkeer (waarin geen reserveringssysteem bestaat). Aannames over reserveringsgedrag van mensen en de verandering hiervan zijn moeilijk te doen. Daarom heb ik aangenomen dat dit niet verandert en analyseren we dus eigenlijk het effect van het systeem op het moment van invoering. Het biedt de mogelijkheid om de spreiding van het verkeersaanbod te analyseren en ondersteunt dit met een grafische weergave door middel van een grafiek die elke tijdsstap nieuwe data krijgt. Het programma maakt gebruik van threads om meerdere processen naast elkaar mogelijk te maken. Dit is noodzakelijk om de simulatietool te kunnen blijven besturen tijdens het rekenproces.

4.2.1 Volgorde simulatieprocessen

In figuur 4.2.1 staan de stappen van het simulatieproces. Deze geven kort aan welke cyclus de simulatie doorloopt. Deze stappen zullen nu nader worden toegelicht.

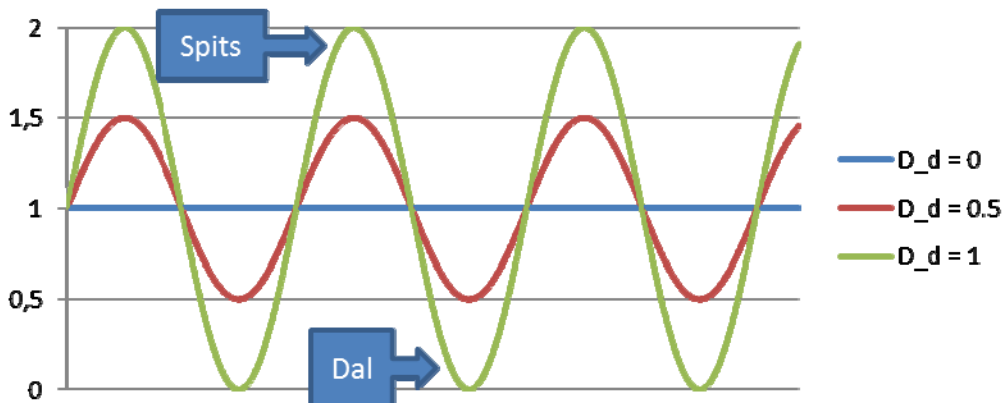


Figuur 4.2.1: proces cyclus van de simulatie

4.2.2 Bepaal Aankomsten

Elk tijdsstap worden er twee soorten trekkingen gedaan uit een Poisson verdeling. Er wordt één trekking gedaan voor het deel mensen dat een reservering maakt. Deze is Poisson verdeeld met verwachtingswaarde $A_{R_d} = R_d * A$. Ook wordt er een trekking gedaan voor het deel mensen dat zonder reservering direct binnenkomt op het knooppunt. Deze is Poisson verdeeld met verwachtingswaarde $A_{1-R_d} = (1 - R_d) * A$.

Elk tijdsstap worden er A_{R_d} reserveringen gedaan. Deze moeten worden verwerkt in de simulatiedata. In de simulatietool zijn er verschillende methodes mogelijk om verschillend reserveringsgedrag te simuleren. Elke tijdsstap bepalen we per tijdsframe het aantal reserveringen $V_{t_{R_d}}$ dat $\sim Poiss(\frac{A_{R_d}}{Res_t})$ verdeeld is. We doen dit dus voor $\forall i \in 0 < i \leq Res_t$ in $t + i$. De reden dat het per tijdsframe bepaald wordt is het feit dat A kan verschillend over tijd. Als er een dynamische aankomstintensiteit geldt dan moet deze in elk tijdsframe correct worden toegepast. Met een dynamische aankomstintensiteit kunnen we de piek en dalen in verkeersaanbod simuleren. $V_{t_{R_d}}$ bepalen we dan door een sinusfunctie die gebruikt maakt van een teller, welke de tijdsstappen bijhoudt, en het aantal tijdsframes dat een tijdsframe van het knooppunt af zit.



Figuur 4.2.2: Sinusfunctie $f(t) = \sin(t) * D_d + 1$

In figuur 4.2.2 is te zien hoe deze sinusfunctie verloopt bij verschillende waarden voor het deel van de aankomsten die dynamisch is. $D_d = 0$ correspondeert met een verkeersaanbod zonder spitsuren en $D_d = 1$ correspondeert met een situatie waarin de pieken en dalen zo groot zijn dat het verkeersaanbod af en toe nul zal zijn, een lege weg.

De complete functie ziet er zo uit:

$$V_{t_{R_d}} = \frac{A_{R_d}}{Res_t} * (\sin(D_v * (t + i) * \pi) * D_d + 1)$$

Elke reservering plaatsen we in een tijdsframe nadat we een geschikte hebben gevonden. Er wordt bepaald hoeveel tijdsframes een reservering maximaal van T_g af wilt zitten en deze hebben we S gedefinieerd. S is afhankelijk van de gekozen methode met de bijbehorende variabelen. We gaan vervolgens alle S tijdsframes voor en na T_g controleren of deze een lagere bezetting hebben. Het tijdsframe met de laagste bezetting wordt gekozen en verhogen het reserveringsaantal in dit frame met 1. Afhankelijk van de gekozen methode tellen we deze reservering wel of niet op voordat de rest van de reserveringen met hetzelfde T_g een tijdsframe gevonden heeft.

Het idee achter dit mechanisme is het principe van marktwerking wat ik eerder heb omschreven. Het is een kwestie van vraag en aanbod. Voor drukker bezette tijdframes zullen hogere reserveringskosten gelden en we gaan ervan uit dat mensen binnen de tijdsframes die binnen hun keuze ruimte vallen altijd voor de goedkoopste kiezen. Dit is de manier waarop deze simulatie de marktwerking simuleert.

4.2.3 Bepaal Capaciteiten

Nadat de nieuwe aankomsten in het systeem zijn bepaald gaan we controleren of er filevorming optreedt. Aan de simulatie is te zien wanneer het verkeersaanbod binnenkomend op het knooppunt groter is dan de wegcapaciteit. Filevorming treedt dan op en dit vertalen we in dit model enkel naar lagere wegcapaciteit in het tijdsframe. Dit is toegestaan omdat we de capaciteit van de instroom en uitstroom gelijkstellen aan oneindig, waardoor de aankomsten te illustreren zijn als een rij voertuigen naast elkaar en niet achter elkaar. Is het verkeersaanbod binnenkomend op het knooppunt lager dan de wegcapaciteit dan neemt de wegcapaciteit weer toe.

Elk tijdsframe t kunnen er maximaal C_t voertuigen het knooppunt passeren. Om C_t van het knooppunt te bepalen hebben we C_{t-1} en V_{t-1} nodig. De capaciteit is begrensd door met het maximum C en met een minimum $F_{bg} * C$. $\rightarrow F_{bg} * C \leq C_t \leq C$

In de volgende formule staat hoe deze variabelen gebruikt worden.

$$C_t = \begin{cases} \max(\{C_{t-1} * (1 - ((V_{t-1} - C)/C)^{F_v})\}, \{F_{bg} * C\}), & V_{t-1} > C_{t-1} \\ \min(\{C_{t-1} / (1 - ((C - V_{t-1})/C)^{F_0})\}, \{C\}), & V_{t-1} \leq C_{t-1} \end{cases}$$

4.2.4 Bepaal Statistieken

In de vorige stap hebben we geconstateerd hoeveel voertuigen er een tijdsframe hebben moeten wachten en hoeveel er zonder vertraging zijn gepasseerd. Deze waarden zijn opgeslagen en gebruikt om het percentage voertuigen dat vertraging heeft opgelopen te kunnen bepalen. Elke tijdsstap bepalen we het gemiddelde en de variantie en we bepalen de hoogste en laagste bezetting die we gemeten hebben. De tijdsframes t die we hiervoor gebruiken zijn $\forall i \in 0 < i \leq Res_t$ in $t + i$.

