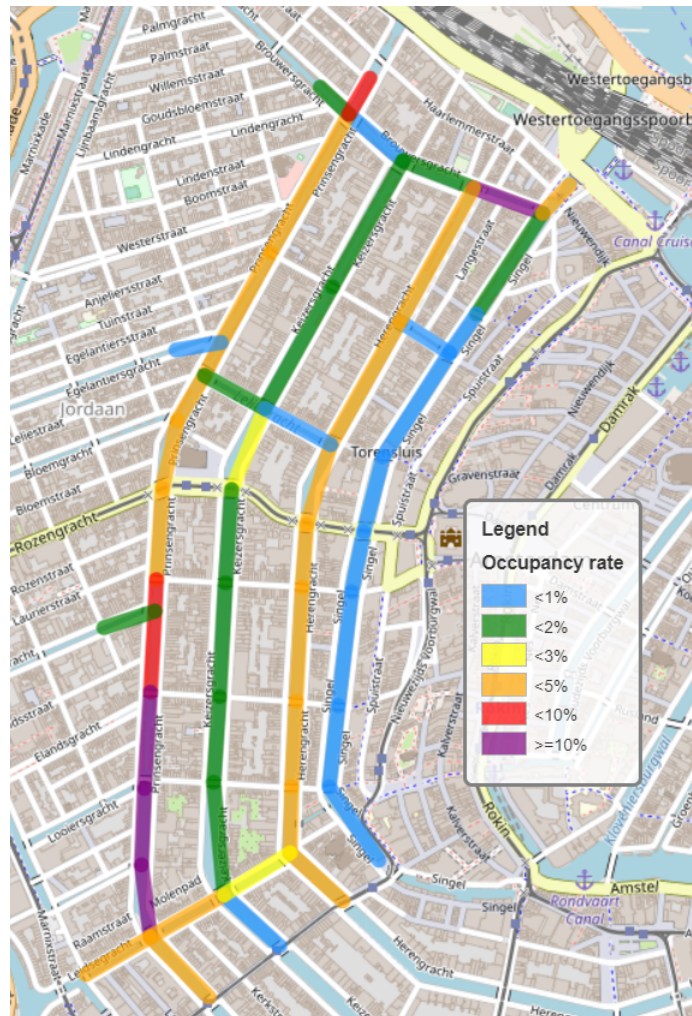


Dynamisch verkeersmodel Amsterdams Grachten

12 oktober 2020



In opdracht van
Stromma Nederland, Rederij Lovers en Blue Boat Company

Uitgevoerd door
Hoff Wentges E.C.

Samenvatting

Dit verslag is gericht op het maken van een computermodel dat het waterverkeer in de Amsterdamse grachten op een dynamische manier kan weergeven. Daarbij wordt beschreven hoe de gebruiker de mogelijkheid heeft om interventies toe te voegen aan het model en om hiervan de consequenties op het waterverkeer te zien.

Er is gekozen om een gedeelte van de Amsterdamse grachten te modelleren. Daarbij zijn de schepen opgedeeld in 5 categorieën. Met behulp van grafentheorie is het gedrag van de schepen per categorie beschreven. De data over het gedrag is verwerkt in een Excel-bestand, zodat er in de toekomst gemakkelijk aanpassingen gedaan kunnen worden. Denk aan bijvoorbeeld het toevoegen van interventies of het toevoegen van nieuwe scheeps categorieën. Het model zelf is in de computertaal Python beschreven. Er worden enkele voorbeelden gegeven van stukken code van het computermodel om inzicht te geven in de programmeercode.

Het model laat duidelijk mogelijkheden zien om het gedrag van de schepen te modelleren. Niet alleen het gedrag op een lokaal punt, maar ook wat dit betekent voor de rest van de grachten. Ook geeft het model goede inzichten in hoeveel schepen er op de grachten varen, hoe de drukte kan fluctueren en hoeveel personen zich gemiddeld op de grachten bevinden. Daarnaast geeft het model de mogelijkheid om bepaalde interventies te testen. Er zijn drie interventies beschreven; beprijzing, eenrichtingsverkeer en verkeerslichten. Hieruit blijkt dat beprijzing effectief werkt om lokale pijnpunten te verlichten. De interventies eenrichtingsverkeer en verkeerslichten zijn hier minder succesvol in.

Het model schiet nog op een paar punten te kort, maar deze zijn te verhelpen met meer data, namelijk; [1] data over het gedrag van schepen op een kruispunt [2] meer meetpunten voor de richting van schepen [3] data over het gedrag van schepen op rakken. Voor de voorgaande punten zijn nu aannames gedaan. Het model kan nauwkeuriger worden wanneer er meer data beschikbaar is.

Om een dynamisch verkeersmodel zoals deze te gebruiken in de discussie over interventies zal het gemodelleerde gebied uitgebreid moeten worden tot ongeveer de Singelgracht, het IJ en de aangrenzende grachten. Naar schatting kan zo een model gemaakt worden in ongeveer 10 werkweken en kan het daarna gebruikt worden om interventies te testen mits de gevraagde data beschikbaar is. Nieuwe interventies die nog niet zijn beschreven kunnen later worden toegevoegd. Afhankelijk van de complexiteit van de interventie duurt dit naar schatting 1 tot 4 werkdagen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	I
Inhoudsopgave	II
Lijst van figuren	IV
Lijst van tabellen	VI
Termen	VII
1 Onderzoeksopdracht	1
2 Model omschrijving	2
2.1 Gebied	2
2.1.1 Tellingen	2
2.1.2 Gekozen gebied	3
2.1.3 Eigenschap van de gebruikte data	4
2.2 Gedrag schepen	4
2.2.1 Scheepscategorieën	4
2.2.2 Kruispunten passeren	5
2.2.3 Inhalen	5
2.3 Verkeersstroming	6
2.3.1 Grafentheorie en Dijkstra	6
2.3.2 Stromingsaantal	6
2.3.3 Binnenvaren in het model	7
2.3.4 Kansverdelingen kruispunten	7
3 Dataverwerking	9
3.1 Rakken	9
3.2 Kruispunten	9
3.3 Bruggen	10
3.4 Genereerpunten	10
3.5 Schepen	11
4 Computermodel	12
4.1 Modules	12
4.1.1 Genereerpunt	12
4.1.2 Kruispunt doorvaren	12
4.1.3 Rak doorvaren	14
4.1.4 Brug en sluizen doorvaren	16
4.1.5 Modules samen	16
4.2 Maps	16
4.3 Animatie	16
5 Huidige situatie	17
5.1 Schepen en passagiers op de grachten	17
5.2 Bezetting kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht	19

5.3	Rak ten noorden van Leidsegracht - Prinsengracht; prinsen_11	20
5.4	Andere Knelpunten	22
5.5	Maximale drukte	22
5.6	Invloed van conservatieve aannames	22
6	Interventies	23
6.1	Introductie interventies	23
6.1.1	Beprijzing	23
6.1.2	Eenrichtingsverkeer	23
6.1.3	Verkeerslichten	23
6.2	Beprijzing	24
6.2.1	Schepen en passagiers op de grachten	24
6.2.2	Bezetting kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht	25
6.3	Eenrichting	27
6.3.1	Schepen en passagiers op de grachten	27
6.3.2	Bezetting kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht	28
6.3.3	Globale effecten	28
6.4	Verkeerslicht	30
6.4.1	Bezetting kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht	32
7	Conclusie	33
8	Discussie	34
9	Aanbevelingen	35
10	Aanlevering	37
	Bijlage: Overzicht figuren	39

Lijst van figuren

2.1	Locaties van de tellingen die uitgevoerd zijn.	3
2.2	Het gebied van het model.	4
2.3	Stromingszekerheid.	6
2.4	In- en uitstroom op kruispunt Herengracht - Leliegracht.	7
3.1	Dataverwerking van de rakken in Excel.	9
3.2	Dataverwerking van de kruispunten in Excel.	10
3.3	Dataverwerking van de bruggen in Excel.	10
3.4	Dataverwerking van de genereerpunten in Excel.	10
3.5	Dataverwerking van de schepen in Excel.	11
4.1	Code voor de richtingkeuze van een schip.	13
4.2	Code voor het toevoegen van een schip aan een kruispunt.	14
4.3	Schepen die varen op het rak leidse_01.	14
4.4	Code dat bekijkt of een schip aan het eind van een rak is.	15
4.5	Code dat kijkt of een schip op een rak past.	15
5.1	Aantal varende schepen per categorie tijdens de nulmeting in het onderzochte gebied.	18
5.2	Aantal passagiers dat in het onderzochte gebied per categorie op schepen zit tijdens de nulmeting.	18
5.3	Percentage passagiers per categorie vervoerd tijdens de nulmeting & percentage schepen per categorie tijdens de nulmeting in het onderzochte gebied.	19
5.4	Bezetting op het kruispunt Leidsegracht-Prinsengracht bij de huidige situatie.	20
5.5	Visualisatie van de schepen in het onderzochte gebied tijdens de simulatie.	20
5.6	De gemiddelde bezettingsgraad van de rakken gedurende 10 uur met de nulmeting.	21
5.7	Data uit het rak prinsen_11.	21
6.1	Aantal varende schepen per categorie tijdens de interventie beprijzing in het onderzochte gebied.	24
6.2	Aantal passagiers dat in het onderzochte gebied per categorie op schepen zit tijdens de interventie beprijzing.	25
6.3	De bezetting op het kruispunt Leidsegracht-Prinsengracht van de nulmeting en de interventie beprijzing.	26
6.4	De gemiddelde bezettingsgraad van de rakken gedurende 10 uur met de interventie beprijzing.	26
6.5	Aantal varende schepen per categorie tijdens de interventie beprijzing in het onderzochte gebied.	27
6.6	Aantal passagiers dat in het onderzochte gebied per categorie op schepen zit tijdens de interventie beprijzing.	28
6.7	De bezetting op het kruispunt Leidsegracht-Prinsengracht van de nulmeting en de interventie eenrichting.	29
6.8	De gemiddelde bezettingsgraad van de rakken gedurende 10 uur met de interventie eenrichtingverkeer.	29

6.9	Aantal varende schepen per categorie tijdens de interventie verkeerslicht in het onderzochte gebied.	30
6.10	Aantal passagiers dat in het onderzochte gebied per categorie op schepen zit tijdens de interventie verkeerslicht.	31
6.11	De gemiddelde bezettingsgraad van de rakken gedurende 10 uur met de interventie verkeerslicht.	31
6.12	De bezetting op het kruispunt Leidsegracht-Prinsengracht van de nulmeting en de interventie verkeerslicht.	32

Lijst van tabellen

2.1	De tellingen die meegenomen zijn in dit rapport.	2
2.2	De scheepscategorieën	5
2.3	In- en uitstroom van categorie I op kruispunt Herengracht - Leliegracht.	8
2.4	Keuze matrix algemeen op een 3 raks-kruispunt.	8
2.5	Keuze matrix op kruispunt Herengracht - Leliegracht.	8
6.1	Het percentage van een categorie dat aangepast vaargedrag toont.	23
10.1	De documenten die zijn aangeleverd als ondersteuning van de resultaten.	37

Termen

Bezettingsgraad - De bezettingsgraad is het percentage scheepsoppervlak op een rak. Dit is te berekenen door het scheepsoppervlak van elk schip op te tellen en te delen door het oppervlak van het rak.

Doorvaartijd - De ratio van hoelang een schip door een rak vaart gedeeld door de nominale tijd waarin een schip door het rak zou kunnen varen.

Genereerpunt - Een plek waar de schepen in het model worden geladen. Dit gebeurt op de randen van het model. In de realiteit zouden schepen het gebied invaren, echter om computer kracht te besparen worden de schepen gegenereerd op deze punten.

Interventie - Een verandering aan de huidige situatie omtrent een regulatie, gedrag of andere zaken die het verkeer beïnvloeden.

Kruispunt - Een punt waar meerdere rakken bij elkaar komen. Een kruispunt bestaat in dit rapport altijd uit een samenkomst van 3 of 4 rakken.

Modules - Dit kan gezien worden als legoblokjes. Elke module is een connectie stuk voor een volgende module. Zo is de hele gracht gedefinieerd in verschillende modules als rakken, grachten, kruispunten, genereerpunten etc.

Nulmeting - Dit is de aanduiding van de uitkomst van het model waar de huidige situatie wordt weergegeven. De term nulmeting en huidige situatie kunnen vaak voor elkaar worden gesubstitueerd.

Python - De programmeertaal waarin het overgrote deel van het model geprogrammeerd is. Python is één van de meest populaire programmeertalen. Daarnaast is python open-source en gratis te gebruiken.

Rak - Een rak is een stuk gracht lopend van een brug tot een brug of kruispunt.

Scheepsoppervlak - De lengte en breedte van een schip gemeten op de waterlijn.

Vaarbeweging - het passeren van een punt (kruispunt of rak) door een schip.

1 Onderzoeksopdracht

De grachten van Amsterdam worden intensief bevaren; een gebruik dat naar verwachting de komende jaren zal intensiveren. In de praktijk lijkt het erop dat het grachtenstelsel capaciteit heeft om het aantal vaarbewegingen te absorberen. Tegelijkertijd benutten de gebruikers die capaciteit niet optimaal omdat veel vaarbewegingen zich concentreren op een aantal locaties. Als gevolg hiervan lijkt het dat de capaciteit van de grachten soms aan een kritische grens raakt, maar dat probleem is dan lokaal. Met behulp van interventies is het mogelijk om de vaarbewegingen te beïnvloeden. Effectief discussiëren over een interventie om het vlot en veilig varen in Amsterdam te waarborgen is complex wanneer men geen goede voorstelling kan maken over de consequenties. Daarom kan een dynamisch verkeersmodel van de Amsterdamse grachten hierin ondersteunen. De onderzoeksopdracht van dit rapport is om een computermodel te maken dat hetgeen hiervoor kan beschrijven.

Het dynamische verkeersmodel modelleert het gebied dat is afgesloten tussen de Brouwersgracht, Prinsengracht, Leidsegracht en de Singel. Aangezien er nog geen plan is om zo een model te gebruiken in de discussie over interventies voor de grachten van Amsterdam, is ervoor gekozen om een gebied te nemen met probleempunten. De capaciteit van de grachten is beschreven op basis van het oppervlak van het bevaarbare vaarwater. De schepen zijn opgedeeld in categorieën die zijn ingedeeld volgens de tellingen van De Verkeerstellers, 2019 en Mobycon, 2018. Deze categorieën hebben elk hun eigen gedrag en eigen afmetingen en snelheid. Omdat de lokale problemen vooral voorkomen op drukke zonnige dagen is er gekozen om ook alleen deze dagen te modelleren. Het gedrag is bepaald op 10 tellingen van De Verkeerstellers en Mobycon die elk op een zomerse zonnige vrijdag(2x), zaterdag(4x) en zondag(4x) van 2018 en 2019 hebben plaats gevonden. In het model zijn complicaties zoals bruggen en sluizen meegenomen, dit is uitgewerkt in het hoofdstuk 2. Het model simuleert zo de capaciteit op globaal (gehele gemodelleerde gebied) en lokaal (een kruispunt van twee grachten) niveau met de gegeven data.

De drukte van de grachten wordt op de volgende manier beschreven; [1] **bezettingsgraad**, [2] **vaarbewegingen** en [3] **de doorvaartijd**. Samen zorgen deze drie maten voor een compleet plaatje of het vlot en veilig varen in Amsterdam kan worden gewaarborgd.

De bezettingsgraad geeft aan hoeveel procent van het bevaarbare water in een gracht wordt bezet door de aanwezige schepen. Bijvoorbeeld, als een rak een *Lengte x Breedte* van $100 * 13 = 1300$ heeft en er varen 5 schepen met een *Lengte x Breedte* van $(10 * 3) * 5 = 150$, dan is op dat moment de bezettingsgraad $150/1300 \approx 11.5\%$.

De vaarbewegingen geven aan hoeveel schepen een bepaald rak of kruispunt passeren per tijdsinterval. Dit wordt gegeven per categorie.

De doorvaartijd Dit is de ratio van hoe lang een schip door een rak vaart met verkeer gedeeld door hoe lang een schip door een rak zou varen in vrije vaart (zonder verkeer of stremmingen). Bijvoorbeeld; wanneer een schip met verkeer 120 seconden door een rak vaart en in nominale conditie (vrije vaart) in 100 seconden zou varen, resulteert dan in een doorvaartijd van 1.2.

