

Een onderzoek naar het toekomstige
wagenpark voor de huisafvalinzameling
van Remondis Dusseldorp



Matthijs Nijholt
S 1587404
17-11-2017

Eerste begeleider: Dr.Ir. J.M.J. Schutten
Tweede begeleider: Dr. Ir. M.R.K. Mes

Dit is de afstudeerscriptie “Wagenpark voor Remondis Dusseldorp”. Dit onderzoek is gedaan in opdracht van Remondis Dusseldorp en voor het afstuderen van mijn bachelor Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit van Twente. Ik wil daarom graag de begeleiders van Remondis Dusseldorp Eelco Starreveld en Albert Bonestroo voor deze opdracht en de begeleiding en support die ze mij hebben gegeven.

Tijdens mijn stage heb ik gebruik mogen maken van een kantoorplek waar ik een kamer heb gedeeld met Hermen Sluikhuis, waar ik graag wil bedanken voor het goede contact en voor de hulp bij het verzamelen van de data voor mijn opdracht.

Verder wil ik graag mijn begeleider vanuit de Universiteit van Twente Marco Schutten bedanken voor alle tijd, geduld en feedback die hij mij gegeven heeft tijdens het doorlopen van mijn bachelor opdracht. Dankzij de opmerkingen van meneer Schutten heb ik dit verslag veel beter kunnen maken.

Ook de tweede lezer Martijn Mes wil ik bedanken voor zijn tijd en feedback. Ze hebben me allebei geholpen kritisch naar mijn

Ook wil ik graag mijn ouders bedanken voor hun hulp en luisterend oor. Daarnaast heeft mijn vader veel tijd gestopt in het controleren van de teksten die ik schreef en in het samen verbeteren van deze teksten.

Als laatste bedank ik ook mijn medestudenten voor hun hulp bij de opdracht en mijn verslag. Ook wil ik ze bedanken voor hulp om mijn mastervakken te combineren met mijn afstudeeropdracht.

Ik wens u veel leesplezier.

Matthijs Nijholt

Enschede 17-11-2017

Managementsamenvatting

In deze samenvatting leggen we eerst uit wat de aanleiding is tot dit onderzoek en wat de bevindingen hier van zijn. Daarna leggen we kort uit hoe we tot deze resultaten gekomen zijn.

Aanzet tot onderzoek

De aanleiding voor dit onderzoek is een aanbesteding die in 2018 zal plaatsvinden. Remondis Dusseldorp is geïnteresseerd hoeveel vuilniswagens er nodig zijn om in de vijf gemeenten in de regio Noord-West Veluwe huisafval in te zamelen, dit zijn Elburg, Ermelo, Harderwijk, Nunspeet en Oldebroek. Hierbij is Remondis Dusseldorp ook geïnteresseerd naar de impact die de gemeente kan hebben op inzameling. Het doel van dit onderzoek is om het resultaat van deze veranderingen meetbaar te maken door een methode te maken die uit kan rekenen hoeveel vuilniswagens er nodig zijn in verschillende scenario's.

Conclusies en aanbevelingen

De uitkomsten van ons model zijn dat er in een vier weken periode waarin één keer papier wordt ingezameld en 2x rest- en GFT-afval er 684 werkdagen zijn. Hiervan zijn er 102 met een achterladervuilniswagens, 111 met een speciale zijladervuilniswagens en zijn er 471 met een reguliere zijladervuilniswagens. Dit komt overeen met 23,5 fulltime reguliere zijladers, 5,1 fulltime achterladers en 5,55 fulltime speciale zijladers. Wanneer we onze input veranderde en de normale zijladervuilniswagens gebruikten in plaats van de speciale had het model ruim één zijladervuilniswagens minder nodig. We hebben het model ook toegepast waarbij alles door reguliere zijladervuilniswagens werd ingezameld, waarbij de routes 595 werkdagen duurden om alles in te zamelen. In onze aanbevelingen benoemen we dat er weinig informatie bekend is over de routes die gereden worden en de beperkingen voor de vuilniswagens op deze routes. Meer informatie hierover zou de planning helpen in het geval van pech of een nieuwe/tijdelijke chauffeur. Om meer uit het model te halen raden we aan om gedetailleerdere wijkdata te gebruiken in het model.

Theoretisch basismodel

Om tot een model te komen dat we kunnen gebruiken om het aantal benodigde vuilniswagens in te schatten wilden we een basismodel gebruiken uit de literatuur. Voordat we dit basismodel konden opzoeken hebben we eerst gekeken naar de bijzonderheden bij het inzamelen van huisafval. Hierbij keken we naar verschillende vuilniswagens, containertypen en hebben we een aantal vereisten voor een theoretisch basismodel. In het literatuuronderzoek kwamen meerdere manieren naar voren om dit probleem te modeleren. We kozen de methode waarvan we dachten dat deze tot het beste resultaat zou komen gegeven de tijd die beschikbaar is voor de bachelorafstudeeropdracht.

Ontwikkeling naar eindmodel

Het theoretische basismodel bevat een aantal restricties die we nodig hebben voor ons model maar het bevat niet alle restricties. Daarom hebben we het verder ontwikkeld om geschikt te maken voor ons onderzoeksdoel. De belangrijkste aannames zijn dat de planning haalbaar moet zijn voor een normale werkweek, maar dat deze tijdens piekmoment uit mag lopen, een route mag maar in één gemeente zijn en de routes moeten hetzelfde zijn voor groen en grijs afval. Om dit model te gebruiken is er data nodig over de frequentie waarmee container worden aangeboden en over de tijd die het kost om deze te legen. Daarnaast hebben we data gevonden voor de tijd die het storten duurt en de tijd die het kost om van wijk naar wijk te rijden. Hiermee zijn we tot de uitkomst gekomen dat 23,5 fulltime reguliere zijladervuilniswagens, 5,1 fulltime achterladervuilniswagens en 5,55 fulltime speciale

zijladervuilniswagens nodig zijn om in de gemeenten Elburg, Ermelo, Harderwijk, Nunspeet en Oldebroek het huisafval in te zamelen.

Table of Contents

Managementsamenvatting	2
Aanzet tot onderzoek	2
Conclusies en aanbevelingen	2
Theoretisch basismodel.....	2
Ontwikkeling naar eindmodel	2
Hoofdstuk 1: Aanleiding en onderzoeksvragen	7
1.1 Remondis Dusseldorp BV	7
1.2 Aanleiding tot onderzoek	7
1.3 Onderzoeksscope	7
1.4 Onderzoeksdoel.....	8
1.5 Onderzoeksvragen.....	8
Hoofdstuk 2: Wat is de huidige situatie?	9
2.1 Huisafvalinzameling door Remondis	9
2.2 Huidige planning.....	9
2.3 Verschillen tussen de zijlader en achterlader vuilniswagens	9
2.4 Diftar.....	12
2.5 Per gemeente inzamelen.....	13
2.6 Diamond systeem	13
2.7 Gespiegelde planning	13
2.8 Fictieve stortplaats	13
Hoofdstuk 3: Literatuur	15
3.1 Vehicle Routing Probleem	15
3.2 Modellen en methodes om het Vehicle Routing Probleem oplossen.....	15
3.2.1 Arcs en Nodes.....	15
3.2.2 Mixed Integer (Linear) Programming	15
3.2.3 Local Search	16
3.2.4 Conclusie over het VRP oplossen	17
3.3 Meta heuristieken voor Local Search	17
3.3.1 Simulated Annealing.....	18
3.3.2 Genetic Algorithms	18
3.3.3 Tabu Search	18
3.3.4 Ant Colony Heuristic.....	18

3.3.5 Conclusie van de metaheuristieken	18
3.4 Literatuur conclusie	19
Hoofdstuk 4: Dataverzameling en verwerking	20
4.1 Algemene uitleg wijkdataverzameling	20
4.3 Tweede aanpak wijkdataverzameling	21
4.4 Indeling wijken	22
4.5 Conclusie dataverzameling.....	23
Hoofdstuk 5: Keuze en werking van het basismodel en onze methode	24
5.1 Aanpassingen op het standaard VRP.....	24
5.2 Keuze voor het basismodel	25
5.3 Werking van het basismodel	25
5.4: Integratie van model vereisten en gegevens	26
5.4.1 Wijkgegevens.....	26
5.4.2 Voertuiggegevens.....	26
5.4.4 Overige modelgegevens	26
5.5 Simulated Annealing parameters	27
5.6 Modelaannames	29
5.5.1 Voertuigaannames	29
5.5.2 Wijkaannames	29
5.5.3 Algemene planningsaannames.....	30
5.6 Werking van het model	31
Hoofdstuk 6: Resultaten	32
6.1 Resultaten van onze methode	32
6.2 Prestaties en gevoeligheid	33
6.3 What-if: Alle containers diamond	33
6.4 What if: Alleen normale zijlader.....	34
6.5 Conclusie resultaten	34
Hoofdstuk 7: Conclusies en aanbevelingen.....	35
7.1.Deelvragen beantwoorden	35
7.2 Aanbevelingen.....	35
Appendix A: Bronvermelding	37
Bijlage B: Technische werking van ons model.....	38
B.1 Model introductie	38

B.2 Centroids opzoeken.....	38
B.3 Initiële oplossing.....	38
B.4 Globale optimalisatie	39
B.5 Interne optimalisatie	39

Hoofdstuk 1: Aanleiding en onderzoeksvragen

Dit hoofdstuk begint met een korte introductie van Remondis Dusseldorp BV (paragraaf 1.1), gevolgd door de aanleiding voor dit onderzoek (paragraaf 1.2), de scope van het onderzoek (paragraaf 1.3), het onderzoeksdoel (paragraaf 1.4) en de bijbehorende onderzoeksvragen (paragraaf 1.5).

1.1 Remondis Dusseldorp BV

Remondis Dusseldorp BV is een Nederlands dochterbedrijf van het Duitse Remondis SE & Co. KG. Om verwarring met het moederbedrijf te voorkomen zal Remondis Dusseldorp BV in het vervolg van dit verslag Dusseldorp genoemd worden. Dusseldorp verzorgt afvalinzameling en -verwerking. Een onderdeel hiervan is het inzamelen van het gemeentelijke huisafval.

1.2 Aanleiding tot onderzoek

De aanleiding van dit onderzoek is een aanbesteding voor het inzamelen van huisafval die over anderhalf jaar zal gaan plaatsvinden. Het gaat hierbij om vijf gemeenten, waarbij Dusseldorp op dit moment in drie van deze gemeenten al het huisafval ophaalt. Dit zijn de gemeenten Ermelo, Nunspeet, Harderwijk, Elburg en Oldebroek. Naar de cijfers van het CBS waren er 58.182 huishoudens op 1 januari 2015. Het wagenpark dat op dit moment wordt gebruikt zal vervangen worden als Dusseldorp de aanbesteding wint. Het nieuwe wagenpark zal voornamelijk bestaan uit zijlader vuilniswagens. Deze hebben alleen een chauffeur nodig, wat twee beladers uitspaart. Daarnaast kunnen de zijladers ook sneller containers legen. Ook zijn er verschillende keuzes die de gemeenten kunnen maken voor deze aanbesteding die effect hebben op het benodigde aantal vuilniswagens, zoals het aanleggen van verzamelplaatsen voor de containers en het kiezen van het type container. Vanwege de overgang naar een nieuw type vuilniswagen en de uitbreiding van drie naar vijf gemeentes wil Dusseldorp graag een advies hoeveel vuilniswagens er nodig zijn om het huisafval in te zamelen. Ook wil Dusseldorp graag inzicht krijgen in de verschillende type vuilniswagens die hiervoor nodig zijn en wat de impact is van het inzamelen van huisafval met een ander type vuilniswagen.

Verder is Dusseldorp ook benieuwd wat het effect is als er minder containers langs de weg staan, bijvoorbeeld wanneer deze alleen worden aangeboden als deze vol zijn. Dit onderzoek gaat niet over hoe dat bereikt kan worden, maar het doel is wel om een model te maken waarin de uitwerking van dit effect gezien kan worden.

1.3 Onderzoeksscope

Dit onderzoek gaat specifiek in op de tactische planning voor de inzameling van het huisafval. Wanneer er in dit verslag planning genoemd wordt betreft dit de tactische planning. Dit betekent dat het de theoretische planning betreft die aan het begin van het jaar gemaakt wordt. De tegenhanger hiervan is de operationele planning. Dit is de dagelijkse planning waarin er bijvoorbeeld rekening moet worden gehouden met een defect van een vuilniswagen.

Verder beperkt dit onderzoek zich tot de containers die langs de weg worden geplaatst. Gemeenten hebben ook vaak grotere containers voor bijvoorbeeld flatgebouwen. Deze worden op een andere manier gelegeerd en worden daarom buiten beschouwing gelaten. Ook bedrijfsafval valt niet binnen deze opdracht.

Dit verslag betreft een belangrijk aspect van de aanbestedingen voor het huisafval voor regio Noord-West Veluwe. De uitkomsten van dit verslag spelen een belangrijke rol hierbij. Daarom zijn alle

uitkomsten vermenigvuldigd met een factor die groter is dan één. Deze waarde staat in een bijlage die niet publiek wordt gemaakt.

1.4 Onderzoeksdoel

Het doel van dit onderzoek is om een methode te ontwikkelen die inschat hoeveel vuilniswagens er nodig zijn waarbij er ook gekeken kan worden naar de gevolgen van veranderingen vanuit de gemeenten. Voorbeelden van veranderingen zijn minder containers met meer afval, andere containertypes en betere afvalscheiding met het gevolg dat er minder restafval en meer GFT-afval en papier wordt aangeboden.

1.5 Onderzoeksvragen

Om een goede inschatting te kunnen maken voor het benodigde aantal vuilniswagens beantwoorden we de volgende vragen, waarbij elke vraag een eigen hoofdstuk heeft:

1. Wat is de huidige situatie?

Hoofdstuk 2 begint met een uitleg hoe huisafval wordt ingezameld en met een uitleg hoe er op dit moment gepland wordt. Verder leggen we verschillende concepten die belangrijk zijn voor het inzamelen van het huisafval, zoals de verschillende typen vuilniswagens en de verschillende soorten differentiaal tarieven. Deze leggen we uit en de effecten op de planning van vuilniswagens bespreken we daarna. Hierdoor wordt er een aantal restricties en beperkingen van ons model duidelijk.