4.2.5 Update Data Grafiek

Dit is een korte stap waarin de dataset van de grafiek te voorzien van nieuwe data zodat deze een update kan gaan uitvoeren.

4.2.6 Volgende Tijdsstap

Tenslotte wordt de data verwerkt om plaats te maken voor een nieuw tijdsframe op het punt $t + Res_t$.

4.2.7 Overige functionaliteiten

Het programma heeft de mogelijkheid om de statistieken die enkel over het deel van de grafiek zijn berekend, ook over het aantal tijdsframes naar keuze te berekenen. Op deze manier kan nauwkeurig de variantie die het verkeersaanbod heeft, onder een bepaalde set van parameters, bepaald worden. Door de grafiek uit te zetten en de simulatiesnelheid maximaal kunnen er op een snelle manier de gewenste tijdsframes berekend worden.

5 Resultaten

De effecten van een reserveringssysteem zal ik op twee manieren evalueren. Ik zal beginnen met voorbeelden waarin er geen filevorming optreedt. We zorgen dat het verkeersaanbod nooit de maximale capaciteit overschrijdt. De capaciteit zal dus dermate hoog zijn dat filevorming uitgesloten is. Op deze manier isoleren we de effecten op de variantie die we willen onderzoeken.

De tweede manier waarop ik het reserveringssysteem zal evalueren is door een situatie te creëren waarin filevorming elk 'spitsuur' weer terugkeert. Vervolgens gaan we dan door middel van 'trial and error' proberen hoe we de doorstroming beter en meer kunnen maken zonder dat er nog filevorming optreedt.

5.1 Voorbeelden zonder filevorming

Ik behandel niet-dynamische aankomstintensiteit tegenover dynamisch aankomstintensiteit waarbij het dynamisch deel parameter $D_d = 0.5$ heeft. Dit betekent dat de helft van de aankomsten onafhankelijk van t zal zijn en de andere helft zal een aankomstintensiteit hebben die verandert over tijd door middel van de eerder omschreven sinusfunctie.

Laten we eerst eens kijken naar het verloop van het verkeersaanbod bij $D_d = 0$ en bij $D_d = 0.5$. De volgende twee afbeeldingen zijn een screenshot van de simulatietool. Zie figuur 5.1a en 5.1b.

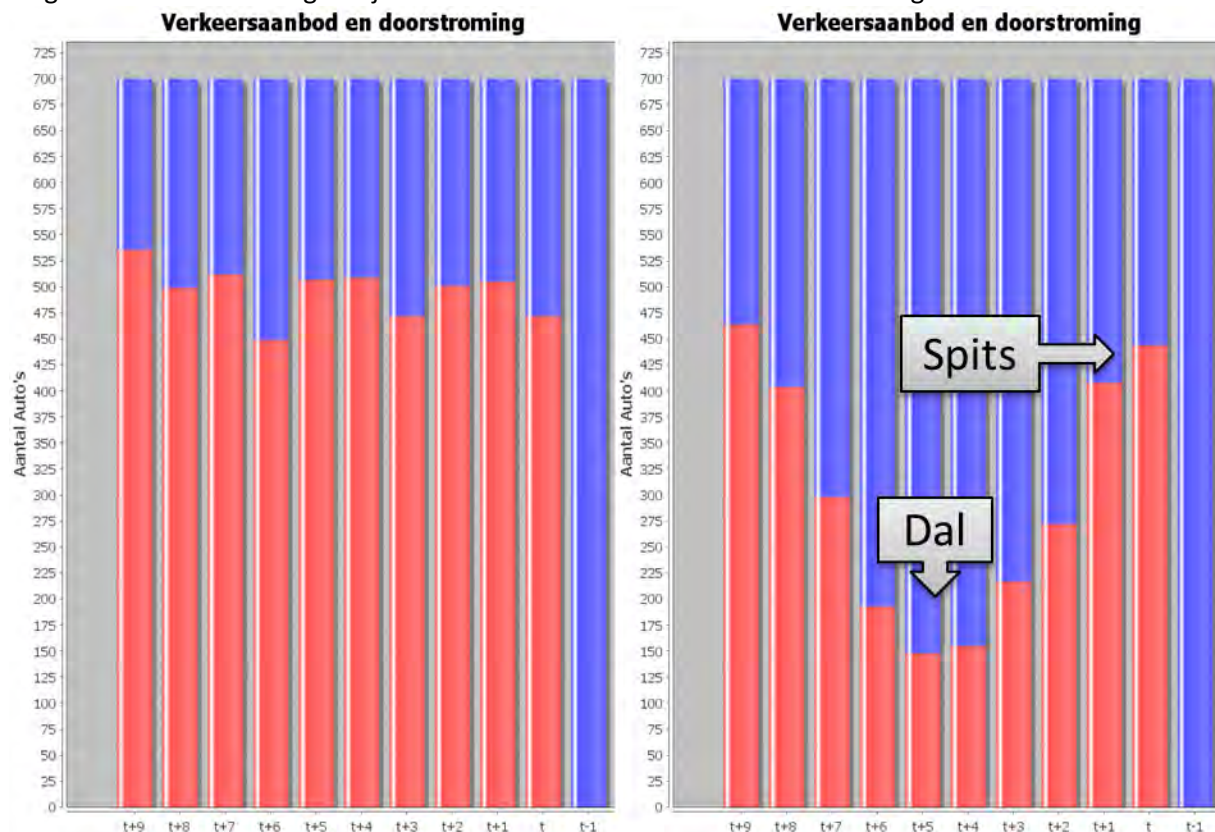


Fig. 5.1a: vb. zonder spitsuren ($A = 500$)

Fig. 5.1b: vb. 'met' spitsuren ($D_d = 0.5, A = 300$)

Te zien is dat figuur 5.1a verhoudingsgewijs een veel lagere variantie heeft dan figuur 5.1b. Om files te voorkomen willen we zo min mogelijk pieken in de spreiding, de pieken willen we aftoppen. De variantie willen we zo laag mogelijk hebben. Ik zal nu laten zien hoe bepaalde parameters daar invloed op hebben. Voor de komende resultaten heb ik een aankomstintensiteit van 300 gebruikt. Het aantal tijdsframes heb ik op 36 gezet. De parameter voor de aankomstintensiteitscurve, de 'Verander spreiding' parameter, is op 0.03 ingesteld en het dynamische deel op 0.6. Voor elke meting zijn gegevens genomen over een serie van 50.000 tijdsframes t . Om een link te leggen met

de werkelijkheid stel ik voor om elk tijdsframe t als een tijdsframe van 10 minuten te zien. Per 10 minuten komen er dus gemiddeld 300 voertuigen het systeem binnen, dus 1800 per uur.