Naast een simulatie van de huidige situatie zullen interventies worden getest met de bedoeling om aan te geven wat mogelijk is. In dit verslag is een scenario voor [1] Beprijzing op de Prinsengracht vanaf de Lauriergracht naar het zuiden, [2] Eenrichtingsverkeer op de Herengracht richting het noorden, [3] verkeerslichten op de Herengracht voor het verkeer naar het noorden. Hierbij worden de drie voorgenoemde maten gebruikt om aan te geven waar een regulatie het lokale verkeer heeft verbeterd of verslechterd. Ook worden waarden gegeven zoals; hoeveel passagiers worden vervoerd of hoe groot het aandeel van een categorie voor een bepaalde drukte is.

2 Model omschrijving

Een model is een representatie van de werkelijkheid. Hiervoor zijn aannames en randvoorwaarden nodig om een vertaling te maken naar een model. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste aannames en randvoorwaarden uitgewerkt. In paragraaf 2.1 is het gebied van het model omschreven. Vervolgens wordt in paragraaf 2.2 het gedrag van de schepen beschreven. Als laatst wordt er in 2.3 uitgelegd hoe de verkeersstromingen in het model werken.

2.1 Gebied

In deze paragraaf wordt uiteengezet welke data er is gebruikt om het gebied te bepalen. Daarbij is alleen data gebruikt van zonnige weekenden.

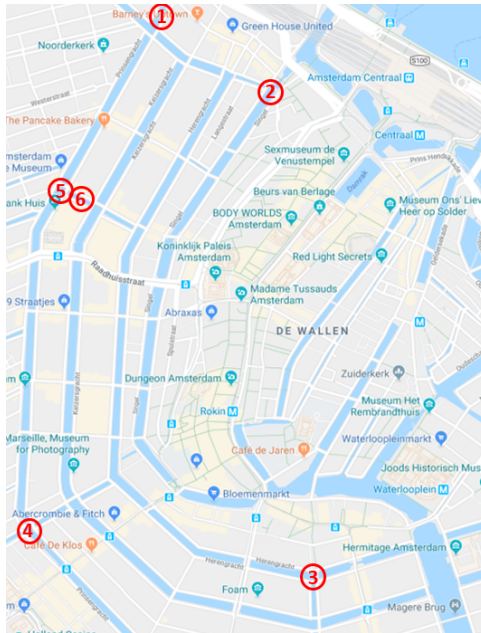
2.1.1 Tellingen

Voor dit model worden er meerdere tellingen in de grachten van Amsterdam in de zomer van 2018 en 2019 gebruikt. Deze tellingen zijn gedaan door Mobycon en De Verkeerstellers. In tabel 2.1 is de datum en het bedrijf van uitvoering te zien. In figuur 2.1 zijn de 6 gebruikte telpunten weergegeven.

Dag		Maand	Jaar	Uitvoering
Vrijdag	29	juni	2018	Mobycon
Zaterdag	30	juni	2018	Mobycon
Zondag	1	juli	2018	Mobycon
Vrijdag	31	augustus	2018	Mobycon
Zaterdag	1	september	2018	Mobycon
Zondag	2	september	2018	Mobycon
Zaterdag	27	juli	2019	De Verkeerstellers
Zondag	28	juli	2019	De Verkeerstellers
Zaterdag	31	augustus	2019	De Verkeerstellers
Zondag	1	september	2019	De Verkeerstellers

Tabel 2.1: De tellingen die meegenomen zijn in dit rapport.

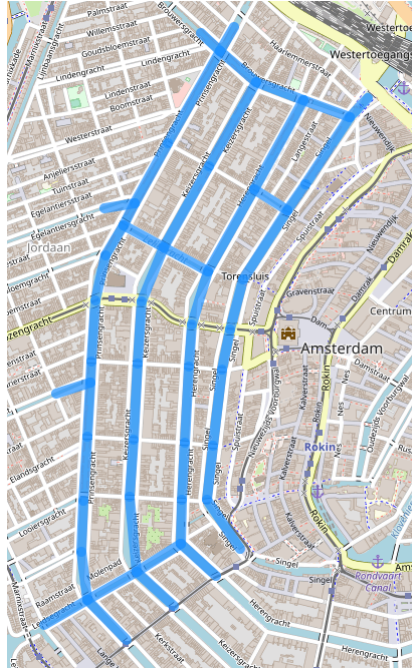
In het vervolg van dit verslag zal met 'de tellingen' naar deze documenten worden gerefereerd.



Figuur 2.1: Locaties van de tellingen die uitgevoerd zijn.

2.1.2 Gekozen gebied

Het staat niet in de scope om de gehele grachtengordel te modelleren, maar een deel. Met de locaties van de telpunten, die te zien zijn in figuur 2.1, is het te modelleren gebied bepaald. Het gebied wordt omringd door de Brouwersgracht, de Singel, de Leidse gracht en de Prinsengracht. In figuur 2.2 wordt dit gebied in het blauw gemarkeerd aangegeven. Aansluitingspunten zoals bijvoorbeeld de Eenhoornsluis, de Haarlemmersluis en de Egelantiersgracht zijn meegenomen. De vaarbewegingen van de Bloemgracht, Lauriergracht, Looiersgracht en de Passeerdersgracht zijn samengevoegd tot één vaarbeweging over de Lauriergracht. Dit is gedaan vanwege een tekort aan data over deze grachten. Dit is een conservatieve benadering aangezien dit een lokale drukte geeft in plaats van een iets meer verspreide drukte.



Figuur 2.2: Het gebied van het model.

2.1.3 Eigenschap van de gebruikte data

Er is alleen data van zonnige zomerdagen in het weekend gebruikt. Voor het model is data van het drukste moment van de dag genomen, namelijk tussen 12 uur tot 18 uur. Dit is bepaald aan de hand van Waternet, 2019. Het model representeert zo het drukste moment op de grachten. Let wel; dit model is daardoor niet representatief voor een maandagavond, een zaterdag in november of een regenachtige (en minder drukke) zondag in de zomer; omdat er namelijk geen data is gebruikt van zulke dagen. De verwachting is dat deze dagen de grachten capaciteit (veel) minder op de proef stellen en daardoor dus ook minder relevant zijn in een discussie over interventies. Wanneer men meent dat dit niet zo is, kan op dezelfde manier ook voor deze dagen een simulatie worden gemaakt mits er tellingen zijn van zulke dagen. Speciale evenementen zoals Koningsdag of de Gay Pride zijn ook niet meegenomen.

2.2 Gedrag schepen

In deze paragraaf wordt beschreven hoe schepen zijn gedefinieerd in het model.

2.2.1 Scheepscategorieën

In de eerste tellingen van 2018 (zie subparagraaf 2.1.1 wordt gebruik gemaakt van de definities van sloopstypes volgens de Nota Varen 2.1 van de Gemeente Amsterdam, 2013. De nieuwe indeling uit de Gemeente Amsterdam, 2019 is gebruikt bij de tellingen van 2019. Het voornaamste verschil zit in de differentiatie binnen categorie 4. In de oude tellingen het ging om een schip tot 5.5 meter lang en 2 meter breed, de nieuwe telling een afmeting van 10 bij 3.15 als maximum. De sloopscategorieën die in dit rapport gebruikt worden zijn gebaseerd op de Nota Varen 2.1 van de Gemeente Amsterdam, 2013.

De indeling in dit rapport ziet er als volgt uit:

Categorie	Benoeming	Maximale Lengte	Maximale Breedte
1	Bemand groot	20 m	4,25 m
2	Bemand gesloten	14 m	3,75 m
3	Bemand open	10 m	3,15
4	Onbemand	10 m	3,15
6	Pleziervaart	Geen	Geen

Tabel 2.2: De scheepscategorieën

De eerste 4 categorieën vallen onder het passagiersvervoer. Categorie 6 valt onder pleziervaart. Voor deze categorie geldt geen maximale lengte of breedte. Echter, uit de Nota Varen 2.1 blijkt dat 80% van de pleziervaart met een BHG-vignet tussen de 4 en 7 meter is. Aangezien het overgrote merendeel hieronder valt, wordt er aangenomen dat de schepen uit categorie 6 tussen de 4 en 7 meter lang zijn. In tabel 2.2 is te zien dat categorie 5, 7 en 8 ontbreken in de lijst volgens de tellingen van De Verkeerstellers, 2019 en Mobycon, 2018. Onder categorie 5 valt de waterfiets. In dit rapport is aangenomen dat de invloed van waterfietsen op het water alleen als vertragend wordt gezien. Omdat er al een redelijk conservatieve benadering is voor drukte zijn alle waterfietsen verder niet meegenomen. Hier wordt later in het verslag verder op ingegaan in hoofdstuk 8. Categorie 7, goederenvervoer, en 8, overige schepen, zijn zeldzaam rond de piekuren, daarom zijn deze ook niet meegenomen.

2.2.2 Kruispunten passeren

Uit onderzoek van Dr. Ir. H.J. de Koning Gans; Ir. K. Visser, 2016 blijkt dat het passeren van een kruispunt niet afhankelijk is van de grootte van een schip, maar van de stuurinstallatie. Voor dit model is daarom aangenomen dat de passeertijd van een kruispunt voor een 90° manoeuvre 24 seconden kost. Voor rechtdoor is een doorvaartijd van 12 seconden per schip gekozen. Er is aangenomen dat er maar 1 schip per keer op een kruispunt kan zijn. Dit zorgt ervoor dat de aanwezige capaciteit in het model laag zal uitvallen in verhouding tot de werkelijkheid. De reden hiervoor is om een zo conservatief maar toch realistisch resultaat neer te zetten. In werkelijkheid is het vaargedrag op een kruispunt veel dynamischer aangezien schepen bij het passeren niet wachten tot het kruispunt helemaal leeg is. Dit is tegelijk ook een discussiepunt. De vraag is hoeveel schepen er tegelijk op een kruispunt zouden mogen varen in relatie tot vlotte, maar vooral veilige doorvaart.

2.2.3 Inhalen

Wanneer een schip door het systeem vaart heeft het een eigen snelheid. Ook dit is per categorie anders. De maximumsnelheid binnen de grachten is 6 km/u. In dit model is aangegeven dat scheepssnelheid varieert tussen de 3 en 6 km/u. Dit zorgt ervoor dat oplopende schepen willen inhalen. In dit model is echter aangenomen dat schepen niet kunnen inhalen. Door deze aanname gaat de doorvaartijd van snellere schepen omhoog (ze doen er langer over) als er een langzamer schip voor hen vaart. Als gevolg gaat de gemiddelde bezetting ook omhoog, omdat schepen langer op een rak varen. Wanneer de algemene snelheid omlaaggaat, zal ook de capaciteit van de grachten omlaaggaan omdat het totaal aantal passeerbewegingen ook lager wordt. De aanname dat schepen niet kunnen inhalen is daardoor ook een conservatieve benadering van de doorstroming.

Doordat de schepen niet kunnen inhalen blijven de schepen als een colonne achter elkaar varen. Er is echter voor gekozen om geen buffer tussen de schepen te plaatsen. Dit betekent dat schepen met boeg op achtersteven op elkaar zitten als er een opstopping ontstaat. Er is hiervoor gekozen omdat de afstand tussen schepen zeer dynamisch is en het moeilijk is om duidelijk een maat te geven aan de ruimte tussen schepen. Daarnaast is er ook al een conservatieve aanname gedaan

dat de schepen niet kunnen inhalen of naast elkaar varen waarbij deze buffer het model nog conservatiever zou maken.

2.3 Verkeersstroming

Er zijn verschillende methodes om de schepen door de grachten te laten varen. De uitkomsten van dit model moeten iets zeggen over het lokale gedrag in het model, niet het individuele gedrag (dat is nog een niveau lager). Dit is gesteld in de onderzoeksopdracht. Daarom is er gekozen om de schepen als een 'flow' of 'stroming' te modelleren aan de hand van grafentheorie, maar niet voor een kortstepad-algoritme van bijvoorbeeld Dijkstra.

2.3.1 Grafentheorie en Dijkstra

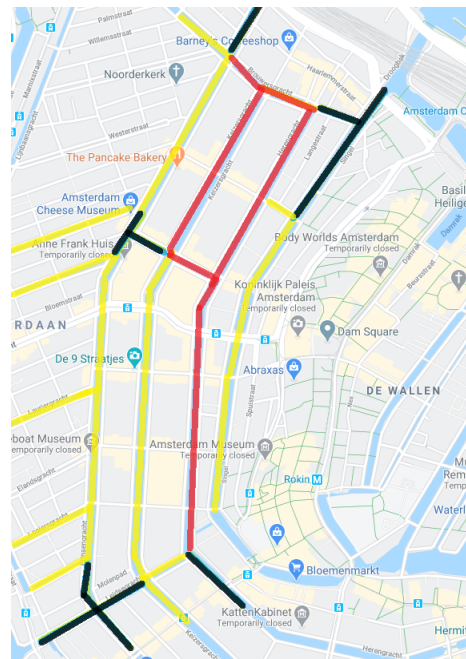
Grafentheorie is een wiskundige methode om een schematische routekaart te maken op basis van punten (knopen) en lijnen (bogen). In dit verslag is een kruispunt een knoop en een rak is een boog. Alle kruispunten zijn verbonden door rakken (knopen verbonden door bogen). Dijkstra's algoritme is een methode binnen de grafentheorie om het kortste pad van een knoop A naar een knoop B te berekenen. Deze methode wordt veel gebruikt in verkeersoptimalisatie modellen aangezien verkeer vaak het snelst van A naar B wil. In dit model is dat echter niet het geval aangezien keuzes worden gemaakt op basis van bezienswaardigheden of omdat mensen willekeurig rondvaren. Als het gedrag als een kortstepad-algoritme gemodelleerd zou worden varen de schepen te snel door het model. Daarom is er gekozen om per kruispunt te itereren naar het gedrag dat uit de data is gehaald.

2.3.2 Stromingsaantal

De stromingsaantallen worden in dit model gegeven in schepen per uur. Een gemiddelde waarde van de stromingsrichting komt uit de data van de tellingen.

Kruispunt met en zonder telling

Doordat er op enkele plekken tellingen verricht zijn, zijn er kruispunten met en zonder tellingen. Op de punten waar tellingen hebben plaats gevonden is de kansverdeling accuraat. In figuur 2.3 wordt dit aangegeven met een zwarte lijn, dit betekent dat de kansverdeling zeker is. Aan de hand van de grafentheorie moet alle instroom gelijk zijn aan alle uitstroom per kruispunt. Dit houdt in dat alle gele lijnen geschat of afgeleid kunnen worden op basis van de in- en uitstroom van de zwarte (dus zekere) stromingen. De rode stromingen worden weer bepaald op basis van de gele stromingen. Om zeker te zijn dat de stromingen kloppen moet in cirkels geredeneerd worden. De buitenste cirkel bestaande uit de 4 zwarte hoekpunten moet evenveel schepen leveren en afvoeren aan het systeem. Zo moeten de gele stromingen voldoen aan de gevraagde of gegeven zwarte stromingen. Hierna kan in de



Figuur 2.3: Stromingszekerheid.

binnenste cirkel, de rode stromingen, ook worden bepaald dat er evenveel schepen zowel erin als eruit moeten komen. Dit zorgt ervoor dat alle stromingen bepaald kunnen worden.

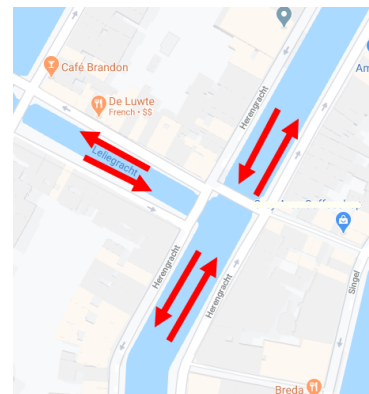
2.3.3 Binnenvaren in het model

Aan de rand van het systeem worden schepen toegevoegd en afgevoerd. De stromingen zijn zo berekend dat in het model precies evenveel wordt toegevoegd als er wordt afgevoerd. Het genereren van schepen werkt aan de hand van een bepaalde willekeurige verdeling. Deze is als volgt opgezet; stel een categorie II schip komt bij de Eenhoornsluis 10 keer per uur binnen, dan is de kans $\frac{\text{Schepen per uur}}{\text{uur in seconden}} = \frac{10}{3600}$ dat een categorie II schip wordt gegenereerd. Elke seconde is er dus een kans dat een schip binnenkomt. Dit leidt tot een binomiale distributie. In andere woorden; na een uur is de kans vrij groot dat er tussen de 8 a 12 schepen van de categorie II bij de Eenhoornsluis zijn binnen gekomen. De reden dat hiervoor is gekozen is omdat er nooit exact om de zoveel minuten een schip binnenkomt. Om dit zo realistisch mogelijk te houden moet dit dus variëren. Het gevolg is dat hierdoor soms meer en soms minder schepen worden gegenereerd per uur, net zoals in de werkelijkheid. Over de volle simulatie zal het wel naderen naar het gemiddelde.

