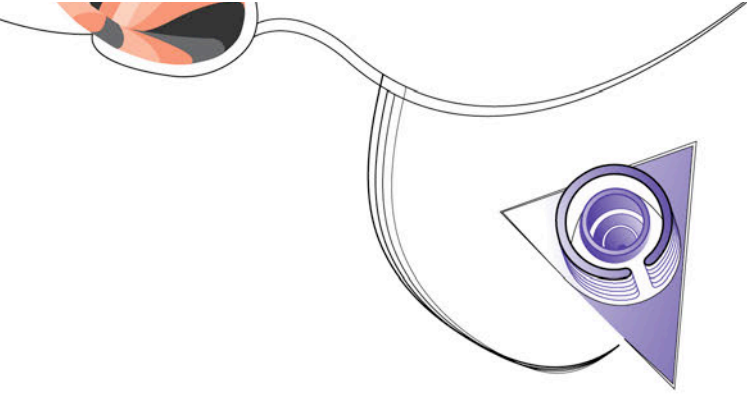
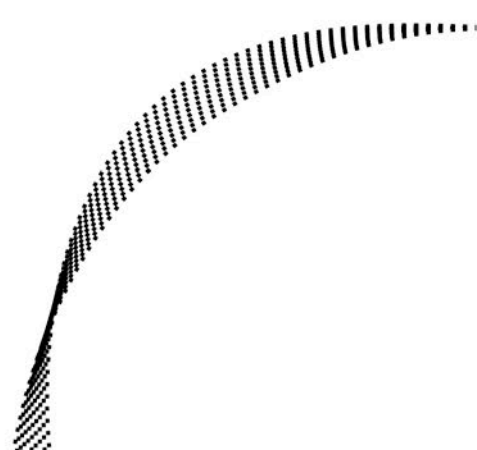


Logistiek netwerk analyse voor **Rondas BV**

Bachelorscriptie Bedrijfskunde
Enschede, oktober 2013

Student: **Robbert Ruijsch**
Examinator: **Dr. M.C. van der Heijden**
Meelezer: **Dr. L.L.M. van der Wegen**



Samenvatting

De logistieke ontwikkeling in de bouwwereld is altijd relatief achtergebleven in vergelijking met bijvoorbeeld de logistieke ontwikkeling van een grote supermarktketen. Voorheen had misschien wel iedere producent van bouwmaterialen een eigen vervoerder, die volledig in de kleuren van de huisstijl heen en weer reed tussen een productielocatie en de verschillende bouwlocaties. De laatste jaren wordt echter ook steeds kritischer gekeken naar de logistiek voor de bouw. Klanten zijn steeds vaker op zoek naar een duurzaam proces bij gelijkblijvende of zelfs lagere kosten. Rondas BV is hier ook al lang mee bezig, al tientallen jaren heeft het bedrijf verschillende klanten waarvan het werk kan en mag worden gecombineerd. Hierdoor kan steeds vaker dicht bij een loslocatie weer worden geladen bij een andere klant, waardoor minder lege kilometers worden gereden. Ondanks dit relatief uitgebreide netwerk, verspreid over heel Nederland, wonen de chauffeurs die de vrachtwagens moeten besturen nog steeds op vaste locaties. De plek waar een medewerker zijn rondrit start en eindigt, al dan niet binnen één dag, is vaak dicht bij zijn woonplaats. Daarom wordt in dit onderzoek gekeken naar deze zogenaamde standplaatsen van chauffeurs en hun voertuigen. Verschillende combinaties van standplaatslocaties en verdelingen over deze standplaatsen worden bepaald en de verschillen berekend.

In eerste instantie is in dit onderzoek het bestaande netwerk van laadlocaties, loslocaties en standplaatsen geanalyseerd. Hieruit blijkt dat laadlocaties zich centreren op enkele plaatsen in Nederland, dit zijn relatief constante locaties omdat het productielocaties van bouwmaterialen betreft. De loslocaties zijn veel meer verspreid over Nederland en zijn bovendien vaak maar van tijdelijke aard. Dat komt omdat bouwprojecten vaak binnen een relatief korte periode worden afgerond, waarna er dus geen bouwmaterialen meer naar die specifieke bouwlocatie hoeven te worden gebracht. Goederenstromen tussen de verschillende locaties blijken redelijk goed op elkaar te zijn afgestemd, vaak zijn er zelfs direct tegenovergestelde goederenbewegingen. De bestaande goederenstromen van Rondas BV kunnen het beste worden aangevuld met transportopdrachten vanuit Noord-Holland en transportopdrachten richting Noord-Brabant, omdat voornamelijk in deze gebieden een overschot aan goederenstromen binnenkomt (Noord-Holland) of een overschot aan goederenstromen vandaan komt (Noord-Brabant). Het is mogelijk om transporten van en naar deze gebieden af te stoten of uit te besteden. Maar ook door het uitwisselen van de juiste vrachten met andere bedrijven kan het probleem worden verkleind.

Op dit moment heeft Rondas BV standplaatsen van voertuigen en chauffeurs in Duiven, Breda, Wageningen en Woerden. Door in dit onderzoek gebruik te maken van de basis van het zogenaamde zwaartepuntmodel zijn enkele opties ter verbetering van deze locaties naar voren gekomen. Hiervoor is gesimuleerd dat iedere transportopdracht zal worden uitgevoerd in een aparte rit, door een voertuig dat start en eindigt op een bepaalde standplaats. Voor al deze aparte ritten zijn de kosten berekend aan de hand van de afstand die nodig is voor de route vanaf de standplaats, de tijd die nodig is voor het afleggen van deze afstand en het gewicht van de transportorder. De kosten van deze ritten zijn dus afhankelijk van het gegeven gewicht van een transportopdracht en van de afstand die bepaald wordt door de variabele standplaatslocaties. Vervolgens zijn de kosten van alle aparte routes bij elkaar opgeteld. Deze totale kosten worden uiteindelijk geminimaliseerd door het gestructureerd variëren van het aantal standplaatsen, de verdeling van het aantal voertuigen over deze standplaatsen en de geografische locaties van de standplaatsen. Hieruit volgt dat standplaatsen in Kampen, Veghel, Amsterdam en Alblasterdam waarschijnlijk goede toevoegingen zijn aan het bestaande netwerk van standplaatslocaties.

Deze verschillende aanpassingen van het netwerk van standplaatslocaties zijn vervolgens getest met het transportplansysteem 'Transport en Distributie' van Ortec. Dit is gedaan om te controleren of de eerder bepaalde toevoegingen en herverdelingen van standplaatsen werkelijk verbeteringen zijn en hoe groot deze verbeteringen zijn. Als basis is hier iedere keer uitgegaan van de eigen standplaatsen in Duiven, Breda, Wageningen en Woerden. Hiervoor is in enkele verschillende scenario's de toevoeging van een standplaats in Alblasserdam, Kampen, Veghel of Amsterdam gesimuleerd. Het toevoegen van de locaties Alblasserdam en Kampen blijkt sterk overeen te komen met de manier waarop in de huidige situatie transportopdrachten worden uitbesteed aan collega transportbedrijven. Dit uitbesteden aan transportbedrijven met standplaatsen in Alblasserdam en Kampen bespaart Rondas BV wekelijks ongeveer vijfduizend euro (1,7%) op de totale transportkosten. Daarom is het belangrijk om goed gebruik te blijven maken van de ingehuurd voertuigen en chauffeurs. Het scenario waarin één van de bestaande standplaatsen wordt weggelaten heeft wekelijkse kosten die minimaal vijfendertighonderd euro (1,0%) hoger zijn dan de huidige transportkosten, dus dat is in ieder geval geen verbetering.

Als laatste is er nog een simulatie uitgevoerd waarin twee standplaatsen zijn toegevoegd, namelijk de standplaatsen in Amsterdam en Veghel. Het verplaatsen van zes voertuigen naar Amsterdam en negen voertuigen naar Veghel zou de wekelijkse kosten kunnen reduceren met ongeveer duizend euro, ofwel 0,4% van de totale kosten. Door dit marginale verschil is het goed mogelijk dat in een andere week de besparing een stuk groter of kleiner is. Op basis van deze resultaten is het verplaatsen van voertuigen naar Veghel en Amsterdam dus moeilijk te adviseren.

Kort samengevat is het voor Rondas BV van belang om voertuigen van collega transportbedrijven te blijven inzetten omdat dit de kosten van de planning sterk reduceert. Wellicht lukt het hierdoor ook steeds beter om transportopdrachten met deze bedrijven uit te wisselen. Waardoor tekorten en overschotten in de huidige goederenstromen kunnen worden geneutraliseerd. Het afstoten van één van de bestaande standplaatsen is niet te adviseren, omdat dit de kosten van de planning sterker doet stijgen dan de vaste lasten dalen. Toevoegen van voertuigen en chauffeurs met de standplaatsen Veghel of Amsterdam lijken de kosten zeer minimaal te doen afnemen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	pagina 3
1. Inleiding	pagina 6
1.1 Bedrijfsbeschrijving	pagina 6
1.2 Probleemstelling	pagina 7
1.3 Doelstelling	pagina 8
1.4 Onderzoeksvragen	pagina 9
1.5 Methode	pagina 9
1.6 Relevantie	pagina 9
2. Hoe ziet het huidige logistieke netwerk van Rondas BV er uit?	pagina 10
2.1 Inleiding	pagina 10
2.2 Huidige standplaatsen	pagina 10
2.3 Gebruikte dataset	pagina 12
2.3 Spreiding van laadlocaties en loslocaties	pagina 12
2.4 Goederenstromen van het transportaanbod	pagina 14
2.5 Verbeteringen door wijziging van goederenstromen	pagina 16
3. Hoe kan het logistieke netwerk worden geoptimaliseerd?	pagina 17
3.1 Inleiding	pagina 17
3.2 Standplaatsbepaling	pagina 17
3.3 Methode	pagina 18
3.4 Resultaten	pagina 21
3.5 Beperkingen	pagina 23
3.6 Conclusie	pagina 24
4. Wat zijn de bij Rondas BV realistisch te behalen besparingen?	pagina 25
4.1 Routeplanning	pagina 25
4.2 Gebruikte dataset	pagina 26
4.3 Methode	pagina 27
4.4 Resultaten	pagina 28
4.5 Gevoeligheidsanalyse	pagina 33
4.6 Beperkingen	pagina 33
4.7 Conclusie	pagina 34
5. Conclusie	pagina 35
5.1 Advies	pagina 35
5.2 Toekomstig onderzoek	pagina 36
6. Literatuurlijst	pagina 38
Appendix A	pagina 40
Appendix B	pagina 42
Appendix C	pagina 43

1. Inleiding

1.1 Bedrijfsbeschrijving

Rondas BV is een transportorganisatie die diensten aanbiedt op de markt voor het transport van bouwmaterialen. Door het combineren van vervoersopdrachten van verschillende klanten probeert Rondas BV de eigen kosten, maar ook de logistieke kosten van de klant te reduceren. Onder Rondas BV vallen enkele transportbedrijven die worden aangestuurd door één centrale transportplanning. Zij voeren op dezelfde manier transporten uit voor gezamenlijke klanten, daarom zal Rondas BV worden behandeld en besproken als zijne één enkel transportbedrijf.

Vrijwel alle klanten van Rondas BV zijn producenten of leveranciers van bouwmaterialen. Zulke bouwmaterialen hebben hele specifieke productkenmerken, het gaat namelijk meestal om relatief laagwaardige producten gemaakt van beton. Het aantal producten, of het volume van producten, dat kan worden meegenomen door één vrachtwagen wordt bijna altijd beperkt door het hoge gewicht. Doordat bouwproducten meestal een klein volume, hoog gewicht en lage waarde hebben is een vrachtwagenlading met betonstraatstenen dus minder waardevol dan een vrachtwagenlading vol met dure consumentenelektronica. Dit zorgt ervoor dat de logistieke kosten een groot deel uitmaken van de totale kosten van bouwmaterialen producenten, waardoor kleine verbeteringen in het logistieke proces al snel rendabel kunnen zijn.

Een andere specifieke eigenschap van het bouwmaterialen vervoer is de vaak tijdelijke aard van loslocaties. Dit komt omdat veel bouwprojecten, maar ook bijvoorbeeld de herinrichting van infrastructuur, vaak maar enkele vrachtwagenladingen van een specifiek bouwproduct nodig hebben. Hierdoor wordt op één specifieke postcode van een loslocatie gemiddeld maar vier tot vijf keer geleverd. Omdat verschillende projecten vaak ook nog dezelfde postcode hebben kan het dus zijn dat loslocaties maar één of enkele keren worden bezocht. Vanwege deze tijdelijke aard is het vaak een vereiste van de klant dat de bouwproducten zelf geladen en gelost worden. Hiervoor is op vrijwel ieder voertuig een autolaadkraan gemonteerd, het grootste voordeel hiervan is de grote onafhankelijkheid op de laadlocaties en loslocaties. Een groot nadeel is het extra gewicht dat een autolaadkraan toevoegt aan een vrachtwagen. In Nederland hebben de meeste voertuigen met een dergelijke autolaadkraan nog maar een laadvermogen van 31.000 kilogram, in andere landen van de Europa is dit in ieder geval nog minder.

Op de transportplanning, van waaruit dit onderzoek deels is uitgevoerd, komen dagelijks ongeveer vierhonderd transportopdrachten binnen. Dit zijn volle vrachtwagenladingen die vaak de volgende dag al vervoerd moeten worden, maar ook deelvrachten die binnen enkele dagen geleverd moeten worden. Doordat de transportorders vaak laat binnen komen is er niet altijd veel tijd is om de transportplanning voor de volgende dag te maken. Rondas BV heeft ongeveer vijftien eigen voertuigen en chauffeurs, waarvan het grootste gedeelte (88%) een voorziening heeft om zelf te kunnen laden en lossen. Daarnaast wordt dagelijks ongeveer één derde (33%) van alle transportopdrachten uitgevoerd door collega transportbedrijven met dezelfde soorten voertuigen. Hierdoor is er een vrijwel universeel wagenpark beschikbaar, waarvan bijna alles kan worden ingezet voor het grootste gedeelte van het werk voor diverse klanten.

Deze universaliteit is ook gelijk de basis voor het logistieke netwerk van Rondas BV. De productie- en distributielocaties van bouwmaterialen zitten verspreid door heel Nederland. Door het juiste netwerk van geografisch verspreide klanten kunnen voertuigen efficiënter worden ingezet. Zo kan een vrachtwagen voor de ene klant in Noord-Holland laden voor Limburg. En in de optimale situatie voor een andere klant in Limburg terugladen voor Noord-Holland. Dit is niet alleen voordelig in het geval van volle vrachten, ook deelvrachten van verschillende klanten kunnen hierdoor worden gecombineerd om het rijden zonder lading te minimaliseren.

In de afgelopen jaren zijn enkele laadlocaties, met de bijbehorende transportopdrachten, van bestaande klanten weggefallen. Ook zijn er nieuwe klanten met nieuwe productielocaties bijgekomen. Hierdoor is het verstandig om het logistieke netwerk van Rondas BV, dat in de loop van de jaren gegroeid en gekrompen is tot het huidige netwerk, te analyseren.