2. Wat staat er in de literatuur over routeplanning met betrekking tot huisafvalinzameling?

In hoofdstuk 3 bespreken we wat er in de literatuur bekend is over het opstellen en oplossen van modellen die zich bezig houden met routeplanning en die toepasbaar zijn voor het inzamelen van huisafval. Uit de literatuur hebben we een theoretisch perspectief gekozen als basis voor ons model.

3. Welke data zijn nodig en in welke vorm?

Voordat het model berekeningen kan maken heeft het data nodig. Dit is het onderwerp van hoofdstuk 4. Daarom bespreken we welke data er gebruikt zijn en de manier waarop deze verkregen zijn. Ook de manier waarop wij deze data verwerken en de interpretaties bespreken we in dit hoofdstuk.

4. Welk theoretisch model past bij ons probleem, welke aanpassingen op het theoretische model moeten we maken en welke belangrijke aannames zijn er nodig?

Na het kiezen van het theoretische perspectief is er ook een model gevonden dat zal worden gebruikt als uitgangspunt voor ons model. De overgang van literatuur naar model wordt besproken. Het model dat als basis is gebruikt mist enkele aspecten die wel van belang zijn voor ons model. Deze worden benoemd en er wordt ook uitgelegd waarom deze aanpassingen nodig zijn. Verder maken we een aantal aannames bij het ontwikkelen van ons model. Alle relevante aannames worden benoemd en er wordt uitgelegd waarom deze aannames gemaakt zijn. Deze deelvraag komt aan bod in hoofdstuk 5

5. Welke resultaten levert onze methode op?

In hoofdstuk 6 gebruiken we onze methode met verschillende datasets die Dusseldorp helpen in het bepalen van het benodigde aantal vuilniswagens. Hierbij kijken we naar de verwachte situatie en twee variaties. We evalueren de methode en kijken naar de gevoeligheid.

Hoofdstuk 2: Wat is de huidige situatie?

In dit hoofdstuk bespreken we de huidige situatie bij Dusseldorp. Dit begint met een uitleg hoe huisafval wordt ingezameld (paragraaf 2.1) en hoe de huidige planning gemaakt is (paragraaf 2.2). Daarna leggen we aantal belangrijke concepten uit over afvalinzameling. Dit begint met een uitleg over de verschillen tussen de zijlader en achterlader vuilniswagens (paragraaf 2.3). Daarna leggen we het differentiaal tarieven systeem uit (paragraaf 2.4), per gemeente inzamelen (paragraaf 2.5), de twee verschillende typen containers die door de gemeenten gebruikt worden (paragraaf 2.6). In de laatste twee paragrafen leggen we een speciaal type planning uit, de gespiegelde, en de impact hiervan op de tactische planning (paragraaf 2.7) en benoemen we de wens naar meer locaties om hulzen met huisafval om te wisselen en hoe we hier rekening mee houden (paragraaf 2.8).

2.1 Huisafvalinzameling door Remondis

In Nederland wordt het huisafval door gemeente opgehaald en verwerkt. Veel gemeenten kiezen ervoor om dit uit te besteden; maar een paar doen dit zelf. In de gemeenten waar Dusseldorp huisafval inzamelt krijgt ieder huishouden elk drie containers van de gemeenten, één voor restafval, één voor GFT-afval en één voor papier. Er is een afvalkalender per straat of wijk waarop aangegeven staat op welke dagen welk type afval wordt opgehaald. Wanneer een huishouden de container leeg wil hebben zet een huishouden die op één van de vastgestelde dagen langs de kant van de weg, of in sommige gevallen op speciale aanbiedplaatsen. De containers dienen om 7 uur s'ochtends klaar te staan en worden ergens op de dag geleegd. Het tijdstip op de dag zelf is niet vastgesteld. Elke dag rijden er een aantal vuilniswagens huisafvalroutes. Deze routes liggen normaalgesproken in dezelfde gemeente. Hiervoor wordt gekozen omdat de vuilniswagens elkaar helpen wanneer er uitval is van vuilniswagens en wanneer een vuilniswagen klaar is met zijn route en andere vuilniswagens nog niet al hun afval hebben opgehaald. Een route begint rond 7:30, dit tijdstip is afgesproken met de gemeenten als vroegste moment waarop containers geleegd mogen worden. Er wordt doorgereden totdat alle containers geleegd zijn, normaalgesproken is dit tussen 15:30 en 17:00 maar dit kan 19:00 of 20:00 worden als er een vuilniswagen uitvalt.

2.2 Huidige planning

De huidige planning is gebaseerd op een planning die is opgesteld door een ervaren planner die deze planning aan het begin van de aanbesteding heeft gemaakt. Hierbij gebruikte hij zijn ervaring om in te schatten hoeveel tijd het kost om het afval in te zamelen. De planner is in de gemeenten door de wijken gelopen en heeft op basis van zijn ervaring de routes gemaakt. Door de jaren zijn deze routes wat verbeterd en aangepast vanwege veranderingen zoals een wijziging in het wagenpark of een aangepast wegennetwerk. In de huidige situatie kost het in een periode van vier weken gemiddeld 780 werkdagen om al het afval in te zamelen, of 39 fulltime vuilniswagens. Hierbij zijn de inzamelfrequenties één keer per twee weken voor zowel rest- als GFT-afval en wordt papier één keer in de vier weken opgehaald.

2.3 Verschillen tussen de zijlader en achterlader vuilniswagens

Het inzamelen van het afval kan worden opgedeeld in 4 fases: Het legen van containers, het rijden van container naar container, het storten van het afval en het verplaatsen tussen de wijken, het depot en stortlocaties. Bij de uitvoering van dit proces zijn er verschillen tussen de zijlader en de achterlader. De verschillen worden per onderdeel besproken.

De manier waarop de containers geleegd worden zorgt voor het grootste verschil tussen de twee typen vuilniswagens. Foto's van bij de type wagens zijn te vinden in Figuur 2.1 en 2.2 De achterlader is de traditionele manier van beladen, waarbij de containers aan de achterkant van de vuilniswagen wordt geleegd. Er zitten twee identieke systemen aan de achterkant die los van elkaar werken. De container wordt tegen één van de systemen aan gedrukt door een belader. Dit systeem grijpt de rand van de container vast en verplaatst deze omhoog. Met behulp van zwaartekracht en eventueel schudden wordt de container geleegd. Daarna wordt de container weer op de grond gezet. Zodra het systeem de container heeft gepakt is er geen interactie met de belader nodig, en kan deze doorgaan met het verplaatsen van containers. Dit systeem kan met een paar toevoegingen ook worden gebruikt voor andere formaten containers, en de achterlader kan daarom ook gebruikt worden om bedrijfsafval in te zamelen. Omdat de containers verplaatst worden door beladers zijn er weinig beperkingen hoe deze moeten staan. Het maakt wel een verschil hoe gemakkelijk het is om de container te pakken, maar wanneer een container achter een geparkeerde auto staat kan deze nog steeds geleegd worden.



Figuur 2.1 Remondis achterlader



Figuur 2.2 Remondis zijlader (ander model)

De zijlader leegt de containers op een andere manier. Er wordt gebruikt gemaakt van een mechanische arm en camera's om de container op te pakken en te legen. Het legen gaat op een vergelijkbare manier als bij de achterlader. De arm heeft ruimte voor twee containers, maar deze moeten wel op een vastgestelde afstand van elkaar staan. Uiteraard is het ook mogelijk om maar één container te legen. Ook is de arm beperkt in de manier waarop de containers worden opgepakt omdat deze alleen in een rechte lijn een container kunnen oppakken. Dit heeft als gevolg dat de containers dicht bij de weg moeten staan zonder dat er iets tussen de vuilniswagen en de container staat. Wanneer een zijlader ingezet wordt om de containers te legen in een wijk is het van belang dat de bewoners goed begrijpen hoe de containers moeten staan. Wanneer deze de containers niet correct plaatsen zijn er drie mogelijkheden. De chauffeur kan uitstappen om deze goed neer te zetten, er kunnen één of twee beladers mee lopen om de containers goed te zetten, of de container kan overgeslagen worden. Het bestuderen van de impact van het correct plaatsen van containers is niet het doel van deze studie, maar effecten van het correct plaatsen heeft wel uitwerking op de berekeningen van het model. Er moet rekening gehouden worden met beperkingen van een wijk, en dus ook of er wel of niet een zijlader kan werken. Verder heeft de grijparm vaste afmetingen en daarom kunnen zijladers geen afwijkend formaat containers legen.

Voor het rijden van container naar container is er niet veel verschil tussen de zijlader en de achterlader. Bij de achterlader is het van belang dat de chauffeur pas gaat rijden als de beladers goed op de treeplank staan, maar dit kost heel weinig tijd. Voor de zijlader moet er opgelet worden of de arm wel uit de weg is van auto's, lantaarnpalen en dergelijke maar ook dit is eenvoudig en snel.

Het storten van het afval gaat verschillend bij de twee verschillende vuilniswagens. Zowel de achterladers als zijladers moeten storten op van te voren bepaalde locaties. De achterladers kunnen

alleen storten bij speciale afvalverwerkingsinstallaties. Deze zijn op dit moment alleen maar bij *gedeelde locaties*. Dit zijn stortplaatsen waarop ook andere bedrijven mogen storten. Eén hiervan is van een ander bedrijf en één is van Dusseldorp zelf, maar daar kunnen ook particulieren storten. Het kan zijn dat ze daar moeten wachten op andere wagens, en het is ook gebruikelijk om er een korte koffiepauze te nemen. In de huidige situatie wordt het meeste afval gestort bij een extern bedrijf. Voor het legen van de achterladers wordt eerst de achterkant omhoog gedaan. Vervolgens kan het afval uit de opslag worden geduwd door de achterwand van de opslag naar voren te bewegen. Indien nodig wordt er nog met standaard gereedschap afval weggehaald dat niet door de wand uit de vuilniswagen is geduwd.

De zijladers kunnen op twee manieren geleegd worden. Deze vuilniswagens gebruiken hulzen op het afval in op te slaan. De hulzen kunnen in zijn geheel van de vuilniswagen worden gehaald, om vervolgens een lege huls terug te plaatsen. Deze hulzen worden dan op een ander tijdstip opgehaald om het afval verder te verwerken. Het is ook mogelijk om de hulzen te legen wanneer ze nog op de vuilniswagen zitten, op een vergelijkbare manier als de achterladers.

Dusseldorp maakt op dit moment al gebruik van locaties waar lege hulzen klaar staan voor de zijladers om ze om te wisselen. Het legen van de zijladers duurt ongeveer dezelfde tijd ongeacht de stortmethode. Het bespaart wel tijd op andere fronten. Omdat alleen de zijladers van Dusseldorp op die locatie de huls omwisselen is de wachttijd lager dan op een publieke stortplaats. Het belangrijkste is dat het veel rijtijd kan besparen. Het kost bijvoorbeeld een uur om vanuit Nunspeet naar de dichtstbijzijnde stort te rijden, te storten, en weer terug te gaan naar Nunspeet. Hiervan is de meeste tijd verloren door het rijden

Het effect op de planning van de verschillende type vuilniswagens is dat er slim gepland moet worden om rekening te houden met de beperkingen. Dit is voornamelijk nodig voor problemen en wijzigingen die optreden op operationeel niveau, bijvoorbeeld bij een vuilniswagen met pech. Het effect van de verschillen op de tactische planning is minder groot maar er moet nog wel gecontroleerd worden dat het juiste type vuilniswagen aan de juiste route is toegewezen.

2.4 Diftar

Diftar staat voor differentieel tarief; de huishoudens moeten betalen op basis van de hoeveelheid afval die ze aanbieden. Er zijn verschillende soorten Diftar:

- Alleen frequentie registratie,

Hierbij wordt er alleen wordt gelet op het aantal keer dat de container wordt aangeboden.

- Frequentie en type container registratie

Frequentie registratie kan ook gekoppeld worden aan het type container geleegd wordt. Omdat er geregistreerd wordt van welk huishouden de container komt kunnen de ledigingen ook aan de inhoud van de container gekoppeld worden; in veel gemeenten zijn er per afval type containers met verschillende inhoud.

- Wegen van de individuele container

Bij het laatste type Diftar wordt de container die geleegd wordt ook gewogen, en hierbij wordt ook het type container opgeslagen.

Op dit moment zijn er al chips in alle container in de gemeenten waar Dusseldorp afval inzamelt en een deel van het wagenpark kan deze chips ook uitlezen. Dusseldorp registreert wel hoe groot de container is, maar niet het gewicht. Diftar heeft als gevolg dat de containers minder snel worden aangeboden. In de meeste gevallen zitten de containers bijna of helemaal vol. Bij Diftar is het legen van een GFT-container of papiercontainer voor een huishouden meestal goedkoper dan het legen van een restafvalcontainer. Dit is om de bewoners aan te moedigen beter afval te scheiden. Het kost een stuk meer geld om het restafval te verwerken en de manier van verwerken is ook slechter voor het milieu. Dit betekent dat in gemeenten met Diftar het lastiger is voor de beladers van de achterladers om de containers te legen en dat er minder containers geleegd worden voordat de vuilniswagens vol zijn.

2.5 Per gemeente inzamelen

Een heel erg belangrijk gegeven is dat het huisafval per gemeente apart moet worden ingezameld. Hierdoor wordt inzichtelijk hoeveel ton afval er per gemeente wordt opgehaald, met als gevolg dat een vuilniswagen eerst moet storten voordat deze in een andere gemeente kan inzamelen. Dit is het gevolg van de keuze om containers niet te wegen tijdens het legen. Dit heeft effect op de routeplanning aangezien de hele route in dezelfde gemeente moet liggen.

2.6 Diamond systeem

Er zijn op dit moment twee verschillende type afval containers in gebruik door de gemeenten waarin Dusseldorp werkt. Dit zijn de diamond en niet diamond containers. Er is maar één gemeente die geen diamond containers heeft. Dit is voornamelijk van belang voor de zijladers, omdat er een speciale aanpassing nodig is om de diamond containers te kunnen legen. Op de achterladers is dit makkelijker aan te passen en kunnen deze container met een reguliere achterlader geleegd worden. Voor de zijlader zijn er speciale zijladers nodig om dit te doen. Voor de tactische planning is het van belang dat de apparatuur beschikbaar is voor het type container dat op de routes ligt. Daarom moet onze methode aangeven hoe vaak deze speciale apparatuur nodig is.