2.3.4 Kansverdelingen kruispunten

Wanneer een stroming wordt gesimuleerd is het niet van belang waar een individu vandaan komt en naartoe gaat. Het is van belang dat het totaal aantal schepen dat aankomt op een kruispunt ook weer vertrekt van het kruispunt in de richting volgens de tellingen. Daarbij mag een schip dus niet teruggaan in de richting waar het vandaan kwam. Het schip moet gehoorzamen aan de verdeling van de tellingen.

Voor het bepalen van de verdeling moet een lineair stelsel worden opgezet. Als voorbeeld is het kruispunt van de Herengracht - Leliegracht genomen, zie figuur 2.4. Het kruispunt heeft een in- en uitstroom op het noorden I_N & U_N , zuiden I_Z & U_Z en westen I_W & U_w . De som van de instroom is gelijk aan de som van de uitstroom; $\sum I_{tot} = \sum U_{tot}$. Nu zijn de enige variabelen hoe de schepen kiezen waar ze naartoe gaan. In tabel 2.4 is te zien hoe de som van de rijen gelijk is aan de instroom en de som van de kolommen aan de uitstroom. De $X_{van,naar}$ waarde geeft aan hoeveel schepen er van een richting naar een richting gaan, bijvoorbeeld van het noorden naar het zuiden gaan 10 schepen, dan $X_{NZ} = 10$. De waarden op de diagonaal van de matrix zijn 0, schepen kunnen namelijk niet van het noorden terug naar het noorden. Aangezien het stelsel van vergelijkingen voor een 3×3 matrix nu 6 variabelen kent en 5 integere vergelijkingen (6 vergelijkingen minus 1 vergelijking vanwege de gelijkheid in de som van I_{tot} en U_{tot}) is hij niet oplosbaar. Daarom moet altijd 1 waarde worden geschat. Voor het voorbeeld is de invulling van categorie I gedaan voor dit kruispunt. Dit is te zien in tabel 2.3. Hier zijn alle instroom en uitstroom waarden in schepen per uur gegeven. Stel dat nu $X_{ZN} = 16.6$, dan is de rest in te vullen. Dit is gedaan in tabel 2.5. Met deze methode is elk kruispunt dat niet volledig is gemeten benaderd. Om nu een voorstelling te maken hoe de kansverdeling is op een kruispunt. Wanneer een schip vanuit het noorden komt, gaat $X_{NZ}/I_N = 0.5/1 = 50\%$ naar het zuiden en $X_{NW}/I_N = 0.5/1 = 50\%$ naar het noorden. Wanneer een schip uit het zuiden komt, gaat $X_{ZN}/I_Z = 16.6/17.1 = 97\%$ naar



Figuur 2.4: In- en uitstroom op kruispunt Herengracht - Leliegracht.

het noorden en $X_{ZW}/I_Z = 0.5/17.1 = 3\%$ naar het westen, enzovoort. Deze methode werkt hetzelfde voor een 4 raks-kruispunt.

Richting	Instroom	Uitstroom
Noord	1	17.1
Oost	0	0
Zuid	17.1	1
West	1	1

Tabel 2.3: In- en uitstroom van categorie I op kruispunt Herengracht - Leliegracht.

0	X_{NZ}	X_{NW}	I_N
X_{ZN}	0	X_{ZW}	I_Z
X_{WN}	X_{WZ}	0	I_W
U_N	U_Z	U_W	totaal

Tabel 2.4: Keuze matrix algemeen op een 3 raks-kruispunt.

0	0.5	0.5	1
16.6	0	0.5	17.1
0.5	0.5	0	1
17.1	1	1	19.1

Tabel 2.5: Keuze matrix op kruispunt Herengracht - Leliegracht.

3 Dataverwerking

De data is in een Excel-bestand verwerkt. De voorkeur voor Excel ligt erin dat het toegankelijk is om te gebruiken, overzichtelijk is en gemakkelijk over te zetten is in een andere programmeertaal. In dit hoofdstuk zal worden aangegeven op welke manier de data verwerkt en opgeslagen is. Allereerst wordt in paragraaf 3.1 de dataverwerking van de rakken beschreven. Vervolgens omschrijft paragraaf 3.2 de dataverwerking van kruispunten. In paragraaf 3.3 staat de dataverwerking van de bruggen. De dataverwerking van de genereerpunten staan in paragraaf 3.4 en als laatst staan in paragraaf 3.5 de dataverwerking van de schepen.

3.1 Rakken

In figuur 3.1 is te zien hoe de rakken zijn verwerkt in Excel. Elk rak heeft een eigen *Grachtnaam*, een specifieke *Lengte* en een *Breedte*. De lengte van een rak is bepaald van brug tot brug of brug tot kruispunt. De breedte van een rak is gegeven als de bevaarbare breedte zoals gedefinieerd in Gemeente Amsterdam, 2019. Het begin en het einde van een rak hebben elk een eigen identiteit. Bijvoorbeeld *brouwers_02* is het rak tussen de Keizersgracht en Prinsengracht. De connectiepunten heten dan ook *brouwers_keizers* als *Vorige-rak* en *brouwers_heren* als *Volgende-rak*. Zo kan een volgend rak hieraan worden gekoppeld. Bij *brouwers_03* is te zien dat het ook het connectiepunt *brouwers_heren* heeft, maar dan als *Vorige-rak*. Daardoor zijn deze rakken via het kruispunt aan elkaar verbonden. De X en Y-coördinaten zijn voor de locaties van het begin, 1, en het einde, 2, van een rak. Hierdoor heeft het model de mogelijkheid om de rakken op een wereldbol te illustreren. Dit wordt verder uitgelegd in hoofdstuk 4.2.

Grachtnaam	Lengte	Breedte	Vorige-rak	Volgend-rak	X coördinaat 1	Y coördinaat 1	X coördinaat 2	Y coördinaat 2
brouwers_01	131	13	brouwers_prinsen	brouwers_keizers	52,380527	4,888417	52,379705	4,88993
brouwers_02	105	13	brouwers_keizers	brouwers_heren	52,379705	4,88993	52,379251	4,891966
brouwers_03	103	13	brouwers_heren	brouwers_singel	52,379251	4,891966	52,378807	4,893942
singel_01	230	13	brouwers_singel	corsgenburg	52,378807	4,893942	52,377048	4,892067
singel_02	93	13	corsgenburg	blauwburg_singel	52,377048	4,892067	52,37636	4,891281

Figuur 3.1: Dataverwerking van de rakken in Excel.

3.2 Kruispunten

In het figuur 3.2 is te zien hoe Excel de data doorgeeft aan het model. De waarden werken als volgt. Het kruispunt heet *brouwers_singel*. Dit kruispunt verbindt; *haarlem_01*, *singel_01* en *brouwers_03*. Wanneer een schip vanuit *haarlem_01* aankomt varen heeft het de volgende kansen; 0% Noord, 0% west, 66.6% zuid en 33.4% west, enzovoort. Dit is voor elk kruispunt en voor elke categorie uitgewerkt aan de hand van de omschreven methode in hoofdstuk 2.3.

Kruispunt	Noord	Oost	Zuid	West
brouwers_singel	haarlem_01	geen	singel_01	brouwers_03
	Klasse 1 Noord	Klasse 1 Oost	Klasse 1 Zuid	Klasse 1 West
	0 0 2 1	0 0 0 0	19 0 0 1	200 0 2 0

Figuur 3.2: Dataverwerking van de kruispunten in Excel.

3.3 Bruggen

De bruggen tussen bepaalde rakken hebben een dataverwerking zoals in figuur 3.3 staat. Elke brug heeft een naam die refereert naar de echte brug. Wanneer een schip bijvoorbeeld aan het einde is van *singel_01* en naar *singel_02* wil, zorgt het model ervoor het schip eerst de brug *corsgenburg* moet passeren. De lengte van de brug is 10 meter. *Max klasse* geeft aan tot welke categorie (van klein naar groot) tegelijk een brug kunnen passeren. In dit geval kunnen alleen categorie 4 en 6 tegelijk een brug passeren.

Brug	Lengte	Max klasse	Vorige-rak	Volgend-rak
corsgenburg	10	4	singel_01	singel_02
torenluis	50	4	singel_03	singel_04
singel_huiszitten	40	4	singel_04	singel_05

Figuur 3.3: Dataverwerking van de bruggen in Excel.

3.4 Genereerpunten

Bij genereerpunten is de input van de data gegeven als in figuur 3.4. *Klasse* staat voor de categorie. De waarden die bij de categorie staan, geven aan hoeveel van deze schepen per uur gegenereerd worden. De waarden hier zijn met 10 vermenigvuldigd omdat de programmeer implementatie niet werkt met decimalen. Door de getallen te vertienvoudigen kan er alsnog met de nauwkeurigheid van één decimaal achter de komma gewerkt worden. Als voorbeeld; categorie 2 bij de *brouwers_genermeer_01* is 82, dit betekent dat er 8.2 schepen per uur gegenereerd worden. De *Connectie* geeft aan waar ze het model inkomen. Deze punten zijn tevens ook de plekken waar schepen het model uitvaren. Wanneer schepen proberen het model uit varen worden ze verwijderd uit het model.

Naam	Connectie	Klasse-1	Klasse-2	Klasse-3	Klasse-4	Klasse-6
brouwers_genermeer_01	eenhoorn_01	185	82	145	105	279
haarlemmer_genermeer	haarlem_01	4	7	33	25	81

Figuur 3.4: Dataverwerking van de genereerpunten in Excel.

3.5 Schepen

De eigenschappen van de schepen zijn gegeven in figuur 3.5. *Klasse* staat voor de categorie. Elke categorie heeft een variatie op lengte en breedte. Met een uniforme verdeling tussen deze maxima en minima. Ook heeft elk schip een maximale of minimale snelheid in km/u. Deze snelheid vaart het schip als het vrij water voor zich heeft. De schepen hebben een aantal passagiers aan boord, deze zijn ook uniform verdeeld. Het minimumaantal passagiers van een categorie wordt hier gebruikt om het gemiddelde aantal passagiers op het schip aan te passen. Doordat de verdeling uniform is, past het gemiddelde zich lineair aan met het minimumaantal passagiers.

Klasse	Max. L	Min. L	Max. B	Min. B	Max. S	Min. S	Max. pass	Min. Pass
1	2200	1700	425	390	6	5	100	40
2	1400	1100	375	340	6	5	60	30
3	1000	550	315	200	6	5	20	10
4	550	300	200	150	6	4	12	6
6	550	300	200	150	6	4	12	6

Figuur 3.5: Dataverwerking van de schepen in Excel.

4 Computermodel

In dit hoofdstuk wordt het geprogrammeerde model besproken. Het model is geprogrammeerd in de taal Python. Dit is één van de meeste gebruikte programmeertalen ter wereld. Naast dat het open-source is, hebben wij het meest ervaring met Python als programmeertaal. In het Python wordt de data van het Excel-bestand omgezet naar de simulatie waarin alle schepen virtueel door het model varen.

4.1 Modules

Het model werkt met losse modules. De modules kunnen opgesplitst worden in 4 types: de genereerpunten, kruispunten, rakken en bruggen. Elk type module verwerkt een schip anders. Zo kan een schip bij een kruispunt module afslaan terwijl het schip bij een rak module alleen recht door kan varen. Deze modules kunnen aan elkaar gelinkt worden waarmee het hele gebied gesimuleerd kan worden. Met de data die in hoofdstuk 3 besproken is, berekent iedere module hoe het schip bij zichzelf gesimuleerd wordt. In de komende subparagrafen wordt besproken hoe dat per module te werk gaat.

4.1.1 Genereerpunt

Allereerst moeten er schepen gegenereerd worden aangezien de virtuele grachten op eerste instantie helemaal leeg zijn. In de werkelijkheid zou een schip bijvoorbeeld vanaf het IJ via de Haarlemmersluis het onderzochte gebied binnenvaren. In het model gaat dit echter iets anders. In het model wordt namelijk een schip bij de Haarlemmersluis gegenereerd in plaats dat het komt aanvaren. Voor het model is het niet van belang waar het schip vandaan komt, slechts dat het schip het onderzochte gebied binnenvaart. De schepen worden gegenereerd op basis van de data uit het Excel-bestand, zie paragraaf 3.5. Nadat het schip gegenereerd is, wordt het overgeplaatst naar het volgende kruispunt of rak. Bijvoorbeeld als het schip van de Haarlemmersluis komt, zou het schip op het kruispunt Singel-Brouwersgracht geplaatst worden.

4.1.2 Kruispunt doorvaren

Op een gegeven moment komt een schip bij kruispunt aan. Op een kruispunt kan een schip meerdere routes nemen. Met het voorbeeld uit de vorige subparagraaf 4.1.1, is er een schip dat vanaf de Haarlemmersluis het kruispunt Singel-Brouwersgracht op vaart. Dit kruispunt is ook beschreven in paragraaf 3.2. Hoe dit in Python is beschreven, wordt verteld in de komende subparagrafen.

Richtingkeuze

De richting van een schip wordt bepaald aan de hand van de methode uit subparagraaf 2.3.4. In figuur 4.1 is te zien hoe dit er in Python uit ziet.

```
def richting_keuze(self, schip: Ship):

    afkomst_index = self.kruising.connectie_lijst.index(schip.location)
    connecties = self.kruising.connectie_lijst
    kansen_lijst = self.get_kansen_voor_klasse(schip)

    try:
        kans = [x / sum(kansen_lijst[afkomst_index]) for x in kansen_lijst[afkomst_index]]
    except ZeroDivisionError:
        print(self.moeder.naam, schip.klasse, schip.logboek)
        print("Kruising klopt niet")
        return

    volgende_rak = np.random.choice(connecties, 1, p=kans)
    vertrek_index = self.kruising.connectie_lijst.index(volgende_rak)
    vaartijd = self.kruising.vaartijd[afkomst_index][vertrek_index]
    return volgende_rak[0], vaartijd
```

Figuur 4.1: Code voor de richtingkeuze van een schip.

Om figuur 4.1 beter uit te leggen wordt de code van boven naar beneden beschreven per regel. Een regel is een lijn waarop geschreven kan worden, wanneer er niets geschreven is telt het alsnog als een regel.

In regel 1 wordt beschreven dat het hier om een functie gaat; de *richting_keuze* functie.

Vervolgens bekijkt de code in regel 3 uit welke richting het schip komt aanvaren. Dit is namelijk belangrijk voor de richtingkeuze aangezien er voor elke aanvaarrichting een andere kansverdeling geldt.

In regel 4 vraagt de functie de aanliggende rakken aan. Bij het kruispunt *Singel-Brouwersgracht* bijvoorbeeld, zou dit de *singel_01*, *brouwers_03* en *haarlem_01* rak zijn.

In de 5e regel bekijkt de functie welke categorie het schip is. Ieder schip heeft namelijk een andere kansverdeling.

Nu de categorie en aanvaarrichting bekend zijn, wordt er in regel 7 tot en met 12 de bijbehorende kansverdeling verwerkt zodat er in regel 14 een volgend rak gekozen kan worden.

Vervolgens wordt er in regel 15 & 16 de bijpassende doorvaartijd van deze richting opgevraagd.

Een schip dat rechtdoor vaart heeft immers een andere doorvaartijd dan een schip dat afslaat.

Als laatst wordt de functie in regel 17 afgesloten.

Schip toevoegen kruispunt

Nu uit de vorige paragraaf de richting van het schip bekend is, kan het schip virtueel toegevoegd worden aan het kruispunt.

In figuur 4.2 is de code te zien die gebruikt wordt om een schip toe te voegen aan een kruispunt.

```
def voeg_schip_toe(self, schip: Ship):
    volgende_rak, vaartijd = self.richting_keuze(schip)
    self.bezetheid.append([schip, vaartijd, volgende_rak])
    self.klasse_logboek[schip.klasse-1] += 1
```

Figuur 4.2: Code voor het toevoegen van een schip aan een kruispunt.

Om door de regels heen te werken:
De 1e regel in het figuur geeft aan dat het hier om de functie *voeg_schip_toe* gaat.
Vervolgens wordt er in regel 2 de functie *richting_keuze* opgeroepen. Dit is de functie die in de vorige subparagraaf besproken is.
In regel 3 wordt vervolgens dit schip met zijn richting en tijd opgeslagen. Hiermee wordt het kruispunt tevens afgesloten; er kan nu geen ander schip meer in varen.
Als laatst wordt in regel 4 wordt de categorie logboek van het kruispunt bijgehouden. Hierin staat hoeveel schepen er per categorie over het kruispunt varen.