1.2 *Probleemstelling*

Bij het vervoeren van bouwmaterialen is er een aantal activiteiten die voor ieder transport plaats zullen moeten vinden. Dat zijn in ieder geval het laden en lossen van de producten en het verplaatsen tussen de laad- en loslocatie. De tijd die nodig is voor het laden en lossen van de bouwmaterialen is moeilijk te beïnvloeden door een betere transportplanning, vanwege de relatieve onafhankelijkheid door het zelfstandig kunnen laden en lossen. De verplaatsing tussen de locaties van het laden en het lossen is grotendeels afhankelijk van de transportopdracht, maar hierop heeft de transportplanning wel een sterke invloed. Er zal altijd minimaal de directe route tussen de laadlocatie en loslocatie moeten worden gereden. Maar door het combineren van twee of meerdere transportopdrachten op een vrachtwagen, zal de totale afstand die nodig is voor het uitvoeren van de twee transporten minder zijn dan de opgetelde afstand van de twee directe routes voor de afzonderlijke transportopdrachten. Ook kan er zo dicht mogelijk bij de loslocatie van het vorige transport een laadlocatie worden gezocht waar een nieuwe transportroute kan starten. In de optimale situatie zijn het alleen deze activiteiten waar rekening mee moet worden gehouden. Zodat de routeplanning van ieder voertuig volledig geoptimaliseerd kan worden aan de hand van de binnenkomende transportopdrachten.

Er zijn echter nog een aantal frequente activiteiten waar een transportplanning rekening mee moet houden. Twee of drie keer in de week zal een voertuig moeten tanken. Dit kan op verschillende plaatsen verspreid door heel Nederland, waardoor dit meestal kan zonder veel extra kosten te maken. Ook zal er gemiddeld twee keer per jaar onderhoud aan de overtuigen nodig zijn. Vanwege deze lage frequentie en hoge voorspelbaarheid is het goed mogelijk om onderhoudsactiviteiten in te plannen zonder het maken van veel extra kosten. Ongeacht de locatie van de werkplaats waar de voertuigen kunnen worden gewisseld.

Het grootste knelpunt zit echter in de dagelijkse activiteiten die niet direct afhankelijk zijn van de transportopdrachten maar wel hoge kosten representeren. Dat zijn de onkostenvergoedingen voor chauffeurs, de hoogte van deze vergoeding is afhankelijk van de tijd tussen het vertrek en de aankomst van een medewerker op zijn standplaats. Iedere chauffeur is, met zijn voertuig, gebonden aan een zogenaamde standplaats. Dit is meestal de locatie van een vestiging van Rondas BV, of de productielocatie van een klant. De chauffeur woont vaak in de directe omgeving van de standplaats, zodat hij of zij zich hiervandaan gemakkelijk van en naar huis kan verplaatsen. Doordat ook iedere chauffeur een 'eigen' voertuig heeft, komt het aantal voertuigen op een standplaats overeen met het aantal chauffeurs gebonden aan een standplaats.

Als een rit binnen 24 uur begint en eindigt op de standplaats zal de hoogte van deze onkostenvergoeding gemiddeld ongeveer 10 euro per dag zijn (CAO, 2013). Bij gemiddelde meerdaagse ritten zal de eerste dag ongeveer 26 euro kosten, tussenliggende dagen zullen ongeveer 45 euro kosten en de laatste dag zal ongeveer 29 euro kosten (CAO, 2013). Voor vijftien chauffeurs zal dus altijd minimaal de dagelijkse onkostenvergoeding moeten worden betaald, wat neerkomt op ongeveer 3.250 euro ($65 \times 10 \times 5$) per week. Wanneer al deze chauffeurs echter de hele week niet op de standplaats zouden komen, als zij hiervoor bijvoorbeeld te veel van de geplande route moeten afwijken, bedraagt de totale onkostenvergoeding al snel ongeveer 12.350 euro ($((26+45+45+45+29) \times 65)$). Dit is een behoorlijk verschil dat voor een groot gedeelte kan worden bepaald en gestuurd door de locaties van de standplaatsen van chauffeurs op de juiste plekken in het netwerk te hebben. Maar ook door het goede aantal voertuigen en chauffeurs op de verschillende standplaatsen te hebben.

In feite is het probleem dus als volgt samen te vatten: Hoe is het mogelijk om door de standplaats locaties van chauffeurs van Rondas BV te wijzigen, het totaal aantal te rijden kilometers en de te betalen onkostenvergoeding te reduceren, en daarmee de totale kosten te reduceren?

1.3 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is natuurlijk om inzicht te geven in mogelijke oplossingen van het hiervoor beschreven probleem. Daarom zal aan de hand van wetenschappelijke theorieën een aantal verschillende scenario's worden opgesteld, waarin de locaties van de standplaatsen en verdelingen tussen de standplaatsen binnen het logistieke netwerk zullen variëren. Deze verschillende scenario's zullen vervolgens zo realistisch mogelijk worden doorgerekend, om op basis van de mogelijke kostenbesparingen een advies op te stellen dat binnen de mogelijkheden tot wijzigingen van het logistieke netwerk valt.

Het is in voor onderzoek niet realistisch om de huidige standplaatsen te negeren, daarom zal de focus vooral liggen op beperkte wijzigingen in het bestaande netwerk van standplaatsen. Dit houdt concreet in dat er verschuiving van het aantal voertuigen en chauffeurs tussen de bestaande standplaatsen mogelijk is. Dat het creëren van nieuwe standplaatsen op productielocaties van klanten mogelijk is, mits dit een beperkt aantal voertuigen betreft. En dat het wegnemen of samenvoegen van bestaande standplaatsen mogelijk is. De eigen werkplaats, tankplaats en het kantoor voor de transportplanning worden bij voorkeur gecombineerd op een relatief grote standplaats, zodat deze optimaal benut kunnen worden.

De verschillende scenario's zullen primair worden beoordeeld op de kosten voor het afleggen van de benodigde kilometers bij het uitvoeren van de transportplanning. Bij die kosten zal de te verwachten onkostenvergoeding voor iedere scenario worden opgeteld, om zo een realistisch vergelijk tussen de verschillende scenario's te kunnen maken.

1.4 Onderzoeksvragen

Het eerder genoemde probleem is in grote lijnen ook de hoofdvraag voor dit onderzoek: Hoe is het voor Rondas BV mogelijk om door de standplaatslocaties en de verdeling van chauffeurs en voertuigen over deze standplaatslocaties te wijzigen, de totale kosten te reduceren? Om dit probleem goed te kunnen analyseren en uiteindelijk de bovenstaande doelstelling te bereiken is deze hoofdvraag opgedeeld in de volgende deelvragen:

1. Hoe ziet het huidige logistieke netwerk van Rondas BV er uit?
 - a. *Wat zijn de voordelen en kosten van de huidige standplaatsen?*
 - b. *Hoe zien de goederenstromen bij het huidige transportaanbod er uit?*
 - c. *Wat zijn mogelijkheden tot verbetering bij het bestaande logistieke netwerk?*
2. Wat zijn de verschillende manieren waarop Rondas BV het netwerk van standplaatslocaties en de verdeling over deze standplaatsen mogelijk kan optimaliseren?
3. Wat zijn de realistisch te behalen besparingen voor Rondas BV bij het aanpassen van het netwerk van standplaatslocaties en de verdeling over deze standplaatsen?

1.5 Methode

In het hierop volgende hoofdstuk zal de eerste deelvraag worden behandeld en dus het huidige logistieke netwerk van Rondas BV worden beschreven. Allereerst zullen bestaande standplaatsen en de verdeling tussen deze standplaatsen worden toegelicht. Dit is namelijk de basis van waaruit aanpassingen ter verbetering van het logistieke netwerk kunnen worden gedaan. Daarna zullen de bestaande goederenstromen worden geanalyseerd, om vervolgens ook kort te kijken naar potentiële verbeteringen onafhankelijk van de standplaatslocaties en verdelingen. In het derde hoofdstuk zullen verschillende realistische scenario's worden gecreëerd om het huidige netwerk van standplaatsen te verbeteren. Hiervoor worden wetenschappelijke theorieën voor het bepalen van locaties van voornamelijk distributiecentra gebruikt. In het vierde hoofdstuk zal voor de meest belovende scenario's werkelijk worden bepaald wat voor kosten besparingen er bereikt kunnen worden. Dit wordt gedaan met het professionele ritplansysteem ORTEC Transport en Distributie, dit pakket wordt door Rondas BV gebruikt voor het maken van de transportplanning. Uiteindelijk zal in de conclusie een advies aan Rondas BV worden opgesteld op basis van de beantwoorde onderzoeksvragen en zal dit onderzoek en toekomstig onderzoek worden geëvalueerd.

1.6 Relevantie

Dit onderzoek is natuurlijk relevant voor Rondas BV zelf. Maar het onderzoek geeft ook een indicatie of de meer algemene distributielocatie theorieën ook kunnen worden gebruikt voor het specifieke probleem van het bepalen van standplaatsen voor transportbedrijven. Over dit onderwerp van standplaatslocatie bepaling zijn geen wetenschappelijke publicaties beschikbaar. Daarom wordt deze veronderstelling in dit onderzoek gecontroleerd met in de wetenschappelijke literatuur gepubliceerde algoritmen voor het maken van een transportplanning.

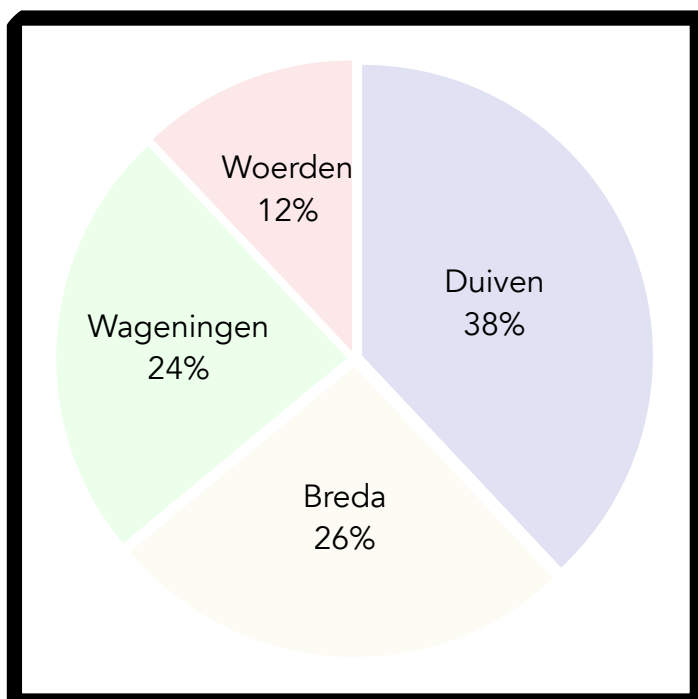
2. Hoe ziet het huidige logistieke netwerk van Rondas BV er uit?

2.1 Inleiding

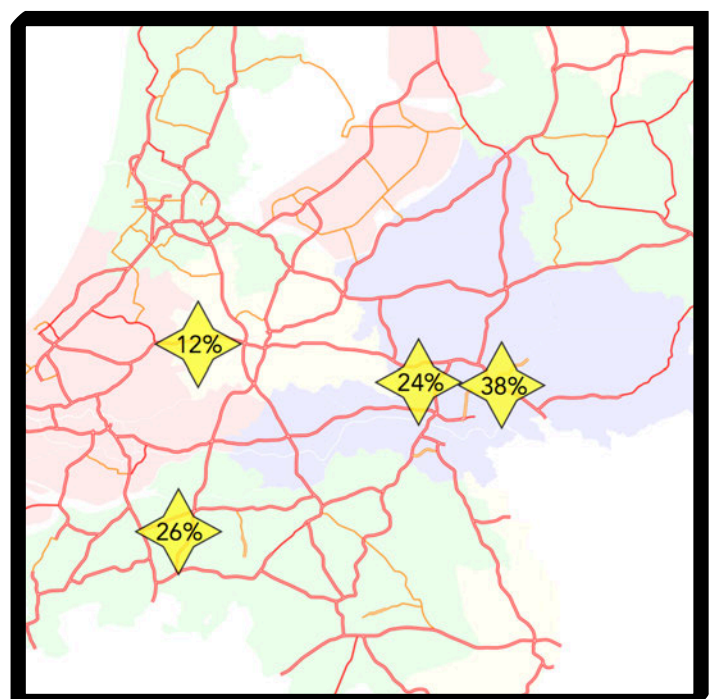
In dit hoofdstuk zal het huidige netwerk van standplaatsen en de verdeling van voertuigen en chauffeurs over deze standplaatsen worden beschreven. Ook zal hierbij worden gekeken naar de capaciteiten, voordelen en nadelen van deze reeds bestaande locaties. Om de uiteindelijke resultaten in een goed perspectief te kunnen zetten zal ook de voor deze deelvraag gebruikte dataset kort worden beschreven. Daarna zal de uit deze dataset volgende spreiding van productielocaties en loslocaties van klanten worden behandeld, om vervolgens de meest significante goederenstromen tussen deze locaties weer te geven. Dit is van belang om in het vervolg van dit onderzoek een goede indruk van het bestaande logistieke netwerk te hebben. Als laatste zal in dit hoofdstuk worden gekeken naar mogelijke verbeteringen van het logistieke netwerk zonder het veranderen, toevoegen of weglaten van bestaande standplaatsen.

2.2 Huidige standplaatsen

Zoals in de inleiding van dit onderzoek al is aangegeven heeft Rondas BV ongeveer 65 eigen voertuigen en evenzoveel eigen vrachtwagenchauffeurs beschikbaar voor het uitvoeren van transportopdrachten. Met de verdeling van chauffeurs over standplaatsen wordt dus in principe hetzelfde bedoeld als met de verdeling van voertuigen over standplaatsen. Van deze vijftien standplaatsen is iets meer dan negentig procent verdeeld over de standplaatsen Duiven, Breda, Wageningen en Woerden. De overige standplaatslocaties zijn verspreid door heel Nederland op productielocaties van klanten. Omdat het in die gevallen vaak gaat over één enkele auto, die op een bepaalde locatie staat, worden deze kleine standplaatsen in dit onderzoek verder weggelaten. De verdeling tussen de vier grootste standplaatsen is dan als volgt:



Figuur 1: Verdeling van het aantal voertuigen (%) over de bestaande standplaatsen van Rondas BV.



Figuur 2: Locaties van de bestaande standplaatsen weergegeven op de kaart van Nederland.

De standplaats in Duiven is op het moment de grootste van de vier standplaatsen, hier zijn nu dus het meeste voertuigen en chauffeurs (38 procent) aan gebonden. Dat houdt concreet in dat er 24 voertuigen en chauffeurs van Rondas BV de standplaats Duiven hebben. Het betreft een locatie op een industrieterrein in Duiven waar dit aantal eventueel nog met vijftig procent kan worden verhoogd zonder dat daar erg hoge investeringen voor nodig zijn. Behalve dat deze locatie een standplaats is voor een gedeelte van de voertuigen is het ook de locatie waar op kantoor de transportplanning wordt gemaakt. Het gedeelte van de huurprijs dat onafhankelijk is van het aantal voertuigen op deze standplaats bedraagt ongeveer zeshonderd euro per week. Dit bedrag is bereikt door de totale huur te verminderen met de marktprijs (Stadsbeheer Etten-Leur, 2013) voor de huur van een vrachtwagenparkeerplaats vermenigvuldigd met het aantal op de locatie beschikbare vrachtwagen parkeerplaatsen.

Ongeveer 24 procent van alle chauffeurs en voertuigen zijn gebonden aan de standplaats in Wageningen, dit betekent dat er vijftien eenheden op deze standplaats staan. Deze standplaats ligt buiten Wageningen en ook hier is het mogelijk om minimaal vijftig procent meer voertuigen te huisvesten wanneer dit wenselijk zou zijn. Op deze locatie staat ook de werkplaats die in principe het onderhoud voor het complete wagenpark uitvoert. Ook hier bedraagt het, van het aantal voertuigen onafhankelijke, gedeelte van de huur voor deze standplaats ongeveer zeshonderd euro per week. Tot dit bedrag is gekomen door van de totale huur de marktprijs (Stadsbeheer Etten-Leur, 2013) voor het aantal beschikbare vrachtwagen parkeerplaatsen en de huur van de op de locatie aanwezige werkplaats af te trekken.