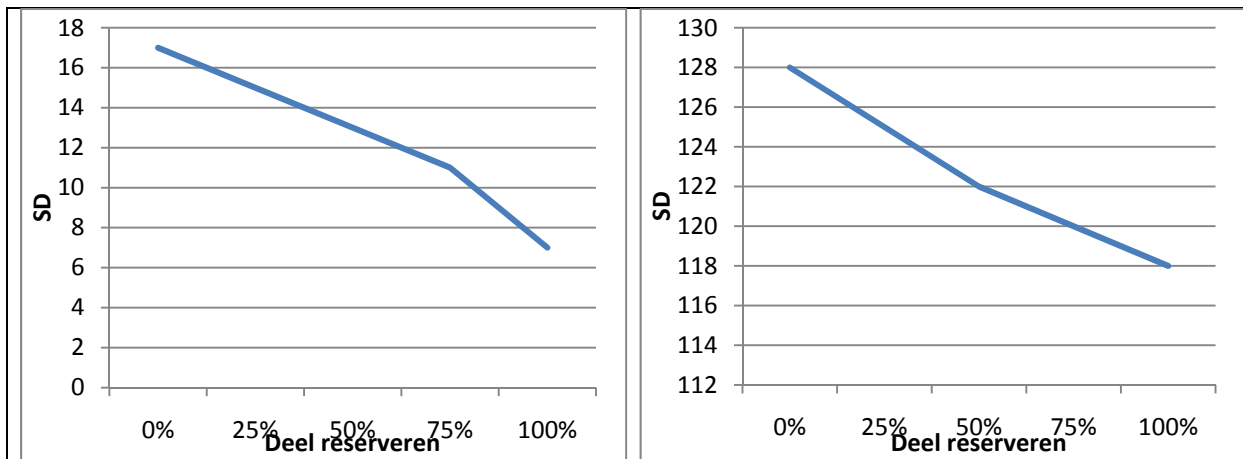
5.1.1 Variatie 'deel reserveren'

Laten we beginnen met het effect van de grootte van het reserveringsdeel te onderzoeken. We laten deze variëren van 0 stapsgewijs tot 1. In deze situatie zijn mensen bereid om altijd één plaats van T_g af te wijken. We gebruiken alleen methode 1.

De grafiek 5.1.1a, 5.1.1b, 5.1.1c en 5.1.1d zijn de resultaten gemaakt met de volgende parameters:

min plaatsen wil schuiven: 1
max plaatsen wil schuiven: 1

De overige parameters hebben geen invloed omdat het een filevrije situatie is.



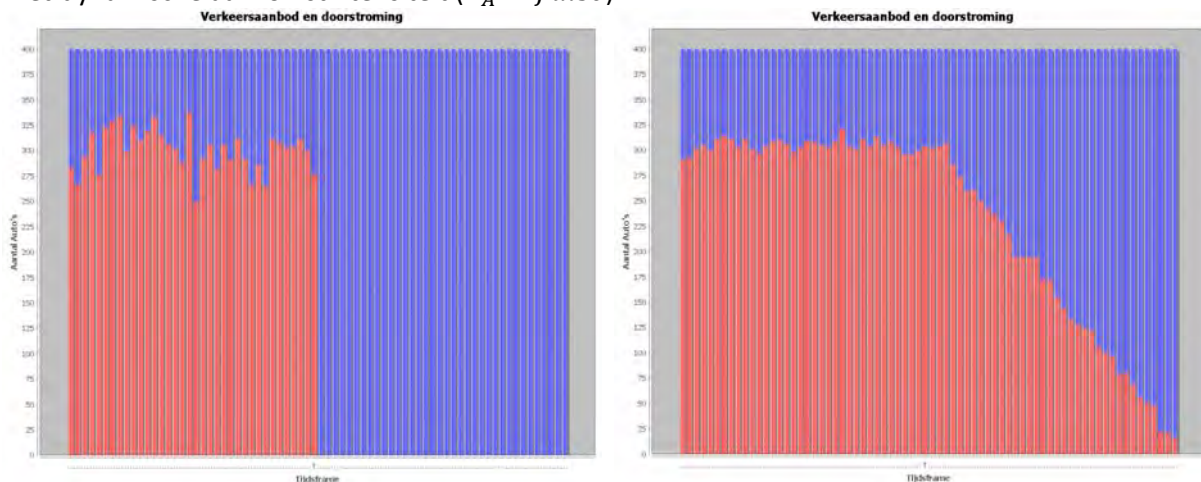
Grafiek 5.1.1a: SD vs. deel reserveren

Grafiek 5.1.1b: SD vs. deel reserveren

Grafiek 5.1.1a en 5.1.1b laten beiden een standaarddeviatie (SD) zien die strikt dalend is. In grafiek 5.1.1a is de afname in variantie procentueel groter dan in grafiek 5.1.1b. Dit heeft te maken met de hogere variantie die een dynamische aankomstintensiteit met zich meebrengt en de restrictie dat elk persoon maar één plaats wil wijken van T_g , dus $S = 1$. Op deze manier heeft hij niet de mogelijkheid om bijvoorbeeld ver van een top af te komen.

Figuren 5.1.1b tegenover 5.1.1a en 5.1.1c tegenover 5.1.1d laten zien dat het verloop van het verkeersaanbod stabiel is geworden als er gebruik wordt gemaakt van het reserveringssysteem.

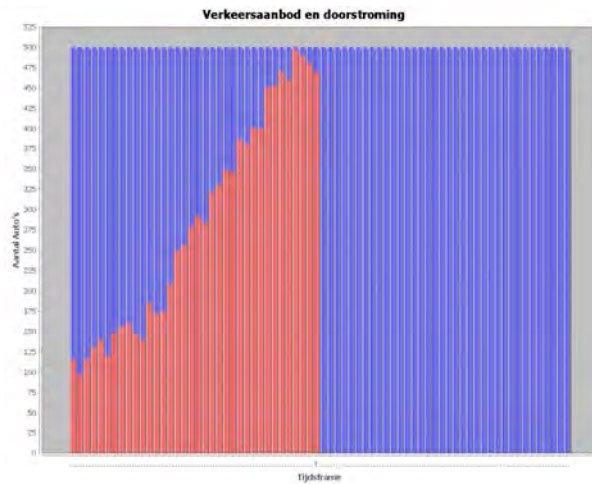
Niet-dynamische aankomstintensiteit ($D_A = false$):



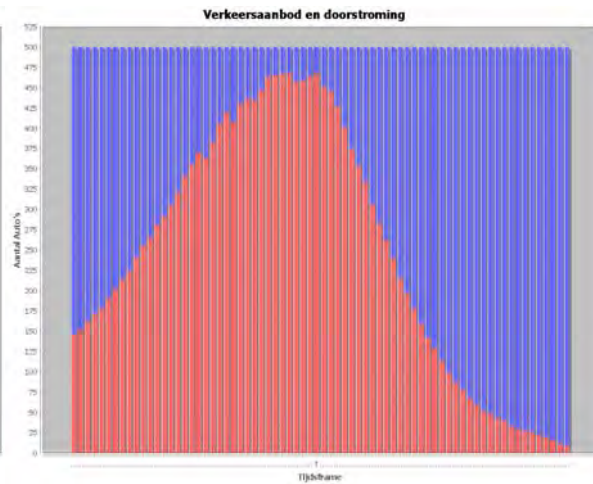
Figuur 5.1.1a: simulatietool screenshot met $R_d = 0$

Figuur 5.1.1b: simulatietool screenshot met $R_d = 1$

Dynamische aankomstintensiteit ($D_A = true$) en $D_d = 0.6$:

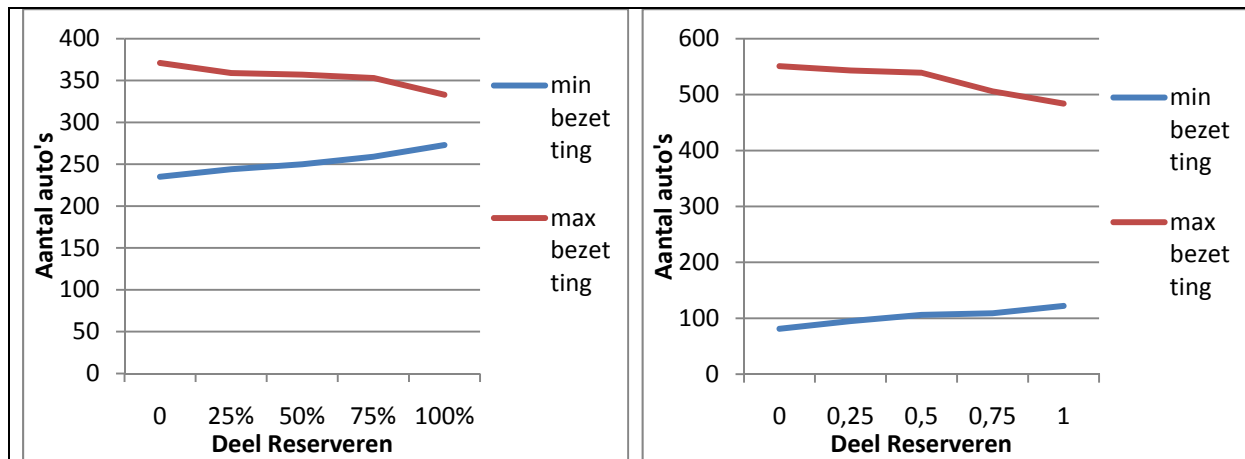


Figuur 5.1.1c: simulatietool screenshot met $R_d = 0$



Figuur 5.1.1d: simulatietool screenshot met $R_d = 1$

Grafiek 5.1.1c en 5.1.1d geven de bezetting op het drukste en rustigste gemeten moment weer. Interessant is om te zien dat de rustige momenten iets meer bezet raken en de drukste momenten een lagere bezetting krijgen.



Grafiek 5.1.1c: min/max verkeersaanbod met $D_d = 0$

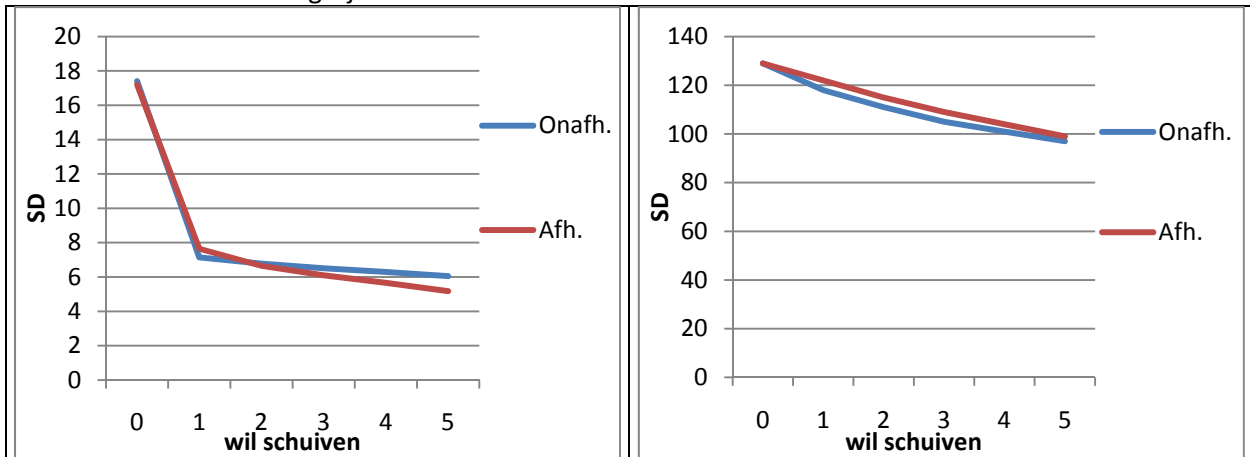
Grafiek 5.1.1d: min/max verkeersaanbod met $D_d = 0.5$

5.1.2 Variatie 'wil schuiven'

We hebben gezien dat de variantie van het verkeersaanbod met een dynamische aankomstintensiteit niet eenvoudig is terug te dringen als mensen niet bereid zijn veel af te wijken van het door hun gewenste tijdsframe T_g . Laten we dan nu gaan kijken naar de verschillende mogelijkheden om waarden aan S toe te kennen. In de simulatietool zijn hier twee mogelijkheden voor. Er kan gebruikt worden gemaakt van methode 1 en 2 die een uniforme verdeling gebruiken om S te bepalen met als parameters S_{min} en S_{max} . Ook zitten er methode 3 en 4 in die een bèta-verdeling gebruiken om S te bepalen met de parameters α en β . De bèta-verdeling geeft ons de mogelijkheid om de kansverdeling gemakkelijker te sturen. Dit heb ik toegevoegd omdat het op dit moment moeilijk te bepalen is hoe flexibel mensen zijn om op andere tijden te reizen. Met de bèta-verdeling kunnen we verschillende verdelingen van 'wil schuiven' bekijken.

Laten we ons eerst voorstellen dat elke persoon altijd precies S stappen wil schuiven, dus $S_{min} = S_{max}$. Dit laten we dus niet afhangen van een kansverdeling. We laten S variëren van 0 tot 5 wat staat uitgezet op de x-as. Of we nu methode 1 en 2 of methode 3 en 4 gebruiken maakt niet uit want S staat al vast. We willen nu graag zien of er verschil zit in afhankelijk en onafhankelijk reserveren binnen de tijdsframes. Als reserveringsdeel nemen we $R_d = 1$ want deze heeft ons bij de afgelopen

resultaten de laagste variantie opgeleverd en op deze manier hebben we geen last van niet-reserveerders die nadelig zijn voor de variantie.

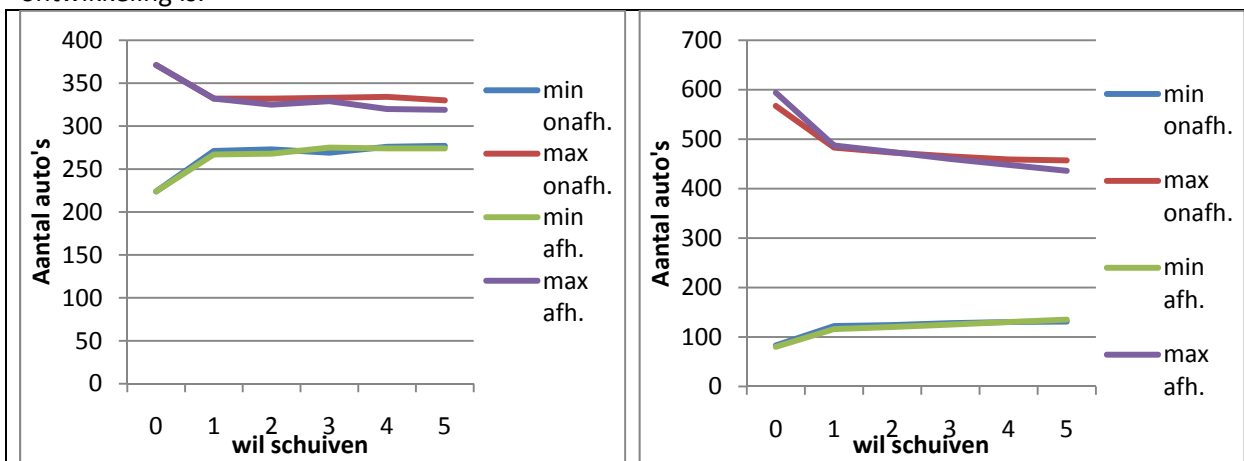


Grafiek 5.1.2a: SD met $D_d = 0$

Grafiek 5.1.2b: SD met $D_d = 0.5$

Grafiek 5.1.2a laat zien dat afhankelijk reserveren loont zodra iedereen meer dan twee tijdsframes wil schuiven. De standaarddeviatie van methode 2 wordt op een gegeven punt kleiner dan de standaarddeviatie van methode 1. Echter dit geldt alleen voor een niet-dynamisch verkeersaanbod want grafiek 5.1.2b laat zien dat de afhankelijke reserveermethode nog niet beter presteert voor $S = 1,2,3,4,5$.