Verder verloop bij een kruispunt

In de vorige twee paragrafen zijn twee belangrijke functies gegeven om een beeld te geven van de code. Met behulp van vele andere functies vaart het schip virtueel over het kruispunt heen. Als de doorvaartijd van een schip er uiteindelijk op zit, wordt het overgeplaatst naar zijn richting. In de meeste gevallen is dit een rak. De werking van een rak wordt in de volgende subparagraaf besproken.

4.1.3 Rak doorvaren

Grotendeels van de tijd zijn schepen door rakken aan het varen. Ieder rak heeft een lengte en ieder schip heeft een snelheid. Deze data wordt uit het Excel-bestand gehaald. Met deze twee eigenschappen kan de nominale doorvaartijd (dus zonder verkeer) van een rak berekend worden, namelijk $\text{rak lengte} / \text{snelheid} = \text{nominale doorvaartijd}$.

Wachtilijst

In ieder rak wordt een lijst bijgehouden van de schepen en hun richting. In de code wordt dit een *Wachtilijst* genoemd. In figuur 4.3 is een uitdraai van de wachtilijst van het rak *Leidse_01* te zien. Deze wachtilijst is van het rak na 2000 seconde simulatie.

```
2000 seconde gesimuleerd

#### Wachtilijst leidse_01 ####
[<rakken.RakWachtObject object at 0x00000286751BF9E8>]
[<rakken.RakWachtObject object at 0x0000028674DB3B00>, <rakken.RakWachtObject object at 0x0000028673B20BE0>]
#####
```

Figuur 4.3: Schepen die varen op het rak leidse_01.

Om duidelijkheid te geven bij figuur 4.3 worden de regels van boven naar beneden besproken.
In regel 1 is te zien dat de simulatie 2000 virtuele secondes heeft meegemaakt.
Regel 3 laat zien dat de wachtilijst van het rak *Leidse_01* is.
In regel 4 staat de eerste lijst. Deze eerste lijst is van wachtilijst in de vaarrichting van de Prinsengracht. Op dit moment vaart er maar één schip. In regel 5 staat de tweede lijst. Deze

lijst is in de vaarrichting van de Keizersgracht. In die richting varen 2 schepen. Beide wachtlijsten zien er cryptisch uit. Dit komt doordat de data van de schepen compact is opgeslagen om het hier overzichtelijk te houden. Met wat handige trucjes kan echter allerlei data opgevraagd worden, zoals de resterende vaartijd. In de volgende paragraaf wordt besproken hoe er gecontroleerd wordt of een schip bij het eind van een rak is.

Schip bij het eind

In figuur 4.4 staat het stuk code dat beschrijft of een schip bij het einde van een rak is.

```
def schip_bij_eind(self)->bool:
    if self.lijst == []:
        return False

    if self.lijst[0].rest_tijd == 0:
        return True
    else:
        return False
```

Figuur 4.4: Code dat bekijkt of een schip aan het eind van een rak is.

In regel 1 wordt beschreven dat het hier om de functie *schip_bij_eind* gaat.

In regel 2 controleert de functie of er wel schepen in de wachtlijst zitten. Als er geen schepen door het rak varen kan er namelijk ook geen schip bij het einde zijn. Als het rak leeg is, geeft de functie aan dat er geen schip aan het einde van het rak is. Als het rak niet leeg is gaat de code naar regel 5.

In regel 5 staat een conditie. Deze conditie kijkt of het eerste schip in de wachtlijst een resterende doorvaartijd heeft van 0 seconde. Een resterende doorvaartijd van 0 seconde betekent dat een schip bij het eind is. In dit geval gaat de code naar regel 6. Hierin geeft de functie aan dat de conditie klopt; Er is een schip aan het eind van het rak.

Is de resterende vaartijd groter dan 0 seconde dan is er geen schip bij het eind. De code gaat dan naar regel 8. De conditie klopt niet; Er is geen schip aan het eind.

Past een schip op een rak

Als blijkt dat een schip bij het eind van een rak is, moet het schip overgeplaatst worden naar de aanliggende connectie. Dit kan een rak, kruispunt of een brug zijn. In het geval dat het een rak is, moet er gecontroleerd worden of het volgende rak wel ruimte heeft voor het schip. Het kan namelijk zo zijn dat het volgende rak al vol zit met schepen.

In figuur 4.5 staat het stuk code dat controleert of een rak nog ruimte heeft om een schip toe te voegen.

```
def past_schip(self, schip: Ship)->bool:
    if self.bezetheid + schip.lengte <= self.rak_lengte:
        return True
    else:
        return False
```

Figuur 4.5: Code dat kijkt of een schip op een rak past.

In de 1e regel staat dat het hier om een functie gaat.

De 2e regel beschrijft een conditie. In deze conditie wordt gekeken of de lengte van een nieuw schip nog past achter de opgetelde lengtes van de schepen die al in het rak varen.

Stel dat een rak 30 meter lang is en er varen 2 schepen met een lengte van 10 meter. In het geval dat een nieuw schip 8 meter is, past het. Want $10 + 10 + 8$ is kleiner dan 30 meter. De conditie klopt. De code gaat nu naar regel 3 en vermeldt dat de conditie klopt.

In het geval dat een nieuw schip 12 meter is, past het schip niet. Want $10 + 10 + 12$ is niet kleiner dan 30 meter. De conditie klopt niet. De code gaat nu naar regel 5 en vermeldt dat de conditie niet klopt.

In het geval dat het schip niet in het rak past, zal het schip blijven wachten totdat er uiteindelijk wel genoeg ruimte is voor het schip.

4.1.4 Brug en sluizen doorvaren

Een brug of een sluis is een versmalling van het vaarwater. Hierdoor is het niet altijd mogelijk om met twee schepen in tegengestelde richting langs een versmalling te varen. Bij een versmalling wordt er gekeken welke categorie schepen er tegelijkertijd kunnen varen. In het geval dat schepen niet langs elkaar kunnen varen wordt er één schip in de wachtrij van de versmalling geplaatst totdat het andere schip erlangs is.

4.1.5 Modules samen

In de vorige subparagrafen zijn de individuele simulaties van de modules besproken. Door alle modules met elkaar te verbinden kan het gebied gesimuleerd worden. Een schip dat bijvoorbeeld aan het einde van een rak is, wordt overgeplaatst naar de aanliggende module. Door dit proces over en over te doen kan binnen enkele minuten 30 uur aan vaarbewegingen gesimuleerd worden. Er is voor 30 uur gekozen om duidelijke pieken te analyseren en het gemiddelde gedrag te kunnen bepalen. Elk vaarbeweging wordt op de computer opgeslagen in grote lijsten met data. Met deze data kan veel berekent en bekeken worden. Om dit overzichtelijk te houden, is dit visueel gemaakt. Deze visualisaties worden in de volgende paragrafen besproken.

4.2 Maps

Voor een duidelijk overzicht van alle gesimuleerde data wordt er uiteindelijk een kaart gemaakt. Dit wordt gedaan met een plugin: Folium. Met deze online kaart is het gemakkelijk om data interactief te maken. Hierin is bijvoorbeeld de bezettingsgraad, doorvaartijd en percentage bezetting per categorie te zien. Deze zijn bijgevoegd in de appendix 'Aanlevering'.

4.3 Animatie

Tevens kan met de data een animatie gemaakt worden. Doordat alle data opgeslagen is, kan van ieder schip op ieder moment de locatie bekeken worden. De locaties van al deze schepen worden per seconde vervolgens geprojecteerd op het 'grijze' vlak. Al deze projecties achter elkaar leiden tot een filmpje dat is bijgevoegd in de appendix 'Aanlevering'.

5 Huidige situatie

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van de simulatie met de huidige situatie besproken. Deze simulatie is representatief voor de grachten op een zomerse weekenddag. De schepen zijn onderverdeeld in categorieën, raadpleeg tabel 2.2 op pagina 5 voor deze categorieën.

5.1 Schepen en passagiers op de grachten

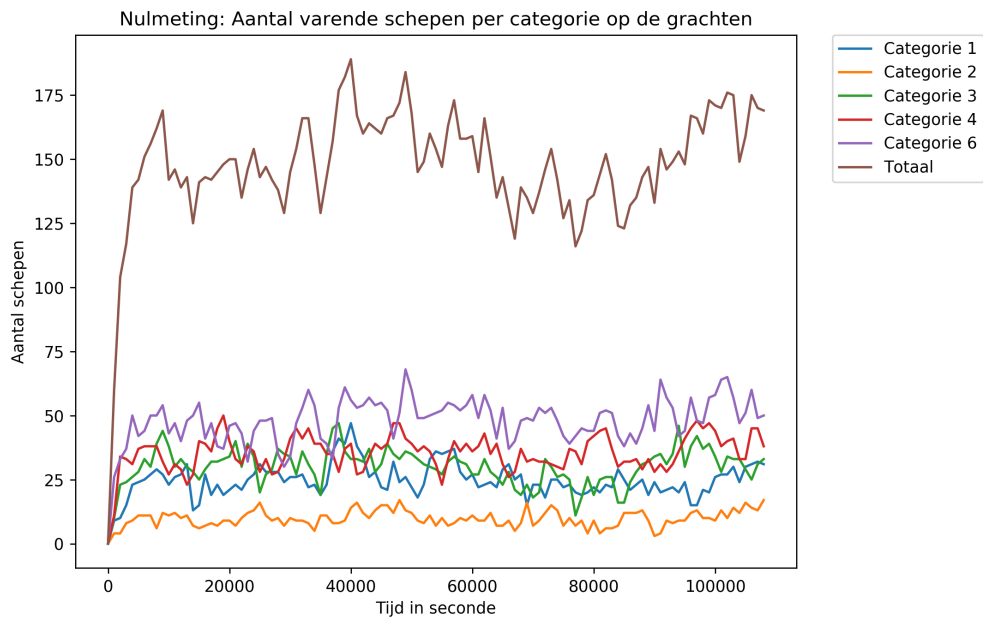
Voor de simulatie voor de huidige situatie zijn resultaten gegeven in figuur 5.1, 5.2 & 5.3. In de eerste figuur is te zien hoeveel schepen er per categorie op de grachten varen gedurende de 30 uur. In de tweede figuur is te zien hoeveel mensen er tegelijkertijd op de grachten rondvaren gedurende de 30 uur. In de derde figuur geeft het percentage passagiers & schepen per categorie over de gehele simulatie van 30 uur.

In de figuren 5.1 & 5.2 kan de eerste 10% a 15% van de tijd dat het model loopt weggelaten worden omdat dit het moment is dat het model langzaam 'volstroomt' tot het een evenwicht aan instroom en uitstroom heeft bereikt.

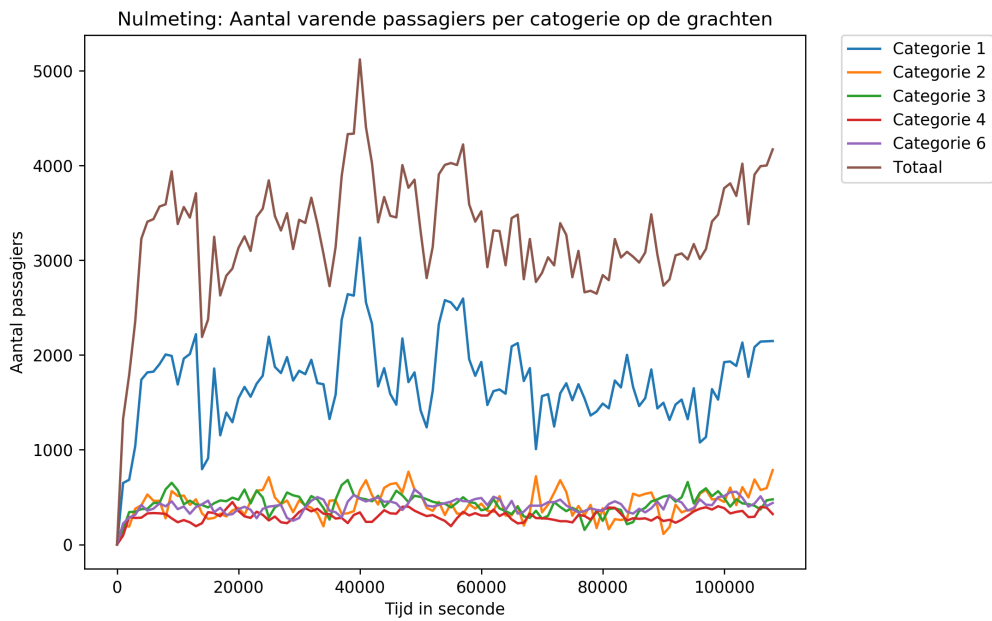
Verder is te zien dat er in de *totaal* lijn fluctuaties zitten. Dit is te verklaren met de volgende zaken; er liggen incidenteel veel schepen stil bij een kruispunt waardoor er een tijdelijke opstopping ontstaat. Dit blokkeert de stroming. Hierdoor zijn er dus tijdelijk meer schepen in het model omdat de instroom doorgaat en de uitstroom stagneert. Daarnaast geeft de binomiale distributie van binnenkomende schepen een fluctuerende hoeveelheid. Dit heeft soms als gevolg dat er tijdelijk wat minder of wat meer schepen worden gegenereerd. Dit is net zoals in de realiteit. Daarom is het voor de uitkomsten van het model ook belangrijk om naar de gemiddelde percentages per categorie te kijken in figuur 5.3.

Uit de voorgaande figuren is opvallend dat het overgrote deel van de passagiers door categorie 1 wordt vervoerd. Dit komt omdat bij een rondvaartschip van categorie 1 gemiddeld 70 man aan boord zijn terwijl een pleziervaartschip van categorie 6 gemiddeld 9 man aan boord heeft. Daarnaast valt op dat de kleine hoeveelheid rondvaartschepen van categorie 2 zorgt voor bijna dezelfde hoeveelheid personenvervoer als de grote hoeveelheid categorie 6 schepen.

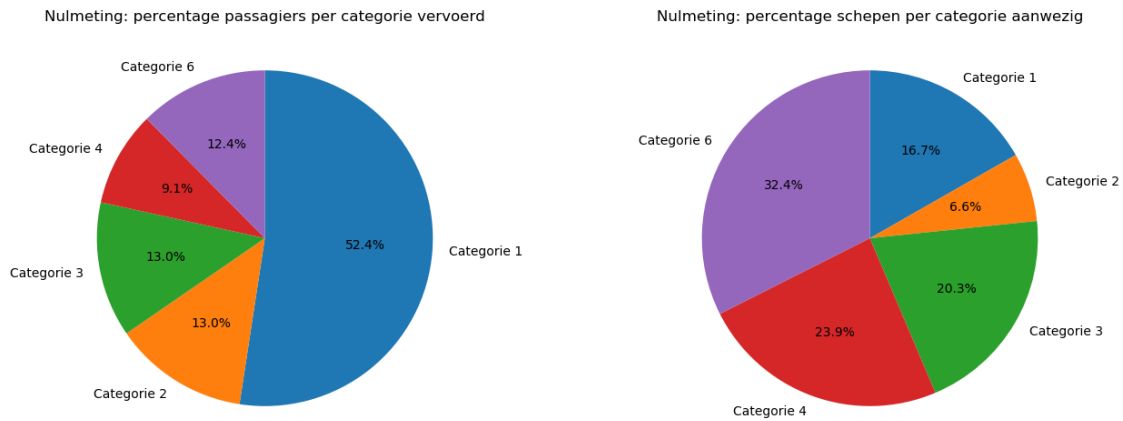
Uit figuur 5.3 blijkt dat categorie 1 & 2 samen 65.4% van de passagiers vervoert, maar slechts 25.3% van de vaarbewegingen veroorzaakt. In tegenstelling tot categorie 4 & 6 die 21.5% van de passagiers vervoert met 56.3% van de vaarbewegingen.



Figuur 5.1: Aantal varende schepen per categorie tijdens de nulmeting in het onderzochte gebied.



Figuur 5.2: Aantal passagiers dat in het onderzochte gebied per categorie op schepen zit tijdens de nulmeting.



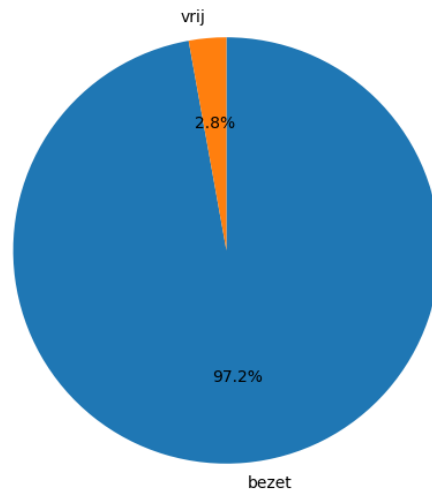
Figuur 5.3: Percentage passagiers per categorie vervoerd tijdens de nulmeting & percentage schepen per categorie tijdens de nulmeting in het onderzochte gebied.