Op de standplaats in Woerden staan negen voertuigen, dit komt dus overeen met ongeveer 12 procent van het totale aantal voertuigen. Het gedeelte van de kosten voor deze vestiging dat niet afhankelijk is van het aantal geparkeerde voertuigen bedraagt ongeveer tweehonderddertig euro per week. Wanneer nodig of gewenst kunnen tot vijftig procent meer chauffeurs en voertuigen aan deze standplaats worden toegevoegd. In Breda is de standplaats gevestigd op de productielocatie van een klant. Hieraan is ongeveer 26 procent van de chauffeurs en voertuigen gebonden en er staan dus zeventien voertuigen van chauffeurs. De kosten voor deze vestiging zijn direct afhankelijk van het aantal voertuigen die er geparkeerd worden. Dit bedrag wordt in dit onderzoek gesteld op de marktprijs voor een vrachtwagenparkeerplaats (Stadsbeheer Etten-Leur, 2013). Hierdoor zijn de kosten die onafhankelijk zijn van het aantal voertuigen te benaderen op nul. Uitbreiding is ook hier mogelijk tot een toename van vijftig procent.

De kosten die een voertuig genereert zijn voornamelijk afhankelijk van de gereden afstand met het voertuig en de tijd die de chauffeur bezig is met het uitvoeren van zijn rondrit. Dit zijn de variabele kosten voor het uitvoeren van het transport (Ballou, 2004). Als alle voertuigen evenveel worden ingezet, wat in principe vrijwel altijd gebeurt om de maximale capaciteit te benutten, zal de verdeling van de gegenereerde kosten tussen de standplaatsen ongeveer hetzelfde zijn als de verdeling van het aantal voertuigen tussen de verschillende standplaatsen. Dit is belangrijke informatie om later in dit hoofdstuk de overeenkomsten of verschillen tussen de verdeling over de huidige standplaatsen en de verdeling van de huidige goederenstromen te kunnen begrijpen.

Daarnaast is eerder al genoemd dat ongeveer eenderde van het transport wordt uitgevoerd door collega transportbedrijven. Ook die bedrijven hebben te maken met standplaatsen van chauffeurs. Deze voertuigen worden door Rondas BV ongeveer hetzelfde ingepland als de eigen voertuigen. De kosten voor deze voertuigen zijn afhankelijk van de gereden kilometers en benodigde tijd voor de gehele rondrit, inclusief onbeladen kilometers. Daarom verschilt de kostenstructuur van deze voertuigen weinig van de eigen kostenstructuur.

2.3 *Gebruikte dataset*

Voor het bepalen van de alternatieve verdelingen tussen de huidige standplaatsen, of locaties van nieuwe standplaatsen, zullen 20.700 transportorders van tien opeenvolgende weken worden gebruikt. Het betreft de transportorders op doordeweekse dagen van de weken achttien tot en met zevenentwintig. Orders van voorgaande jaren zijn voor dit onderzoek niet relevant omdat het klantenbestand zelfs in het begin van 2013 al sterk verschilde ten opzichte van de huidige situatie. Dit bevestigt ook gelijk de dynamiek van een logistiek netwerk. Zulke netwerken zijn vaak niet erg constant en veranderingen zijn moeilijk te voorspellen. De resultaten van dit onderzoek zijn hierdoor vooral relevant voor het logistieke netwerk zoals dat er op dit moment uitziet. Wanneer er grote veranderingen in het klantenbestand optreden moeten enkele stappen van dit onderzoek opnieuw worden uitgevoerd om veranderingen van de resultaten te kunnen analyseren.

Voordat er verderop met de van Rondas BV verkregen gegevens in de vorm van transportorders zal worden gewerkt, is het nog wel van belang om te vermelden dat alle orders in dit onderzoek als eenzelfde soort zullen worden behandeld. In de werkelijke transportplanning zijn er altijd uitzonderingen die door specifieke voertuigen gereden moeten worden, of orders die een andere activiteit representeren dan een directe transportbeweging. Ook zijn er altijd enkele voertuigen die alleen specifieke transportorders kunnen of mogen uitvoeren. Hier kan en zal geen rekening mee worden gehouden in de standplaatsbepalingen van dit hoofdstuk. Daarnaast worden ook de transportorders die zijn uitgevoerd door andere transportbedrijven niet gefilterd. Hierdoor zou namelijk vooraf een onwenselijke selectie worden gemaakt. Daarmee zouden de eigen verdeling tussen standplaatslocaties en locaties van standplaatsen namelijk afhankelijk worden gemaakt van de ritten die zijn of worden uitbesteed, in plaats van andersom.

2.4 *Spreiding van laadlocaties en loslocaties*

Zoals in de inleiding al is aangegeven zijn bouwprojecten en herinrichtingen vaak van tijdelijke aard. Dat betekent dat loslocaties van bouwmaterialen vaak ook van tijdelijke aard zijn. Waar in bijvoorbeeld de supermarktdistributie de laadlocaties en loslocaties constant zijn, is het in het transport van bouwmaterialen zo dat de productielocaties eigenlijk de enige constante en stabiele locaties in het logistieke netwerk zijn. En het is dus belangrijk om te realiseren dat de volumes vanaf specifieke laadlocaties behoorlijk constant zijn. Maar dat loslocaties constant verschuiven door het afronden en opstarten van bouwprojecten. In grote lijnen blijkt echter dat op het niveau van losgebieden, dus niet specifieke loslocaties, wekelijks wel ongeveer dezelfde goederenbewegingen tussen postcodegebieden plaatsvinden (Appendix A).

De eerste stap om de spreiding van laadlocaties en loslocaties te kunnen analyseren is het bepalen in welke eenheden dit het beste kan worden gedaan. In eerste instantie lijkt het misschien handig om op basis van vertrekkende en inkomende gewichten te kijken naar het aandeel van bepaalde laadlocaties en loslocaties in het totaal. Dit geeft echter een vertekend beeld omdat er dan geen rekening zal worden gehouden met de afstand waarover die gewichten moeten worden vervoerd. Daarom is het beter om voor iedere order apart de kosten te berekenen op basis van het gewicht en de afstand tussen de laadlocatie en de loslocatie. Daarna kan het aandeel van de kosten van één transportorder binnen de totale kosten worden bepaald.

In dit hoofdstuk worden de afstanden en reistijden die zijn meegeleverd in de dataset gebruikt. Dit is dus voor ieder van de 20.700 transportorders de afstand en reistijd tussen de laadlocatie en de loslocatie. Deze tijden en afstanden zijn berekend door het transportplansysteem van Rondas BV. De kostenberekening per order is weergegeven in de formule op de volgende pagina.

$$TC_i = (d_i \times C_{km} + T_i \times C_{uur}) \times U_i$$

TC_i = totale kosten voor order i

$d_i =$ afstand in kilometers voor order i

$$C_{km} = \text{kosten per kilometer}$$

$T_i =$ reistijd in uren voor order i

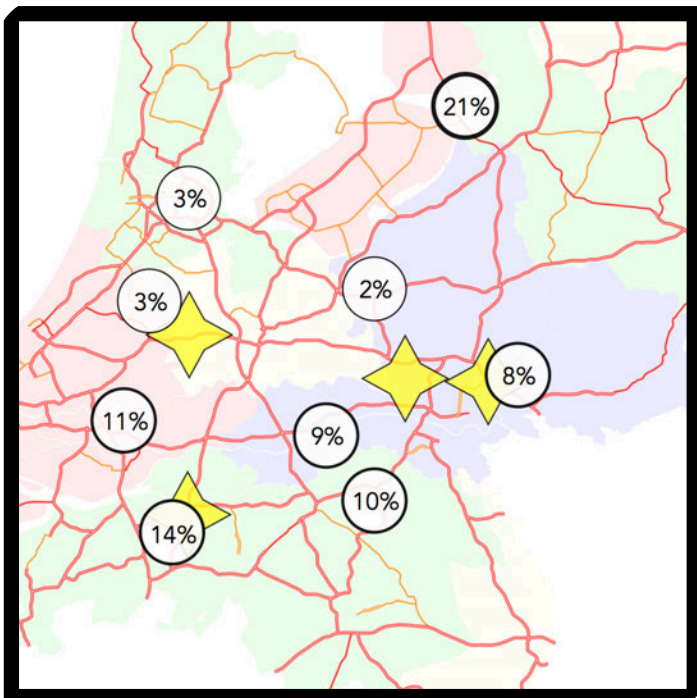
$$C_{uur} = \textit{kosten per uur}$$

$U_i =$ bezettingsfactor van order i

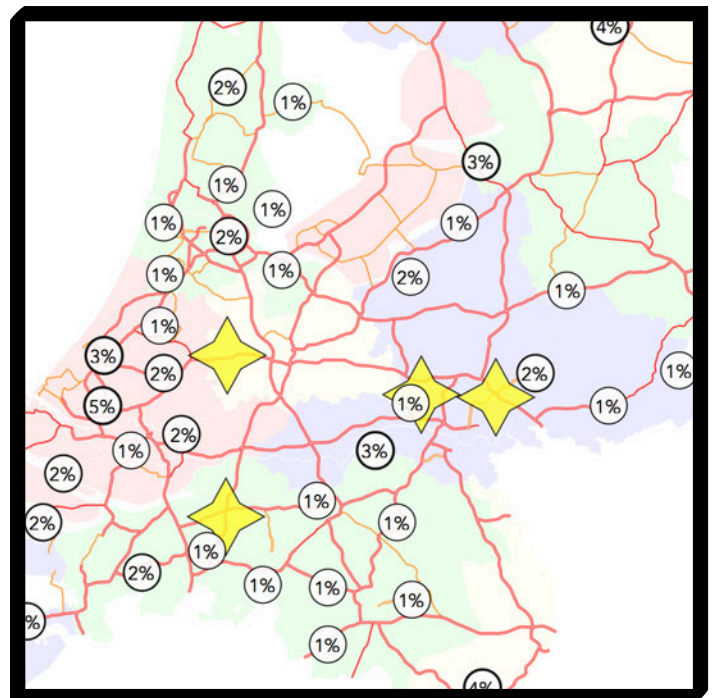
De afstanden en reistijden in deze paragraaf komen uit de dataset van Rondas BV. Het is belangrijk om te onthouden dat in de volgende hoofdstukken deze afstanden en reistijden op een andere manier zullen worden berekend.

De bezettingsfactor bestaat uit het gewicht van een order gedeeld door het laadvermogen op de route en de gemiddelde beladingsgraad. Het laadvermogen is afhankelijk van de landen waar de transportroute doorheen gaat. In Nederland is dit bijvoorbeeld ongeveer 31.000 kilogram terwijl het in veel andere Europese landen maar 21.000 kilogram is. De beladingsgraad is een constante die controleert voor het feit dat een vrachtwagen niet altijd voor honderd procent beladen is. Hierdoor zal de bezettingsfactor van een transportorder een waarde hebben tussen nul en ongeveer één gedeeld door de gemiddelde beladingsgraad bij Rondas BV.

Om de spreiding van laadlocaties en loslocaties weer te kunnen geven zijn de orders eerst geaggregeerd op basis van de eerste twee cijfers van de postcodes van de laadlocaties, om dit vervolgens te herhalen op basis van de eerste twee cijfers van de postcodes van de loslocaties. De op deze wijze per postcodegebied geaggregeerde kosten zijn in de onderstaande figuren weergegeven als percentage van de totale kosten. In *figuur 3* is 90% van de laadgebieden gevisualiseerd terwijl in *figuur 4* nog maar 66% van de losgebieden is weergegeven.



Figuur 3: Meest significante (>1,0%) laadlocaties waar in totaal ongeveer 90% van de transporten geladen wordt. Ook weergegeven zijn de huidige vier standplaatsen.



Figuur 4: Meest significante ($>0,8\%$) loslocaties waar in totaal ongeveer 66% van de transporten gelost wordt. Ook weergegeven zijn de huidige vier standplaatsen.

In de figuren op de vorige pagina is duidelijk zichtbaar dat de loslocaties veel meer geografisch verspreid zijn dan laadlocaties. Transportorders die verantwoordelijk zijn voor ongeveer negentig procent van de totaal gemaakte kosten worden volgens *figuur 3* namelijk geladen binnen maar negen postcodegebieden, dit zijn gebieden samengevat op basis van de eerste twee cijfers van de postcodes van de laadlocaties. De verschillende loslocaties zijn op dezelfde manier op basis van twee cijferige postcodecijfers geaggregeerd, dit resulteert echter in veel meer verschillende verspreide gebieden. In het bovenstaande *figuur 4* zijn namelijk zesendertig 2-cijferige postcodegebieden weergegeven. Binnen deze gebieden worden enkel de transportorders die gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor ongeveer tweederde van de totale kosten gelost. De overige loslocaties liggen dus nog veel meer verspreid door Nederland, België en Duitsland.

Als bovenstaand *figuur 3*, de weergave van de meest significante laadlocaties, wordt vergeleken met de bestaande standplaatsen van Rondas BV, vallen er ook al enkele dingen op. Ten eerste dat de standplaatsen in Duiven en Breda dicht bij een grote laadlocatie liggen waar een groot gedeelte van de transportorders wordt geladen. Daarnaast is het opvallend dat op de specifieke locaties waar het meeste orders worden geladen eigenlijk geen standplaatsen aanwezig zijn, met uitzondering van de locatie in Breda. Vooral de meest noordelijke laadlocatie, meer specifiek de laadlocatie in Kampen, ligt erg ver van de dichtstbijzijnde standplaats verwijderd. De gebieden waarin orders worden gelost die een significant gedeelte van de totale kosten representeren zijn eigenlijk te sterk verspreid om uit *figuur 4* relevante informatie te kunnen halen.