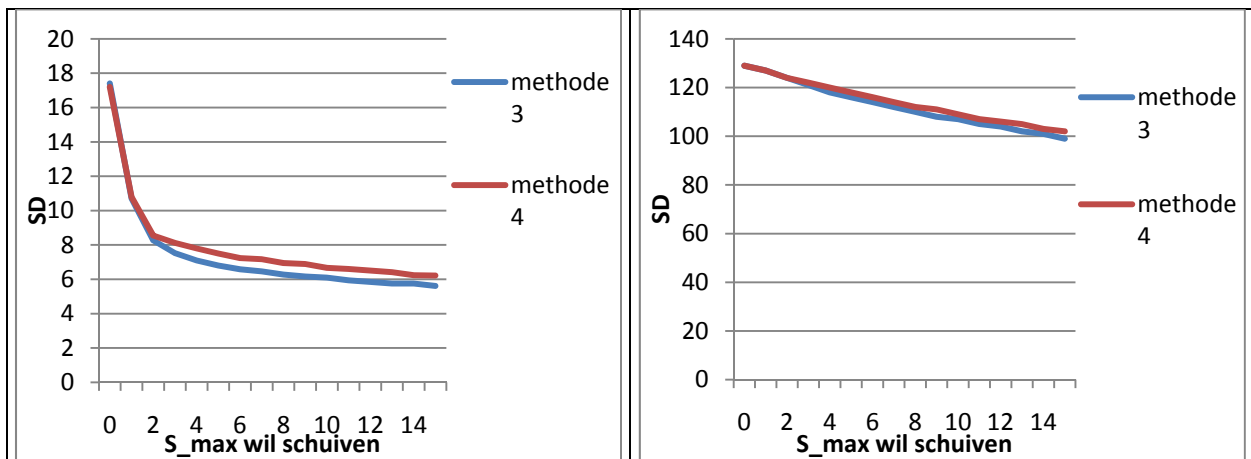
In grafiek 5.1.2c zien we de maximum bezetting van afhankelijk reserveren naar verwachting onder die van methode 1 duikt. De maximum bezetting van onafhankelijk reserveren lijkt niet veel te worden beïnvloed. In grafiek 5.1.2d zien we dat ondanks de standaarddeviaties van beiden ongeveer even groot zijn er toch zichtbaar verschil zit in de maximale bezettingen van beide manieren van reserveren. Afhankelijk reserveren zorgt dus wel voor iets lagere pieken, wat een gunstige ontwikkeling is.



Grafiek 5.1.2c: min/max verkeersaanbod met $D_d = 0$

Grafiek 5.1.2d: min/max verkeersaanbod met $D_d = 0.5$

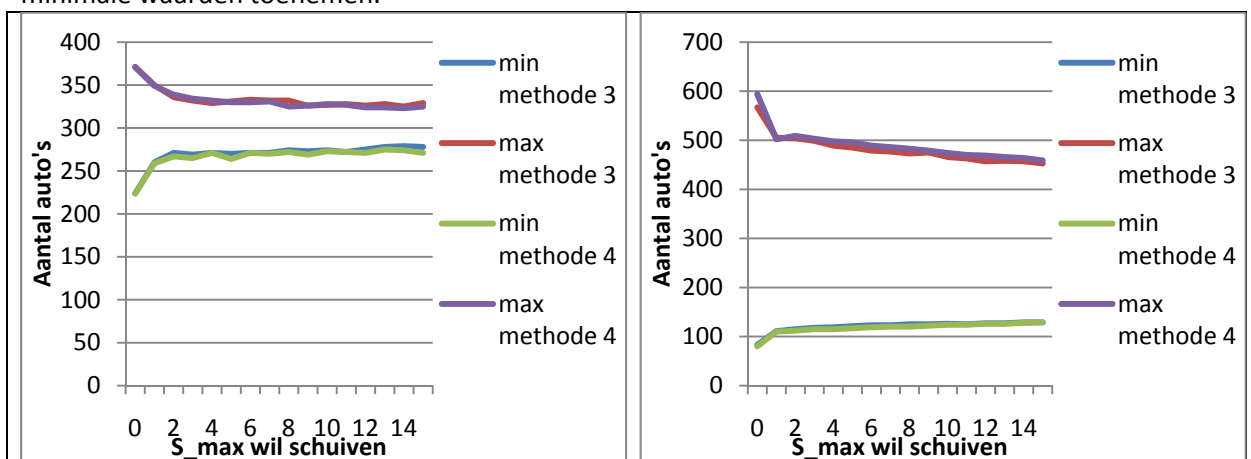
We hebben net gekeken naar vaste waarden van S waarbij iedereen bereid is evenveel tijdsframes te schuiven als deze een lagere bezetting heeft. Laten we nu eens kijken wat het effect van een S -waarde die wordt bepaald volgens een bèta-verdeling met parameters $\alpha = 2$, $\beta = 5$, $S_{min} = 0$ en S_{max} laten we variëren van 1 tot 15. We maken gebruik van methode 3 en 4 want deze maken gebruik van de bèta verdeling. Het is daarmee mogelijk om de situatie te simuleren waarin de meeste mensen graag willen vasthouden aan tijdsframes dicht bij het door hun gewenste tijdframe T_g . Verder is de configuratie gelijk aan hiervoor. Op de x-as hebben we dus de S_{max} -waarden uitgezet.



Grafiek 5.1.2e: SD methode 3 en 4 met $D_d = 0$

Grafiek 5.1.2f: SD methode 3 en 4 met $D_d = 0.5$

Grafiek 5.1.2e laat een verschil zien in methode 3 en 4 wat impliceert dat onafhankelijk reserveren binnen een tijdsstap gunstig is voor de variantie zolang het verkeersaanbod niet dynamisch is. De resultaten zijn anders dan die in grafiek 5.1.2a. De lijnen in grafiek zijn strikt dalend. De lijnen in grafiek 5.1.2f zijn dalend maar niet lineair. Er zit een lichte curve in. Ook zien we dat de lijnen minder snel dalen dan de lijnen in grafiek 5.1.2b. Grafiek 5.1.2g en 5.1.2h zijn niet verrassend anders dan in situatie 2. Hoe lager die variantie, hoe lager de maximum bezetting en hoe hoger de minimum bezetting. Toch zien we duidelijk in grafiek 5.1.2h dat de maximale waarden sneller dalen dan dat de minimale waarden toenemen.