5.2 Bezetting kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht

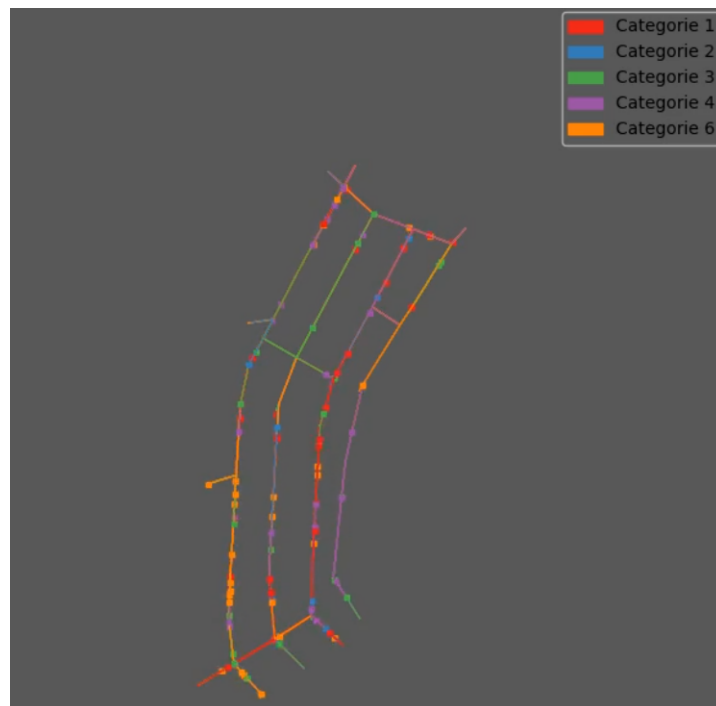
Een van de knelpunten in het model is het kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht. In figuur 5.4 is dit te zien. Het kruispunt is voor 97.2% van de tijd bezet. Naast dat het kruispunt bijna constant bezet is, zijn er ook constant schepen aan het wachten. Er zijn af en toe periodes dat het kruispunt vrij is, echter wordt dit duidelijk gedomineerd door de bezetting.

Met de animatie, waarvan één frame getoond is in 5.5, is te zien dat dit voornamelijk te danken is aan de grote hoeveelheid vaarbewegingen van verkeer vanuit de Prinsengracht. Daarnaast is in de kaart van figuur 5.6 terug te zien dat de stremming hoog is op de Prinsengracht. Met de interactieve kaart kan men zien dat de doorvaartijd vlak voor het kruispunt tot wel 4 keer hoger is dan de nominale doorvaartijd.

Nulmeting: bezetting van het kruispunt Leidsegracht-prinsengracht



Figuur 5.4: Bezetting op het kruispunt Leidsegracht-Prinsengracht bij de huidige situatie.



Figuur 5.5: Visualisatie van de schepen in het onderzochte gebied tijdens de simulatie.

5.3 Rak ten noorden van Leidsegracht - Prinsengracht; prinsen_11

In figuur 5.7 is te zien wat er per rak wordt berekend. Om een duidelijke uiteenzetting te geven moet dit figuur als volgt worden geïnterpreteerd. De *Occupancy rate* in dit figuur is de bezettingsgraad in dit rak. Deze staat op 19.18%. Dit is ietwat hoog, echter komt dit door wat ook eerder is vermeld; er kan maar 1 schip per keer over het kruispunt. Wat ook interessant is,

zijn de procentuele bezettingsaantallen. Dit geeft de hoeveelheid vaarbewegingen per categorie in procent aan. Samen is het dus ook 100%. Hier is te zien dat bijvoorbeeld categorie 4 en 6 samen voor een ruime 60% van de vaarbewegingen vanuit de Prinsengracht zorgen. Verder is te zien dat een schip er gemiddeld 4.2 (staat onder: *Doorvaartijd richting Leidse-Prinsen*) keer zo lang overdoet om dit rak te passeren ten opzichte van haar nominale snelheid. De andere kant op is 0 aangezien er over de Prinsengracht geen schepen naar het noorden varen.



Figuur 5.6: De gemiddelde bezettingsgraad van de rakkens gedurende 10 uur met de nulmeting.



Figuur 5.7: Data uit het rak prinsen_11.

5.4 Andere Knelpunten

Er zijn drie lokale knelpunten te zien op de kaart in figuur 5.6. Leidsegracht - Prinsengracht is al behandeld, maar de Brouwersgracht - Singel en de Brouwersgracht - Prinsengracht nog niet. Voor de Brouwersgracht - Singel is te zien dat er veel drukte is vanuit de Brouwersgracht richting de Haarlemmersluis. Dit zorgt ervoor dat er hier verkeer stilligt en dat geeft een hoge bezettingsgraad. De hoeveelheid vaarbewegingen echter is bijvoorbeeld minder dan bij de Leidsegracht - Herengracht, alleen vanwege Haarlemmersluis is hier een opstopping. Het lokale probleem is de gelimiteerde hoeveelheid vaarbewegingen. Hier verder meer over in 6.3. Voor het kruispunt Brouwersgracht - Prinsengracht is vooral te zien dat de uitmonding van de Eenhoornsluis ook drukte veroorzaakt. Dit komt omdat er een aardige hoeveelheid schepen vanuit deze sluis het gebied binnenkomt en moet wachten bij het kruispunt omdat er maar 1 schip per keer overheen mag. Dit is van kleinere invloed in vergelijking tot de andere twee kruispunten.

5.5 Maximale drukte

Er kan geconcludeerd worden dat de maximale capaciteit van de grachten niet afhangt van de hoeveelheid bevaarbare grachten, maar van de maximale capaciteit van de drie lokale knelpunten. Daarom kan de maximale capaciteit van de totaalaantal grachten alleen verbeterd worden door de maximale capaciteit van knelpunten te verbeteren. Wanneer bijvoorbeeld het kruispunt Prinsengracht - Leidsegracht enigszins ontlast kan worden, verbeterd dat dus de totale capaciteit van de grachten.

5.6 Invloed van conservatieve aannames

Uit deze meting komen een paar duidelijk punten naar voren. Wanneer er wordt gekeken naar figuur 5.6 valt op dat het kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht vrij druk is. Dit kan komen door de conservatieve benadering. Bij het kruispunt Brouwersgracht - Singel is dit echter minder. Een verklaring hiervoor is dat in dit model, zoals eerder aangegeven, is aangenomen dat er 1 schip tegelijk op een kruispunt kan en de rest moet wachten. Dit is voor de Brouwersgracht - Singel een redelijke benadering aangezien het grootste lokale probleem zich bevindt in de Haarlemmersluis, die 1 schip per keer doorlaat vanwege haar engte. Zo heeft de Leidsegracht - Prinsengracht als probleem dat er simpelweg veel schepen overheen varen. Met één schip per keer op het kruispunt is deze plek veel conservatiever ingeschat dan de realiteit. Dit is dus een negatief beeld van de realiteit.

6 Interventies

In het vorige hoofdstuk is de huidige situatie op de grachten besproken. In dit hoofdstuk zullen er interventies op de huidige situatie uitgevoerd worden. In paragraaf 6.1 zullen de interventies uitlegt worden. Vervolgens worden er in paragraaf 6.2 de uitkomsten van de beprijzing besproken. In paragraaf 6.3 komen de uitkomsten van de eenrichting interventie aanbod. Als laatst worden de uitkomsten van het verkeerslicht in paragraaf 6.4 besproken.

6.1 Introductie interventies

De volgende drie interventies worden in deze paragraaf besproken: beprijzing, eenrichtingsverkeer & verkeerslichten.

6.1.1 Beprijzing

Met beprijzing is het idee dat ervoor bepaalde rakken geld betaald moet worden om er te mogen varen. Doordat ieder schip hetzelfde bedrag moet betalen liggen de kosten per persoon hoger bij een pleziervaartschip dan bij een rondvaartschip. Daarom wordt er verondersteld dat schepen met minder passagiers sneller hun vaarroute aanpassen. Daarbovenop wordt er aangenomen dat pleziervaart schepen een minder vaste route varen waardoor deze sneller geneigd zijn om hun route aan te passen als er kosten zijn met betrekking tot hun vaarroute. Aangezien het moeilijk is om de gedragsaanpassing zonder onderzoek te kwantificeren zijn hier grove schattingen gedaan. De invloed per categorie is te zien in tabel 6.1.

In deze interventie is ervoor gekozen om de Prinsengracht vanaf de Lauriergracht tot de Leidsegracht te beprijzen. Dit is gedaan door de kansverdeling bij het kruispunt Lauriergracht - Prinsengracht aan te passen en schepen via de Singelgracht (via de lauriergracht), de Keizersgracht of Herengracht richting de Amstel te laten varen. Het laatste genoemde is een stuk minder dominant. In paragraaf 6.2 staat de uitkomst van deze interventie.

Categorie	1	2	3	4	6
Past gedrag aan	5%	10%	20%	30%	40%

Tabel 6.1: Het percentage van een categorie dat aangepast vaargedrag toont.

6.1.2 Eenrichtingsverkeer

In deze interventie wordt er eenrichtingsverkeer toegevoegd aan de grachten. De werking hiervan is hetzelfde als de eerder ingevoerde interventie op de Prinsengracht: Het vaarverkeer mag slechts één richting opvaren. Bij deze interventie is er gekozen om de Herengracht eenrichtingsverkeer te geven in noordelijke richting. De uitkomst is weergegeven in paragraaf 6.3.

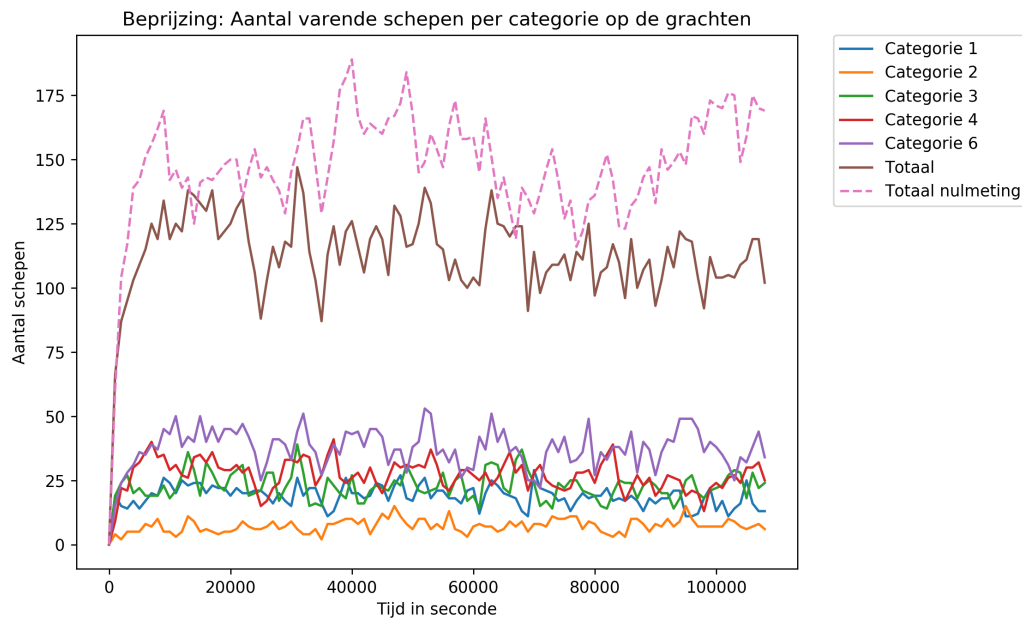
6.1.3 Verkeerslichten

Met de interventie verkeerslichten wordt er een verkeerslicht bij een gracht gezet. Het verkeerslicht geeft een stopteken bij een te hoge bezettingsgraad van een bepaald rak. In deze interventie is ervoor gekozen om het verkeerslicht bij het kruispunt Brouwersgracht-Herengracht te plaatsen. Deze gaat vervolgens op rood als het te druk is op *brouwers_03*. Dat is het rak tussen de Herengracht en de Singel. In paragraaf 6.4 zijn de uitkomsten hiervan te zien.

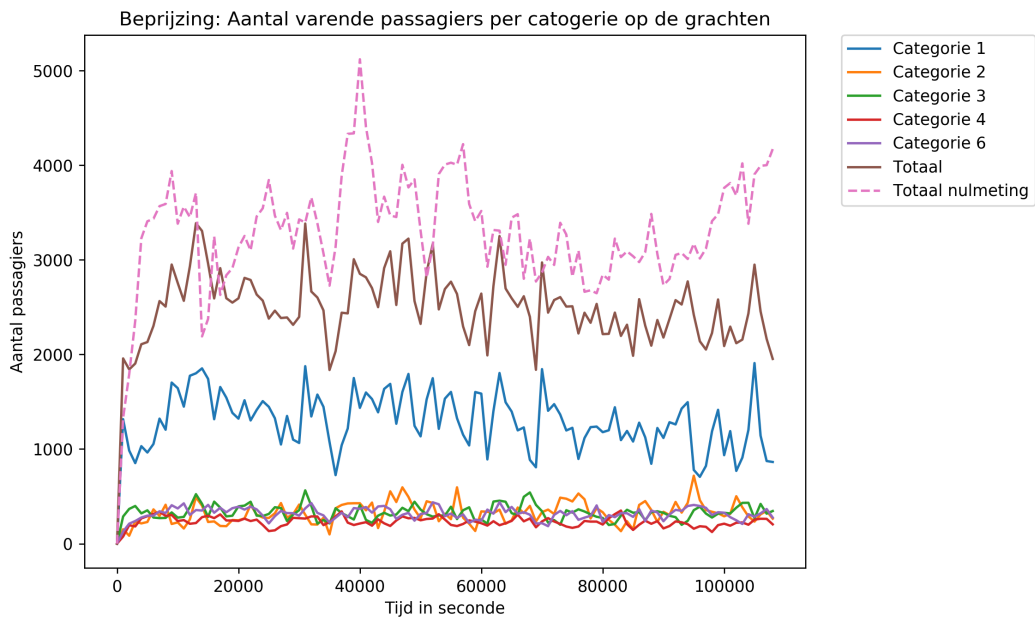
6.2 Beprijzing

6.2.1 Schepen en passagiers op de grachten

De hoeveelheid schepen in figuur 6.1 is afgenomen in vergelijking tot 5.1. In figuur 6.2 is het aantal passagiers dat tegelijkertijd op de gracht is ook lichtelijk afgenomen ten opzichte van de huidige situatie (figuur 5.2). Dit is te verklaren doordat er meer schepen vanaf de Prinsengracht naar de Singelgracht gaan om de beprijzing te ontwijken, en dit zouden dan vooral categorie 4 en 6 schepen zijn. Hierdoor blijven schepen minder lang in het gebied van het model waardoor het aantal passagiers omlaag gaat. Een probleem is wel dat deze verkeerstromen over de Singelgracht verder zal gaan door de grote afvoer van de Lauriergracht. Dit valt buiten het gebied van het model. Daarnaast is de gemiddelde doorvaarttijd lager, oftewel schepen varen vaker op hun nominale snelheid. Dit zorgt ervoor dat schepen sneller door het model kunnen varen. De bezettingsgraad in de figuur is lager omdat er minder schepen moeten wachten terwijl de hoeveelheid gegenereerde schepen hetzelfde gebleven is.



Figuur 6.1: Aantal varende schepen per categorie tijdens de interventie beprijzing in het onderzochte gebied.



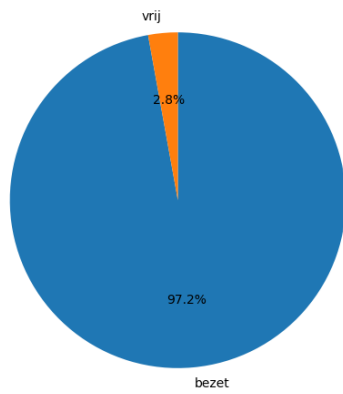
Figuur 6.2: Aantal passagiers dat in het onderzochte gebied per categorie op schepen zit tijdens de interventie beprijzing.