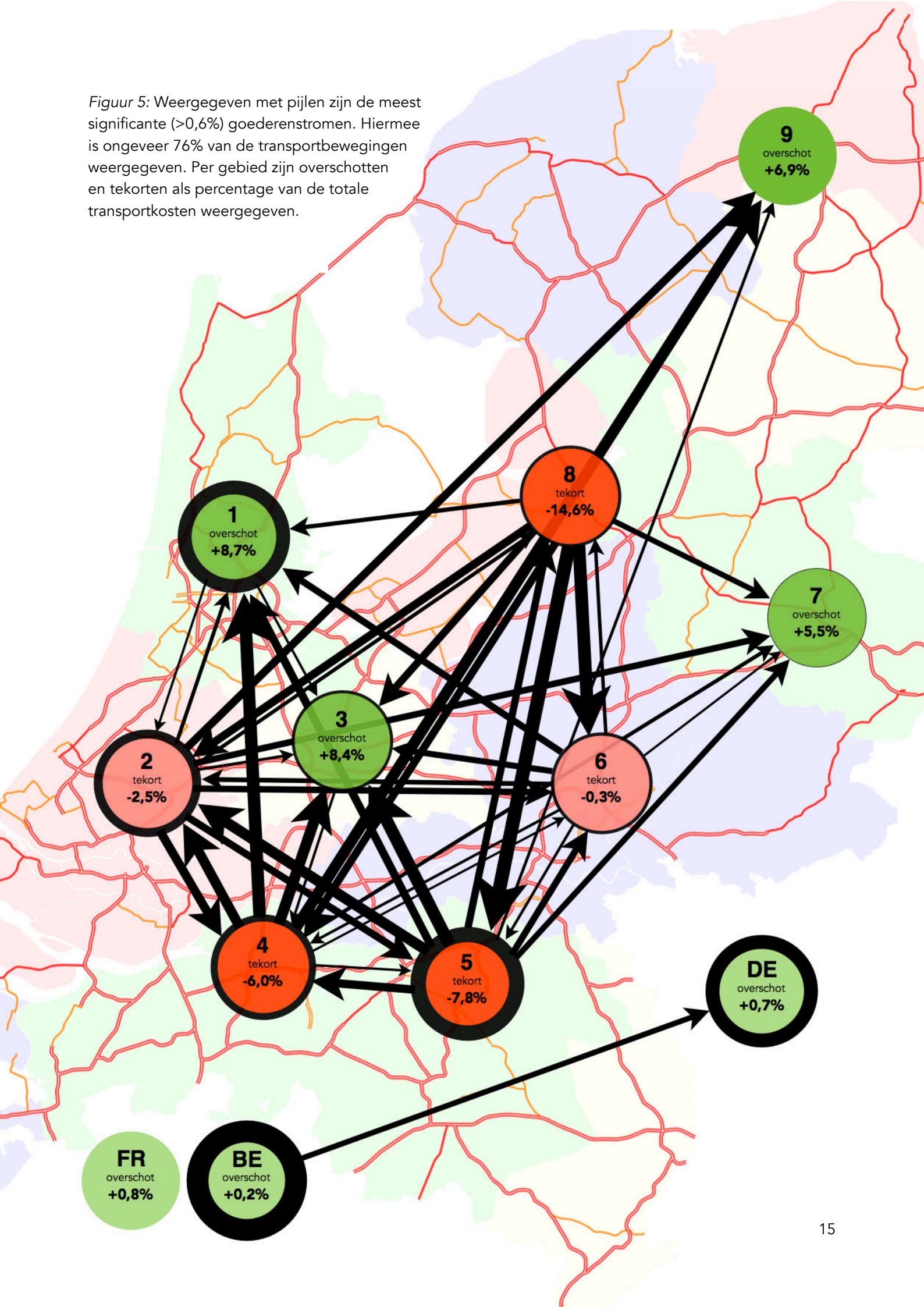
2.5 Goederenstromen van het transportaanbod

Wanneer net als in de vorige paragraaf postcodegebieden op basis van de eerste twee cijfers van een postcode zouden worden gebruikt voor het weergeven van de goederenstromen, levert dit een erg chaotisch beeld op. Dat is voor te stellen als *figuur 3* en *figuur 4* die over elkaar worden geplaatst, om vervolgens iedere laadlocatie te verbinden met meerdere loslocaties. Daarom is er voor gekozen om, voor het visueel weergeven van de goederenstromen, gebieden te creëren op basis van het eerste cijfer van de van de bijgevoegde locatie postcodes. Over het algemeen representeren deze eerste cijfers van postcode's een duidelijk gebied van Nederland. Er zijn echter enkele uitzonderingen. Zo heeft het grootste gedeelte van de provincie Utrecht hetzelfde eerste cijfer (3) als Rotterdam. En heeft het oosten van Gelderland ook hetzelfde eerste postcodecijfer (6) als Zuid-Limburg. Het is belangrijk om dit te beseffen, hiervoor zijn namelijk geen aparte gebieden aangemaakt in de onderstaande visuele weergaven.

De kosten van een order zijn wederom op dezelfde manier bepaald als in de vorige paragraaf. Door het aggregeren van de transportorders die in dezelfde gebieden laden en lossen (op basis van het eerste postcodecijfer), is het mogelijk om een draaitabel te maken. Hierin worden dan de kosten bij de verschillende goederenstromen bepaald als een percentage van de totale kosten.

In *figuur 5* worden deze goederenstromen visueel weergegeven. Om de weergave enigszins overzichtelijk te houden zijn alleen goederenstromen tussen postcodegebieden die meer dan 0,6 procent van de totale transportkosten representeren met pijlen weergegeven. Binnen een postcoderegio is het met groene kleuren weergegeven als er een overschot aan inkomende goederenstromen is. Bij een tekort aan inkomende transportbewegingen zal een regio in rood worden weergegeven. Hoe groot deze overschotten of tekorten binnen regio's zijn wordt binnen het gebied weergegeven als percentage van de totale kosten. Een dikker omlijnd postcodegebied representeert relatief meer regionale transportbewegingen binnen het gebied.

Figuur 5: Weergegeven met pijlen zijn de meest significante (>0,6%) goederenstromen. Hiermee is ongeveer 76% van de transportbewegingen weergegeven. Per gebied zijn overschotten en tekorten als percentage van de totale transportkosten weergegeven.



2.6 Verbeteringen door wijziging van goederenstromen

Als *figuur 5*, met daarin de overschotten van ingaande of uitgaande transportopdrachten, goed wordt geanalyseerd kunnen er enkele interessante waarnemingen worden gedaan. In postcode gebieden zeven en negen komen er meer transporten binnen dan dat er transporten vertrekken. Terwijl er in gebied acht een tekort van uitgaande transporten is dat nog net iets groter is dan de gezamenlijke overschotten in gebieden zeven en negen. Voertuigen die lossen in het noord-oosten en hoge noorden van Nederland zullen dus in de meeste gevallen terugkomen naar postcodegebied acht om daar weer te gaan laden. Precies hetzelfde geldt voor gebied drie, daar komt een overschot aan voertuigen leeg en die zullen grotendeels kunnen terugvallen op de postcodegebieden twee en vier waar een tekort aan voertuigen is die daar kunnen laden. De keuze voor het terugvallen op de gebieden twee en vier wordt in dit geval gemaakt omdat postcodegebied drie ook het gebied rond Rotterdam kan representeren.

De bovenstaande problemen kunnen worden verkleind door het zoeken naar transportorders van de gebieden zeven en negen naar acht en het zoeken naar transporten vanaf postcodegebied drie naar twee en vier. Maar dit lijken echter niet de grootste knelpunten te zijn. Vanuit gebied vijf in het zuid-oosten van Nederland vertrekken namelijk orders verantwoordelijk voor bijna acht procent van het totaal, waar niet voldoende ritten naartoe gaan. Hetzelfde maar omgekeerd geldt voor postcodegebied één waar een overschot met een omvang van ruim acht procent van de totale kosten binnenkomt. De beste aanvulling op het huidige netwerk en het huidige aanbod van orders zijn dus transportopdrachten van noord-west naar zuid-oost Nederland. Dat hoeven niet persé transportorders met die specifieke laad- en loslocaties te zijn, ook is het mogelijk om met verschillende tussenstappen van postcodegebied één naar vijf te bewegen. Deze tussenstappen zijn nu echter niet aanwezig, dus ook deze transporten zouden een goede aanvulling zijn.

Behalve het aanvullen van het orderaanbod met de bovenstaande goederenbewegingen kunnen natuurlijk ook bestaanden transportorders worden afgestoten of uitbesteed. Hiermee worden de ritten niet meer aangenomen van de klant of worden ze als losse rit aangeboden aan een andere transporteur waarbij ze misschien beter in de transportplanning zullen passen.

In de ideale situatie zal dit laatste leiden tot vrachttuitwisseling waar beide partijen van kunnen profiteren. Dergelijke horizontale samenwerkingen komen echter vaak moeilijk tot stand omdat beide partijen, in deze relatief specifieke transportsector, toch vaak directe concurrenten van elkaar zijn. In het handboek verladerssamenwerking van TNO (2006) zijn enkele kritische succesfactoren en belangrijke struikelblokken voor zulke samenwerkingen opgenomen. Hieruit blijkt dat samenwerking vaak beter werkt tussen kleine groepen transportbedrijven die dezelfde klanten bedienen en dus minder directe concurrenten zijn. Struikelblokken blijken vaak het niet kunnen bepalen van een eerlijke verdeling tussen de voordelen van de samenwerking en het slecht afstemmen van de verschillende interne processen en ICT-systemen (TNO, 2006).

Zulke initiatieven tot samenwerking bestaan wel in de markt van het bouwmaterialen transport, maar deze lijken tot op heden nog weinig vruchten af te werpen. Zo neemt Rondas BV al meer dan tien jaar deel in de bouwvervoer groep. Er zijn echter geen directe inzichten in het werk van andere deelnemers en ritten lijken alleen te worden uitgewisseld op specifiek verzoek. Ook vroegere initiatieven waar onderdelen die toen nog geen deel uit maakte van Rondas BV in hebben deelgenomen lijken te zijn stukgelopen. Hier zit zeker nog potentie tot verbetering en besparing maar dit valt niet binnen het onderwerp van dit onderzoek.

3. Hoe kan het netwerk van standplaatsen worden geoptimaliseerd?

3.1 Inleiding

Wijzigingen, toevoegingen of het compleet wegnemen van de standplaatslocaties binnen het logistieke netwerk van Rondas BV kunnen natuurlijk niet ongefundeerd worden voorgesteld. Omdat er nog geen wetenschappelijke theorieën zijn gepubliceerd voor het bepalen van standplaatslocaties voor transportbedrijven, is gezocht naar een theorie die dit doel het beste benaderd. Als basis voor het bepalen van de optimale locaties voor standplaatsen zal het gridmodel, ook wel zwaartepuntmodel, voor het bepalen van voornamelijk de locatie's van distributiecentra worden gebruikt. Hoe deze theorie is gebruikt zal in dit hoofdstuk worden toegelicht, om vervolgens de gevonden resultaten te presenteren.

3.2 Standplaatsbepaling

Het doel van het zwaartepuntmodel is om de totale transportkosten van bewegingen tussen laadlocaties en een distributiecentrum en tussen loslocaties en een distributiecentrum te minimaliseren. Deze totale transportkosten zijn afhankelijk van de afstanden tussen de verschillende locaties, het volume of gewicht van de zending en de bijbehorende transportprijzen of kosten. In een distributienetwerk moeten goederen vaak eerst verzameld worden vanaf de op een centraal punt, van waaruit de goederen verspreid worden naar de loslocaties. Het zwaartepuntmodel werkt op dezelfde manier en gaat er dus ook van uit dat iedere transportorder eerst verzameld moet worden op een centrale locatie, van waaruit verdere distributie plaats kan vinden. Ook in dit hoofdstuk zal iedere transportorder een aparte rit representeren, waarbij het doel minimalisatie van de totale kosten is. Dit doel komt enigszins overeen met het doel van het zwaartepuntmodel (Visser & Goor, 2011), maar is aangepast voor dit onderzoek:

$$\min TC = \sum_i W_i (d_{1,i} + d_{2,i} + d_{3,i}) C$$

TC = totale transportkosten

W_i = gewicht in kilogram van order i

d_{1,i} = afstand in kilometers van de te bepalen standplaats tot de laadlocatie van order i

d_{2,i} = afstand in kilometers tussen laadlocatie en loslocatie van order i

d_{3,i} = afstand in kilometers van de loslocatie van order i tot de te bepalen standplaats

C = kosten per kilometer per kilogram

Bij meerdere transportorders met gelijke gewichten en gelijke kosten per kilometer en kilogram zal dus de totale afstand vanaf de laadlocatie via de te bepalen standplaats naar de loslocatie worden geminimaliseerd. Wanneer zendingen echter bijvoorbeeld niet hetzelfde gewicht hebben, zullen afstanden voor de ene transportopdracht met een hoger gewicht zwaarder meetellen dan afstanden van een andere transportopdracht met een lager gewicht. Hetzelfde principe kan worden gebruikt voor het bepalen van meerdere standplaatsen. Dan zullen transportorders echter eerst moeten worden toegewezen aan bepaalde clusters, om vervolgens voor de opdrachten binnen die clusters de totale transportkosten te minimaliseren op de bovenstaande manier. Het toepassen van deze methoden zal in de volgende paragrafen verder worden toegelicht.

3.3 Methode

Bij deze methode zal precies dezelfde dataset worden gebruikt als in het vorige hoofdstuk. Het gaat dus weer om alle 20.700 transportorders van de weken achttien tot en met zevenentwintig. Voor toepassing van dit model is het nodig om de afstanden tussen de laadlocaties, willekeurige standplaatsen en loslocaties van alle transportorders te kunnen berekenen. Omdat alleen de directe afstanden tussen de laadlocaties en loslocaties zijn meegeleverd in de gegevens van de transportopdrachten, moet deze afstand op een andere manier worden bepaald. De enige manier waarop locatiegegevens in de transportopdrachten zijn meegeleverd is in de vorm van laadpostcodes en lospostcodes. De eerste stap om op basis van postcodes afstanden tussen locaties te kunnen berekenen is het plaatsen van deze postcodes op een grid. Gelukkig is er wereldwijd al een grid aanwezig waar locaties op basis van latitude en longitude coördinaten kunnen worden weergegeven, hier zal dan ook gebruik van worden gemaakt. Door het in een database combineren van gegevens van Geonames (2013), d-centralize (2013) en Visokio (2013), waarin postcodes worden gekoppeld aan latitude en longitude coördinaten, is het heel goed mogelijk om de laadlocaties en loslocaties van de verschillende transportorders te geocoderen. Dit geocoderen is gedaan op basis van de Nederlandse, Belgische en Luxemburgse 4-cijferige postcodes en Duitse en Franse 5-cijferige postcodes. Hierdoor kunnen aan de laadlocaties en loslocaties erg nauwkeurig latitude en longitude coördinaten worden toegewezen.

Om vervolgens de afstanden tussen deze latitude en longitude coördinaten zo realistisch mogelijk te kunnen berekenen is een andere methode gebruikt. Het is niet mogelijk om voor alle 20.700 transportorders, met in totaal dus 41.400 locaties, meerdere malen de werkelijke afstand naar een willekeurige standplaats met een echte routeplanner te berekenen. Dit vraagt namelijk heel veel rekenkracht die niet beschikbaar is. Daarom zullen in dit onderzoek hemelsbrede afstanden tussen locaties worden berekend en gebruikt. Dit is minder nauwkeurig dan het berekenen van de werkelijke wegaafstand maar het is ook de enige efficiënte manier om afstanden tussen de gegeven laadlocaties en loslocaties locaties en dynamische standplaatslocaties te bepalen. Om deze afstanden toch zo realistisch mogelijk te benaderen zijn deze in eerste instantie berekend met de great-circle formule (Ballou, 2004). Door het gebruiken van deze formule wordt de afstand over het aardoppervlakte berekend en zal er dus rekening worden gehouden met de ronding van de aarde. In een formule is deze berekening als volgt weer te geven:

$$d_{1,i} = \arccos(\sin(\varphi_1) \times \sin(\varphi_2) + \cos(\varphi_1) \times \cos(\varphi_2) \times \cos(\lambda_2 - \lambda_1)) \times R / D$$

$$d_{2,i} = \arccos(\sin(\varphi_2) \times \sin(\varphi_3) + \cos(\varphi_2) \times \cos(\varphi_3) \times \cos(\lambda_3 - \lambda_2)) \times R / D$$

$$d_{3,i} = \arccos(\sin(\varphi_1) \times \sin(\varphi_3) + \cos(\varphi_1) \times \cos(\varphi_3) \times \cos(\lambda_3 - \lambda_1)) \times R / D$$

$d_{1,i}$ = afstand in kilometers van de te bepalen standplaats tot de laadlocatie van order i

$d_{2,i}$ = afstand in kilometers tussen laadlocatie en loslocatie van order i

$d_{3,i}$ = afstand in kilometers van de loslocatie van order i tot de te bepalen standplaats

λ_1 = longitude coördinaat in radialen van de te bepalen standplaats

φ_1 = latitude coördinaat in radialen van de te bepalen standplaats

λ_2 = longitude coördinaat in radialen van de laadlocatie van order i

φ_2 = latitude coördinaat in radialen van de laadlocatie van order i

λ_3 = longitude coördinaat in radialen van de loslocatie van order i

φ_3 = latitude coördinaat in radialen van de loslocatie van order i

R = straal van de aarde in kilometers

D = gemiddelde wegendichtheid

Deze afstanden worden vervolgens gedeeld door de wegendichtheid van het gebruikte netwerk van Europese wegen. Deze wegendichtheid is bepaald door de great-circle afstanden tussen de laadlocaties en loslocaties van alle transportopdrachten bij elkaar op te tellen. Om deze totale afstand vervolgens te delen door de werkelijke totale afstand tussen deze laadlocaties en loslocaties, die werkelijke afstand is namelijk berekend door een routeplanner van het transportplansysteem. Deze berekeningen komen uit op een netwerkdichtheid van ongeveer 78%, dat is iets meer dan het Europese gemiddelde van 69% (Ballou, 2004). Concreet betekent dit dat een hiervoor berekende boogafstand van bijvoorbeeld 100 kilometer, gedeeld moet worden door 0,78 om tot een realistische wegafstand van ongeveer 128 kilometer te komen.