2.7 Gespiegelde planning

In veel gemeenten is het gebruikelijk om de eerste week restafval in te zamelen en de volgende week GFT-afval in te zamelen. Dit wordt ook wel een gespiegelde planning genoemd. Wanneer er geen gespiegelde planning is worden de routes voor restafval en GFT-afval afzonderlijk van elkaar gemaakt en kan restafval op maandag en GFT-afval op dinsdag worden opgehaald. Bij een gespiegelde planning kunnen de routes niet per afval stroom worden gemaakt, omdat het niet dezelfde tijd kost om in een wijk beide types afval op te halen. De planning moet routes maken die haalbaar zijn in één dag voor beide afvaltypes, met het gevolg dat er bij één van de twee afvalstromen de vuilniswagen eerder klaar is. In theorie is mogelijk om andere routes te maken waarbij in hetzelfde gebied de containers worden geleegd, maar dit is te complex voor dit onderzoek, en voor de planning is het ook makkelijker wanneer de routes hetzelfde zijn.

2.8 Fictieve stortplaats

Eerder is al genoemd dat het er niet in alle gemeente een plaats is om te storten, en dat er al een plek is waar zijladers hun hulzen kunnen omwisselen. Dusseldorp wil graag meer van deze plekken maken om tijd te besparen een zijlader om naar een wisselpunt te rijden. Het vinden van deze locaties is buiten de scope, maar in onze methode moeten we rekening houden met een fictief stortpunt voor de zijladers. Hoe we hier precies mee omgaan zullen we in hoofdstuk 5 bespreken, maar om een compleet beeld te geven van wat de methode moet gaan doen benoemen we dit concept nu al.

Hoofdstuk 3: Literatuur

Dit hoofdstuk biedt het theoretische perspectief voor dit onderzoek. Het hoofdstuk begint met een algemene uitleg van het Vehicle Routing Probleem (paragraaf 3.1) om te begrijpen welk type probleem het maken van de routeplanning is. Vervolgens leggen we drie methodes uit om dit probleem op te lossen (paragraaf 3.2). De methode om het VRP op te lossen die onze voorkeur heeft bevat een metaheuristiek. Er is een aantal metaheuristieken ontwikkeld en vier daarvan leggen we uit (paragraaf 3.3) om vervolgens in de conclusie een paar specificaties op te stellen voor het basismodel (3.4).

3.1 Vehicle Routing Probleem

Om in te kunnen schatten hoeveel achterladers en/of zijladers er nodig zijn is hebben we gekozen om een planning te maken voor het inzamelen van het huisafval. Het planningsprobleem dat moet worden opgelost lijkt op het Vehicle Routing Problem (VRP). Het doel van het VRP is om een optimale set met routes te maken (Winston, 2004). Simpele variant van het VRP is het Traveling Salesman Problem. Hierbij is er een vertegenwoordiger die een aantal steden langs moet. De vertegenwoordiger is op zoek naar de kortste route waarbij hij alle steden bezoekt en waarbij hij begint en eindigt in zijn of haar woonplaats.

Het VRP kent veel variaties. In de meeste simpele vorm van het VRP worden producten afgeleverd. In het geval van dat er producten worden opgehaald kan dit gemodelleerd worden alsof er lege ruimte wordt afgeleverd. In sommige gevallen wordt er zowel in- als uitgeladen en hiervoor zijn uitgebreidere modellen gemaakt. Andere toevoegingen zijn restricties op de afstand of tijd die een voertuig mag rijden, of een limiet op de laadcapaciteit van een voertuig. Een andere toevoeging is het toestaan van het rijden van meerdere routes per voertuig.

3.2 Modellen en methodes om het Vehicle Routing Probleem oplossen

We bespreken twee modellen en drie verschillende methodes om het VRP op te lossen in deze paragraaf. Deze zijn de modellen en methodes die we tijdens het literatuuronderzoek het meest tegenkwamen. In paragraaf 3.2.1 bespreken we het model Arcs gevolgd door Mixed Integer (Linear) Programming wat zowel een model als methode is in paragraaf 3.2.2. en door Local Search in paragraaf 3.2.3. Dit wordt afgesloten met een korte conclusie in paragraaf 3.2.4.

3.2.1 Arcs en Nodes

Eén manier om dit probleem te modelleren is door alle wegen en kruispunten weer te geven met Arcs en Nodes. Dit model is een onderdeel van grafentheorie. Een Node representeert een kruispunt en een Arc staat voor een weg. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen een traject van Node A naar B met een traject van Node B naar A gaan, omdat er dan rekening gehouden wordt met eenrichtingsverkeer en andere verkeersomstandigheden. Donate et al. (2008) hebben hun waste collection model gemaakt door te zoeken naar de kortste route om alle Arcs te bezoeken.

3.2.2 Mixed Integer (Linear) Programming

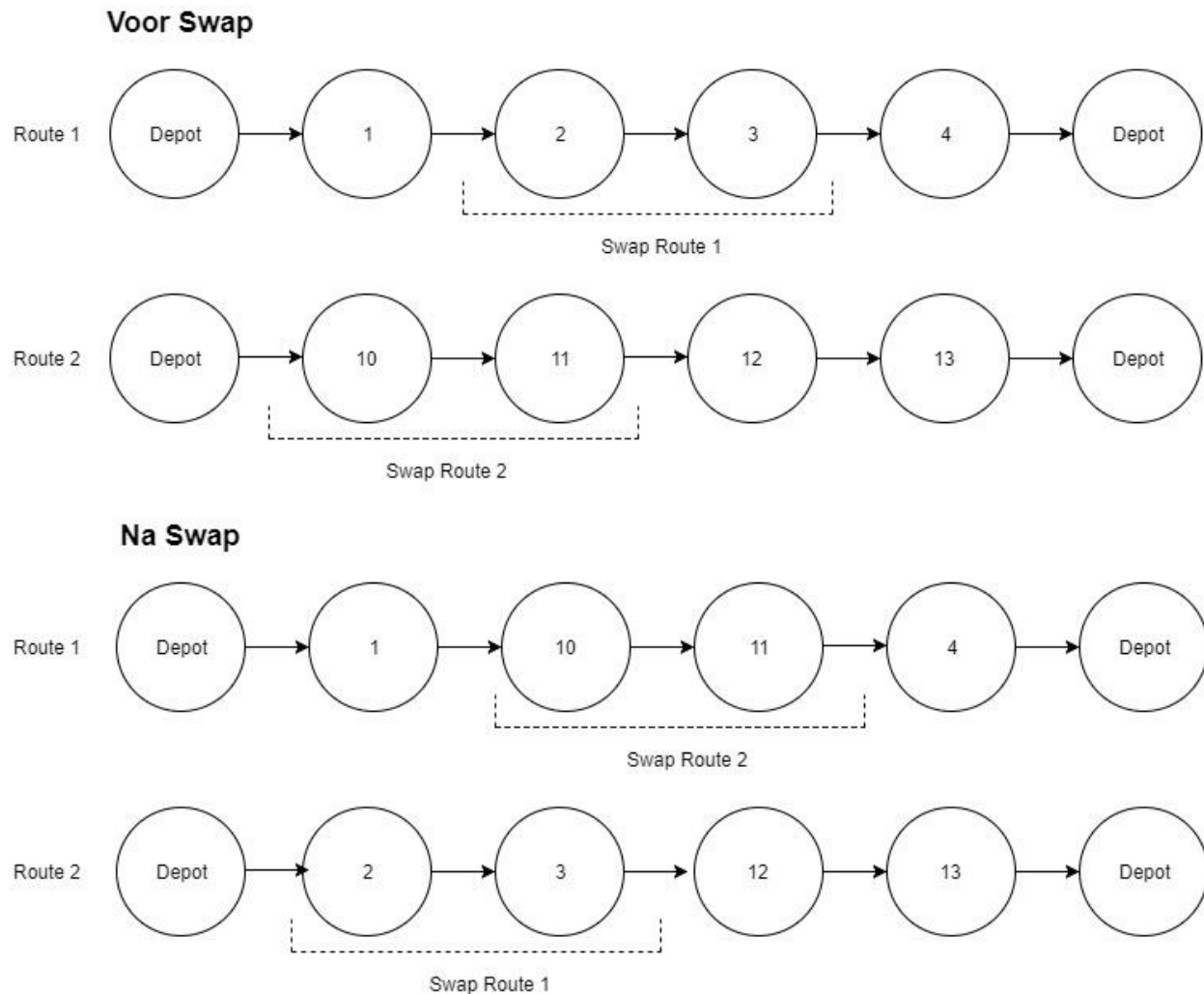
Mixed Integer (Linear) Programming (MIP/MILP) is zowel een methode als model. Het doel van Integer Programming is om een functie te minimaliseren of te maximaliseren. Hierbij wordt er een doel functie opgesteld, bijvoorbeeld een minimalisatie van alle opslagkosten, waarvan het optimum gezocht wordt. Mixed betekent dat sommige variabelen geheeltallige waardes moeten hebben, en dat andere variabelen hebben een niet geheeltallige waarde. Het is Linear wanneer er geen kwadratische relaties

zijn tussen de variabelen. Er worden beslisvariabelen gekozen die worden aangepast om de optimale oplossing te vinden. Het laatste onderdeel zijn bepaalde voorwaarden waar de oplossing aan moet voldoen. Deze voorkomen bijvoorbeeld dat een voertuig niet meer mee mag nemen dan de capaciteit die in de parameters staat. Wanneer MIP/MILP als methode wordt gebruikt, is dit met behulp van solver software. Markov, Varone, en Bierlaire (2016) en Azadeh en Farrokhi-Asl (2017) lossen hun VRP door het te modeleren als een MIP/MILP. Het is ook mogelijk om het VRP model op te stellen als MIP/MILP, maar dan een andere methode te gebruiken om hem uit te rekenen of te benaderen.

3.2.3 Local Search

Voor het oplossen van het Vehicle Routing Probleem is er één aanpak die veel gebruikt wordt: De Local Search methode. Deze methodiek heeft de naam Local Search omdat er bij de *buren van de oplossing* gezocht wordt naar een betere oplossing. De burens zijn oplossingen die sterk lijken op de originele oplossing, maar waarbij er een klein onderdeel is veranderd. Bij toepassing van Local Search zijn er twee onderdelen nodig: de metaheuristiek en het algoritme om burens te creëren. Bij local search wordt er eerst een startoplossing gegenereerd, waarna de oplossing wordt verbeterd met behulp van algoritmes die kleine aanpassingen maken in de oplossing. De manier waarop de kleine aanpassingen worden gemaakt is afhankelijk van de gekozen algoritme(s). De Local Search wordt vaak herhaalt om zo veel verschillende oplossingen te testen. Nadat het burens algoritme een nieuwe oplossing heeft gevonden maakt de metaheuristiek een beslissing of het de volgende iteratie begint met de oude oplossing of met de nieuwe oplossing. De metaheuristiek is nodig om uit lokale optima te kunnen ontsnappen. Omdat de Local Search maar kleine aanpassingen maakt kan het voorkomen dat er geen nieuwe aanpassing mogelijk is die beter is dan de gevonden oplossing. Maar de optimale oplossing kan bestaan routes die sterk afwijken van de originele oplossing. Als er alleen maar gekeken werd naar betere oplossingen zal die oplossing nooit gevonden worden met Local Search. Daarom zijn er metaheuristicen zodat er ook gezocht kan worden naar oplossingen die minder lijken op het gevonden optimum. Dit herhaalt zich een aantal keren totdat van te voren bepaalde condities zijn behaald. Deze condities bestaan vaak uit een maximaal aantal iteraties of een maximale tijdsduur.

Er is een groot aantal verschillende algoritmes die kunnen worden gebruikt bij het burens algoritme. Bij Swap worden er twee delen van een route met elkaar omgewisseld. Het Swap algoritme is grafisch weergegeven in figuur 3.1, waarbij de cirkels locatie zijn op de route. Hierbij blijft de volgorde in de stukken route die verwisseld worden hetzelfde. Het Move algoritme werkt door een deel van een route te verplaatsen naar een andere plaats in dezelfde route of een andere route. Ook hierbij verandert de volgorde van de wijken in het stuk route dat verplaatst is niet.



Figuur 3.1, Voorbeeld van een Swap algoritme tussen twee routes

3.2.4 Conclusie over het VRP oplossen

Er zijn heel erg gevarieerde modellen en methodes om het VRP op te lossen. Voor het maken van ons model zijn er veel verschillende restricties. Vanwege de beperkte tijd is het daarom lastig om een nieuwe methode goed genoeg te leren zodat de restricties correct gemodelleerd worden. Local Search is een methode die goed past bij dit probleem en waar we ook goed mee kunnen werken. Daarom gaan we verder in op de literatuur rondom Local Search. Het model waar onze voorkeur naar uit gaat is het Arcs en Nodes model, omdat we beide modellen wel goed kennen en goed kunnen gebruiken, maar het Arcs en Nodes model is makkelijker uit te leggen aan mensen die geen of weinig kennis hebben van het VRP.

3.3 Meta heuristieken voor Local Search

Bij Local Search zijn er twee onderdelen die gekozen moeten worden: De metaheuristiek en minimaal één algoritme om de burens te maken. De metaheuristieken verschillen sterker van elkaar dan de algoritmes om de burens te genereren. Daarom hebben we gezocht naar een geschikte metaheuristiek voor ons VRP. De algoritmes om burens te maken zijn relatief eenvoudig en daarom is daar geen paragraaf aan gewijd in het literatuurhoofdstuk.

In paragraaf 3.3.1 wordt Simulated Annealing uitgelegd, vervolgens worden Genetic Algorithms uitgelegd in paragraaf 3.3.2, Tabu Search in paragraaf 3.3.3 en Ant Heuristics in paragraaf 3.3.4. In paragraaf 3.3.5 is er een conclusie over de metaheuristieken.