Grafiek 5.1.2g: min/max verkeersaanbod met $D_d = 0$

Grafiek 5.1.2h: min/max verkeersaanbod met $D_d = 0.5$

5.1.3 Voorlopige resultaten

Het mag duidelijk zijn dat hoe groter S , hoe kleiner de variantie en de spreiding tussen de minimale en maximale bezetting is. Hoe meer mensen bereid zijn flexibel te zijn af te wijken van T_g des te lager de variantie in het verkeersaanbod zal zijn. Als mensen ook maar een beetje bereid zijn te schuiven, valt er al veel meer stabiliteit in verkeersaanbod te behalen. En dit flexibele gedrag kan natuurlijk alleen behaald worden als mensen kunnen communiceren met elkaar. Als we allemaal laten weten wanneer en waar we van plan zijn te rijden dan helpen we elkaar om de momenten van verkeersaanbod die groter is dan de wegcapaciteit te reduceren.

De simulatietool biedt de mogelijkheden om veel van deze 'what-if' scenario's te simuleren. Het laat zien dat, als er vanuit wordt gegaan dat mensen voorlopig hun reispatroon niet veel veranderen en zoveel mogelijk bij het huidige spitspatroon blijven reizen, er al enige winst te boeken is. Als we mensen weten te stimuleren wanneer ze reizen, bijvoorbeeld door middel van kosten aan plaats en tijd te verbinden, dan zal die dalende lijn van de variantie nog veel lager kunnen uitkomen.

5.2 Voorbeeld met filevorming

Nu zal ik een simulatievoorbeeld geven waarin we beginnen met een situatie waarin elk spitsuur filevorming optreedt. We geven het knooppunt een maximale capaciteit en gaan vervolgens kijken waar de grens in aankomstintensiteit zit van een stabiele en instabiele doorstroming. Met een instabiele doorstroming bedoel ik een situatie waarin de filevorming zoveel auto's tegenhoudt dat het systeem vast blijft zitten in een filesituatie.

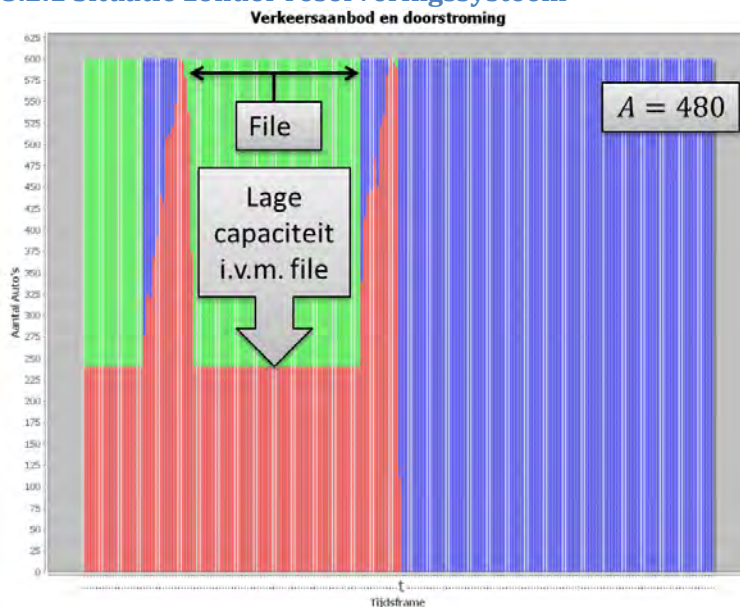
Vervolgens gaan we diezelfde situatie met een reserveringsysteem proberen te verbeteren.

Voor de resultaten in 5.2 begin ik de volgende set basisparameters:

Als er parameters veranderen dan wordt het aangegeven.

$C = 600$
$Res_t = 100$
$R_d = 0$
$F_{bg} = 0.4$
$F_v = 2.3$
$F_o = 2.3$
$D_v = 0.03$
$D_d = 0.65$

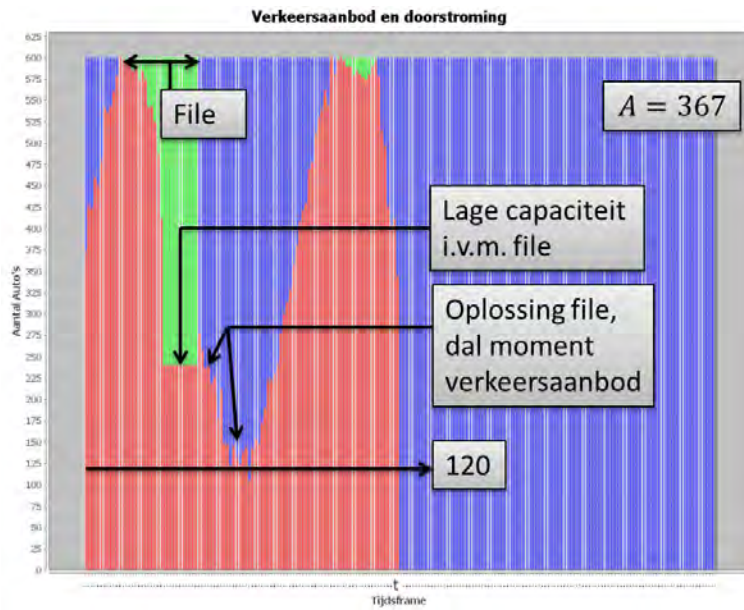
5.2.1 Situatie zonder reserveringsysteem



Figuur 5.2.1a: aankomstintensiteit te hoog voor realistische situatie op de Nederlandse wegen.

In figuur 5.2.1a heb ik een situatie gecreëerd, met $A = 480$, die tegen de maximale stabiele aankomstintensiteit aanzit maar vrijwel de helft van de tijd last heeft van ernstige filevorming. De filebodengrens is de hele tijd bereikt. We hadden afgesproken dat we een tijdsframe 10 minuten voorstelde. In dit geval zou er in figuur 5.2.1a dan ongeveer 6 uur achter elkaar file zijn die elke periode terugkomt.

Laten we opzoek gaan naar een iets realistischer situatie:

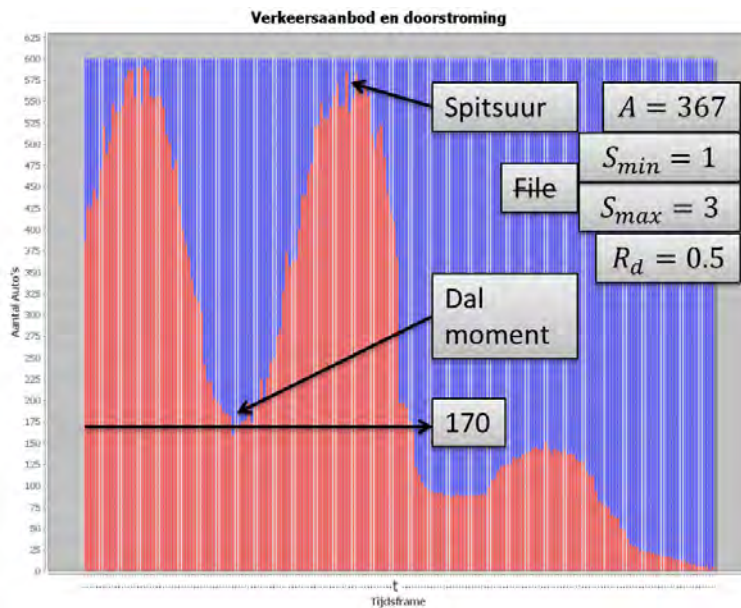


Figuur 5.2.1b: aannemelijk aankomstintensiteit voor realistische situatie op de Nederlandse wegen.