Behalve de afstand is ook het gewicht van een transportorder van belang voor de totale kosten. Dit gewicht zal worden geconverteerd naar een bezettingsfactor waardoor de kosten van iedere transportorder zo realistisch mogelijk worden benaderd. De eerste stap hiertoe is het delen van het gewicht van de transportorder door het maximale laadvermogen op de route. Omdat een vrachtwagen niet altijd volledig beladen zal zijn moet deze waarde ook nog worden gedeeld door de al eerder genoemde beladingsgraad. In een formule kan dit als volgt worden weergegeven:

$$U_i = W_i/M_i/L$$

U_i = bezettingsfactor van order i

W_i = gewicht in kilogram van order i

M_i = laadvermogen in kilogram op de route van order i

L = gemiddelde beladingsgraad

Als laatste is ook de tijdsduur die nodig is voor het uitvoeren van een transport belangrijk voor het bepalen van de kosten per order. Die tijd zal worden berekend door de hiervoor bepaalde afstand tussen twee locaties te delen door de gemiddelde snelheid. Waarbij de gemiddelde snelheid is bepaald door de totale werkelijke afstand uit de dataset te delen door de totale werkelijke reistijd uit de dataset. Beide zijn berekend door de routeplanner en dit resulteert in een gemiddelde snelheid van ongeveer 67 kilometer per uur. De totale reistijd is dus als volgt:

$$T_i = (d_{1,i}+d_{2,i}+d_{3,i}) / V_{gem}$$

T_i = reistijd in uren voor order i

$d_{1,i}$ = afstand in kilometers van de te bepalen standplaats tot de laadlocatie van order i

$d_{2,i}$ = afstand in kilometers tussen laadlocatie en loslocatie van order i

$d_{3,i}$ = afstand in kilometers van de loslocatie van order i tot de te bepalen standplaats

V_{gem} = gemiddelde snelheid in kilometers per uur

Hiermee zijn alle gegevens beschikbaar die nodig zijn voor het toewijzen van de kosten aan een transportorder uitgevoerd door een voertuig met een willekeurige standplaats. In de hierop volgende stappen zal worden gesimuleerd dat voor ieder van de 20.700 transportopdrachten een aparte rit start op een willekeurige standplaats. Vervolgens de goederen verplaatst vanaf de laadlocatie naar de loslocatie, om uiteindelijk terug te keren op de standplaats. Op basis van de afstand die nodig is om deze bewegingen uit te voeren en het gewicht van de transportopdracht zal voor iedere order apart de volgende kostenberekening worden gemaakt:

$$TC_i = (d_i \times C_{km} + T_i \times C_{uur}) \times U_i$$

TC_i = totale kosten voor order i

d_i = afstand in kilometers voor order i

C_{km} = kosten per kilometer

T_i = reistijd in uren voor order i

C_{uur} = kosten per uur

U_i = bezettingsfactor van order i

De kosten voor ieder van de 20.700 individuele transportopdrachten kunnen uiteindelijk worden opgeteld om tot de totale kosten van een scenario te komen. Deze totale kosten zijn niet afhankelijk van de transportorders, dit is namelijk een vaste en gegeven dataset. Zij zijn wel afhankelijk van de standplaatslocaties.

Hierna wordt in eerste instantie voor ieder aantal gewenste standplaatsen een zogenaamde startoplossing opgezet. In dit onderzoek wordt er aan de hand van deze methode gekeken naar het hebben van één tot en met vijf verschillende standplaatslocaties. Dat betekent dat er voor ieder van deze vijf situaties een startoplossing moet zijn. Omdat het hier enkel om tijdelijke beginoplossing gaat, zijn de standplaatslocaties één, twee, drie, vier en vijf voor het gemak opeenvolgend gelijkgesteld aan de postcodegebieden één, drie, zeven en negen.

In de situatie dat er één standplaats gewenst is zullen de kosten van iedere transportorder afhankelijk zijn van de afstand en tijd tussen standplaats één (postcodegebied één in de startoplossing) en de laadlocatie van de opdracht, de afstand en tijd tussen de laadlocatie en loslocatie en de afstand en tijd tussen de loslocatie en de standplaats één (postcodegebied één in de startoplossing). Deze kosten van iedere transportopdracht moeten vervolgens nog vermenigvuldigd worden met de bezettingsfactor van de transportorder. Als de transportkosten van alle opdrachten bij elkaar worden opgeteld komt men tot de totale transportkosten.

Zodra de totale transportkosten in het geval van meerdere standplaatsen berekend moeten worden, is de methode iets ingewikkelder. In het voorbeeld waarin er vijf standplaatsen gewenst zijn, zal vanaf ieder van de vijf standplaatsen uit de startoplossing (postcodegebieden één, drie, vijf, zeven en negen) de kosten voor een transportorder worden berekend. Dit gebeurt op dezelfde manier zoals dat hierboven al gedaan is in de situatie dat er maar één standplaats gewenst is. Vervolgens worden de laagste kosten per transportopdracht bij elkaar opgeteld om tot de totale transportkosten te komen. De laagste kosten per order zijn dus de kosten voor het transport vanaf één van de vijf standplaatsen uit de beginoplossing, waarvandaan het transport het goedkoopst kan worden uitgevoerd. Op deze manier worden transportorders ook geclusterd op basis van de standplaats vanwaar de transporten het goedkoopst kunnen worden uitgevoerd.

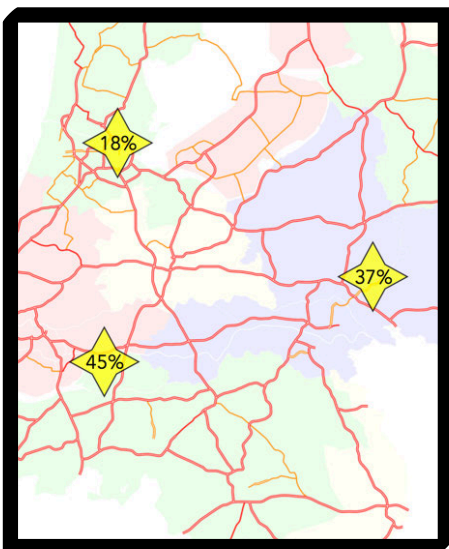
Vanuit ieder van de vijf beginsituaties, met dus één tot en met vijf verschillende standplaatsen, moeten vervolgens de totale transportkosten worden geminimaliseerd. Deze minimalisatie kan op een heuristische manier worden uitgevoerd door de MS Excel Solver (Chopra & Meindl, 2007). Door voor iedere situatie (met één, twee, drie, vier of vijf standplaatsen) vanuit de startoplossing de verschillende standplaatsen incrementeel en iteratief te verplaatsen worden de beste standplaatslocaties berekend. De variabelen die de MS Excel Solver in deze berekeningen wijzigt zijn dus iedere keer de coördinaten van de standplaatslocaties.

Omdat het mogelijk is om op deze manier op lokale minima van de totale kosten vast te lopen start de Excel Solver deze heuristische minimalisatie iedere keer vanuit honderd willekeurige verzamelingen van startoplossingen. De willekeurig bepaalde locaties van de standplaatsen binnen deze honderd verzamelingen van startoplossingen vallen binnen de grenzen van het werkgebied van Rondas BV. Dat betekent concreet dat de longitude coördinaat dient te vallen binnen de grenzen van 3 en 7, terwijl de latitude coördinaat tussen de 48 en 56 moet liggen.

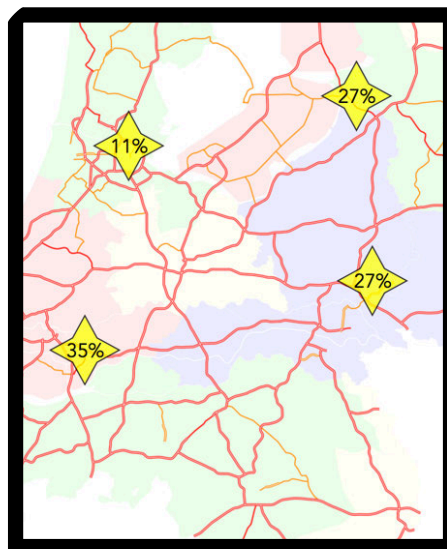
Doordat uiteindelijk iedere transportorder wordt toegewezen aan een standplaatslocatie vanwaar het transport het beste kan starten is er sprake van clustering van de transportopdrachten (Ballou, 2004). Door de orders uit één cluster in een aparte dataset te nemen is het eventueel mogelijk om voor ieder van deze clusters apart het zwaartepuntmodel (Ballou, 2004) toe te passen. Vanwege het dynamische karakter van de optimalisatie van standplaatslocaties is het vrijwel onmogelijk om op voorhand al deze clusters van transportopdrachten te vormen.

3.4 Resultaten

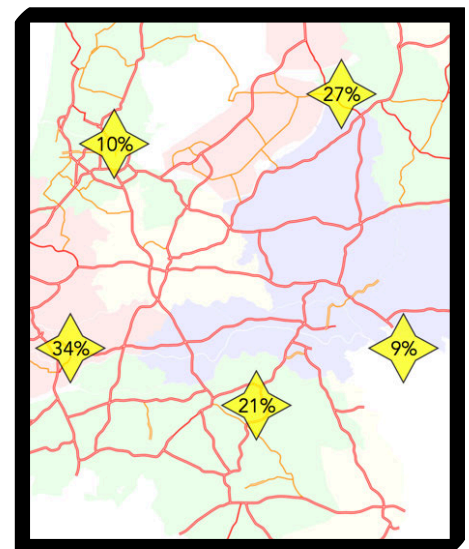
De door deze methode berekende kosten zijn geen werkelijke kosten, om deze illusie ook niet te wekken zullen de kosten voor de verschillende scenario's procentueel worden vergeleken met de basiskosten. Deze zijn bepaald door de kosten voor het directe transport tussen de laadlocatie en de loslocatie te berekenen zoals in de vorige paragraaf is beschreven. Bij deze berekening is dus geen sprake van een standplaatslocatie vanwaar de transporten zullen moeten plaatsvinden. Het betreft dus een vaste waarde die volledig afhankelijk is van de verkregen transportorders en die volledig onafhankelijk is van het aantal of de locatie van eventuele standplaatsen. Hieronder worden eerst de belangrijkste resultaten uit de berekening van standplaatslocaties weergegeven. Hierbij is in eerste instantie geen rekening gehouden met de standplaatsen van Rondas BV.



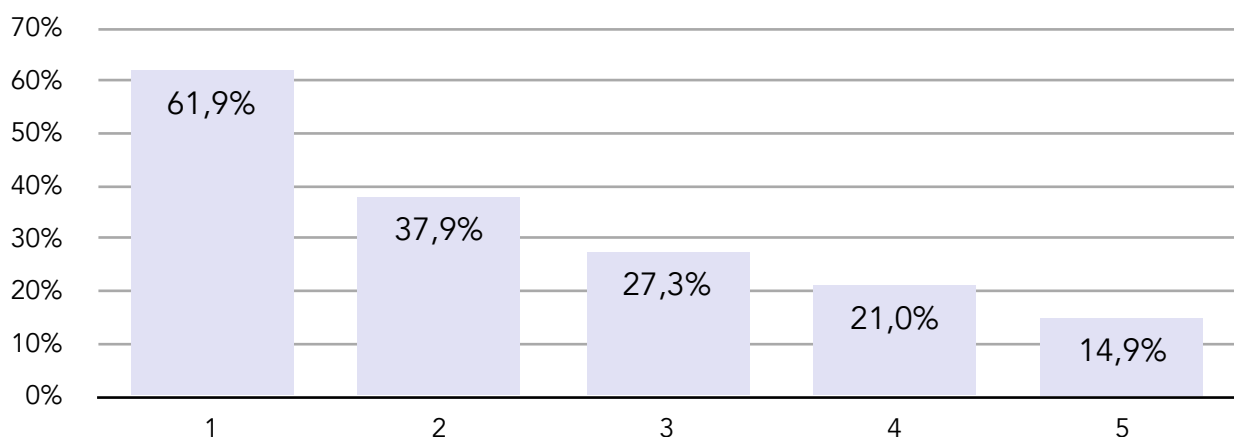
Drie standplaatsen. Kosten: +27,3%



Vier standplaatsen. Kosten: +21,0%

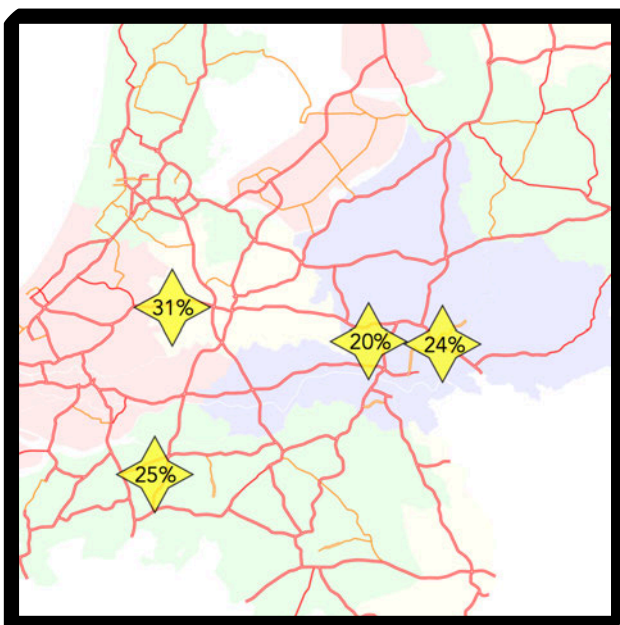


Vijf standplaatsen. Kosten: +14,9%

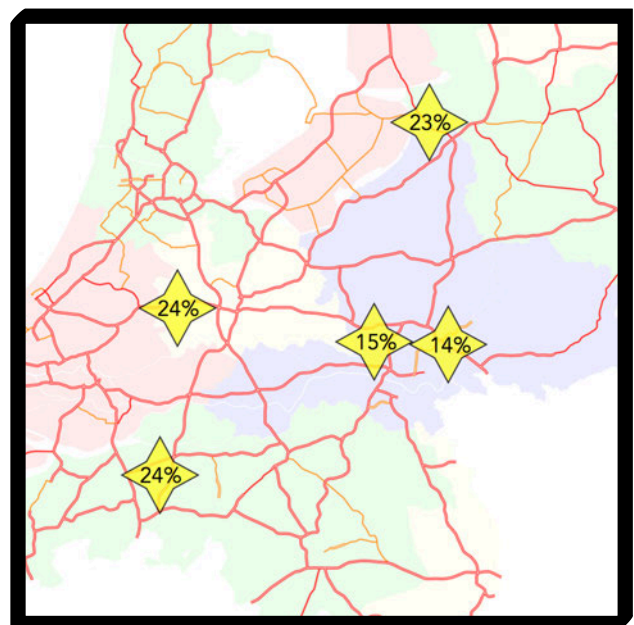


Kostenstijging vergeleken met de basiskosten per aantal geoptimaliseerde standplaatsen.