3.3.1 Simulated Annealing

Kim, Kim en Sahoo (2006) maken gebruik van Simulated Annealing. Deze heuristiek is afgeleid van metaalvorming waarbij een stuk metaal op een gecontroleerde wijze wordt afgekoeld om zo de eigenschappen van het metaal te beïnvloeden. Bij deze heuristiek worden er tijdens het zoeken naar betere oplossingen ook slechtere oplossingen geaccepteerd. Of een slechtere oplossing wordt geaccepteerd is afhankelijk van de temperatuur van de Simulated Annealing. Bij elke nieuwe oplossing neemt de kans op het accepteren van een oplossing die slechter is verder af. De andere factor bij het bepalen of een slechtere oplossing wordt geaccepteerd is hoeveel slechter de oplossing is ten opzichte van de vorige oplossing. Het zoeken naar andere oplossingen gaat door totdat het een van te voren vastgesteld eindtemperatuur heeft bereikt.

3.3.2 Genetic Algorithms

De metaheuristiek Genetic Algorithms werkt op een wijze die vergelijkbaar is met de overdracht van genen tussen verschillende generaties, een methode die gebruikt wordt door Azadeh en Farrokhi-Asl (2017). Van een generatie worden telkens nieuwe generatie gemaakt die lijken op de vorige generatie, maar die op een klein onderdeel verschillen van de ouders. De gevonden oplossingen worden vergeleken met de oude oplossing en de beste oplossing wordt onthouden. Dit proces herhaalt zich een vastgesteld aantal keren.

3.3.3 Tabu Search

Benjamin en Beasley (2010) maken gebruik van de Tabu Search heuristiek. Bij deze heuristiek wordt er een lijst bijgehouden van bewerkingen die recent gebruikt zijn gemaakt door de Local Search. Alle bewerkingen op deze Tabu lijst mogen niet gebruikt worden, en op die manier dwingt de heuristiek zichzelf om nieuwe oplossingen te proberen. De beste uitkomst van alle burens die niet taboe zijn wordt de nieuwe oplossing, ook al is deze oplossing slechter dan de originele oplossing. Daarna herhaalt dit zich tot een vastgesteld eindpunt. Er wordt een lijst bijgehouden met alle oplossingen waarmee gestart wordt en aan het einde wordt de beste van deze oplossingen het resultaat dat de Tabu Search vindt.

3.3.4 Ant Colony Heuristic

De metaheuristiek die Donati et al. (2008) gebruiken om uit lokale maxima te komen is de Ant Colony Heuristic. Hierbij worden er verschillende “mieren” uitgezonden om een oplossing te vinden. De mieren zoeken op een semi-random manier een nieuwe route. De kansen bij het kiezen van een nieuwe route zijn afhankelijk van de eerdere resultaten, op een vergelijkbare manier zoals het met mieren gaat die eten zoeken. Mieren laten een feromoon achter wanneer ze terug keren naar het nest met eten. Andere mieren zullen dan sneller die route nemen en wanneer ze eten vinden versterken ze het feromoon op het pad. Over tijd verdampt de achtergelaten feromoon. Wanneer het pad langer is, is er meer tijd voor verdamping. Deze verdamping zorgt ervoor dat er ook buiten een lokaal optimum gezocht kan worden.

3.3.5 Conclusie van de metaheuristieken

De conclusie voor de metaheuristieken lijkt op de conclusie bij de VRP-oplossingsmethode. Er is een aantal verschillende methodes met verschillende voor- en nadelen. Maar vanwege tijdsbeperkingen is het vooral belangrijk om een metaheuristiek te gebruiken die we goed kennen. Uit deze vier

metaheuriestieken is Simulated Annealing de enige die we al goed kenden voor dit onderzoek. Daarom ligt onze voorkeur bij het vinden van een basismodel bij een model dat gebruikt maakt van Simulated Annealing.

3.4 Literatuur conclusie

Het maken van een planning voor het legen van de containers valt onder het Vehicle Routing Probleem. Om dit op te lossen zijn er meerdere mogelijkheden, maar vanwege tijdsbeperkingen zijn er weinig opties uit de lijst van veel gebruikte methoden. Voor het basismodel gaat de voorkeur uit naar een methode dat gebruikt maakt van Local Search om het VRP op te lossen met als metaheuristiek Simulated Annealing.

Hoofdstuk 4: Dataverzameling en verwerking

In dit hoofdstuk is er voor de leggen we voor de belangrijke de data uit hoe deze verzameld is en is verdedigen we waarom de gekozen data en dataverwerking geschikt is voor het model. De planning van het model hoeft niet in alle gevallen haalbaar te zijn, tijdens de drukste periodes mag het uitlopen. De doelstelling is om een schema op te stellen voor de gemiddelde situatie, en daarvoor was de tijd die het ledigen kost constant genoeg. De gemiddelde situatie is de situatie buiten de pieken om waarbij er geen uitval van vuilniswagens is. Om een gemiddelde situatie (hoofdstuk 5) te modeleren is er gekeken naar de gemiddeldes en naar de meest voorkomende waardes bij de data die gevonden is, waarbij we zochten naar veel voorkomende waarden die niet ver van het gemiddelde afwijken. Deze waardes zijn gebruikt in het model. De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt: Eerst is er een korte uitleg hoe de dataverzameling in zijn werk gaat (paragraaf 4.1), daarna de eerste aanpak om de data te verzamelen (paragraaf 4.2) en omdat deze manier te langzaam bleek is er een tweede aanpak gekozen (paragraaf 4.3) aanpakken om de data te verzamelen. Als laatste bespreken we de opdeling van de wijken (paragraaf 4.4).

4.1 Algemene uitleg wijkdataverzameling

Om het legen van de containers en het rijden van container tot container te modeleren is er een verwacht aantal containers berekend en gemiddelde tijdsduur vastgesteld. Dit is de gemiddelde tijd die het kost om een container te legen en naar de volgende container te rijden. Deze tijdsduur is per wijk vastgesteld. De wijken die we hebben gekozen bestaan grotendeels uit stukken van bestaande routes. Figuur 4.1 is een voorbeeld van de data die we van Dusseldorp kregen.

1	date	time	postcode	street	number	letter	suffix	city	adresstype	tagtype	weight	collectionunit_code
2	04-11-2016	07:31:32	3848AA	PARALLELWEG	3		0001	HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
3	04-11-2016	07:32:18	3848BP	PAUWENKAMP	29			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
4	04-11-2016	07:32:18	3848BP	PAUWENKAMP	15			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
5	04-11-2016	07:32:33	3848BP	PAUWENKAMP	13			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
6	04-11-2016	07:32:33	3848BP	PAUWENKAMP	25			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
7	04-11-2016	07:33:03	3848BP	PAUWENKAMP	17			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
8	04-11-2016	07:33:03	3848BP	PAUWENKAMP	23			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
9	04-11-2016	07:33:16	3848BP	PAUWENKAMP	21			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
10	04-11-2016	07:33:17	3848BP	PAUWENKAMP	19			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
11	04-11-2016	07:33:46	3848BP	PAUWENKAMP	11			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
12	04-11-2016	07:34:11	3848BP	PAUWENKAMP	7			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
13	04-11-2016	07:35:04	3848AJ	HANEKAMP	128			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
14	04-11-2016	07:35:04	3848AJ	HANEKAMP	142			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
15	04-11-2016	07:35:18	3848AJ	HANEKAMP	132			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
16	04-11-2016	07:35:18	3848AJ	HANEKAMP	130			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
17	04-11-2016	07:35:32	3848AJ	HANEKAMP	134			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
18	04-11-2016	07:35:32	3848AJ	HANEKAMP	138			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
19	04-11-2016	07:36:29	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	102			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
20	04-11-2016	07:36:29	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	104			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
21	04-11-2016	07:36:51	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	98			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
22	04-11-2016	07:36:51	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	100			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
23	04-11-2016	07:37:14	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	94			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
24	04-11-2016	07:37:14	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	96			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
25	04-11-2016	07:37:36	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	92			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
26	04-11-2016	07:37:36	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	66			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
27	04-11-2016	07:38:02	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	60			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
28	04-11-2016	07:38:02	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	62			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
29	04-11-2016	07:38:33	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	52			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
30	04-11-2016	07:38:33	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	50			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
31	04-11-2016	07:38:49	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	51			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
32	04-11-2016	07:38:49	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	51			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
33	04-11-2016	07:39:03	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	54			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
34	04-11-2016	07:39:03	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	56			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5
35	04-11-2016	07:39:19	3848BR	NIEUWE GRENSWEG	58			HARDERWIJK	PRIVATE	RST240	0.000	5

Figuur 4.1 Ruwe lediging data

4.2 Eerste aanpak wijkdataverzameling

In eerste instantie hebben we geprobeerd per wijk vast te stellen hoeveel huishoudens er containers aanbieden. Daarna hebben we gekeken naar de ledigingen van de containers in 2016 om te zien hoeveel containers er per twee weken periode per afval type er werden aangeboden in de wijk. Dit is per twee weken bekeken omdat in de normale situatie er eens per twee weken restafval en GFT afval wordt opgehaald. Hierdoor is zichtbaar of er een significant verschil is in het aangeboden aantal containers door het jaar heen, en is het ook mogelijk om te berekenen hoeveel containers er in een normale situatie worden aangeboden. De tijd tussen het legen van twee containers is een handige tijdseenheid, omdat deze data al bekend is, en dit rekening houdt met de rijtijd tussen de containers. Dusseldorp heeft geen data voor de kilometers die een vuilniswagen aflegt, en omdat huizen en containers niet altijd op dezelfde plek zijn is het ook lastig om deze goed te bepalen. Daar werken we omheen door de tijd tussen het registreren van twee containers te nemen.

Het bleek niet haalbaar om de aanpak waar we mee begonnen waren, waarbij we per wijk de straten en postcodes langs gingen, vol te houden omdat deze te tijdrovend was. Het was erg arbeidsintensief om alle straten, postcodes en huisnummers langs te gaan om te kijken of deze in het voorgaande jaar tenminste één keer een afvalcontainer hadden aangeboden. Deze aanpak was gekozen omdat dit inzicht gaf in de aanbodpercentages per wijk, en dit Dusseldorp zou kunnen helpen in het begrijpen van het effect dat de invoering van Diftar zou hebben. De gegevens die verzameld zijn met de eerste aanpak zijn behouden omdat de gegevens zelf goed zijn en deze zijn ook gebruikt als input voor het model.

4.3 Tweede aanpak wijkdataverzameling

Voor het vervolg van de dataverzameling is er opnieuw gekeken naar de routes die gereden worden. De verandering is dat nu alleen werd gekeken naar het beginpunt van de wijk en naar het eindpunt. Hierbij wordt er gekeken naar een logisch eindpunt van de route. Wanneer mogelijk werd dit eindpunt dicht bij hoofdwegen gekozen, zodat de vuilniswagens snel tussen de wijken kunnen rijden. Na het vaststellen van de begin- en eindpunten van de routes is er gekeken naar het aantal containers dat er is geleegd door het voertuig dat aan het beginpunt de container heeft geleegd totdat deze het eindpunt bereikt. Dit betekent dat er op nauwkeurigheid wordt ingeleverd, omdat het mogelijk is dat er een andere vuilniswagen is gekomen om te helpen bij het legen van de wijk. Wanneer er een vuilniswagen eerder klaar is met het rijden van de route helpen ze vaak met andere routes mee. Hier wordt wel rekening mee gehouden bij de eerste aanpak omdat hier enkel wordt gekeken naar postcode, en deze is onafhankelijk van het voertuignummer. Dit probleem wordt opgevangen omdat er wordt gekeken naar de resultaten van heel 2016. Deze resultaten kunnen gefilterd worden met behulp van de inzichten die zijn opgedaan bij de eerste aanpak. De uitkomsten van deze dataverzameling was een verwacht aantal containers per wijk en de verwachte tijd die het kost om één container te legen inclusief de rijtijd naar de volgende container. Deze tijd is handig om te weten omdat dit gebruikt kan worden om what-if analyses te doen bij afwijkende containeraantallen. In figuur 6.2 is een voorbeeld van de verwerkte data. Bovenaan staan het beginpunt, eindpunt, het verwachte aantal containers en de tijd die het kost om één container te legen en naar de volgende container te rijden. De kolom genaamd “correctie” is het aantal containers gecorrigeerd voor de eerste container en onderbrekingen. Omdat de totale inzameltijd wordt gedeeld door het aantal containers telt de eerste container niet mee. Verder worden onderbrekingen van meer dan 20 minuten niet meegenomen omdat een onderbreking die zo lang duurt waarschijnlijk het resultaat is van een pauze of het gevolg is van een bezoek aan de stortplaats. Dit wordt apart in het model

opgenomen en moet hier uitgefilterd worden. Verder staan er het wagennummer en de datum bij om inzicht te geven of dit een normale inzameldag was.