6.2.2 Bezetting kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht

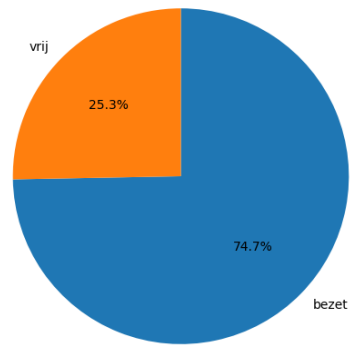
In figuur 6.3 is de bezetting van het kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht te zien met de interventie en zonder interventie. Hierin is te zien dat het kruispunt met de beprijzing vaker vrij is. Door de beprijzing zijn er namelijk minder schepen die de Prinsengracht bevaren en dit ontlast daardoor het kruispunt.

In figuur 6.4 staat een foto van de interactieve kaart. Daar blijkt dat de bezettingsgraad van de Prinsengracht richting de Leidsegracht met een factor 2 tot 3 afgenomen is vanwege een makkelijkere doorstroming. In de interactieve kaart is ook te zien dat de doorvaartijd hier is afgenomen tot 2 keer de nominale tijd ten opzichte van 4 keer nominale tijd bij de huidige situatie. Met deze interventie is het lokale probleem van de Leidsegracht - Prinsengracht minder geworden. Deze interventie zorgt op deze manier voor een hogere maximale capaciteit van dit kruispunt.

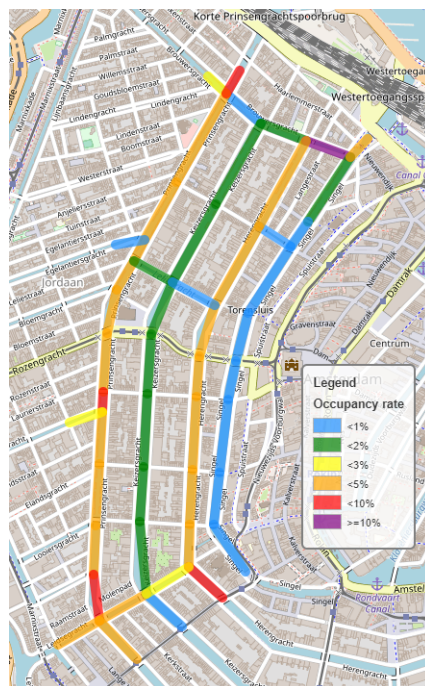
Nulmeting: bezetting van het kruispunt Leidsegracht-prinsengracht



Beprijzing: bezetting van het kruispunt Leidsegracht-prinsengracht



Figuur 6.3: De bezetting op het kruispunt Leidsegracht-Prinsengracht van de nulmeting en de interventie beprijzing.

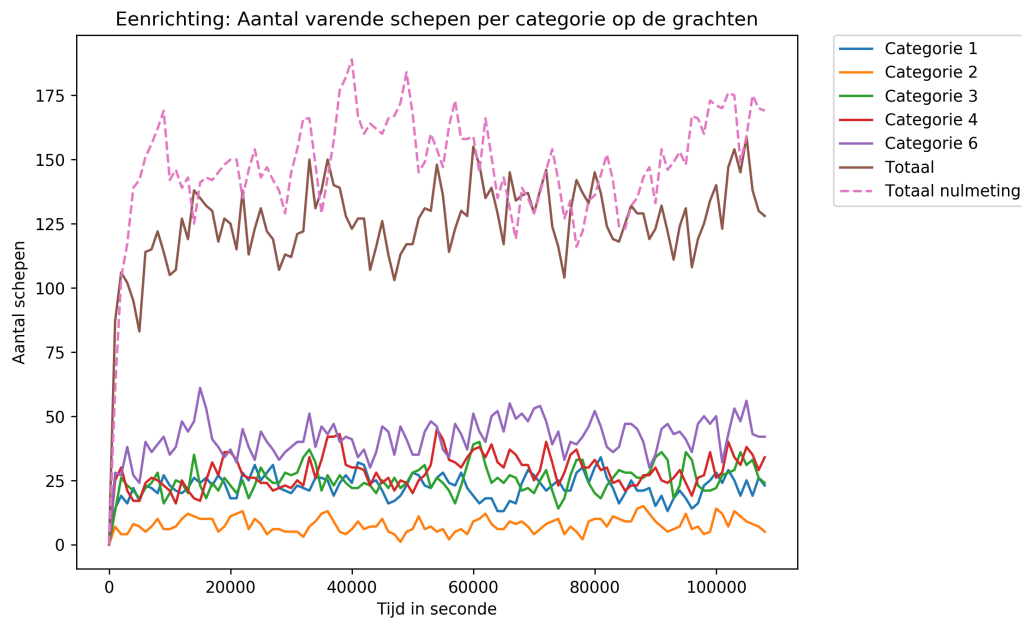


Figuur 6.4: De gemiddelde bezettingsgraad van de rakken gedurende 10 uur met de interventie beprijzing.

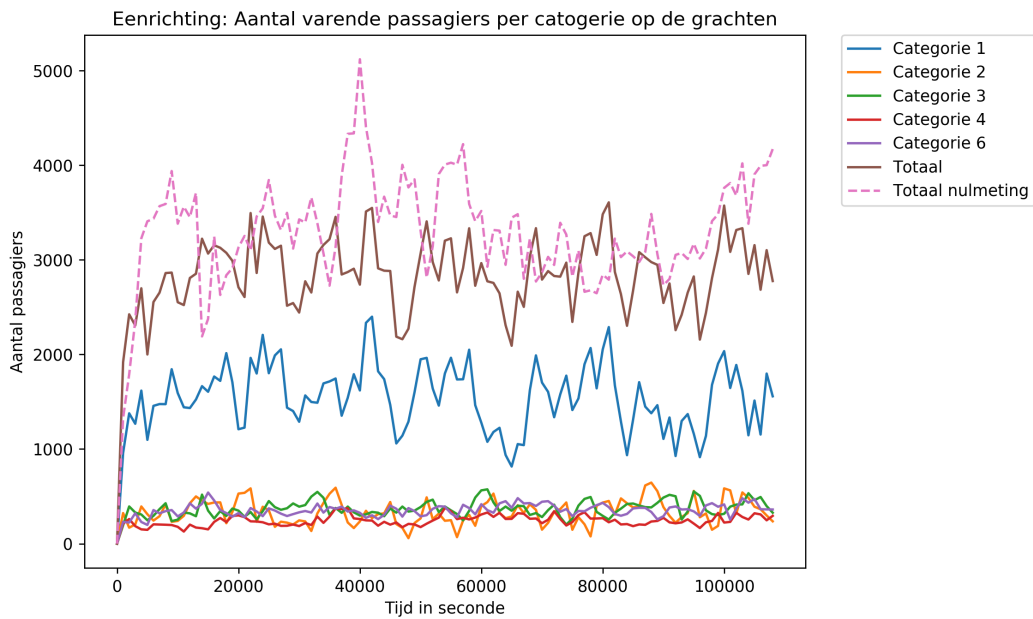
6.3 Eenrichting

6.3.1 Schepen en passagiers op de grachten

In figuur 6.5 is te zien dat er een lichte afname is in de hoeveelheid schepen die in het systeem varen, hetzelfde geldt voor de hoeveelheid passagiers er worden vervoerd wat te zien is in figuur 6.6. Dit komt omdat er een significant deel via de Leidsegracht richting de Keizersgracht naar het zuidoosten ging in de huidige situatie. Deze gaan nu via de Prinsengracht richting de Amstel. Er is aangenomen dat de hoeveelheid gegenereerde schepen hetzelfde blijft. Wat betekent dat de hoeveelheid schepen vanuit de Thorbecke-bocht naar het westen hetzelfde is gebleven. Wel is door veranderd vaargedrag een lichte toename op de Herengracht. De schepen die normaliter via de Herengracht richting de Thorbecke-bocht zouden varen, nemen nu de Keizersgracht en Prinsengracht. De drukte bij de brouwersgracht is hetzelfde gebleven tot zelfs lichtelijk toegenomen. Hierdoor is zowel het knelpunt bij de Haarlemmersluis als bij de Eenhoornsluis niet verholpen.



Figuur 6.5: Aantal varende schepen per categorie tijdens de interventie beprijzing in het onderzochte gebied.



Figuur 6.6: Aantal passagiers dat in het onderzochte gebied per categorie op schepen zit tijdens de interventie beprijzing.

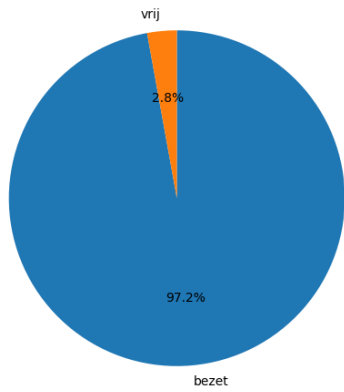
6.3.2 Bezetting kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht

In figuur 6.7 is te zien dat het kruispunt Leidsegracht-Prinsengracht met de interventie minder belast is dan de huidige situatie. Dit komt voornamelijk omdat schepen vanuit het noorden die eerst via de Leidsegracht naar de Prinsengracht zouden varen, nu al vanaf de Brouwersgracht of Leliegracht op de Prinsengracht zijn. Hierdoor gaat het verkeer op het kruispunt van de Leidsegracht - Prinsengracht vaker rechtdoor. In dit model is aangenomen dat rechtdoor varen slechts 12 seconden kost waar afslaan 24 seconden kost. Omdat het kruispunt nu sneller vrij is kunnen er meer vaarbewegingen plaatsvinden. Hierdoor is de bezettingsgraad lager.

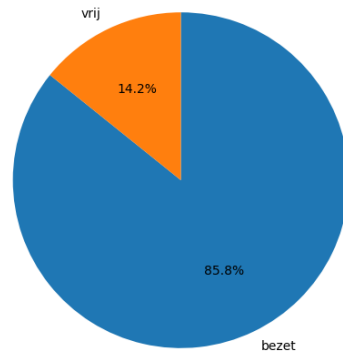
6.3.3 Globale effecten

Deze interventie toont aan dat wanneer op plek A iets wordt veranderd er ook iets kan veranderen op plek B. In dit geval lichtelijk positief. Er moet bij worden gezegd dat de Prinsengracht nog wel erg druk is en dat de zuidelijke stroming nu nog hoger ligt dan hiervoor, alleen de doorstroming is verbeterd. Zo hebben verschillende interventies hun eigen voor- en nadelen.

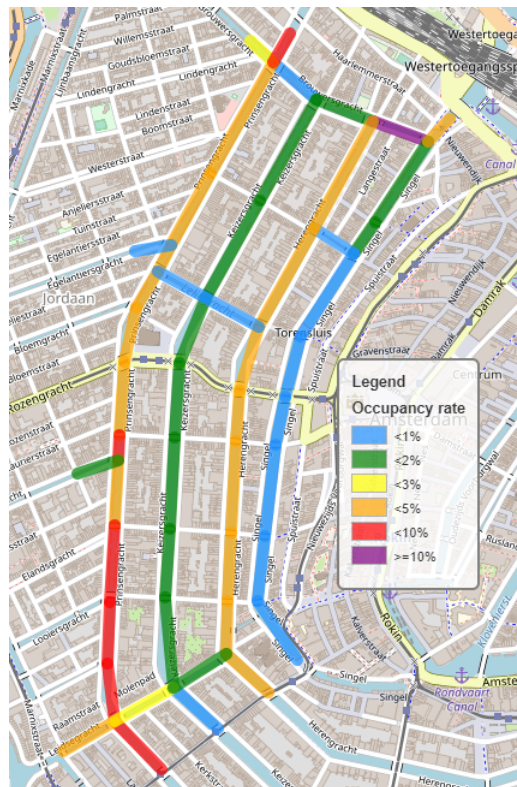
Nulmeting: bezetting van het kruispunt Leidsegracht-prinsengracht



Eenrichting: bezetting van het kruispunt Leidsegracht-prinsengracht



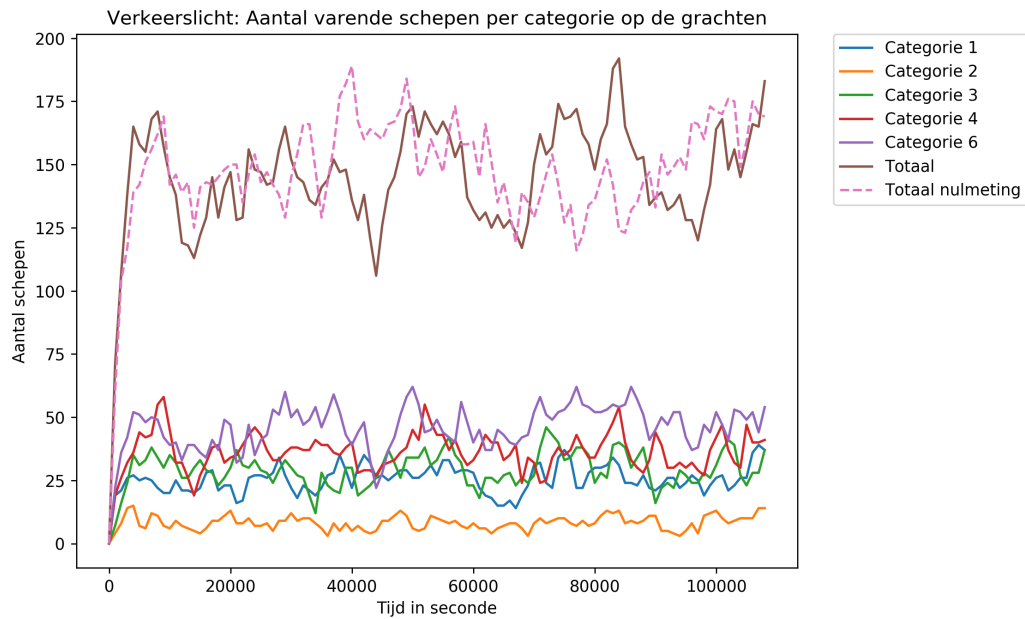
Figuur 6.7: De bezetting op het kruispunt Leidsegracht-Prinsengracht van de nulmeting en de interventie eenrichting.



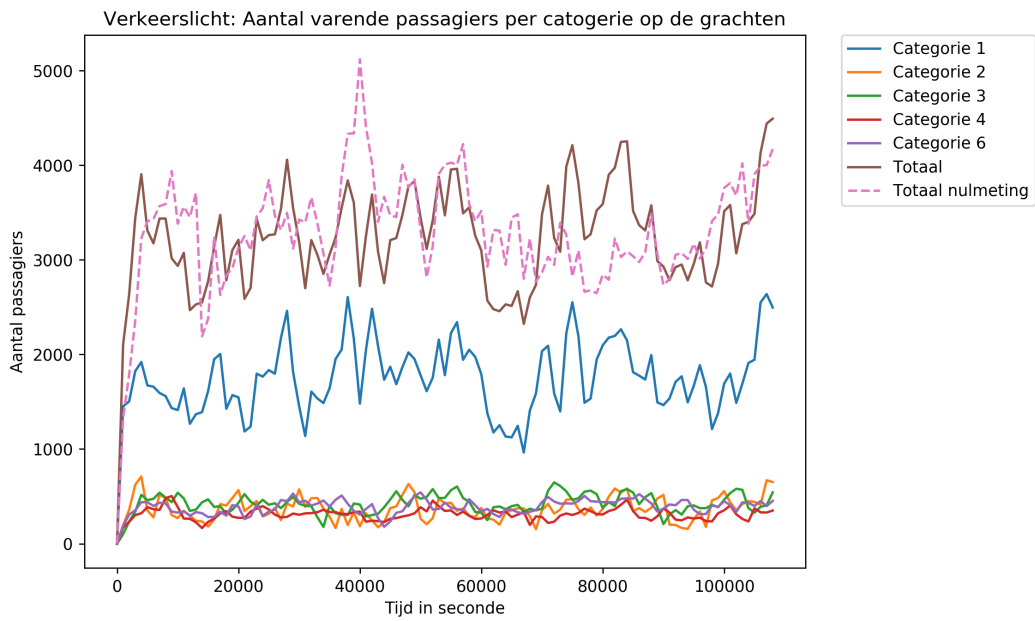
Figuur 6.8: De gemiddelde bezettingsgraad van de rakken gedurende 10 uur met de interventie eenrichtingverkeer.