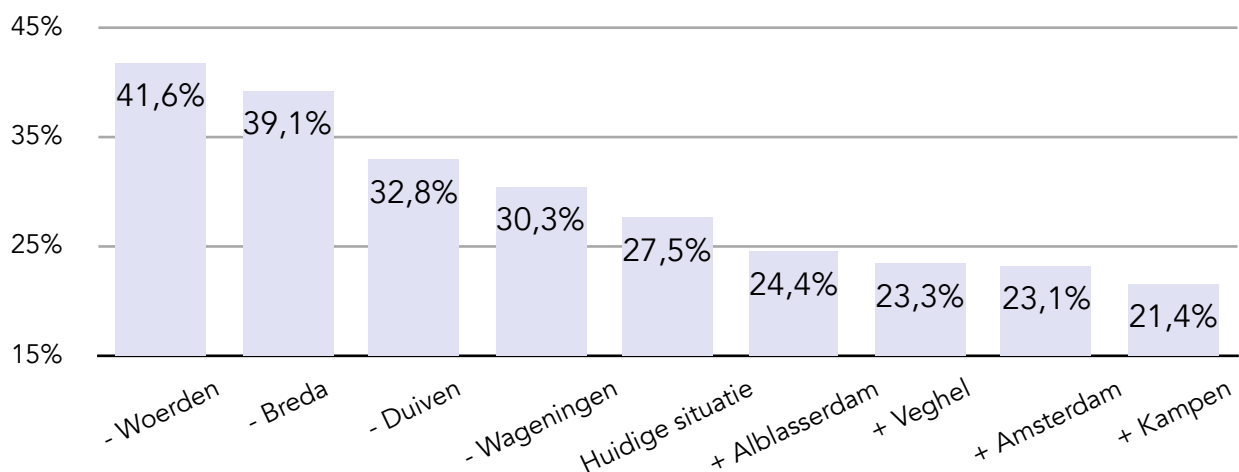
Wat opvalt aan deze resultaten is dat de nieuwe standplaatsen zich, naarmate het aantal mogelijke standplaatsen toeneemt, vooral concentreren vlakbij grote laadlocaties van klanten. Bij het herberekenen van drie, vier of vijf nieuwe standplaatslocaties komen vooral locaties bij Rheden, Kampen, Alblasterdam, Veghel en Amsterdam naar voren als goede opties, gegeven het huidige transportaanbod. Op dit moment heeft Rondas BV alleen een eigen standplaats in de buurt van Rheden. Daarnaast stijgen de kosten exponentieel wanneer het aantal standplaatsen af zou nemen naar één, twee of drie locaties. Hieronder zal worden gekeken naar de effecten van het toevoegen van iedere keer één van de hiervoor berekende standplaatsen aan de huidige standplaatsen van Rondas BV. Om een goed vergelijk mogelijk te maken zal eerst de situatie zonder toevoegingen van extra standplaatslocaties in het model worden ingevoerd en worden weergegeven, hierbij worden ook de verdelingen tussen de huidige standplaatsen herberekend. Ook wordt het weglaten van enkele bestaande standplaatsen gesimuleerd. In Appendix B zijn de uitgebreide resultaten van het toevoegen van de vier standplaatsen bijgevoegd.



Huidige 4 standplaatsen. Kosten: +27,5%



Toevoeging van Kampen. Kosten: +21,4%



Kostenstijging vergeleken met de basiskosten per toegevoegde of weggelaten standplaats.

Het eerste dat uit deze resultaten opvalt is dat het toevoegen van een standplaats met de locatie Kampen het meest reducerende effect op de totale transportkosten in de huidige situatie zou hebben. Dit komt overeen met de analyse van de goederenstromen in het vorige hoofdstuk, waar al bleek dat de grootste laadlocatie van Rondas BV zich in Kampen bevindt. Ook in Veghel en Amsterdam bevinden zich grote laadlocaties, daarom zullen de totale transportkosten ook door het toevoegen van standplaatsen op die locaties afnemen in vergelijking met de huidige situatie. Opzetten van een standplaats in de buurt van Alblasserdam resulteert in de minst grote kostenreductie in vergelijking met de huidige situatie, dit is waarschijnlijk te verklaren omdat de al bestaande standplaatsen in Breda en Woerden ook in min of meer diezelfde regio liggen.

Weglaten van één van de bestaande standplaatsen lijkt gelijk te resulteren in een sterke kostenstijging ten opzichte van de situatie met de vier huidige standplaatsen. Bij het laten vervallen van de standplaats in Wageningen of in Duiven is deze kostenstijging nog maar 2,8 tot 5,3 procent. Wanneer echter de standplaats in Breda of de standplaats in Woerden zal worden weggenomen stijgen de kosten gelijk 11,6 respectievelijk 14,1 procent meer ten opzichte van de kostenstijging bij het aanhouden van de vier bestaande standplaatsen.

Daarnaast is het nog interessant dat in de huidige situatie, met de vier bestaande standplaatsen, de door het model berekende verdeling over de standplaatsen anders is dan dat die verdeling nu is. De grootte van de standplaats Breda blijft ongeveer gelijk, maar vanuit Duiven en Wageningen verschuift een groot deel van de voertuigen en chauffeurs naar Woerden. Dit geeft de indicatie dat het misschien effectief is om capaciteit, in de vorm van voertuigen en chauffeurs, over te hevelen vanaf te standplaatsen Wageningen en Duiven naar de standplaats Woerden.

Als laatste is het nog opvallend dat de kosten bij het hebben van drie totaal herberekende standplaatslocaties (+27,3%), onafhankelijk van de huidige situatie, hetzelfde zijn als de kosten in de huidige situatie met het hebben van de vier bestaande standplaatsen (+27,5%). Terwijl de kosten van vier, onafhankelijk van de huidige situatie, herberekende standplaatslocaties (+21,0%) een stuk lager zijn dan de kosten bij de huidige vier bestaande standplaatsen (+27,5%). Dit betekent dat bij het weglaten van één van de bestaande standplaatsen en het verplaatsen van de drie andere standplaatslocaties de kosten ongeveer gelijk blijven. En dat de transportkosten sterk af zouden nemen bij het wijzigen van alle locaties van de vier bestaande standplaatsen.

3.5 *Beperkingen*

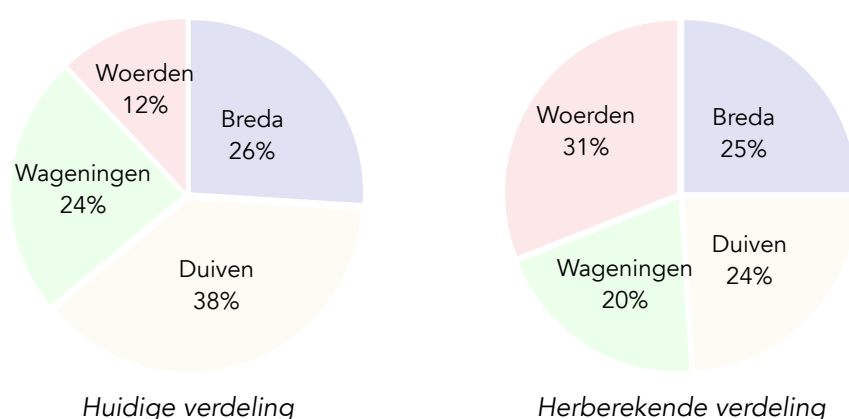
Ten eerste is al eerder in dit onderzoek aangegeven dat het niet erg realistisch is dat iedere transportorder in een individuele rit vanaf een standplaats moet worden uitgevoerd. Dit is wel gesimuleerd omdat het aannemelijk is dat in ongeveer constante en gelijke verhoudingen, de transportopdrachten wel regelmatig via een standplaats moeten voeren. Dat is vooral vanwege het, al dan niet dagelijks, terugkeren van de chauffeur op de standplaats. Een groot gedeelte van de transporten is echter gebonden aan tijdvensters. En vrachten die vroeg in de ochtend gelost moeten worden, zullen vaak ook al een dag eerder geladen moeten worden. Deze goederen staan dus vaker 's nachts voorgeladen op de voertuigen en komen waarschijnlijk vaker op de locatie van een standplaats dan andere goederen, die niet binnen bepaalde tijdvensters hoeven te worden gelost. Het is ook nog mogelijk dat de goederenstromen van die transporten met vroege tijdvensters er anders uitzien dan het totaal van goederenstromen. Hier is in dit hoofdstuk nog geen onderzoek naar gedaan, maar op deze kwestie zal later nog worden teruggekomen.

Daarnaast kan de berekening van de kosten per order een beperking vormen. Eerst worden aan de hand van vooral de afstand, de kosten berekend voor het rijden vanaf de laadlocatie, via de standplaats naar de loslocatie. Om deze vervolgens te vermenigvuldigen met het gewicht van een transportorder uitgedrukt in de bezettingsfactor. Dit resulteert in kosten die lineair afhankelijk zijn van de vrachtgrootte. Terwijl een rit met een order van een laag gewicht misschien wel een grotere kans heeft om een lagere bezettingsfactor te hebben. Hierdoor worden transportorders met een laag gewicht misschien wel onvoldoende meegewogen. Een berekening als deze is namelijk pas volledig realistisch wanneer altijd orders kunnen worden gecombineerd tot het maximale laadvermogen is bereikt. Dat is niet altijd mogelijk en hierdoor zullen de kosten van sommige transportorders wellicht een stuk hoger uitvallen dan de kosten voor andere orders. Dit is in een extreem geval voor te stellen als een deelvracht van tien procent van het maximale laadvermogen, die moet worden opgehaald in Zuid-Frankrijk. Als deze transportopdracht niet kan worden aangevuld met andere orders, zullen de kosten voor het ophalen van deze zending niet tien procent van de volledige vrachtkosten zijn, maar gewoon honderd procent.

3.6 Conclusie

Het aangepaste zwaartepuntmodel geeft een goede indicatie dat het toevoegen van standplaatsen op de locaties Kampen, Alblasterdam, Veghel, en Amsterdam de beste kostenbesparingen opleveren. Vooral het toevoegen van een standplaats in Kampen zal op basis van de gebruikte methode in dit hoofdstuk een kostenreductie van ruim zes procent opleveren.

Opvallend is het verschil tussen de huidige verdeling van de capaciteit over de bestaande vier standplaatsen en de verdeling als dezelfde standplaatsen in het hiervoor behandelde model worden ingevoerd. Hieruit volgt dat het op basis van dit hoofdstuk effectief lijkt te zijn om voertuigen en chauffeurs over te hevelen vanaf de standplaatsen Wageningen en Duiven naar de standplaats Woerden. Dit verschil in de verdelingen van het aantal voertuigen en chauffeurs over de huidige standplaatsen lijkt het belangrijkste resultaat uit dit hoofdstuk, daarom is dit nogmaals duidelijk in de onderstaande figuren weergegeven.



Ook geven de resultaten van dit hoofdstuk aan dat het weglaten van de in standplaats Duiven of in Wageningen relatief weinig extra kosten zullen veroorzaken. De verschillen tussen al deze verschillende wijzigingen in het netwerk zijn echter zo klein dat op basis hiervan nog geen goed advies kan worden gegeven. Daarom zullen de verschillende aanpassingen van het netwerk van standplaatsen in het volgende hoofdstuk nog verder worden onderzocht.

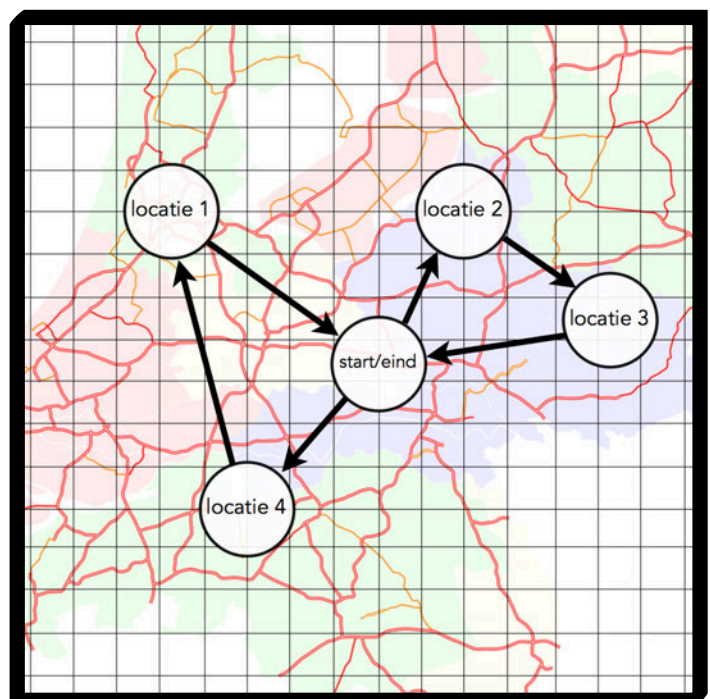
4. Wat zijn de bij Rondas BV realistisch te behalen besparingen?

4.1 Routeplanning

Als iemand met de hand een routeplanning maakt, met daarin meerdere locaties die moeten worden aangedaan, zal hij deze locaties instinctief gaan clusteren. Locaties die dicht bij elkaar liggen zullen worden toegewezen aan dezelfde voertuigen. Zoveel mogelijk van deze locaties zullen gecombineerd worden totdat de capaciteit van een voertuig is bereikt, daarom zullen ook bij voorkeur voertuigen worden gebruikt met een hoge capaciteit. Daarnaast zullen routes van verschillende voertuigen elkaar zo min mogelijk kruisen. Dit zijn eigenlijk ook de basisprincipes voor het maken van een goede transportplanning (Ballou, 2004). Gelukkig is het tegenwoordig mogelijk om deze routeplanning te creëren met behulp van computersoftware. Rondas BV maakt gebruik van het transportplansysteem 'Ortec Transport en Distributie', daarom zal in dit onderzoek ook gebruik worden gemaakt van ditzelfde pakket. Om enige inzicht te krijgen in de manier waarop dit plansysteem transportroutes samenstelt zullen eerst de onderliggende wetenschappelijke theorieën en de bijbehorende algoritmen kort worden behandeld.

In dit onderzoek is het, voor het maken van een eerlijk vergelijk tussen de verschillende scenario's, van belang dat in iedere simulatie alle aangeboden ritten door het plansysteem worden ingepland. Dit kan worden bereikt door de ritten in een bepaalde volgorde toe te wijzen aan de aangeboden transportresources in de vorm van voertuigen. Omdat de capaciteit van deze voertuigen niet kan worden overschreden is het belangrijk om voldoende voertuigen aan te bieden, zodat alle transportopdrachten kunnen worden uitgevoerd. Ook wanneer er aan transportorders tijdvensters voor het laden en lossen zijn gebonden dienen deze te worden gehandhaafd. Laadtijden worden vaak beperkt door openingstijden van laadadressen en lostijden worden meestal bepaald aan de hand van door de klant opgegeven tijdvensters. Daarnaast moet er in de transportplanning ook nog rekening worden gehouden met de maximale rijtijden en minimale rusttijden van chauffeurs. Dit is samengevat het transportroute probleem dat in dit hoofdstuk voor verschillende scenario's moet worden opgelost.

De basis van de theorieën over routeplanning is dat de totale afstand van de route, via de locaties die moeten worden bezocht, zo klein mogelijk zal worden gemaakt. Dit zal worden gedaan door locaties zoveel mogelijk met elkaar te combineren binnen een route zonder het overschrijden van de capaciteit van een voertuig. In figuur 8 worden bijvoorbeeld de locaties één en vier bezocht binnen één route, net zoals de locaties twee en drie worden gecombineerd in een andere route. Het doel is om de locaties zo te combineren, zonder het overschrijden van restricties en capaciteiten, dat de totale afgelegde afstand voor alle routes minimaal is (Gromicho et al., 2011).