Wijknumr	StartPunt	EindPunt		240	40 sec					140	53 sec			
81	Julianalaa	Arrianehof 33												
Ermelo														
Rest	Wagen Nu	Totaal gel	Correctie	Inzameltij	Gemiddelde Tijd		GFT	Wagen Nu	Totaal gel	Correctie	Inzameltij	Gemiddelde Tijd		
	3	151	149	01:37:39	00:00:39	4-1-2016		3	64	63	01:18:28	00:01:15	11-1-2016	
	3	150	149	01:30:28	00:00:36	18-1-2016		3	51	50	01:40:42	00:02:01	25-1-2016	
	3	206	203	02:28:07	00:00:44	1-2-2016		3	52	51	01:13:17	00:01:26	8-2-2016	
	3	241	238	03:50:15	00:00:58	15-2-2016		3	63	62	01:48:03	00:01:45	22-2-2016	
	3	356	354	04:16:01	00:00:43	29-2-2016		3	162	161	02:17:23	00:00:51	7-3-2016	
	3	169	167	01:39:20	00:00:36	14-3-2016		3	110	107	01:55:45	00:01:05	21-3-2016	
	3	116	115	01:14:17	00:00:39	26-3-2016		3	111	108	01:26:51	00:00:48	4-4-2016	
	3	205	203	02:36:15	00:00:46	11-4-2016		3	123	121	02:06:03	00:01:03	18-4-2016	
	3	226	224	02:33:02	00:00:41	25-4-2016		3	85	84	01:21:29	00:00:58	2-5-2016	
	3	170	168	01:32:45	00:00:33	9-5-2016		3	84	83	01:23:44	00:01:01	14-5-2016	
	1	199	196	02:29:21	00:00:46	23-5-2016		3	103	102	01:42:21	00:01:00	30-5-2016	
	1	321	318	03:04:22	00:00:35	6-6-2016		3	145	143	01:49:52	00:00:46	13-6-2016	
	3	214	212	02:21:58	00:00:40	20-6-2016		3	132	129	01:46:08	00:00:49	27-6-2016	
	3	236	233	02:34:58	00:00:40	18-7-2016		3	159	158	02:37:35	00:01:00	25-7-2016	
	3	236	233	02:34:58	00:00:40	18-7-2016		3	159	158	02:37:35	00:01:00	25-7-2016	
	3	229	227	02:30:48	00:00:40	1-8-2016		3	132	129	01:52:51	00:00:52	8-8-2016	
	3	236	233	02:36:17	00:00:40	15-8-2016		3	142	140	01:56:33	00:00:50	22-8-2016	
	3	245	243	02:39:50	00:00:39	29-8-2016		3	101	100	01:09:32	00:00:42	5-9-2016	
	3	163	162	01:33:41	00:00:35	12-9-2016		3	133	130	01:55:37	00:00:53	19-9-2016	
	3	209	206	02:24:37	00:00:42	26-9-2016		3	135	133	02:10:27	00:00:59	3-10-2016	
	3	200	198	02:13:23	00:00:40	10-10-2016		3	117	116	01:31:15	00:00:47	17-10-2016	
	3	241	239	02:25:05	00:00:36	24-10-2016		3	94	93	01:24:39	00:00:55	31-10-2016	
	0	304	302	03:37:42	00:00:43	7-11-2016		0	125	123	01:57:04	00:00:57	14-11-2016	
	3	272	270	02:44:04	00:00:36	21-11-2016		3	111	110	01:22:38	00:00:45	28-11-2016	
	3	228	226	03:02:30	00:00:48	5-12-2016		3	86	84	01:39:51	00:01:11	12-12-2016	
	3	254	252	02:34:00	00:00:37	19-12-2016		3	82	80	02:19:58	00:01:45	24-12-2016	

Figuur 6.2 Verwerkte data

4.4 Indeling wijken

De wijken werden ingedeeld door te kijken naar huidige routes en te kijken wat een logische plaats is om deze route in stukjes op te delen. De bestaande routes zijn dagvullend, maar het doel van het model is om een voorstel voor een nieuw schema te doen, wat betekent dat de routes niet in zijn geheel bruikbaar zijn. Er zijn meerdere redenen voor de keuze om de bestaande routes in stukken op te delen in plaats van helemaal nieuwe routes te maken. De meest voor de hand liggende reden is de tijdsbeperking waardoor het niet haalbaar was om dit opnieuw te maken. Maar er zijn meer goede redenen om niet helemaal nieuwe routes te maken. Er zijn namelijk een relatief groot aantal constraints waarmee rekening moet worden gehouden. In sommige straten staan de containers alleen aan één kant van de straat, in andere straten aan beide kanten. Het is gevaarlijk en onwenselijk voor een belader om de straat over te steken voor een container, en met een zijlader is dit niet eens mogelijk. Dit verhoogt de complexiteit van de routeplanning. Het wordt nog lastiger gemaakt wanneer er doodlopende straten zijn en er niet gedraaid kan worden. In de bestaande routes staat er heel nauwkeurig gedocumenteerd wanneer er vooruit en achteruit in straten moet worden gereden. Er is daarnaast meer verkeershinder die het complex maken om een geheel nieuwe planning te maken, waaronder in fietspaaltjes die in sommige gevallen verwijderd mogen worden, smalle straten en éénrichtingsverkeer. Dit alles zorgt ervoor dat de routeplanning van de vuilniswagens veel complexer is dan die van een standaard Vehicle Routing Probleem. Het betekent dat naast het feit dat een nieuwe planning maken tijdrovend is, het ook complex is om een nieuwe planning te ontwerpen en de kans op fouten in de nieuwe planning groot is.

Door gebruik te maken van routes die al langere tijd worden gereden worden deze fouten voorkomen. De bestaande routes zijn ongetwijfeld niet optimaal, maar er is wel over nagedacht door planners en chauffeurs die er een stuk meer ervaring mee hebben dan ons, en daarom is er voor gekozen gebruik te maken van de bestaande routes.

4.5 Conclusie dataverzameling

Er was veel data over de ledigingen beschikbaar, maar niet over de routes. Uit de ledigingen zijn routes afgeleid en deze zijn in stukken opgedeeld en omgezet naar de wijken voor ons model. We hebben het aantal containers ingeschat en de tijd die het kost om de containers te legen. Dit is gedaan voor rest- en GFTafval.

Hoofdstuk 5: Keuze en werking van het basismodel en onze methode

In het hoofdstuk 3 zijn er al een paar voorkeuren vastgesteld voor het basismodel. Er zijn nog verdere vereisten waaraan dit model moet voldoen. Eerst worden de aanpassingen op het standaard VRP besproken (paragraaf 5.1). Vervolgens wordt de keuze voor het basismodel verteld (paragraaf 5.2) en daarna wordt de werking uitgelegd van het model dat gekozen is (paragraaf 5.3). Vanaf paragraaf 5.4 gaan we in op de veranderingen die we hebben gedaan op het basismodel en de instellingen van onze methode om deze geschikt te maken voor het oplossen van het probleem. Eerst vertellen we welke aanpassingen we hebben gemaakt op het basismodel (paragraaf 5.4), gevolgd door de parameters voor onze simulated annealing (paragraaf 5.5) en daarna gaan we in op de aannames die we gemaakt hebben (paragraaf 5.6)

5.1 Aanpassingen op het standaard VRP

Om de planning goed te kunnen modelleren maken we een aantal toevoegingen op het standaard VRP. De manier waarop we deze aanpassingen opnemen in het model leggen we in de tweede helft van dit hoofdstuk uit. Hier is het onderwerp waarom zijn deze aanpassingen nodig.

De eerste aanpassing is dat een voertuig meerdere routes mag rijden. In een normale situatie rijden de vuilniswagens gedurende de hele werkweek, volgens een schema dat zich elke vier weken herhaalt. Dit betekent dat elke vuilniswagen per schemacyclus twintig werkdagen heeft. Daarnaast wordt het storten tussendoor ook als een onderbreking van de route gezien in het klassieke VRP. Na het storten kan een vuilnisauto zonder problemen verder werken, en daarom moet dit op een goede manier gemodelleerd worden. Het verschil tussen meerdere dagen werken en meerdere keren storten is dat het bij storten gaat om één dag waarbij er in een route meerdere keren gestort kan worden. Meerdere dagen werken betreft het aantal routes dat een voertuig kan rijden voordat er een extra voertuig nodig.

De volgende toevoeging is de beperkte werktijd die een chauffeur heeft op een dag. Er zijn beperkte inzamelings tijden vastgesteld door de gemeenten, en er is ook een wettelijk verplichte pauze waar rekening mee gehouden moet worden. Het maakt niet uit hoe laat op de dag het afval wordt opgehaald, zolang dit maar kan op de vastgestelde dag.

Verder moet het afval per gemeente gescheiden ingezameld worden, dus mag een vuilniswagen maar naar een beperkt aantal wijken na het inzamelen van afval in de voorgaande wijk. Hierbij geldt ook dat wanneer er papier wordt ingezameld in wijk 1 er niet daarna GFT afval in wijk 2 kan worden opgehaald. En zoals reeds vermeld in hoofdstuk 1 kan een zijlader niet op alle plaatsen afval inzamelen. Ook deze beperking moet opgenomen worden in het uiteindelijke model.

De laatste twee aanpassingen op het standaard VRP zijn dat niet alle voertuigen elke container kunnen legen en dat er verschillende voertuigtypes zijn. Dit is het gevolg van straten waarin alleen achterladers containers kunnen legen en van de diamond/niet diamond containers waarbij er aparte zijladers nodig zijn voor de twee type containers. Er moet dus de mogelijkheid zijn om te specificeren welke containers een vuilniswagen wel en niet mag ophalen. En om de containers met de juiste vuilniswagen te legen is het ook nodig dat er ondersteuning is voor verschillende voertuigtypes.

Met al deze aanpassingen op het standaard VRP is er geen vaste naam voor het type model dat we gaan gebruiken. Dit is ook niet noodzakelijk; belangrijk is dat de VRP variant die gebruikt wordt als basismodel

deze verschillende restricties ofwel bevat ofwel de ruimte biedt om dit zelf toe te voegen aan het eigen model.

5.2 Keuze voor het basismodel

Tijdens het literatuuronderzoek zijn we een aantal verschillende modellen tegengekomen. Hierbij is zowel gezocht naar modellen specifiek voor afvalinzameling, als algemene VRP modellen die de juiste aanpassingen hebben. Toen we deze modellen controleerden voor de aanpassingen die we eerder noemden, en op de voorkeuren die uit het literatuurhoofdstuk naar voren kwamen is er één model dat op beide gebieden de juiste kwalificaties heeft. Dit is het model van Kim, Kim en Sahoo (2006). Dit model maakt een routeplanning met behulp van Simulated Annealing. Het model dat ze hebben ontwikkeld is een standaard geworden om nieuwe modellen mee te vergelijken. Dit is dus een model dat door andere experts wordt gezien als een goed model. Dit model is uiteindelijk gekozen omdat het een veelgebruikt model is, er gemakkelijk mee te werken is en omdat het model goed aan te passen is.

5.3 Werking van het basismodel

Hier leggen we uit hoe het model werkt en waarom het model zo werkt. Een technische uitleg van het model is te vinden in bijlage B. Het model begint met het zoeken van centrale wijken in de regio. Deze centrale wijken vormen elk het begin van een route. Het aantal centrale wijken dat gezocht wordt is afhankelijk van de hoeveelheid werk in een gemeente. Het model maakt een schatting van de hoeveelheid werk en wanneer blijkt dat de schatting te conservatief is herstart het model met een extra centrale wijk. Door het vinden van deze centrale wijken is de startoplossing compacter en daarmee korter. Ook helpt dit om routes te maken die minder variëren in tijd.

Met deze centrale wijken wordt er gezocht naar een wijk die supercentraal ligt tussen de centrale punten. Deze supercentrale wijk wordt gebruikt om de volgorde te bepalen waarmee de resterende wijken aan routes worden toegewezen. De wijk die het verste weg ligt van de supercentrale wijk wordt als eerste toegewezen aan een route. De route waaraan deze wordt toegewezen is de route waarvan de centrale wijk het dichtst bij de wijk ligt die ingepland wordt. Wanneer deze route vol is wordt de wijk in een andere route. Dit is de route waarbij de centrale wijk van de route het dichtst bij de nieuwe wijk ligt en waarvan de route nog niet vol is. Of de route al vol is wordt met een simpel en snel algoritme bepaald. Dit proces herhaalt zich totdat alle wijken zijn ingedeeld in een route.

Nadat er een eerste planning is gevonden, de startoplossing, wordt deze verbeterd. Om dit te doen worden kleine stukken route verplaatst of omgewisseld. Dit gebeurt eerst tussen verschillende routes en daarna worden de routes zelf geoptimaliseerd. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van de metaheuristiek Simulated Annealing om te bepalen of een oplossing die slechter is toch wordt aangenomen. Het is verstandig om eerst tussen alle routes te optimaliseren en pas daarna de individuele routes zelf. Wanneer eerst de individuele routes worden verbeterd zorgt dit in het algemeen dat de planning beter is. Daarom is het lastiger om met een kleine aanpassing tussen de routes een planning te vinden die beter is. Dit heeft als gevolg dat het algoritme het moeilijker heeft om de routes te optimaliseren. Om Simulated Annealing te helpen met het verbeteren van de routes wordt er eerst tussen de routes verbeterd en pas daarna worden de routes zelf geoptimaliseerd.

5.4: Integratie van model vereisten en gegevens

In dit hoofdstuk en de voorgaande hoofdstukken zijn er verschillende eigenschappen en vereisten genoemd voor het model. Hierbij werd er uitgelegd waarom deze onderdelen nodig zijn in onze methode. In dit hoofdstuk staat een aantal eigenschappen en vereisten op een rij en wordt vermeld hoe deze in onze methode zijn verwerkt. Dit is opgedeeld in vier secties: Een sectie met de wijkgegevens (paragraaf 5.4.1), een sectie met voertuiggegevens (paragraaf 5.4.2), een sectie met de simulated annealing parameters (paragraaf 5.4.3), en een sectie met overige modelgegevens (paragraaf 5.4.4).

5.4.1 Wijkgegevens

Bij de wijkgegevens zijn er twee belangrijke parameters per afval stroom. Dit zijn de kans dat de container bij de weg staat en de verwachte inhoud per container in tonnage. Deze gegevens worden dan gecombineerd met het aantal containers per wijk, een gegeven dat hetzelfde is voor alle afvalstromen. Er is gekozen voor het aantal verwachte containers in de wijk en niet voor het aantal woningen omdat het aantal containers per wijk makkelijker uit de data te halen was en het aantal en type woningen per wijk bepalen veel meer tijd kost. De berekening voor het moment dat de vuilniswagen vol zit maakt gebruik van al deze drie onderdelen. Een ander onderdeel is de tijd per container. Dit is de verwachte tijd die het kost om een container te legen plus de tijd die nodig is om de volgende container te pakken. Om in te schatten hoe lang het legen van alle containers in een wijk duurt wordt het totaal aantal containers met de kans en de leegtijd vermenigvuldigd. Per wijk zijn er twee binaire onderdelen die met ja of nee worden beantwoord: Of er een zijlader kan rijden, en of de wijk diamond containers heeft. Dit wordt gebruikt bij het bepalen welke vuilniswagen een container mag legen. Het laatste onderdeel is de gemeente waarin de wijk ligt, zodat het model alleen maar containers van dezelfde gemeente in één route stopt.

5.4.2 Voertuiggegevens

De eerste variabele bij de voertuiggegevens is de leegsnelheid. Deze wordt gebruikt om de verschillen in leegsnelheid tussen de zijlader en de achterlader mee te nemen in de berekeningen. Als er bij de zijlader 1,5 staat betekend dit dat er 50% extra tijd per containerlediging wordt gerekend ten opzichte van de waarde die bij wijkgegevens staat. Dit is een variabele die ook handig is voor What-If simulaties. Verder is er ook een storttijd per voertuigtype, hoewel er in ons model vanuit wordt gegaan dat deze hetzelfde is onafhankelijk van het type vuilniswagen omdat er geen duidelijk verschil zichtbaar was tussen de verschillende types. In het model zijn er drie voertuigtypes. Hiervoor is gekozen omdat dit de code versimpeld, en het doel van het model niet is om uit een grote selectie verschillende types van achter- en zijladers de beste te kiezen. Dusseldorp heeft bepaalde typen uitgekozen, maar hoeveel van welk type er nodig zijn is onbekend. Het laatste gegeven is de maximale hoeveelheid afval die een vuilniswagen kan legen voordat er gestort moet worden.