De situatie in figuur 5.2.1b is al iets aannemelijker. De aankomstintensiteit $A = 367$. Ook hier zien we enkel uren file. 367 is ongeveer de grens, lagere waardes voor A zorgen niet meer voor significante filevorming. Er gaat in deze situatie veel wegcapaciteit verloren. Dit zorgt dat veel mensen met vertraging reizen. In figuur 5.2.1b is te zien dat na de file een dalmoment volgt. Te zien is dat de file zich pas oplost op het moment dat het verkeersaanbod voldoende daalt. Het dalmoment heeft een bezetting van ongeveer 120 voertuigen.

5.2.2 Situatie met reserveringssysteem

Laten we nu gaan kijken toe hoe ver we de aankomstintensiteit kunnen opvoeren als de helft van de mensen wil reserveren, dus $R_d = 0.5$. De rest van de variabelen laten we hetzelfde. We gebruiken reserveringsmethode 3 met parameters:

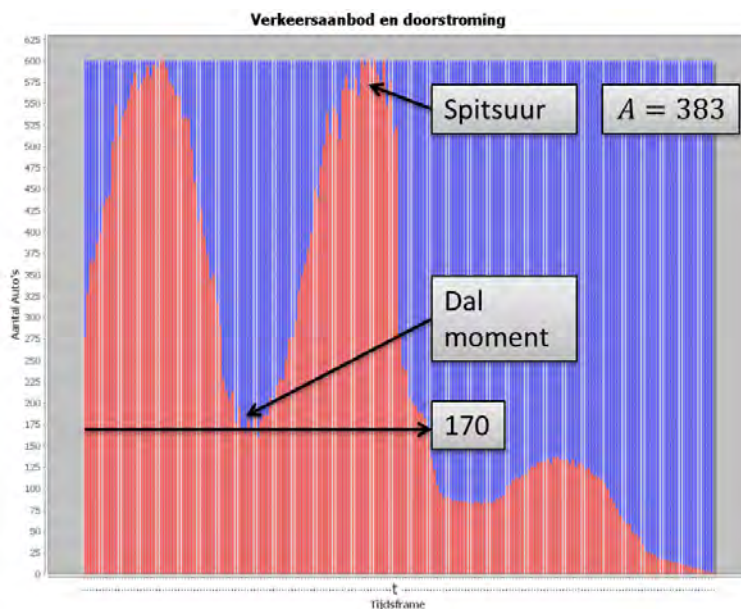


Figuur 5.2.2a: onveranderde aankomstintensiteit i.c.m. reserveringssysteem

In figuur 5.2.2a is nog een onveranderde aankomstintensiteit gebruikt. Er is duidelijk te zien dat wanneer de helft van de mensen laat weten wanneer ze reizen en bereid zijn een beetje te schuiven, er een situatie ontstaat die de maximale capaciteit niet

overschrijdt en daarmee filevrij is. Het dalmoment heeft een verkeersaanbod van ongeveer 170. Dit is beduidend hoger dan het dalmoment in 5.2.1b. Het gebruik van een reserveringssysteem, waarvan de helft van de weggebruikers gebruik maakt met als aanname dat ze bereid zijn één tot drie plaatsen te schuiven, kan al voor een filevrije weg zorgen. De standaarddeviatie van die situatie in figuur 5.2.2a over een steekproef van 50.000 tijdsframes is ongeveer 149.

Laten we nu gaan kijken tot hoe ver we de aankomstintensiteit kunnen opvoeren zonder dat er filevorming optreedt.

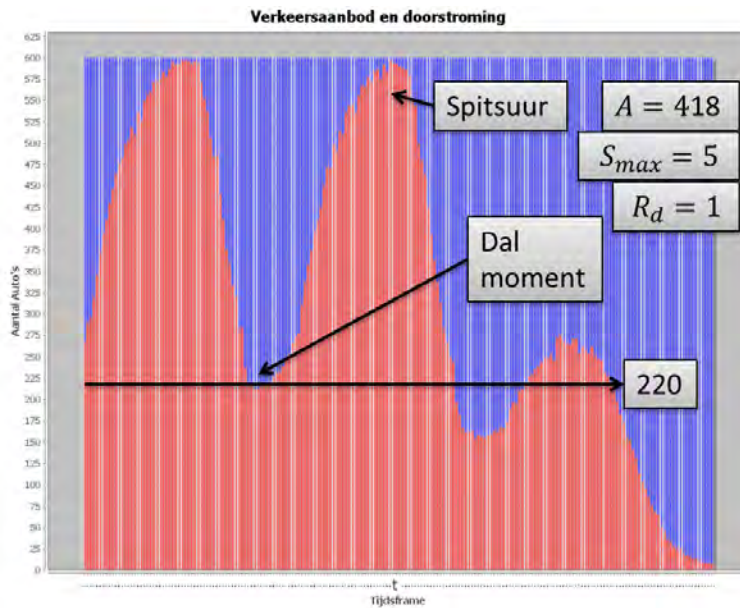


Figuur 5.2.2b: verloop verkeersaanbod voor maximale aankomstintensiteit van een filevrije weg met parameters van 5.2.2a

Figuur 5.2.2b laat een toename van de aankomstintensiteit zien van 4.36% meer dan de aankomstintensiteit in figuur 5.2.1a en 5.2.2a. We hebben hier winst geboekt in de benutte

wegcapaciteit en we hebben files kunnen voorkomen. Bovendien hebben we voor deze situatie aangenomen dat nog maar de helft van de mensen gebruik maakt van het reserveringssysteem. De standaarddeviatie is toegenomen tot 154 maar dit is niet onverwacht omdat we alleen de aankomstintensiteit hebben verhoogd.

Nu gaan we kijken naar de situatie waarbij iedereen gebruik maakt van het reserveringssysteem, $R_d = 1$ en we vergroten S_{max} naar 5 om iets meer schuiven mogelijk te maken. Weer gaan we de maximale aankomstintensiteit bepalen tot waar er geen filevorming optreedt.

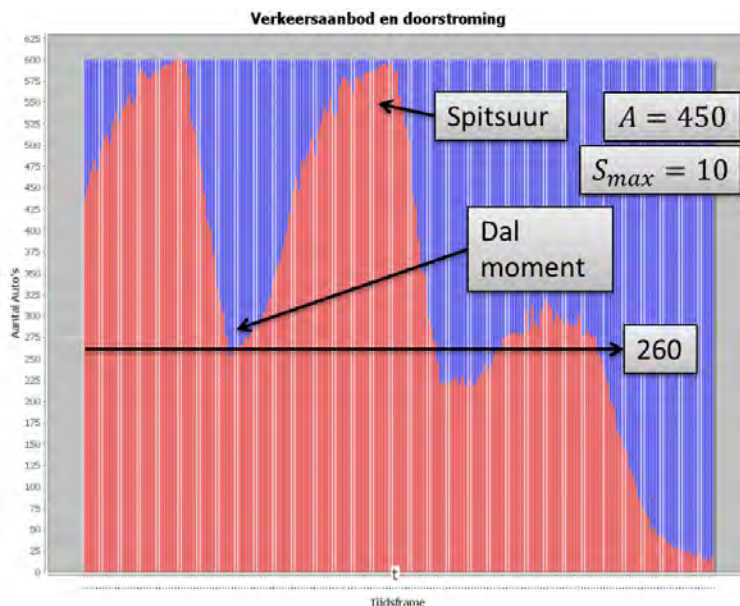


Figuur 5.2.2c: verloop verkeersaanbod voor maximale aankomstintensiteit van een weg zonder file bij uitbreiding van de hoeveelheid plaatsen die men maximaal wil schuiven en met het deel van de mensen dat reserveert gelijkgesteld aan 100%

Tot een aankomstintensiteit van $A = 418$ kunnen we nu gaan zonder dat er filevorming optreedt, een verbetering van 13.90% ten opzichte van onze basissituatie

($A = 367$). Het dalmoment heeft een verkeersaanbod van ongeveer 220. De standaarddeviatie is gedaald tot 142. Zoals we eerder in sectie 5.1 hebben gezien dragen hogere waarden voor dalmomenten bij aan een lagere standaarddeviatie: een grotere bereidheid om af te wijken van het gewenste tijdsframe als dit minder druk bezet is en een groter deel van de mensen dat reserveert. Dus we zien hier dat ondanks de verhoging van de aankomstintensiteit, de standaarddeviatie hier toch lager is dan in 5.2.2b.