6.4 Verkeerslicht

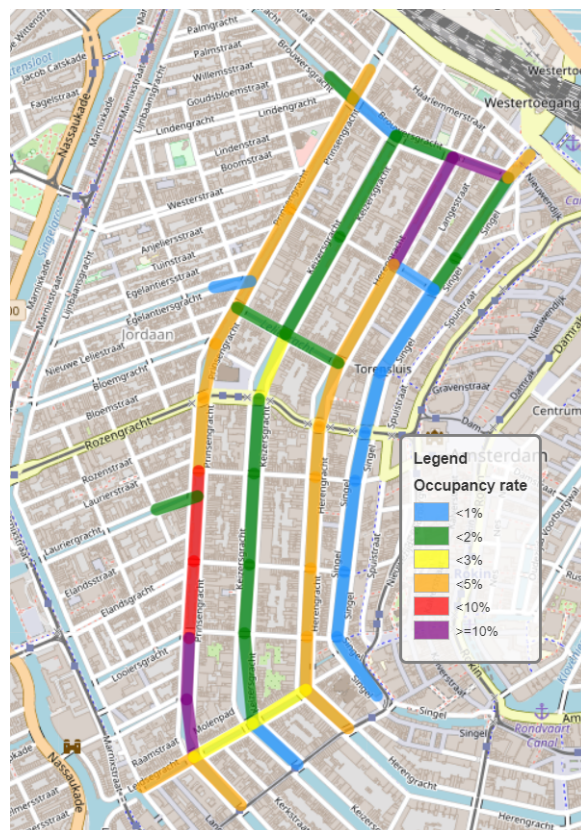
In figuur 6.9 is te zien dat er met deze interventie ongeveer evenveel schepen in het gebied zijn als bij de huidige situatie. Ook in figuur 6.10 is het aantal passagiers ongeveer hetzelfde gebleven in vergelijking met de huidige situatie. Dit is te verklaren doordat de drukte wordt gespreid op de Herengracht om de drukte op het kruispunt Brouwersgracht - Singel te verlichten, zoals te zien in figuur 6.10. De bezetting in de Brouwersgracht is nog steeds hoog, maar de doorvaartijd al een stuk lager. Dit is een verbetering voor veilige en vlotte doorvaart omdat dit kruispunt de drukte nu beter aankan.



Figuur 6.9: Aantal varende schepen per categorie tijdens de interventie verkeerslicht in het onderzochte gebied.



Figuur 6.10: Aantal passagiers dat in het onderzochte gebied per categorie op schepen zit tijdens de interventie verkeerslicht.



Figuur 6.11: De gemiddelde bezettingsgraad van de rakken gedurende 10 uur met de interventie verkeerslicht.

6.4.1 Bezetting kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht

In figuur 6.12 is de bezetting van het kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht te zien. Hierbij is te zien dat het kruispunt iets vaker vrij is, echter de afname van drukte op dit kruispunt is minder dan bij de andere interventies. Dit komt omdat deze interventie zich voornamelijk bemoeit met de regio rond de Haarlemmersluis waardoor dit minder gevolgen heeft op de bezetting van het kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht. Er kan worden geconcludeerd dat deze interventie dat bij deze interventie alleen lokaal effect te zien is bij de Herengracht in noordelijke richting.



Figuur 6.12: De bezetting op het kruispunt Leidsegracht-Prinsengracht van de nulmeting en de interventie verkeerslicht.

7 Conclusie

Het is mogelijk om een dynamisch verkeersmodel te maken van de Amsterdamse grachten en hier testen op te doen. Hierdoor kan je met een paar metingen op strategische plekken praktisch alle verkeersbewegingen in kaart brengen. Dit geeft de mogelijkheid om lokale interventies toe te passen en de impact globaal te analyseren.

Zoals te zien is in hoofdstuk 5 zijn de lokale pijnpunten qua drukte vooral te herkennen bij het kruispunt Brouwersgracht - Singel en Leidsegracht - Prinsengracht. Echter, het valt ook op dat er naast deze lokale pijnpunten weinig problemen zijn in de rest van het model. De bezetting is gering, de hoeveelheid vaarbewegingen zorgt niet voor problemen en de doorvaarttijd ligt dicht tegen het nominale aan. Hierdoor kan geconcludeerd worden dat in het geobserveerde gebied twee lokale pijnpunten de voornaamste problemen veroorzaken.

Voor de Brouwersgracht - Singel is het grootste probleem dat er een knelpunt zit door de sluis waardoor dit kruispunt een geringe aantal vaarbewegingen kan verwerken. Hierdoor ligt bij een kleine opstopping de gracht al vast. Dit is echt een fysieke limitatie, daardoor leent deze plek zich om gereguleerd te worden. Wanneer dit lokale pijnpunt wordt verlicht, komt dat ten goede van de totale capaciteit van de grachten.

Het probleem bij het kruispunt van de Leidsegracht - Prinsengracht ligt vooral in de grote hoeveelheid schepen die dit kruispunt willen passeren. De stroom van verkeer vanuit noordelijke richting is het grootst van het hele model, terwijl tegelijkertijd de stroom van de westelijke richting ook relatief hoog is. In zulke drukte wordt het kruispunt maximaal gebruikt. Ook hiervoor geldt dat het verlichten of het reguleren van het kruispunt zou helpen.

Qua interventies kan geconcludeerd worden dat de beprijzing voor de Prinsengracht langs het kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht erg effectief lijkt. Het grootste probleem bij dit kruispunt is de hoeveelheid schepen, die wordt zo verlaagd. Het model is conservatief ingesteld en zelfs met deze conservatieve aannames kan het drukste punt van het model worden verlicht. Deze interventie is daardoor zeer interessant om nader te analyseren.

Bij eenrichtingsverkeer op de Keizersgracht kan de doorstroming op de Keizersgracht waarschijnlijk worden verbeterd. Echter, het probleem ligt niet in de Keizersgracht, maar in de Brouwersgracht tot en met de Haarlemmersluis. Hier wordt het verkeer maar lichtelijk tot niet afgenomen. Verkeer dat normaliter van vanaf de Leidsegracht - Prinsengracht nu via de Herengracht naar het zuiden-oosten zou varen, zal dit nu via de Prinsengracht doen. Dit heeft als gevolg dat de doorstroom is verbeterd, maar ook de hoeveelheid vaarbewegingen is toegenomen.

De verkeerslichten op de Herengracht lijken te werken voor het lokale probleem. De bezetting over het noordelijke deel van de Keizersgracht gaat omhoog omdat schepen er langer wachten. Echter, wordt het probleem nu verplaatst en is de vraag of dit een voordeel oplevert op het kruispunt Brouwersgracht - Herengracht.

8 Discussie

Dit verslag is bedoeld om aan te tonen wat de mogelijkheden zijn voor het maken van een model. Het model is echter gemaakt op basis van de beschikbare data. Dit heeft grote consequenties voor bepalen van het gedrag van de schepen.

Het model gaat uit van een vaste doorvaartijd over een kruispunt, ongeacht de categorie. Hierdoor is een kruispunt vaak te conservatief benaderd. Daarnaast is in dit model een kruispunt al bezet wanneer er één schip vaart; andere schepen moeten dan wachten. Wanneer iemand daadwerkelijk bij het kruispunt Leidsegracht - Prinsengracht gaat observeren, zal die persoon er achter komen dat in werkelijkheid de doorvaartijd misschien wel klopt, maar dat er soms 2 tot 3 schepen tegelijk het kruispunt passeren. Dit zou betekenen dat de capaciteit van dit kruispunt nu 2 tot 3 keer te laag is ingeschat. Daarnaast is natuurlijk weer de vraag, hoeveel schepen een kruispunt over mogen voordat de veiligheid in het geding komt. Als er meer data of richtlijnen beschikbaar zouden zijn, kan hier een beter invulling aan gegeven worden.

Daarnaast zijn er te weinig meetpunten om de stromen helemaal correct te weergeven. Aan de hand van veel wiskundige technieken zijn sommige stromingen nu benaderd, maar wanneer men interventies toevoegt aan het model kunnen de fouten in een dergelijke benadering versterkt worden. Voor het gemodelleerde deel zou een telling, op de manier van De Verkeerstellers, op de kruispunten Leliegracht - Keizersgracht en de Singelgracht - Brouwersgracht volstaan om dit model geheel correct te krijgen van stromingen.

Door interventies in het model te implementeren, verandert het gedrag van schepen op kruispunten. Om het gedrag van schepen te veranderen, moet de kansverdeling aangepast worden. De exacte invloed van interventies op de kansverdelingen is moeilijk te zeggen en zijn daarom geschat. Hoe meer bekend is over een interventie, hoe nauwkeuriger het model deze kan weergeven.

Ook zijn in dit model *waterfietsen*, *goederenvervoer* en *overig vervoer* weggelaten. Vooral waterfietsen hebben nog wel een invloed op het waterverkeer. Echter, in de realiteit is het vrij gemakkelijk om waterfietsen in te halen en zullen deze hoogstens resulteren in een lichte vertraging van het algemene verkeer.

Op- en afstapplaatsen zijn ook niet toegevoegd in het model. Dit kan ook voor lokale verstoringen zorgen. Wanneer dit model uitgebreid wordt kan dit toegevoegd worden. Ook hier zou dan data over bekend moeten zijn om een goede onderbouwing te geven voor het model.

In dit model is slechts een deel van de Amsterdamse grachtengordel gesimuleerd. De gehele grachtengordel simuleren zou de mogelijkheid geven om echt grote interventies te testen. Wel kan met het huidig gemodelleerde deel van de grachten al veel informatie worden gewonnen. De maximale grachten capaciteit kan worden geschat, de hoeveelheid mensen op de gehele grachten en de invloed van het verhogen of verlagen van specifieke categorieën kan worden bepaald. Deze punten kunnen allemaal in dit stukje gracht worden getest hetgeen dan een schatting voor de gehele grachtengordel geeft.

9 Aanbevelingen

Onze eerste aanbeveling is tellingen uit te voeren op meer plekken. Om het huidige model nauwkeuriger te maken zouden op de kruispunten Leliegracht - Keizersgracht en de Singelgracht - Brouwersgracht extra tellingen uitgevoerd moeten worden. Daarnaast zou het van waarde zijn om de specifieke doorvaartijd van een kruispunt te meten en hoeveel schepen er tegelijk op een kruispunt kunnen varen. Tevens zou het voor het model goed zijn om bij nieuwe tellingen het aantal passagiers op een schip te noteren om een beter beeld te krijgen van het aantal passagiers per categorie.

Onze tweede aanbeveling is om nu het model uit te breiden over de gehele grachtengordel. Dit zal de invloed van een interventie completer maken en maakt ook knelpunten op andere plekken beter inzichtelijk. Bij de analyse van de data van Mobycon, 2018 en De Verkeerstellers, 2019 kwam naar voren dat de grootste druktes zich voordoen in het gemodelleerde gebied. Echter, dit betekent niet dat andere punten minder relevant zijn. Het is namelijk zo dat niet elk kruispunt een even hoge capaciteit heeft, net zoals dat het kruispunt Singel - Brouwersgracht (bij de Haarlemmersluis) qua passeerbewegingen een stuk lager ligt dan de Leidsegracht - Prinsengracht. Wanneer dit in een model in kaart gebracht wordt, is het veel duidelijker te zien op welke manier een kruispunt kan worden verlicht en of dat nodig is.

Onze derde aanbeveling is om verstoringen in kaart te brengen. Het gaat hier om verstoringen die aangebracht worden door stilliggende schepen bij op- en afstap plekken, waterfietsen die in de weg liggen, schepen die keren in de vaargeul en versmallingen in het vaarwater waardoor de doorvaartijd wordt verstoord. Naast dat dit het model nauwkeuriger maakt, kan dit bijvoorbeeld ook helpen bij het plaatsen van nieuwe op- en afstapsteigers of het uitbreiden ervan. Deze kunnen dan in het model verwerkt en getest worden.

Onze laatste aanbeveling is om met het complete model huidige en nieuwe interventies te testen. De huidige interventies kunnen dan ook op andere plekken in het model worden geplaatst. Dit heeft dan weer een ander effect. Voor de huidige interventie 'beprijzing op de Prinsengracht' kan met een volledig model worden bepaald of het daadwerkelijk een verbetering is voor de gehele grachtengordel.

Een nieuwe interventie kan 'het aanpassen van een hoeveelheid van een categorie' zijn. Zo kunnen scenario's van toekomstige vaarwatergebruik met een hoge precisie worden getest. Hierdoor komen lokale knelpunten nog beter naar voren en is de invloed op de gehele grachtengordel te zien. Ook kunnen zo de effecten van toename van pleziervaart en/of beroepsvaart in kaart worden gebracht. Dit kan helpen bij het bepalen van de 'maximale capaciteit' van de grachten. Een andere interventie is om de invloed van afgesloten rakken of kruispunten te bekijken. Een afsluiting kan bijvoorbeeld komen door een restauratieproject of een lokaal evenement. Ook kan een rak of kruispunt voor een categorie worden afgesloten. Uit het model kan worden herleid hoe druk andere vaarroutes zullen zijn en waar de nieuwe knelpunten ontstaan. Ook kan zo een schatting van eventuele overlast vanaf het water gemaakt worden.

Er zijn nog veel meer interventies te bedenken. Denk aan het veranderen van de maximumsnelheid, de invloed van scheeps lengte op het aantal vaarbewegingen, etc. Wanneer een interventie een duidelijke omschrijving heeft kan die worden toegevoegd aan het model.

Het pad om uiteindelijk een model te maken dat alle grachten omvat met een gebruiksvriendelijke interface zal naar schatting 10 weken duren (mits de eerste en de derde aanbeveling worden overgenomen). Daarna kost het naar schatting tussen de 1 tot 4 dagen om een nieuwe interventie te modelleren. De duur hangt af van de complexiteit. Aangezien het model in modules werkt kan altijd op een later tijdstip een nieuw rak, kruispunt, brug, op- en afstapplaats of interventie worden toegevoegd. Hierdoor blijft het model bruikbaar. Om het model actueel te houden is het aanbevolen om zo recent mogelijke tellingen te gebruiken. Vooral wanneer het model voor meerdere jaren gebruikt zal worden.

10 Aanlevering

Bij dit verslag horen de volgende documenten voor ondersteuning;

Naam	Inhoud
Animatie_nulmeting	Filmpje over hoe het model de schepen laat varen volgens de huidige situatie.
Nul_meting	Online representatie van de huidige situatie met gedetailleerde informatie.
Beprijzing_prinsengracht	Online representatie van de beprijzing met gedetailleerde informatie
Eenrichting_herengracht	Online representatie van eenrichting met gedetailleerde informatie
Verkeerslicht	Online representatie van verkeerslicht met gedetailleerde informatie

Tabel 10.1: De documenten die zijn aangeleverd als ondersteuning van de resultaten.