5.4.4 Overige modelgegevens

Er is één variabele die is opgesplitst tussen de verschillende afvaltypes. Dit is de frequentie waarmee het afval moet worden opgehaald. Dit wordt gebruikt om te berekenen hoeveel werk er is tijdens één cyclus van het inzamelschema. Verder kan er ook worden aangegeven of er afvalstromen gespiegeld worden opgehaald. Daarnaast is de werktijd per dag aan te geven en het aantal gemeentes wordt hier ook

ingesteld. Dit gegeven is ook niet iets wat snel zal wijzigen, en daarom leek het verstandiger om dit op deze manier vorm te geven. Het laatste gegeven dat ingesteld kan worden is de rijtijd naar de fictieve stortplaats (zie hoofdstuk 2). Wanneer er geen zijladers mogen storten op deze stortplaats kan hier een groot getal worden neergezet, zodat er nooit een moment kan zijn dat deze stortplaats de beste is.

5.5 Simulated Annealing parameters

Simulated Annealing maakt gebruik van twee wiskundige formules om te bepalen hoe groot de kans is op het accepteren van een slechtere oplossing. Hierin zijn er geen voorgeschreven formules, *maar er zijn wel een aantal eigenschappen waar ze moeten voldoen*. Wanneer de oplossing beter is dan de vorige oplossing wordt deze altijd aangenomen. Wanneer dit niet het geval is wordt de volgende acceptatieformule gebruikt:

$$e^{(TijdNieuweOplossing - TijdOudeOplossing) \div HuidigeTemperatuur}$$

Figuur 5.1 Acceptatiekans in onze methode

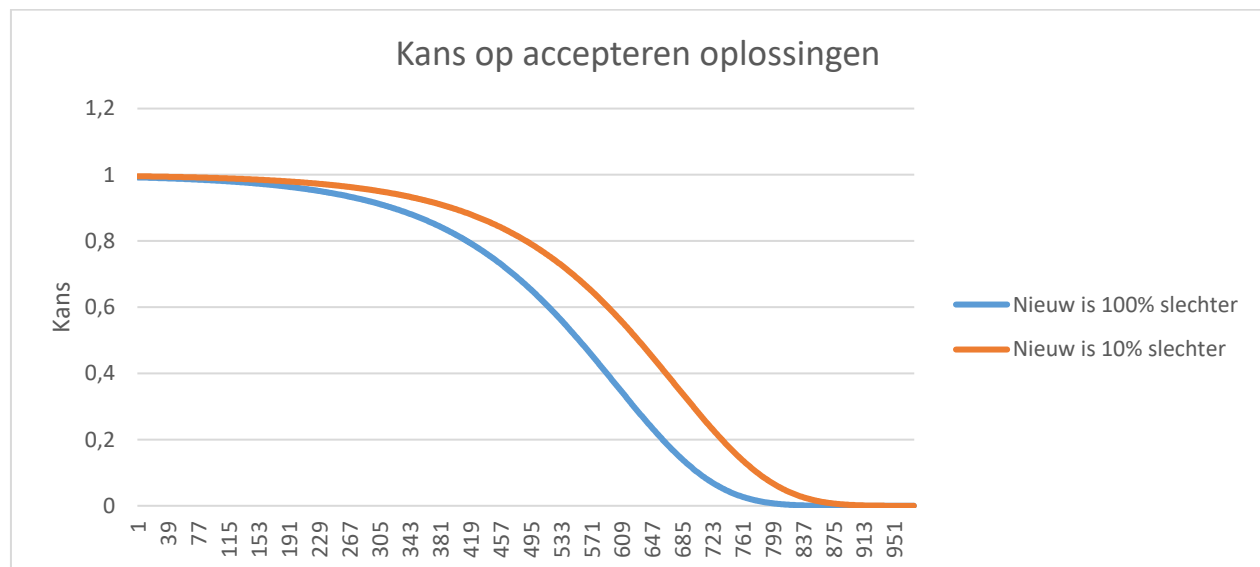
Hierbij wordt de verhouding tussen de oude en nieuwe oplossing gedeeld door de huidige temperatuur. Wanneer de temperatuur hoog is zal dit resulteren in een acceptatiekans die dicht bij 1 ligt. De huidige temperatuur wordt bepaald met de formule:

$$Begintemperatuur * (0,992^{aantal\ Iteraties})$$

De begintemperatuur is vastgesteld op 250 door te kijken naar aantal iteraties en de kansen op het accepteren van een slechtere oplossing. Voor de eerste iteratie geeft dit een kans op acceptatie bij een

oplossing die twee keer slechter is dan de oude oplossing ongeveer $1 - e^{(-2/1)/250} = 0.992 \approx 1$

De grafiek voor de temperatuur is te vinden in figuur 5.2

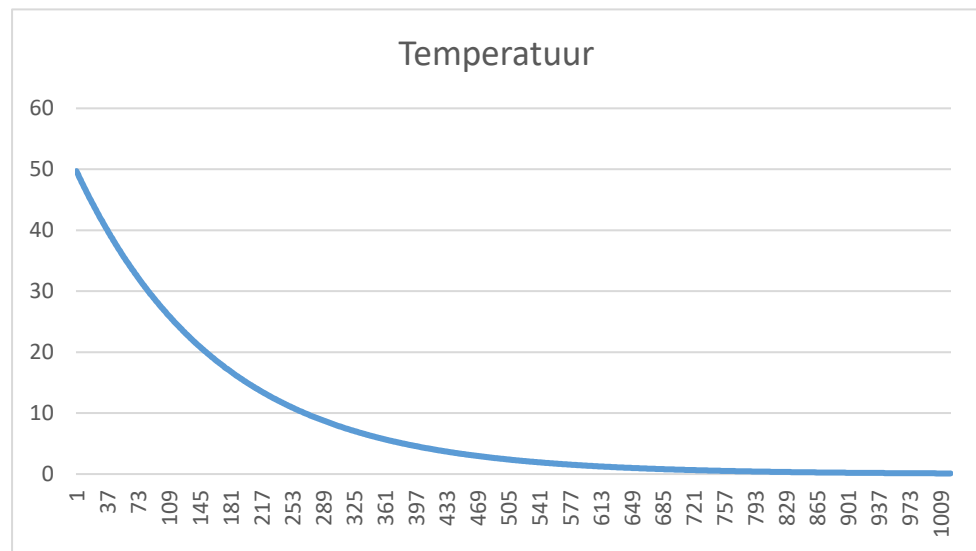


Figuur 5.2 Kans op acceptatie van nieuwe oplossingen bij gegeven achteruitgang

Na 975 iteraties is de kans op acceptatie van een oplossing die twee keer zo slecht is ongeveer 0,000000003. De Simulated Annealing gaat door totdat deze een temperatuur van 0,1 bereikt. Dit is na 975 iteraties, en aan het einde is de kans op acceptatie van een slechtere oplossing ongeveer 0. Dit geeft

de ruimte om te zoeken tussen oplossingen die net iets slechter zijn voordat we stoppen met zoeken naar betere oplossingen. We kozen deze parameters omdat deze zowel een goede acceptatiekans gaf voor net iets slechtere oplossingen en omdat deze een goede hoeveelheid iteraties heeft. Omdat de nieuwe routes vaak net iets slechter zijn is het belangrijk dat de kans op acceptatie niet te hoog is richting het einde van de Simulated Annealing.

Figuur 5.3 De temperatuur van de Simulated Annealing na 1000 iteraties



5.6 Modelaannames

Voor het model zijn er een aantal belangrijke aannames en keuzes gemaakt. Deze zijn verdeeld over drie categorieën: Voertuigaannames (paragraaf 5.2.1), Wijkaannames (paragraaf 5.2.2) en Algemene planningsaannames (paragraaf 5.2.3).

5.5.1 Voertuigaannames

Eén van de aannames die gemaakt zijn is dat de nieuwe vuilniswagens net zo efficiënt werken als de oude, omdat dezelfde type vuilniswagens gekocht zullen worden. Daarnaast helpt dit ook om de dataverzameling te vereenvoudigen. Verder wordt er aangenomen dat de methode moet werken voor *de gemiddelde situatie*. Dit is de situatie waarin geen feestdagen zijn, er geen pieken in het GFT-afval zijn en het niet bijzonder druk is. Dusseldorp kiest hiervoor, en dit is een keuze die logisch is. Wanneer de planning voor het de drukste periode gemaakt wordt resulteert dit in een overcapaciteit in de rest van het jaar. Een ander onderdeel van de voertuigaannames is dat er geen rekening wordt gehouden met vuilniswagens die kapot gaan of andere reparaties nodig hebben.

Verder hebben we ook een schatting gemaakt hoelang het duurt om afval te storten. Hiervoor hebben we in de data gekeken naar gaten tussen het legen van containers. In het geval dit in duurt van de stortlocatie was hebben we deze opgeslagen en de rijtijd hiervan af getrokken. Hieruit kwam de schatting dat het een vuilniswagen ongeveer twintig minuten kost om van aankomst tot vertrek bij het storten. Dit hebben we geverifieerd met de planning die dit ook een goede inschatting vond. Daarom hebben we een storttijd van twintig minuten gebruikt in ons model.

5.5.2 Wijkaannames

Een andere heel erg belangrijke keuze is dat bij het maken van een route alle wijken in een route in dezelfde gemeente moet liggen. Sommige bedrijven maken gebruik van apparatuur die het gewicht per container weegt maar Dusseldorp doet dit niet. Voor het model betekent dit dat er gestort moet worden voordat er afval in een andere gemeente mag worden ingezameld. Het probleem bij het modelleren hiervan is dat het erg lastig is om dit op een slimme manier te programmeren, omdat dit goed onderbouwde algoritmes vereist die bepalen wanneer je mag gaan storten en naar een andere gemeente mag gaan. Een acceptabele oplossing zou zijn om na het inzamelen van afval in elke wijk te storten en dan naar een wijk in een andere gemeente te gaan. Om er voor te zorgen dat er niet heel veel van dit type suboptimale oplossingen te genereren hebben we de keuze gemaakt om de restrictie strenger te maken en route van een vuilniswagen op één dag per gemeente te maken. Dit is gedaan in overleg met Dusseldorp die deze aanname handig vonden omdat dit ook gebeurt in de eigen planning. Het is gebruikelijk om met meerdere vuilniswagens binnen een gemeente aan het werk te zijn omdat de vuilniswagens elkaar dan makkelijker kunnen helpen. De keuze om op één dag in een route in één gemeente te werken maakt het aantal mogelijke oplossingen drastisch kleiner, wat een veel betere rekentijd oplevert. Bij berekeningen met dit type modellen neemt de rekentijd over het algemeen exponentieel toe wanneer er gezocht wordt naar de optimale oplossing. De beste oplossing die er dan gevonden wordt kan dan niet de optimale planning zijn, het simpeler is om te programmeren en de rekentijd wordt ook lager.

Om in te schatten hoe groot het verschil is in de tijd die het kost om een niet diamond container te legen ten opzichte van een diamond container is de aanname gemaakt dat een vuilniswagen in gemeente Ermelo evenveel containers per uur kan legen als een vuilniswagen in Nunspeet op dit moment. Dit betekent dat er is aangenomen dat de verschillen in geleegde containers per uur het gevolg is van de

twee types containers. Dit is een redelijke aanname omdat de wijken veel op elkaar lijken wanneer er gekeken wordt naar dichtheid van huizen en afstand die gereden moet worden binnen de wijk.

De tijd die het storten kost kan alleen goed worden ingeschat wanneer er ook een goede inschatting is voor de hoeveelheid afval die er in een container zit en hoeveel er in een vuilniswagen past. Dit hebben ingeschat door te kijken naar de data van de hoeveelheid gestort afval. Hierbij ontbrak er data om per wijk in te schatten hoeveel afval er wordt aangeboden, maar dit is wel per gemeente beschikbaar. Dit hadden we graag per wijk gedaan omdat ons dit een interessant onderdeel leek om rekening mee te houden, maar dit was niet haalbaar met de beschikbare data. Het model is wel zo geprogrammeerd dat dit kan worden geïntegreerd wanneer dit wel bekend is. Wat wel opvallend was is dat in de enige gemeente waar diftar is, gemeente Ermelo, de containers meer dan 75% voller waren dan in gemeente Harderwijk.

Hoelang het duurt om van één wijk naar een andere wijk te rijden hebben we weergegeven in een matrix waarin de rijtijd tussen alle wijken en stortplaatsen in staat. De rijtijden zijn via Google Maps verkregen. Hierbij wordt er bij de wijken onderscheid gemaakt tussen de plaats waarop de vuilniswagen begint en waarop deze eindigt. De rijtijdenmatrix is daarom ook niet symmetrisch.

Er zijn nog twee aannames gemaakt met betrekking tot de wijkgegevens. Ten eerste waren er geen gegevens voor de papierinzameling. De managers bij Dusseldorp vertelden dat de frequentie waarop papier afval wordt aangeboden kan worden benaderd door de gegevens van het restafval. Dit leek ons ook een redelijke aanname en vanwege de beperkte overige opties hebben we hiervoor gekozen. Er waren nog meer ontbrekende data, als gevolg van GFT-afval routes die anders liepen dan restafval routes. Daarom is gekeken naar de gemiddelde verhouding tussen restafval ledigingen en GFT-afval ledigingen. Deze verhouding is toegepast gebruikt om met de restafvalgegevens de gegevens voor de GFT ledigingen te bepalen. Omdat uit andere gemeenten al naar voren is gekomen dat het inzamelen van restafval in de normale situatie meer tijd kost en de planning toch gespiegeld is heeft de lagere betrouwbaarheid van de gegevens geen effect op de uiteindelijke uitkomst van het model.