Figuur 6: De basis van het maken van een routeplanning.

Het algoritme in het softwarepakket van Ortec voor het oplossen van transportplan problemen is ook gebaseerd op de hiervoor kort beschreven basistheorie van het maken van een routeplanning (Kok et al., 2011). De dynamische programmering ingebouwd in de software van Ortec breekt het complete transportprobleem op in kleinere problemen. Hierdoor zullen niet de honderd ritten van een dag in één keer worden geoptimaliseerd, maar zal iedere rit op een heuristische manier stapsgewijs verbeterd worden. Dit blijkt namelijk ook een succesvolle manier te zijn voor het plannen van transportorders met tijdvensters (Kok et al., 2010). Hierna zal de toepassing van deze basistheorie voor het maken van een routeplanning (Gromicho et al., 2011) in de software van Ortec voor het maken van een transportplanning kort worden uitgelegd.

Iedere locatie die moet worden aangedaan in de transportplanning wordt gezien als een knoop. Zo kunnen laadlocaties en loslocaties worden gezien als knopen. Maar ook de standplaatsen waar routes beginnen en eindigen zijn in principe knopen in de routeplanning. Vanuit een beginpunt, de eerste knoop die waarschijnlijk een standplaats is, zal de transportroute worden gestart. In het geval van de gebruikte instellingen in het systeem van Ortec worden van hieruit de 38 dichtstbijzijnde toegestane andere knopen gezocht. Er wordt in principe alleen naar deze nabije knopen gezocht omdat blijkt dat deze in de meeste gevallen zorgen voor de optimale oplossingen (Toth & Vigo, 2003). Van deze 38 opties worden vervolgens de 28 meest belovende opties behouden voor de verdere uitbreiding van de route. Voor ieder van de nu bestaande achtentwintig routekandidaten worden weer 38 toevoegingen gezocht in de vorm van de dichtstbijzijnde resterende en toegestane knopen. Hiervan worden wederom de 28 meest belovende routes behouden om het proces keer op keer te herhalen tot alle beschikbare knopen in de planning zijn opgenomen. Bij deze uitbreidingen dient iedere keer rekening te worden gehouden met bepaalde restricties die niet mogen worden geschonden. De meest belangrijke in het plansysteem van Ortec zijn de capaciteit van een voertuig, aan tijdvensters gebonden transportorders en openingstijden van adressen. Er zijn echter nog veel meer restricties mogelijk zoals het maximale aantal rijtijden en minimale rusttijden van chauffeurs.

4.2 *Gebruikte dataset*

Om de resultaten van automatische transportplanningen met verschillende standplaatsen goed te kunnen vergelijken zijn er enkele dingen van belang. Maar ten eerste zal moeten worden bepaald met welke transportorders de verschillende simulaties worden getest. Omdat het minimaliseren van een routeplanning met de hiervoor beschreven theorie erg veel rekentijd kost en omdat er bij voorkeur zoveel mogelijk verschillende scenario's worden getest, is ervoor gekozen om iedere keer voor maar één week de transportplanning te maken.

Deze specifieke week is gekozen aan de hand van de eerder in dit onderzoek behandelde goederenstromen tussen één-cijferige postcode gebieden. Voor ieder van de tien weken zijn deze goederenbewegingen apart berekend, om vervolgens elke week individueel te vergelijken met de gemiddelde goederenstromen over de totale tien weken. In het vorige hoofdstuk is ook al aangegeven dat er geen grote verschillen in goederenstromen tussen de verschillende weken aanwezig zijn. Toch blijkt week nummer vierentwintig de week te zijn die het meest representatief is voor de gehele dataset (zie ook Appendix A). Daarom zullen de transportorders, waarvan de uiterste losdatum in deze week vierentwintig valt, gebruikt worden voor het simuleren van de transportplanningen in de verschillende scenario's.

4.3 Methode

Behalve een representatieve dataset van transportorders is het ook belangrijk om het plansysteem iedere keer op dezelfde manier hetzelfde aantal voertuigen aan te bieden. Uit de lijst met transportopdrachten is dit aantal in eerste instantie moeilijk te bepalen. De basis zal natuurlijk worden vervoerd door de vijfenzestig eigen voertuigen, maar de rest wordt verspreid over een relatief groot aantal voertuigen van andere transporteurs. Na het testen met het inplannen van iedere keer één dag op verschillende aantallen voertuigen bleek dat er iedere dag ongeveer negentig tot honderd voertuigen nodig zijn om alle orders in te kunnen plannen. Dat alle orders worden ingepland is van belang omdat anders de verschillende scenario's niet kunnen worden vergeleken. Daarom zal bij iedere simulatie een constant aantal voertuigen moeten worden aangeboden dat op iedere dag alle transportopdrachten kan volbrengen. Hierdoor is er gekozen voor een constant aantal van honderd aangeboden voertuigen.

Uit deze eerste testen bleek ook dat erg veel orders niet binnen de periode van één dag kunnen worden uitgevoerd. En ook kunnen veel orders niet binnen de gevraagde tijdvensters worden afgeleverd wanneer er niet een dag eerder kan worden voorgepland. Dit sluit uit dat iedere rit vroeg in de ochtend kan beginnen om dezelfde dag in de avond weer te eindigen, dan kunnen veel opdrachten namelijk niet worden uitgevoerd. Dat had in dit onderzoek echter wel de voorkeur omdat dan kan worden gesimuleerd dat een chauffeur iedere avond terug moet keren op de standplaats. Om deze problemen op te vangen is er voor gekozen om ritten maximaal twee dagen te laten duren. Dat betekent dat een chauffeur die op maandagochtend vertrekt vanaf de standplaats, uiterlijk op dinsdagavond weer terugkeert op diezelfde standplaats. Voor iedere standplaats zullen de ritten van oneven genummerde voertuigen beginnen op dag één om uiterlijk op dag twee eindigen. Terwijl de ritten van even genummerde voertuigen s'ochtends zullen beginnen op dag twee om uiterlijk op dag drie weer te eindigen. Hierdoor ontstaat een opzet waarin aangeboden ritten elkaar kunnen overlappen, zodat voor iedere dag de hierboven aangekaarte problemen kunnen worden opgevangen. Zie ook onderstaand *figuur 7*.



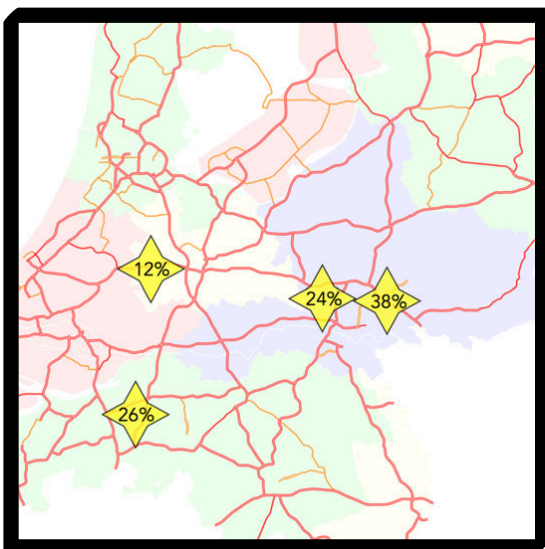
Figuur 7: Aan de plansoftware aangeboden beschikbaarheid van voertuigen.

Tenslotte is het nog van belang om de transportplanning iedere keer op dezelfde wijze te starten. Vanwege beperkte capaciteiten in het systeem is het niet mogelijk om de transportplanning van de hele week in één keer te laten berekenen, dit is ook niet realistisch omdat transportopdrachten vaak niet vooraf al bekend zijn voor de hele week. Daarom is er gekozen om voor iedere dag eerst de vrachten met tijdvensters tot 12:00 in te plannen om vervolgens alle andere orders te plannen die op dezelfde dag weg mogen. Dit is ook de manier waarop de planning nu dagelijks gemaakt zal worden omdat de transportorders ook in die volgorde binnen zullen komen. Als er in deze eerste stappen enkele ritten niet direct worden ingepland, zullen deze worden gepland zonder rekening te houden met de tijdvensters. Dit wordt in de resultaten weergegeven als het aantal geschonden tijdvensters. In principe heeft iedere order een tijdvenster en is het dus mogelijk om voor alle 2.072 transportopdrachten van week 24 het tijdvenster niet na te komen.

Na het bepalen van de meest representatieve week met transportorders, in vergelijking met de totale dataset van transportopdrachten (zie ook Appendix A). En het bepalen van de vensters waarin de voertuigen beschikbaar zijn en de manier waarop de orders systematisch worden ingepland. Is het belangrijk om deze voertuigen in de verschillende scenario's te verdelen over bepaalde standplaatsen. Dit zullen vooral de huidige bestaande standplaatsen zijn, maar ook standplaatslocaties die in het vorige hoofdstuk naar voren zijn gekomen als goede aanvullingen op het netwerk worden daaraan toegevoegd. Deze bestaande en nieuwe verdelingen zullen in de volgende paragraaf samen met de resultaten worden gepresenteerd en toegelicht.

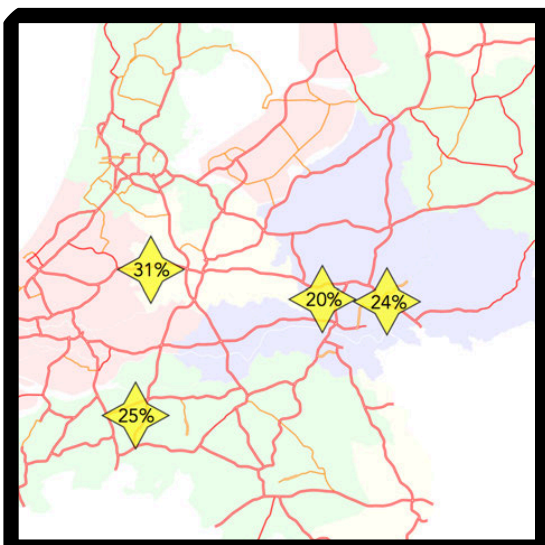
4.4 Resultaten

Om te beginnen is er een scenario getest waarin alle honderd aangeboden voertuigen, waarvan vijfendertig voertuigen worden gesimuleerd die eigenlijk niet intern beschikbaar zijn, in de huidige verhoudingen zijn verdeeld over de vier bestaande standplaatsen. Dit is gedaan om een referentiepunt te maken voor de rest van de simulaties. Omdat in het vorige hoofdstuk sterke aanwijzingen naar voren kwamen dat dit niet de optimale verdeling zou zijn, is ook de daar berekende herverdeling van voertuigen over de bestaande standplaatsen getest in een simulatie. De resultaten van deze eerste twee gesimuleerde scenario's zijn hieronder weergegeven.



Scenario 1: Huidige verdeling,
100 'eigen' voertuigen in de huidige verdeling
over de vier bestaande standplaatsen.

Totale afstand (kilometers):	230.800
Totale actieve tijd (minuten):	320.701
Planning kosten (euro):	361.743
Onkostenvergoeding (euro):	5.300
Totale planningskosten (euro):	367.043
Aantal geschonden tijdvensters:	55



Scenario 2: Herberekende verdeling
100 'eigen' voertuigen in de herberekende verdeling
over de vier bestaande standplaatsen.

Totale afstand (kilometers):	232.512
Totale actieve tijd (minuten):	322.347
Planning kosten (euro):	363.896
Onkostenvergoeding (euro):	4.450
Totale planningskosten (euro):	368.346
Aantal geschonden tijdvensters:	56

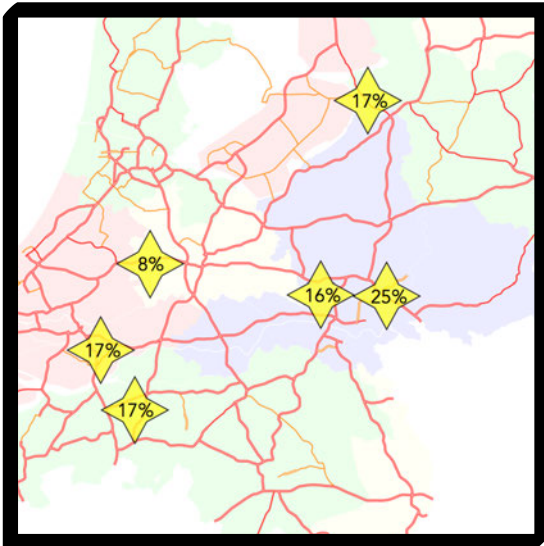
Uit deze resultaten blijkt dat de verschillen tussen deze twee scenario's erg klein zijn. Maar vooral opvallend is dat de herberekende verdeling over de standplaatsen hogere kosten blijkt te hebben. Deze herverdeling heeft dus een negatieve impact op de kosten, in plaats van de in het vorige hoofdstuk gesuggereerde positieve kostenafname. Het leek op voorhand aannemelijk om een gedeelte van de chauffeurs en voertuigen vanuit het oosten naar het westen te verplaatsen omdat het grootste gedeelte van de transportopdrachten van Rondas BV in het westen van Nederland (postcodegebieden één, twee, drie en vier) gelost worden. Het grootste gedeelte van de transportopdrachten wordt echter in het oosten van Nederland (postcodegebieden vijf, zes, zeven, acht en negen) geladen. Blijkbaar zijn de standplaatsen dus inderdaad sterker gebonden aan de laadlocaties van transportopdrachten dan aan de loslocaties. Het zou nog wel interessant zijn om een kleinere verschuiving van standplaatsen van chauffeurs en voertuigen naar het westen van Nederland te testen. Dit is echter niet de volgende stap in dit onderzoek omdat de beperkte rekentijd beter kan worden besteed aan het simuleren van de hierna volgende scenario's.

In hoofdstuk drie is namelijk naar boven gekomen dat standplaatsen op locaties in onder andere Kampen en Alblasserdam goede toevoegingen zouden zijn aan het bestaande logistieke netwerk van Rondas BV. Na het analyseren van de verzamelde transportgegevens blijkt dat het grootste gedeelte van de standplaatsen van charters, bedrijven die in opdracht van Rondas BV transporten uitvoeren, gecentreerd zijn rond deze twee locaties. Hierdoor is het waarschijnlijk realistischer om de vijfendertig voertuigen die extra nodig zijn bovenop de vijfenzeftig eigen voertuigen, te simuleren vanaf standplaatsen op deze twee locaties in Kampen en Alblasserdam. Dit gebeurt dan in plaats van het simuleren dat de extra benodigde vijfendertig voertuigen intern beschikbaar zijn en verdeeld zijn over de vier bestaande standplaatsen, zoals in de vorige scenario's.

De ongeveer 35 procent van de transportopdrachten die worden uitbesteed zijn vrijwel gelijk verdeeld over charters vlakbij de locaties Alblasserdam en Kampen. Daarom zullen in de volgende simulatie's iedere keer zeventien voertuigen met standplaats Alblasserdam en zeventien voertuigen met standplaats Kampen worden toegevoegd. In werkelijkheid zijn er nog enkele andere charters met locaties sterk verspreid door Nederland, maar het aandeel van die charters is te klein en te onstabiel om in dit onderzoek redelijkerwijs mee te kunnen rekenen.