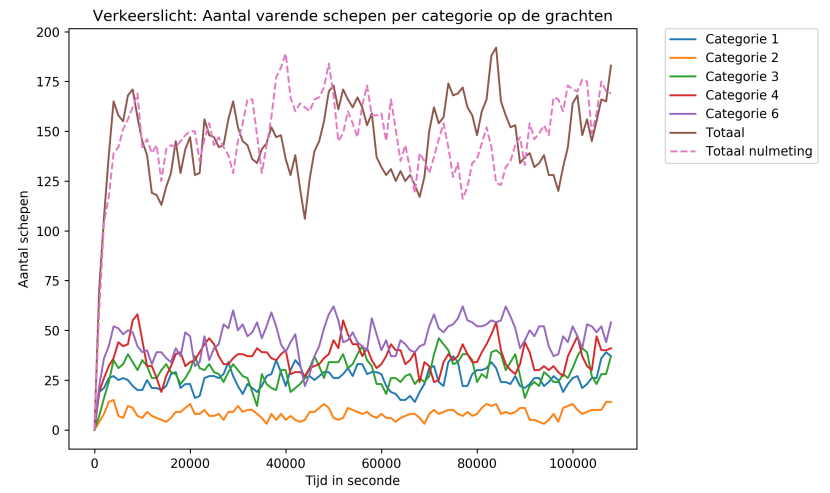
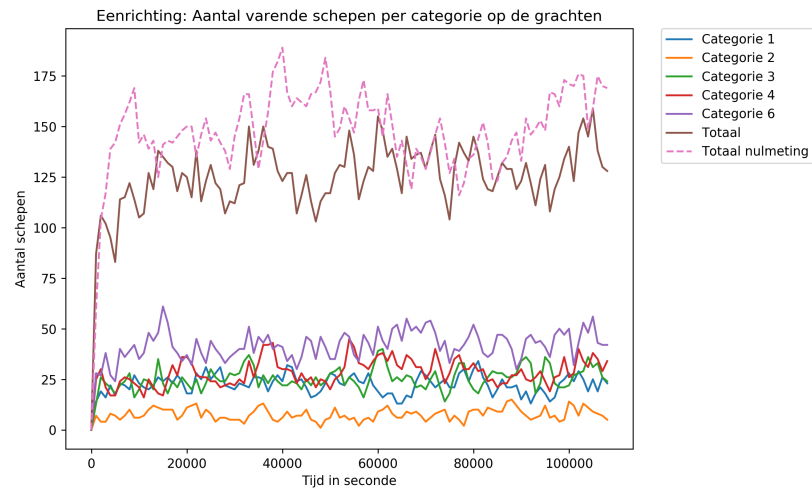
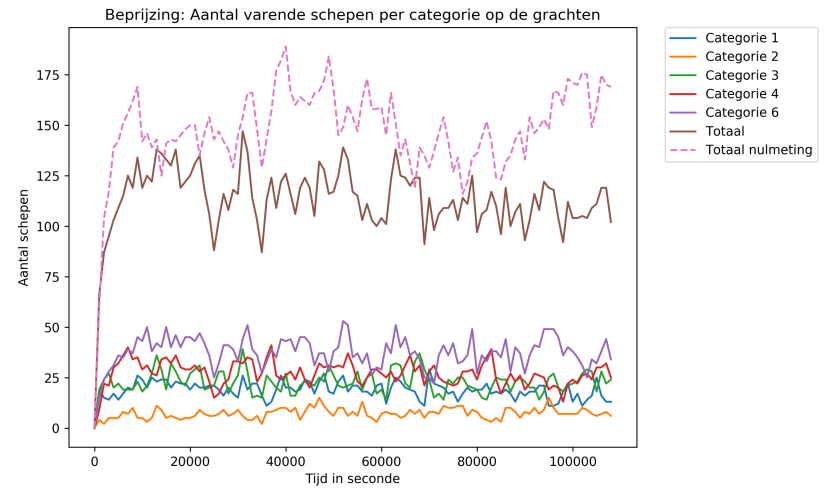
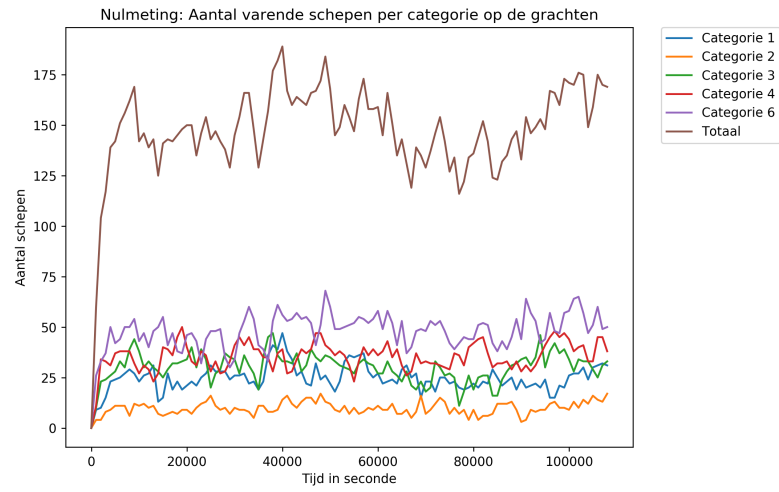
Bibliografie

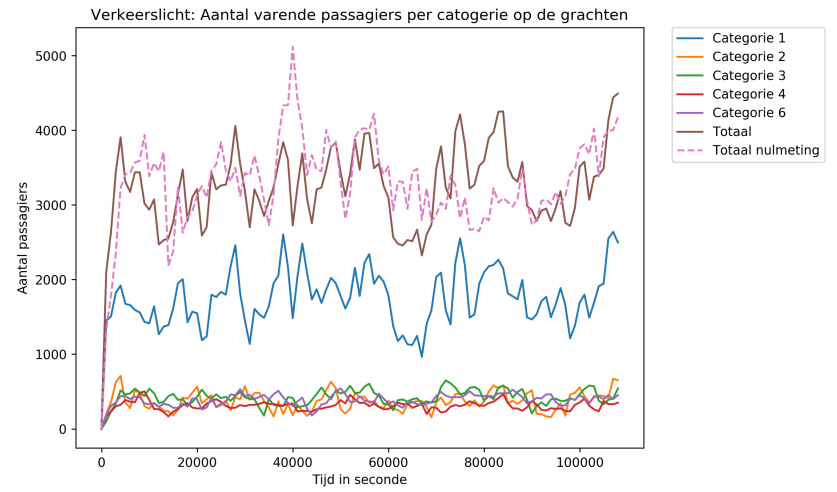
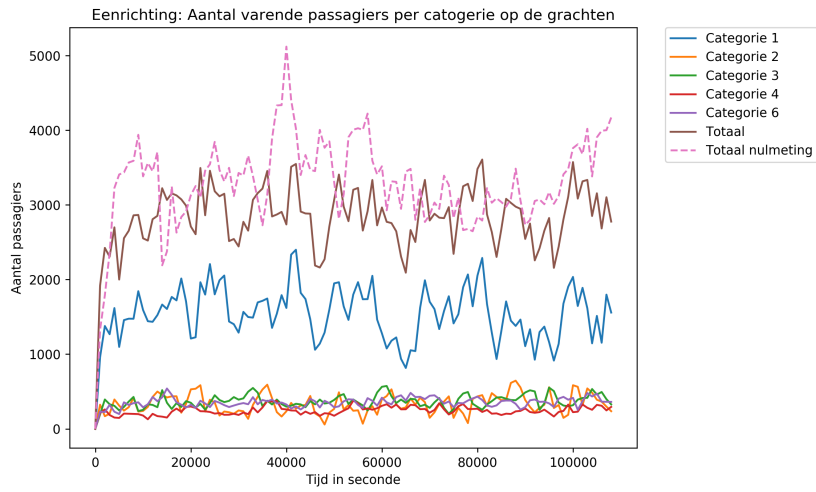
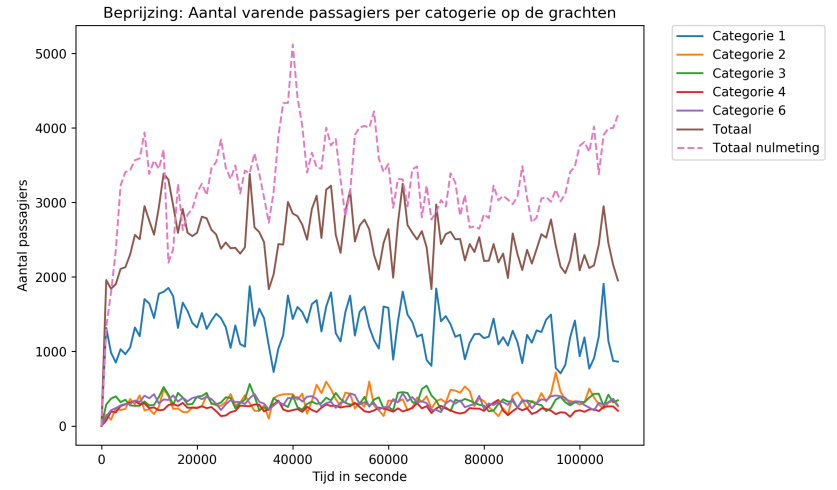
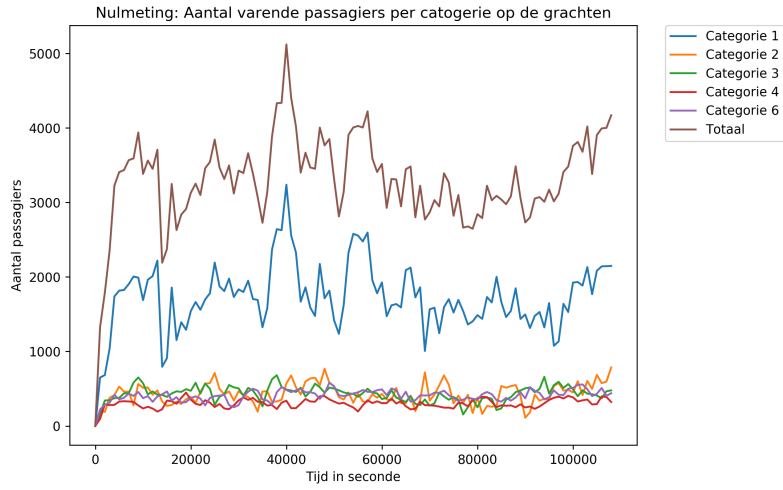
- De Verkeerstellers. (2019). *Tellingen 2019*. De Verkeerstellers.
- Dr. Ir. H.J. de Koning Gans; Ir. K. Visser. (2016, april 18). *Analyse van een Veilige en Vlotte Doorvaart voor Rondvaartboten in Amsterdam*. TU Delft.
- Gemeente Amsterdam. (2013, oktober 2). *Varen in Amsterdam 2.1*. Gemeente Amsterdam.
- Gemeente Amsterdam. (2019). *Welstandsbeleid Passagiersvaart Amsterdam*. Gemeente Amsterdam.
- Mobycon. (2018). *Tellingen 2018*. Mobycon.
- Waternet. (2019). *Grachtenmonitor 2018 - 2019*. Gemeente Amsterdam.

Bijlage: Overzicht figuren

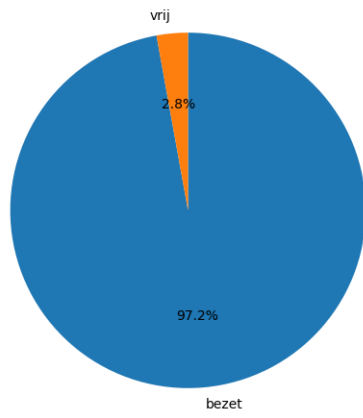
In deze appendix staat een overzicht van figuren die uit het model zijn gekomen. De figuren staan in de volgorde:

- Aantal varende schepen per categorie op de grachten
- Aantal varende passagiers per categorie op de grachten
- Bezetting van het kruispunt LeidsegrachtPrinsengracht
- Percentage schepen per categorie op de grachten
- Percentage passagiers per categorie op de grachten

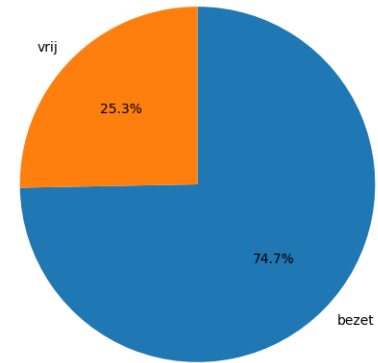




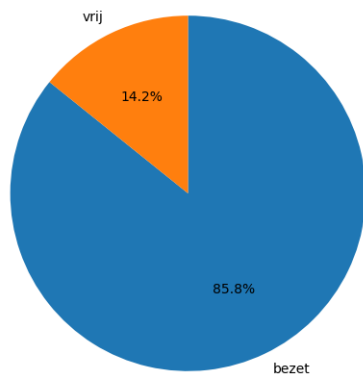
Nulmeting: bezetting van het kruispunt Leidsegracht-prinsengracht



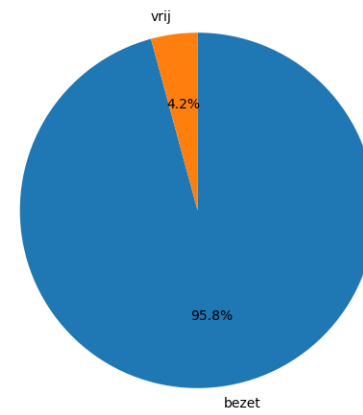
Beprijzing: bezetting van het kruispunt Leidsegracht-prinsengracht



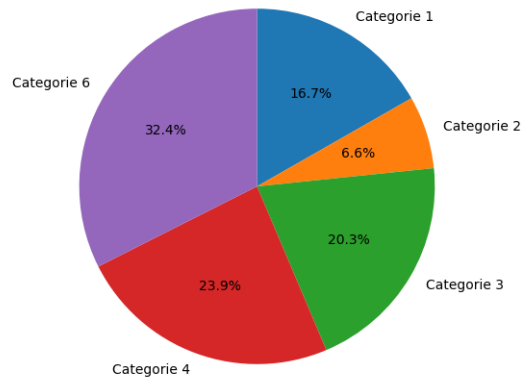
Enrichting: bezetting van het kruispunt Leidsegracht-prinsengracht



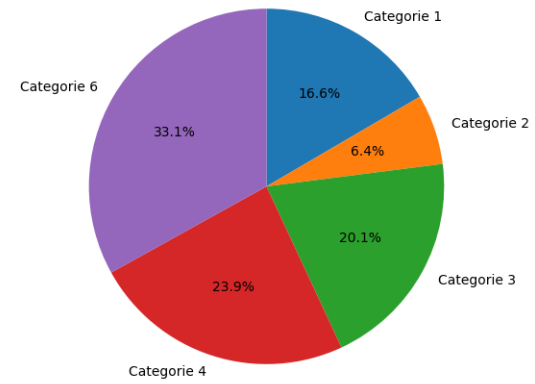
Verkeerslicht: bezetting van het kruispunt Leidsegracht-prinsengracht



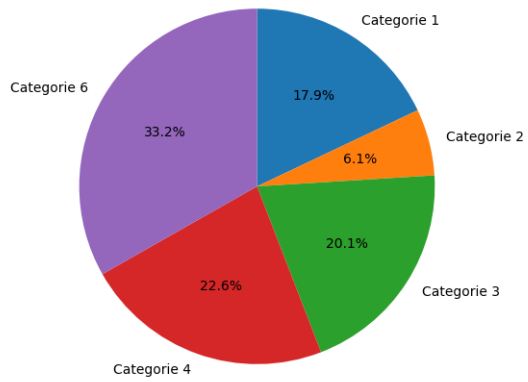
Nulmeting: percentage schepen per categorie aanwezig



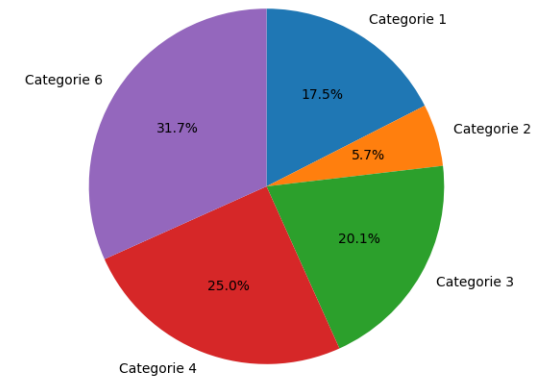
Beprijzing: percentage schepen per categorie aanwezig



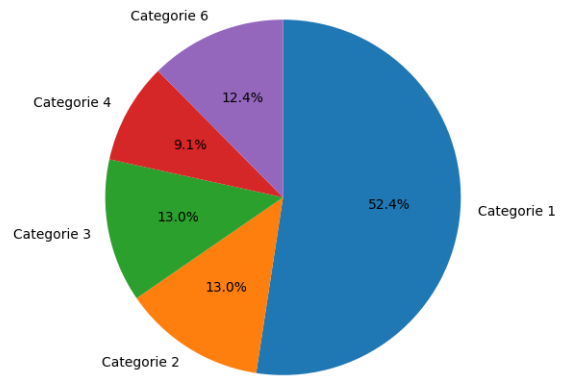
Enrichting: percentage schepen per categorie aanwezig



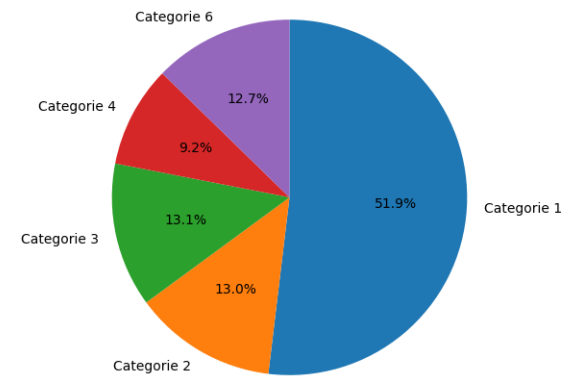
Verkeerslicht: percentage schepen per categorie aanwezig



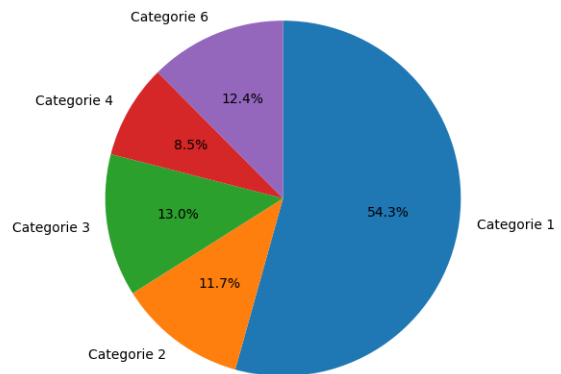
Nulmeting: percentage passagiers per categorie vervoerd



Beprijzing: percentage passagiers per categorie vervoerd



Eenrichting: percentage passagiers per categorie vervoerd



Verkeerslicht: percentage passagiers per categorie vervoerd