5.5.3 Algemene planningsaannames

De managers bij Dusseldorp kiezen voor een gespiegelde planning. Het gevolg hiervan is dat er gepland wordt voor het type afval dat de meeste inzamelingstijd kost. Voor de chauffeurs betekent dit dat ze normaalgesproken eerder klaar zijn tijdens de andere week. Voor het model betekent dit dat er minder oplossingen mogelijk zijn. Dit heeft een positief effect op de rekentijd, maar wel met een oplossing die naar verwachting slechter is. Voor de huishoudens is het wel heel fijn om dit ritme vast te houden en daarom is er gekozen voor een gespiegelde planning.

Voor het maken van de planning is ook een aanname gemaakt. Dit is dat het vinden van alle routes voldoende is om en we deze routes in niet een haalbare planning hoeven te zetten. Het doel van de studie is bepalen hoeveel vuilniswagens er nodig zijn, niet om de nieuwe planning te maken. Daarom kiezen we om de planning zelf over te laten aan de planner zelf. De planners van Dusseldorp kunnen nog gaan kijken of het handig is meer met de achterlader te rijden om zo een zijlader te besparen. Het slim inplannen van achterladers op zijladerroutes voegt te veel complexiteit aan het model toe om het automatisch te doen, terwijl dit relatief simpel is voor een ervaren planner. Voor het inplannen is het heel erg lastig om slimme algoritmes te ontwerpen, en zonder uitgebreide studie zijn hebben we niet genoeg kennis om dit net zo goed aan te pakken. Omdat het maken van een inzamelschema niet het

hoofddoel is van dit onderzoek is er in overleg met Dusseldorp voor gekozen dit niet in het model op te nemen.

In overleg met Dusseldorp is vastgesteld dat een zijlader maximaal vijftien minuten zou moeten rijden om bij een locatie uit te komen waar deze kan storten of de huls kan wisselen. Dit is een redelijke aanname omdat dit naar schatting mogelijk is met één centrale stortplaats voor de gemeenten Nunspeet, Elburg en Oldebroek. Nunspeet heeft al een plaats om de hulzen om te wisselen. Er zouden dus nog twee nieuwe stort- of wissellocaties nodig zijn, iets wat haalbaar is voor Dusseldorp.

5.6 Werking van het model

We hebben er voor gekozen ons model te baseren op het model van Kim, Kim en Sahoo (2006). Dit model probeert door slimme centrale wijken te kiezen routes te maken met weinig onderlinge rijtijd. We hebben veel aannames gemaakt vanwege ontbrekende data en beperkte tijd. Belangrijk hierbij is dat we alleen routes maken voor de verschillende vuilniswagens en dat er bij deze routes alleen maar in één gemeente mag worden ingezameld. Ook maken we een gespiegelde planning waarbij de routes hetzelfde zijn voor de GFT- en restafvalroutes.

Hoofdstuk 6: Resultaten

In dit hoofdstuk bespreken we de resultaten en aanbevelingen. Hierbij kijken we naar de uitkomst van ons vraagstuk, de prestaties van het model en de gevoeligheid hiervan (paragraaf 6.1) In de resultaten bekijken we ook twee what-if scenario's: Geen speciale achterladers en alle inzameling met de reguliere zijlader. In de resultaten bekijken we de planning over een periode van vier weken omdat de huidige planning zich elke vier weken herhaalt. Dit hoofdstuk sluit af met aanbevelingen voor Dusseldorp wat betreft de planning en het verbeteren van onze methode en model.

6.1 Resultaten van onze methode

We bespreken eerst de deelvragen die we in hoofdstuk 1 geformuleerd hebben (paragraaf 6.1.1). Daarna gaan we in op de prestaties en gevoeligheid van onze methode (paragraaf 6.1.2). We sluiten af met twee what-if scenarios waarbij we kijken naar het effect van het overschakelen naar alleen maar diamond containers en naar het effect als alle containers door achterladers worden geleegd.

In dit hoofdstuk bespreken we de laatste deelvraag: **Welke resultaten levert onze methode op?** Wanneer we kijken naar de situatie waarin Dusseldorp in vijf gemeenten afval inzamelt zoals het nu gebeurt is uitkomst van ons methode dat er 684 werkdagen nodig zijn om al het afval in te zamelen over een periode van vier weken. Een deel van deze oplossing is zichtbaar in figuur 6.1. Dit begint met de naam, dan de tijd die de route kost, gevolg door de wijknummer en het type vuilniswagen. Daarna is de route, waarbij de getallen wijknummers zijn. De oplossing is 96 dagen korter dan in de huidige situatie. Deze uitkomst is een stuk beter dan de huidige situatie en meer dan verwacht. Er zijn maar een paar variabelen waarop het model winst kan boeken ten opzichte van de huidige situatie. Een deel is de werktijd, die in de gemeenten waar Remodnis nog niet werkt op dit moment meerdere uren lager ligt dan wat gewenst is. Dit is de route tussen de wijken, het storten op de fictieve stortplaats en het vol plannen van een dag. Van de 684 werkdagen zijn er 102 met een achterlader, 111 met een speciale zijlader voor containers die niet het diamond systeem hebben en zijn er 471 met een reguliere zijlader. Dit komt overeen met 23,5 fulltime reguliere zijladers, 5,1 fulltime achterladers en 5,55 fulltime speciale zijladers. Onze aanbeveling in de situatie waarin alles hetzelfde blijft is om 23 reguliere zijladers te kopen en ofwel 5 speciale zijlader met 6 achterladers of 6 speciale zijladers en 5 achterlader. Omdat achterladers flexibeler zijn bij inzet voor andere doeleinden dan huisafvalinzameling denken wij dat 6 achterladers een betere optie is, maar dit is een beslissing die Dusseldorp moet maken.

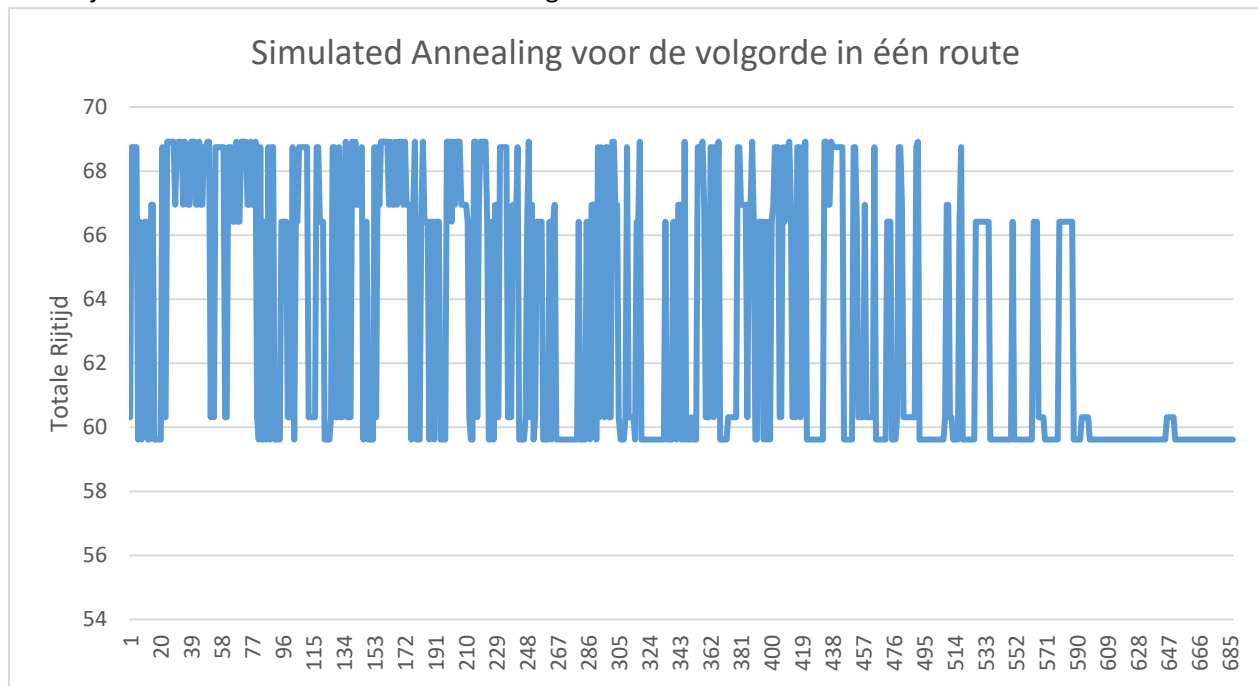
In dit overzicht staan de verschillende routes. In de eerste kolom staat de routenaam, die bestaat uit het type afval en een nummer. Daarna staat de geschatte tijd die het kost om de route te rijden in minuten. De volgende kolom bevat het nummer van de gemeente en daarna staat het type vuilniswagen. Na deze gegevens staat de route uitgeschreven. Dit begint altijd vanaf het depot, vervolgens staan er een aantal nummers. Dit zijn de wijken waarin de vuilniswagen het afval inzamelt. Daarna moet er nog gestort worden en moet de vuilniswagen terugrijden naar het depot. Wanneer nodig wordt er ook tussendoor gestort.

Papier 27	456,1	5 Zijlader	Depot	155	156	163 Fictief	Depot	
Papier 28	428,6167	5 Zijlader	Depot	150	159	161 Fictief	Depot	
Papier 29	460,7833	5 Zijlader	Depot	162	152	153 Fictief	Depot	
Papier 30	426,8833	5 Zijlader	Depot	169	160	154	151 Fictief	Depot
Papier 31	358,9333	5 Zijlader	Depot	157	158 Fictief	Depot		
Papier 32	461,7667	5 Zijlader	Depot	167	168	166 Fictief	Depot	
Papier 33	380,2833	5 Zijlader	Depot	164	165 Fictief	Depot		

Figuur 6.1 Papier routes voor gemeente 5

6.2 Prestaties en gevoeligheid

De rekentijd die de methode nodig heeft om met onze inputdata routes te maken ligt tussen 6,8 en 7,3 seconden. Voor de gevoeligheidstest duurde het totaal 7,09 seconden 0,19 seconden om de startoplossingen te maken, de optimalisatie tussen de routes duurde 3,93 en de optimalisatie binnen de routes duurde 2,92 seconden. In figuur 6.2 is de totaleinzameltijd voor het rest- en GFT-afval uitgezet tegen de iteraties bij de optimalisatie van de eerste gemeente bij de gespiegelde routes. De startwaarde is 26042 en de eindwaarde is 25922. Dit verschil is niet erg groot omdat er een groot vast component is in de tijd die het kost om alle containers te legen.



Figuur 6.2 De totale rijtijd voor rest- en GFT-afval tijdens het optimaliseren tussen een routes van gemeente 1

Om de gevoeligheid te bekijken maakt het weinig uit welke variabelen er veranderd worden, met uitzondering van de afstanden matrix en de inhoud van de vuilniswagens wordt alles gebruikt om in te schatten hoelang het inzamelen duurt. Of het nu het aantal containers in een wijk is, het aanbodpercentage of de snelheid waarmee containers geleegd worden, dit heeft allemaal invloed op de inzameltijd. Uit de resultaten komt naar voren dat vooral de inzameltijd veel effect heeft op de totale tijd die het inzamelen kost. Daarom hebben we gekeken naar de resultaten wanneer een vuilniswagen 20% langzamer en 20% sneller is. Bij 20% langzamer kost het 955 dagen om het afval in te zamelen en bij 20% sneller kost het 604 dagen om al het afval in te zamelen. Dit is 26,5% langzamer en 21,4 % sneller dan de oorspronkelijke oplossing. De methode is dus erg gevoelig voor de inputdata bij voor bepalen van de tijd die inzameling kost.

6.3 What-if: Alle containers diamond

Voor deze what-if analyse is het model gebruikt met de historische data met uitzondering van de speciale zijladers voor de niet diamond containers. In de gemeente die deze diamond containers nog niet gebruikt worden zijn de containers vervangen door diamond containers. Daarom zijn ook de speciale zijladers vervangen door reguliere zijladers die naar schatting 30% sneller containers kunnen legen. Het

model geeft een planning waarin er evenveel werkdagen zijn voor een reguliere zijlader ten opzichte van de werkdagen voor de speciale zijlader. Er is nog wel veel werktijd over bij de routes, en wanneer de totale werktijd is laag genoeg om met 16% minder zijladers te rijden, oftewel 4,66 fulltime zijlader. Daarnaast geeft het ook voordelen wanneer er een vuilniswagen onverwachts uitvalt en anderen de route moeten overnemen. Voor de inzameling van het afval loont het dus om over te stappen naar andere vuilniswagens.

6.4 What if: Alleen normale zijlader

In deze situatie worden alle containers met een normale zijlader opgehaald. Er zijn geen containers meer die niet diamond zijn en er zijn ook geen containers die door de achterlader moet worden opgehaald. Reguliere zijladers kunnen naar schatting 30% sneller dan speciale zijladers en 20% sneller dan achterladers. Deze planning heeft 595 werkdagen nodig om de planning te rijden. Dit is een besparing van 185 dagen ten opzichte van de huidige planning, en 4,35 fulltime vuilniswagens ten opzichte van onze eerste planning. Hiervan is een deel als gevolg van de overstap van de speciale zijladers, een deel van de overstap van achterladers en vermoedelijk worden de routes ook beter door de het samenvoegen. De vooruitgang is heel groot, dit komt deels omdat er maar 2 tot 4 wijken zijn per gemeente die momenteel met een achterlader gereden worden. Wanneer Dusseldorp afspraken kan maken met de gemeenten en bewoners zodat overal zijladers kunnen rijden levert dit wel snellere routes op maar de gemeenten en Dusseldorp moeten wel overwegen of de kosten opwegen tegen de besparing.

6.5 Conclusie resultaten

Wanneer Remondis de vijf gemeenten gaat voorzien van afvalinzameling zal deze 23,5 fulltime reguliere zijladers, 5,1 fulltime achterladers en 5,55 fulltime speciale zijladers nodig hebben. Als alle containers van het diamond type bespaart dit ruim één zijlader. In de situatie waarbij al het afval wordt ingezameld met een normale zijlader bespaart dit nog eens vier vuilniswagens. Remondis zal moeten overleggen met de gemeenten in hoeverre dit haalbaar is en of aanpassingen om dit mogelijk te maken het waard zijn.

Hoofdstuk 7: Conclusies en aanbevelingen.