Als laatste wil ik S_{max} nog een keer verhogen, naar 10, en analyseren wat dit voor effect heeft op de doorstroming.



Figuur 5.2.2d: verloop verkeersaanbod voor maximale aankomstintensiteit van een weg zonder file bij uitbreiding van de hoeveelheid plaatsen die men maximaal wil schuiven

Een verhoging van A naar 450 is 21,62% ten opzichte van de beginsituatie. Het dalmoment heeft

een verkeersaanbod van ongeveer 260. De standaarddeviatie is gedaald tot 113. Hoe meer we mensen bereid weten te maken een reservering te doen en meer af te willen wijken van hun gewenste tijdsframe hoe hoger we de doorstroming kunnen maken.

6 Conclusies, samenvatting en discussie

In dit werkstuk heb ik een oplossing gepresenteerd en geëvalueerd voor het fileprobleem: namelijk een reserveringssysteem voor weggebruik. Het principe van dit systeem is dat mensen een plaats op de weg kunnen reserveren. Het doel is dat de spreiding van het verkeersaanbod toeneemt en de variantie van de bezetting op de weg afneemt.

Als je alle resultaten met elkaar vergelijkt dan zie je niet alleen pieken die minder spits zijn maar ook dalen die ronder worden en minder diep. We krijgen dus een verkeersaanbod dat meer geleidelijk verloopt, een lagere variantie. Reistijd kan hierdoor veel korter en stabielere zijn.

Met de simulatietool kunnen we het volgende stellen over een reserveringssysteem:

- Een reserveringssysteem draagt bij aan een lagere maximale bezetting en een hogere minimale bezetting van een stuk weg.
- Een reserveringssysteem draagt bij aan een lagere variantie van het aantal auto's op een stuk weg.
- Des te meer tijdsframes mensen bereid zijn af te wijken van het door hun gewenste tijdsframe, hoe hoger de doorstroming kan worden.

Deze drie punten leiden tot de volgende conclusies:

1. Een reserveringssysteem draagt bij aan een kortere reistijd voor iedereen omdat het files voorkomt en daarmee de doorstroming hoog houdt.
2. Een reserveringssysteem kan enkel met het gebruik van 'reistijd' als motivatie voor mensen een significante positieve bijdrage leveren aan de doorstroming van het verkeer.

De simulatie betrof alleen een onveranderd aankomstintensiteitspatroon en geeft dus alleen een korte-termijneffect weer. Het is namelijk waarschijnlijk dat een reserveringssysteem mensen structureel motiveert hun reisgedrag aan te passen wegens economische of praktische redenen.

Door de communicatie met een algemeen systeem kunnen we elkaar helpen op de weg. We voorkomen momenten waarop we elkaar allemaal tegelijkertijd op de weg tegenkomen en maken op deze manier duurzaam gebruik van deze weg omdat we de capaciteit C op elk moment t , dus C_t , hoog weten te houden.

In deze simulatie ben ik uitgegaan van een verkeersaanbod dat altijd hetzelfde patroon behoudt en dat er elke keer het tijdsframe wordt gekozen met de laagste bezetting, oftewel de laagste reistijd. Zonder prijsinstrumenten is het dus mogelijk om verbetering te behalen als mensen kunnen reserveren op basis van verwachte reistijd. Ik ga er niet vanuit dat mensen plezier beleven aan filerijden en daarom neem ik aan dat ze proberen de laagste reistijd te behalen binnen de tijdsframes in hun keuzeruimte. Dit betekent niet dat het systeem zonder prijsinstrumenten meteen het gewenste effect zal bereiken. Menselijk gedrag in het reserveren zal hiervoor nader moeten worden onderzocht. Het kan zijn dat er een grote groep mensen houdt van vroeg reserveren, een andere grote groep reserveert het liefst vlak voordat ze de weg op gaan en maar een kleine groep bevindt zich dan in het midden. Hiervoor zal een passend prijsmechanisme moeten komen. Ook zal er verschil zijn in de flexibiliteit van mensen om in andere tijdsframes te reizen.

In hoofdstuk 2 heb ik verteld over methodes voor het terugdringen van files in andere landen. Duidelijk is dat ze allemaal een prijselement bevatten. Ze beïnvloeden de mensen door ze financieel te prikkelen in hun reisgedrag. Dit prijselement zou dus de laatste toevoeging moeten zijn in dit simulatiemodel. Echter, dit heb ik niet toegevoegd omdat we al weten dat het een verbetering oplevert in de spreiding van het weggebruik of het terugdringen van het weggebruik. Bovendien kan een reserveringssysteem de aankomstintensiteitscurve structureel beïnvloeden. Het is duidelijk dat het principe van marktwerking in de vraag en aanbod van wegcapaciteit gunstig is voor doorstroming en dus voor de economie.

Een reserveringssysteem geeft de overheid een middel in handen waarmee zij meer invloed kan uitoefenen op de weggebruiker. Zij kan ze in bepaalde richtingen sturen. Daarnaast maakt het systeem de communicatie tussen de weggebruikers beter. We helpen elkaar door aan te geven wanneer en waar we rijden en zo voorkomen we dat wij elkaar verrassen op de weg en samen in de file staan. Op deze manier kunnen we allemaal een kortere reistijd krijgen.

Bronvermelding

1. Simon Rozendaal. (2010). Elsevier, 66^e jaargang. nummer 12. Pagina 72-73
2. Vormgeving en effecten van prijsbeleid op de weg, rapport aan: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2004,
http://staff.feweb.vu.nl/everhoef/Vormgeving_en_effecten_van_prijsbeleid_op_de_weg.pdf
3. File!, *Kennislink*. <http://www.kennislink.nl/publicaties/file>
4. Braess-paradox, *Wikipedia*. <http://nl.wikipedia.org/wiki/Braess-paradox>
5. Rekeningrijden, *Wikipedia*, <http://nl.wikipedia.org/wiki/Rekeningrijden>
6. Kilometerheffing, *Wikipedia*, [http://nl.wikipedia.org/wiki/Kilometerheffing_\(Nederland\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Kilometerheffing_(Nederland))
7. HOV-lane, *Wikipedia*, http://en.wikipedia.org/wiki/High-occupancy_vehicle_lane
8. HOT-lane, *Wikipedia*,
http://en.wikipedia.org/wiki/High_occupancy/toll_and_express_toll_lanes
9. Congestion Charging, *Wikipedia*, http://nl.wikipedia.org/wiki/London_congestion_charge
10. Road Pricing, *TDM Encyclopedia*, <http://www.vtpi.org/tdm/tdm35.htm>