7.1. Deelvragen beantwoorden

We hoofddoel van dit onderzoek is om een methode te ontwikkelen die inschat hoeveel vuilniswagens er nodig zijn om alle containers van huishoudens te legen. Hiervoor stelden we de volgende deelvragen op:

1. **Wat is de huidige situatie?**
2. **Wat staat er in de literatuur over routeplanning?**
3. **Welke data zijn nodig en in welke vorm?**
4. **Welk theoretisch model past bij ons probleem, welke aanpassingen op het theoretische model zijn moeten we maken en welke belangrijke aannames zijn er nodig?**
5. **Welke resultaten levert onze methode op?**

Om een goed begrip te krijgen waar onze methode rekening mee moet houden hebben we eerst gekeken naar deelvraag 1: **Wat is de huidige situatie?** In hoofdstuk 2 hebben we antwoord gegeven door te kijken naar de manier waarop containers worden gelegeerd, door te kijken naar de manier waarop de planning nu gemaakt wordt en door te kijken naar verschillende concepten die belangrijk zijn voor het inzamelen, zoals verschillen in vuilniswagens, containers en diftar.

Met dit begrip hebben we naar de literatuur gekeken in deelvraag 2: **Wat staat er in de literatuur over routeplanning?** Hierbij hebben we rekening gehouden met de restricties van deelvraag 1. We besproken een aantal modellen, methodes, heuristieken en algoritmes om te kijken welke we het beste voor ons onderzoek konden gebruiken. In hoofdstuk 3 komen we tot de conclusie dat onze voorkeur uit gaat naar Local Search met als metaheuristiek Simulated Annealing.

Voordat we naar een model op zoek kunnen is het nodig om te bekijken welke data er beschikbaar is. Dit is onze derde deelvraag: **Welke data zijn nodig en hoe zijn deze verwerkt?** We hebben gekeken naar de verschillende gegevens die nodig zijn, en naar de tijdsproblemen en oplossing hiervoor die naar voren kwam bij het vinden van de data. Dit staat in detail in hoofdstuk 4.

Met de informatie van deelvragen 2 en 3 zijn we naar deelvraag 4 gegaan: **Welk theoretisch model past bij ons probleem, welke aanpassingen op het theoretische model zijn moeten we maken en welke belangrijke aannames zijn er nodig?** We hebben het model van Kim, Kim en Sahoo (2006) gekozen als basis en daarop hebben we aantal toevoegingen gemaakt. Ook hebben we een aantal aannames gemaakt die we vertellen en uitleggen waarom deze zijn gemaakt. Het beantwoorden van deze deelvraag is het onderwerp van hoofdstuk 5.

De laatste deelvraag **Welke resultaten levert onze methode op?** is beantwoord in hoofdstuk 6. We kwamen tot een oplossing met 23,5 fulltime reguliere zijladers, 5,1 fulltime achterladers en 5,55 fulltime speciale zijladers in de huidige situatie, een besparing van bijna 1 fulltime achterlader wanneer er alleen diamond containers worden gebruikt en een besparing van ruim 4 fulltime vuilniswagens wanneer alle achterladerroutes met een zijlader worden ingezameld.

7.2 Aanbevelingen

Tijdens het verzamelen van data is naar voren gekomen dat er weinig wordt bijgehouden over de routes en de afstanden die de vuilniswagens rijden. Ook is niet goed duidelijk in welke straten zijladers nodig

zijn om afval in te zamelen, of hoeveel huishoudens/containers er zijn op een route. Deze informatie zou de operationele planning helpen wanneer er problemen zijn en vuilniswagens elkaar moeten helpen, of wanneer er een chauffeur moet invallen. Een beter inzicht in de afstanden die gereden worden kan de planningsafdeling helpen om routes en brandstofverbruik te optimaliseren. Om doelstellingen rond duurzaam ondernemen te halen kan dit een goede bron van informatie zijn om te zien wat probleemgebieden zijn.

Om betere resultaten te krijgen uit onze methode raden wij aan om de inputdata van de wijken te verbeteren. Wanneer de bestaande wijken in meer wijken worden opgedeeld die kleiner zijn kan de methode betere routes maken. Ook kan de betrouwbaarheid van de data omhoog door een preciezere methode te gebruiken om deze te verkrijgen. Bij de gevoeligheidstest kwam dit al naar voren als belangrijk punt. Met deze betere data wordt het ook mogelijk om routes te maken die ook bruikbaar zijn voor de planning.

Een uitbreiding die wij aanbevelen is een toevoeging van een algoritme dat de routes in een planning kan omzetten. Hierbij zijn er een aantal restricties en voorkeuren om rekening mee te houden, maar met een goed literatuuronderzoek verwachten we dat hier goede methoden voor te vinden zijn. In combinatie met de betere wijkdata kan dit Dusseldorp helpen om een goede planning te maken.

Appendix A: Bronvermelding

Remondis.com. (2017). REMONDIS Global Website. [online] Available at: <http://www.remondis.com/en/home/> [Accessed 21 Aug. 2017].

Geesinknorba. (2017, February 27). Remondis Achterlader [Digital image]. Retrieved October 11, 2017, from <http://www.geesinknorba.com/nl/remondis-2/>

Haller Benlux. (n.d.). Remondis zijlader [Digital image]. Retrieved October 11, 2017, from <http://www.hallerbenelux.nl/project/slf/>

Winston, W. L. (2004). Operations research: applications and algorithms. Belmont, Calif.: Brooks/Cole, Thomson Learning.

Markov, I., Varone, S. & Bierlaire, M., (2016) Integrating a heterogeneous fixed fleet and a flexible assignment of destination depots in the waste collection VRP with intermediate facilities, Transportation Research Part B: Methodological, Volume 84, February 2016, Pages 256-273

Azadeh, A. & Farrokhi-Als, H. (2017) The close-open mixed multi depot vehicle routing problem considering internal and external fleet of vehicles, Transportation Letters, pp. 1-15.

Donati, A.V., Montemanni, R., Casagrande, N., Rizzoli, A.E., Gambardella, L.M. (2008), Time dependent vehicle routing problem with a multi ant colony system, European Journal of Operational Research, 185 (3), pp. 1174-1191.

Benjamin, A.M. & Beasley, J.E. (2010) Metaheuristics for the waste collection vehicle routing problem with time windows, driver rest period and multiple disposal facilities. Computers and Operations Research, 37 (12), pp. 2270-2280.

Kim, B., Kim, S., & Sahoo, S. (2006). Waste collection vehicle routing problem with time windows. Computers & Operations Research, 33, 3624-3642.

Taillard, É., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F. & Potvin, J.-Y, (1997) A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows, Transportation Science, 31 (2), pp. 170-186.

Bijlage B: Technische werking van ons model

In deze bijlage zal stap voor stap besproken worden welke stappen het model volgt. Hierbij wordt het proces uitgelegd met behulp van technische details.

B.1 Model introductie

De werking van het model volgt dat van Kim, Kim and Sahoo (2006); dit model gebruikt Local Search en Simulated Annealing op een routeplanning te maken. Het proces volgt een aantal stappen, die meerdere keer worden gevolgd. Het proces gaat apart per gemeente en per vuilniswagen type. De scheiding per gemeente is nodig voor de introductie genoemde reden dat voor de boekhouding het tonnage afval per gemeente bekend moet zijn. De scheiding per vuilniswagentype is gedaan om er voor te zorgen dat de achterlader rijdt in de wijken waar dit nodig is. In deze beschrijving wordt de term wijk gebruikt voor een aantal huishoudens dat samen is gevoegd en zijn clusters verzamelingen van wijken.

B.2 Centroids opzoeken

Het proces werkt in de volgende stappen. In stap één wordt er nog niks ingepland, maar is een voorbereidende stap. Deze stap begint met het berekenen van de tijd die het kost om alle wijken in een gemeente te bedienen. Hierdoor kan berekend worden hoeveel dagen het minimaal kost om het afval in te zamelen. Met dit gegeven worden er willekeurig een aantal wijken gekozen die centroids worden genoemd. Het aantal centroids wordt bepaald door het aantal dagen dat nodig is om het afval op te halen. Vervolgens worden er clusters gemaakt door de wijken die nog niet zijn ingedeeld toe te wijzen aan de centroid met de kortste rijtijd, onafhankelijk van afstand. Als alle wijken zijn ingedeeld wordt er per cluster gekeken welke wijk het meest centraal ligt. Deze wijk wordt de nieuwe centroid. Daarna wordt er gekeken welke wijk het meest centraal ligt ten opzichte van de centroids. De wijk die het meest centraal ligt tussen de centroids wordt de super centroid.

B.3 Initiële oplossing

In stap twee worden de centroids en super centroid gebruikt om clusters te maken en om een initiële oplossing te maken. Per centroid, met uitzondering van de super centroid, wordt er een nieuwe route gestart. Daarna worden alle wijken die geen centroid zijn toegewezen aan een cluster. De volgorde van het inplannen van de wijken wordt bepaald door de afstand tussen de wijk en de super centroid, waarbij de wijk die het verst weg ligt als eerste wordt ingedeeld.

De keuze voor het toewijzen aan een cluster gaat als volgt: Er wordt per cluster gekeken of de toewijzing van het cluster kan zonder dat de tijdsconstraint wordt overschreden. De verwachte werktijd per cluster is bekend, en om de route te bepalen wordt het nearest insertion algoritme gevolgd. Dit algoritme werkt door te kijken naar de wijken die nog niet zijn ingedeeld en daarvan de wijk te kiezen die het dichtst bij de vorige wijk ligt. Er is gekozen voor nearest insertion omdat dit algoritme relatief snel is, de resultaten meestal goed zijn en omdat het simpel is om te programmeren. Als er verschillende clusters zijn waarbij de uitbreiding binnen de tijdslimiet valt wordt er gekozen voor het cluster waarvan de centroid het dichtst bij de wijk ligt die ingepland wordt. Indien er geen clusters zijn waarbij de om de nieuwe wijk aan toe te voegen gaat het model naar stap 1 bij het selecteren van willekeurige centroids. Hierbij worden er nieuwe centroids gekozen en wordt er een extra centroid gemaakt. Wanneer alle wijken succesvol zijn ingedeeld wordt de initiële oplossing opgeslagen.

B.4 Globale optimalisatie

Stap drie is de globale optimalisering van de oplossing. Hierbij wordt Local Search gebruikt met de metaheuristiek Simulated Annealing. De metaheuristicen worden uitgelegd in hoofdstuk 2.3 en de local search heuristiek in hoofdstuk 2.2. Dit betekent dat er wijken worden gewisseld tussen de routes om te kijken of dit leidt tot betere routes. Deze stap wordt voor elke gemeente apart uitgevoerd. Kort samengevat worden er per route apart geen, één of meerdere wijken geselecteerd per route en die stukken route worden omgewisseld. Als er bij één van de routes geen wijk wordt geselecteerd betekent dit dat er een deel van één route naar de andere wordt verplaatst. Er worden eerst twee willekeurige routes uitgezocht die in dezelfde gemeente liggen. Eerst wordt er voor beide routes een willekeurige wijk uitgekozen. Vervolgens wordt de grootte van de twee stukken route die verplaatst worden bepaald. Dit is deterministisch gelimiteerd tot maximaal 30% van de totale route. Als er 10 wijken in de route zijn worden er maximaal 3 in 1 keer verplaatst. De reden hiervoor is dat de 30% ook is gebruikt in de paper van Kim, Kim and Sahoo (2006), en dat er ook instinctief redenen zijn om dit te doen. Wanneer je grote stukken route gaat verplaatsen is het makkelijker om een route te krijgen die niet haalbaar meer is. Daarnaast is het verplaatsen van twee stukken van 75% van de route hetzelfde als het verplaatsen van de 25% stukken die niet verplaatst zouden worden. Deze heuristiek is bekend als Swap en Move. In beide gevallen van het willekeurig selecteren is de kans op elke mogelijke uitkomst even groot. De kans op het wisselen van 2 of 3 wijken is dus hetzelfde.

Na het wisselen van de wijken worden de stortmomenten weer ingepland en wordt de totale tijd die het rijden van de routes kost berekend. Hoe de stortpunten worden ingepland staat in hoofdstuk 5. Hierbij wordt eerst de tijd per route berekend waarna ze worden opgeteld voor de totale rijtijd. Als de totale rijtijd van de twee nieuwe routes korter is dan de oude rijtijd wordt de nieuwe route aangenomen. Indien de totale rijtijd langer is, maar wel binnen de werktijd past wordt er gebruik gemaakt van de Simulated Annealing heuristiek. Wanneer de rijtijd voor één of beide van de routes langer is dan de maximale werktijd wordt de kans op de nieuwe drastisch lager in de Simulated Annealing heuristiek. Dit gebeurt door de reguliere kans te vermenigvuldigen met een kwart. Hierbij wordt de slechtere route met een bepaalde kans aangenomen. De heuristiek “koelt af” en daarmee wordt de kans kleiner als er al meer nieuwe routes zijn geprobeerd. De kans op acceptatie van de nieuwe routes wordt ook kleiner op basis van de relatieve verslechtering ten opzichte van de oude routes. Deze heuristiek is nodig om uit een lokaal optimum te ontsnappen. Meer hierover is te vinden in hoofdstuk 3. Dit herhaalt zich totdat de Simulated Annealing genoeg is afgekoeld.

B.5 Interne optimalisatie

De vierde en laatste stap is bijna hetzelfde als stap drie. Het verschil is dat de heuristiek nu niet worden gebruikt tussen twee verschillende routes, maar dat ze binnen één route worden toegepast. Alle routes worden langsgelopen en met dezelfde Swap en Move heuristiek worden deze geoptimaliseerd. De regels voor het selecteren van de wijken die verwisseld worden blijven hetzelfde en er wordt weer gebruikt gemaakt van Simulated Annealing.

Het hele proces van stap 1 tot stap 4 kan ook gedaan worden voor een gespiegelde planning. Dit betekent dat route die gereden wordt hetzelfde is voor verschillende afvaltypes. Momenteel gebeurt dit voor een aantal wijken met rest en GFT afval. De inzameling van de afvaltypes wisselt elkaar af. De gespiegelde planning kijkt welk afvaltype de meeste inzamelingstijd nodig heeft en maakt een planning gebaseerd op die gegevens. Hierdoor is de planning haalbaar voor beide afvaltypes. Na het optimaliseren

van de individuele routes is de planning klaar en kan deze geanalyseerd worden om conclusies te trekken.