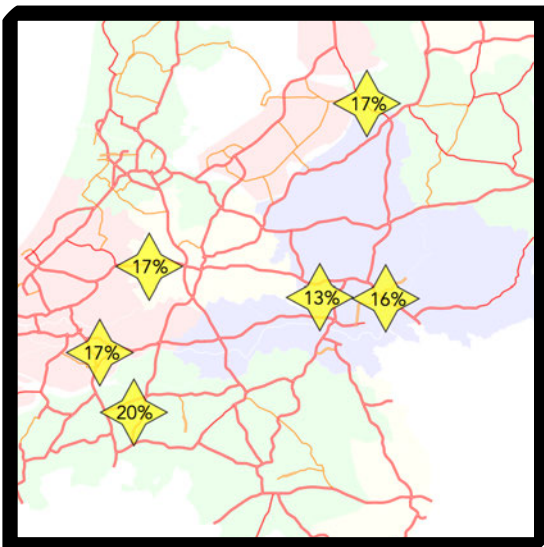
Deze aanpassingen en simulaties zijn realistisch omdat ook deze ingehuurde voertuigen door Rondas BV op dezelfde manier in de transportplanning worden ingepland als de eigen voertuigen. Het gaat meestal niet om losse opdrachten die door een ander transportbedrijf worden uitgevoerd, maar echt over voertuigen die gehele dagen of zelfs weken worden ingepland door Rondas BV. Meestal zijn dit rondritten met beginpunten dicht in de buurt van Kampen en Alblasserdam. Omdat deze ingehuurde voertuigen worden betaald op basis van de afstand en tijd die nodig zijn voor het uitvoeren gehele rondrit, inclusief het grootste gedeelte van de onbeladen gereden kilometers, is de kostenstructuur voor voertuigen van charters ongeveer hetzelfde als de kostenstructuur van eigen voertuigen. Het is natuurlijk wel zo dat deze ingehuurde charterbedrijven ook een kleine winstmarge in hun tarieven hebben zitten. Daardoor zal het in werkelijkheid wellicht iets duurder zijn om met voertuigen van charters te werken vanaf deze standplaatsen. Dat is in vergelijking met het werken met eigen voertuigen vanaf dezelfde standplaatsen. Dit minimale kostenverschil is in dit onderzoek niet bepaald en berekend.

Hierna worden met deze aanpassingen nogmaals de bovenstaande huidige en herberekende verdelingen van de vijfenzeftig eigen voertuigen over de vier eigen standplaatsen getest om het minimale verschil mogelijk te bevestigen of ontkrachten. Voor de overige vijfendertig voertuigen zal dus worden gesimuleerd dat zeventien voertuigen hiervan de standplaats Alblasserdam hebben en ook zeventien voertuigen en chauffeurs de standplaats Kampen hebben.



Scenario 3: Huidige verdeling + 35 charters
65 eigen voertuigen in de huidige verdeling
over de vier bestaande eigen standplaatsen.

Totale afstand (kilometers):	227.901
Totale actieve tijd (minuten):	318.411
Planning kosten (euro):	358.468
Onkostenvergoeding (euro):	3.200
Totale planningskosten (euro):	361.668
Aantal geschonden tijdvensters:	47



Scenario 4: Herberekende verdeling + 35 charters
65 eigen voertuigen in de herberekende verdeling
over de vier bestaande eigen standplaatsen.

Totale afstand (kilometers):	227.590
Totale actieve tijd (minuten):	317.873
Planning kosten (euro):	357.899
Onkostenvergoeding (euro):	3.400
Totale planningskosten (euro):	361.299
Aantal geschonden tijdvensters:	74

Uit de bovenstaande resultaten blijkt dat de herverdeling van voertuigen en chauffeurs over de eigen standplaatsen Duiven, Wageningen, Breda en Woerden een nog minder groot, maar in dit geval wel positief, effect heeft. Wel is het belangrijk om op te merken dat het op deze manier uitbesteden van transporten aan charters met de standplaatsen Kampen en Alblasterdam een gemiddelde besparing van 1,7% $(367043+368346)-(361668+361229)/(367043+368346)$ van de totale transportkosten oplevert. Dat is in ieder geval zo in de week die hier is gesimuleerd. Het is dus belangrijk om de voordelen van het gebruik van externe voertuigen met andere standplaatsen te kennen, om deze op het juiste moment voor de juiste transportroutes in te kunnen schakelen. In principe gebeurt dit uitbesteden van transportopdrachten aan charters in Kampen en Alblasterdam nu al. Daarom is scenario drie, waarin de huidige verdeling tussen de eigen standplaatsen wordt gebruikt, te beschouwen als de meest realistische huidige situatie.

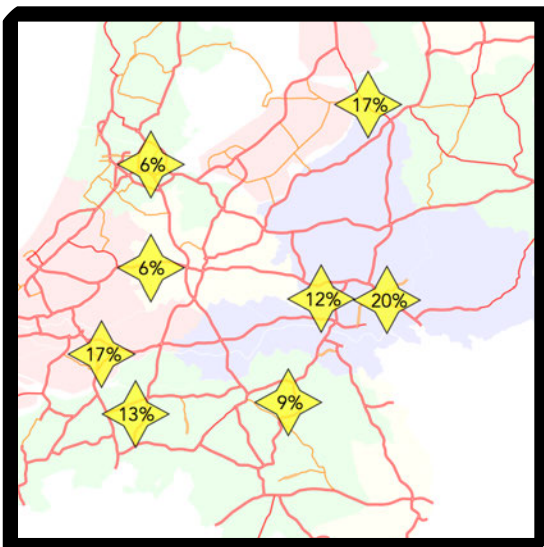
Het herverdelen van chauffeurs en voertuigen over de eigen standplaatsen heeft dus maar een minimaal positief resultaat. Dat blijkt uit de simulatie van scenario vier, de besparing in dit scenario is zo klein dat het goed mogelijk is dat enkele zeer specifieke transportopdrachten dit verschil kunnen opheffen. Het moet wel nogmaals worden opgemerkt dat een minder grote verschuiving van de standplaatsen naar het westen wellicht een iets groter positief effect kan hebben. Opmerkelijk is ook het verschil in het aantal geschonden tijdvensters tussen de twee scenario's. In scenario vier zijn dit er namelijk ongeveer 50% meer dan in scenario drie, dat maakt het verschil in kosten in het voordeel van scenario vier nog minder overtuigend.

Omdat de bovenstaande vier scenario's dus eigenlijk nog geen echt toevoegingen of weglatingen van eigen standplaatsen in het huidige netwerk simuleren, zullen hierna nog twee scenario's worden getest waarin een bestaande standplaats wordt geschrapt en twee nieuwe standplaatsen worden toegevoegd. In de volgende simulaties zal worden uitgegaan van de basis van scenario drie, omdat in de vorige paragraaf bepaald is dat dit nu het scenario is dat het meest op de werkelijkheid lijkt. Daarnaast is de verdeling in scenario vier ook niet overtuigend veel beter, wat eventueel nog wel een reden had kunnen zijn om daarmee verder te gaan rekenen.

De reden waarom scenario's niet meerdere malen worden aangepast en opnieuw doorgerekend is dat de rekentijd en rekenkracht die hiervoor nodig is niet toereikend is. Iedere simulatie duurt ongeveer 60 uur, waarbinnen op tien verschillende momenten menselijke input moet worden gegeven voor het voortzetten van de simulatie. Dit maakt het een tijdrovend proces waardoor in dit onderzoek helaas niet meer dan zes scenario's volledig zullen worden doorgerekend.

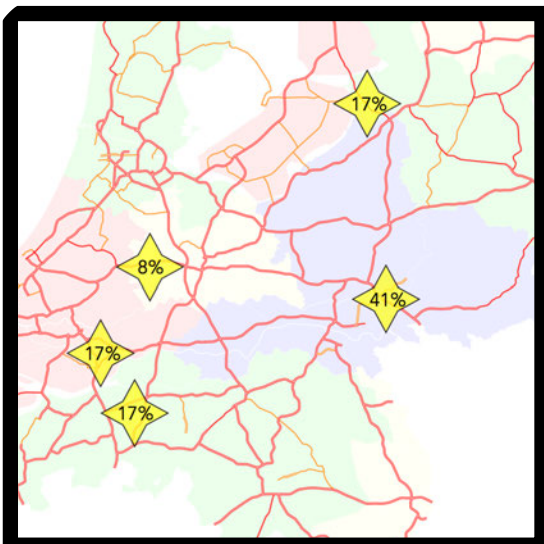
In scenario vijf zal worden gesimuleerd dat er twee standplaatsen in Amsterdam en Veghel worden toegevoegd aan de eigen standplaatsen. De vijftenzestig eigen voertuigen zullen worden verdeeld over de zes 'eigen' standplaatsen. De huidige verhoudingen tussen het aantal voertuigen op de vier reeds bestaande standplaatsen worden ongeveer gehandhaafd. Daarnaast worden wederom zeventien voertuigen van charters in Kampen en Alblasserdam gesimuleerd.

Scenario zes is een simulatie waarin de eigen standplaats in Wageningen wordt weggelaten. Voertuigen en chauffeurs van deze standplaats zijn overgeheveld naar de standplaats in Duiven.



Scenario 5: Twee toegevoegde standplaatsen
65 eigen voertuigen in een nieuwe verdeling
over zes eigen standplaatsen. +35 charters

Totale afstand (kilometers):	227.449
Totale actieve tijd (minuten):	317.920
Planning kosten (euro):	357.858
Onkostenvergoeding (euro):	2.400
Totale planningskosten (euro):	360.258
Aantal geschonden tijdvensters:	47

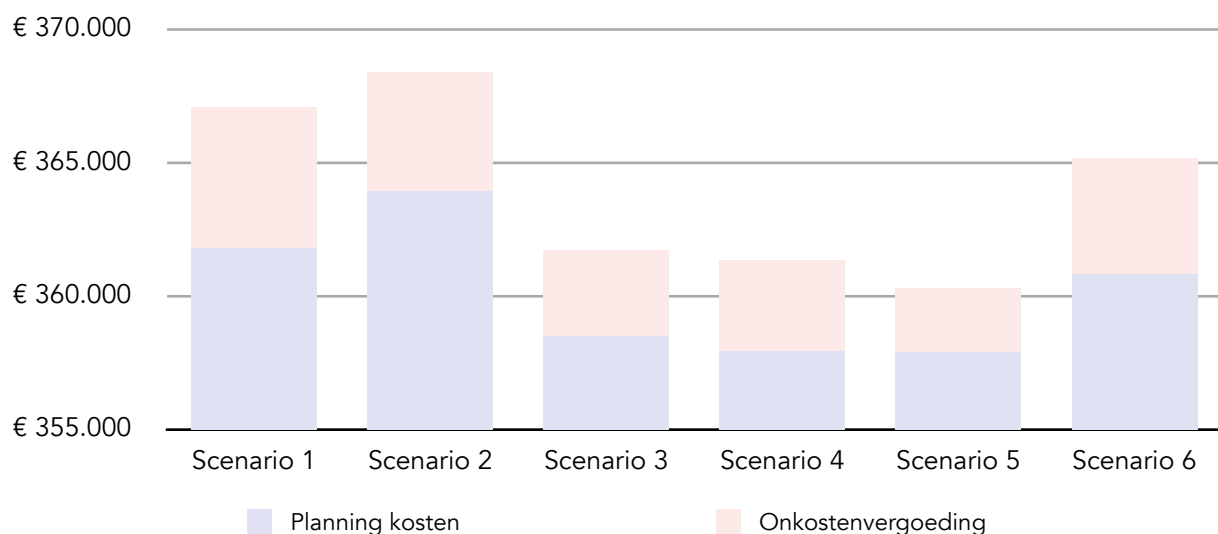


Scenario 6: Eén weggelaten standplaats
65 eigen voertuigen in een nieuwe verdeling
over drie eigen standplaatsen. +35 charters

Totale afstand (kilometers):	230.030
Totale actieve tijd (minuten):	319.949
Planning kosten (euro):	360.766
Onkostenvergoeding (euro):	4.350
Totale planningskosten (euro):	365.116
Aantal geschonden tijdvensters:	101

Uit de resultaten van scenario vijf blijkt dat het toevoegen van voertuigen op de twee standplaatsen in Amsterdam en Veghel een reductie van de kosten oplevert van iets meer dan veertienhonderd euro (361668-360258). Dat komt neer op een besparing van ongeveer 0,4% en dit is niet erg indrukwekkend als men bedenkt dat deze gesimuleerde transportweek ook nog enigszins af kan wijken van de gemiddelde werkweek. Dit verschil is dus vrijwel te verwaarlozen. In dit scenario is de verdeling over de huidige standplaatsen ongeveer gelijk gebleven net als het gebruik van charters met standplaatsen Alblasserdam en Kampen. De toegevoegde standplaatsen in Veghel en Amsterdam hebben ongeveer dezelfde omvang als de reeds bestaande standplaats in Woerden. Hiervoor kunnen de vaste kosten, onafhankelijk van het aantal voertuigen, ongeveer tweehonderddertig euro per week zijn. In theorie is het dus mogelijk om in deze specifieke week in Amsterdam en Veghel voor dezelfde vaste kosten als in Woerden een standplaats aan te nemen. Dan zouden deze week ongeveer duizend euro's zijn bespaard.

In scenario zes is ervoor gekozen om de standplaats Wageningen weg te laten, uit het vorige hoofdstuk leek dit namelijk de minste kostenverhoging op te leveren. De kosten nemen in de transportplanning toe met ongeveer vijfendertighonderd euro (365116-361668). Dat is een kostenverhoging van bijna één procent in vergelijking met scenario drie. De vaste wekelijkse lasten voor de vestiging Wageningen zijn in het tweede hoofdstuk gesteld op ongeveer zeshonderd euro. Daarom is het in ieder geval in deze gesimuleerde week niet verstandig om de vestiging in Wageningen weg te laten, dat zou de kosten met bijna drieduizend euro verhogen.



De verschillen tussen de verschillende scenario's blijken onverwacht klein. Het lijkt in ieder geval niet verstandig om één van de eigen standplaatsen weg te laten vallen. Daarnaast blijkt dat de kosten ook relatief sterk zullen stijgen wanneer alle transporten vanaf de vier eigen standplaatsen zullen worden uitgevoerd. En er dus geen rondritten meer worden uitbesteed aan transporteurs met de standplaatsen Alblasserdam en Kampen. De verschillen tussen de scenario's drie, vier en vijf zijn zo klein dat aan de hand daarvan moeilijk een waardevol advies kan worden gevormd.

Om te onderzoeken waarom deze verschillen tussen de scenario's zoveel kleiner zijn dan in het vorige hoofdstuk werd gesuggereerd, worden verder in dit hoofdstuk een gevoeligheidsanalyse, mogelijke beperkingen en aanvullend toekomstig onderzoek besproken.

4.5 Gevoeligheidsanalyse

Omdat de resultaten uit de vorige paragraaf niet overeenkomen met de resultaten uit het vorige hoofdstuk is het van belang om dit verschil te analyseren en enkele mogelijke beperkingen te controleren. Daarvoor zal in deze paragraaf worden teruggekeken naar de dataset die in hoofdstuk drie is gebruikt voor het bepalen van de nieuwe standplaatslocaties en het bepalen van de verdelingen van voertuigen en chauffeurs over nieuwe en bestaande standplaatsen.

Zonder de in hoofdstuk drie gebruikte methode aan te passen is het dus wel mogelijk om de input van het model te wijzigen. Dit kan worden gedaan door niet te kijken naar het totale transportaanbod, maar selecties te maken van orders die mogelijk meer relevant zijn dan andere. In ieder geval wanneer het gaat om het bepalen van de locaties van standplaatsen. Een dergelijke selectie zou bijvoorbeeld kunnen worden gemaakt op basis van tijdvensters. Uit de simulaties gemaakt met de Ortec transportplansoftware blijkt namelijk dat vrijwel iedere dag alle negentig tot honderd voertuigen nodig zijn om de capaciteit te bereiken die nodig is voor het uitvoeren van de orders met vroege tijdvensters. Iets specifieker zijn dat de transportopdrachten die tot en met het middaguur (12:00) gelost kunnen of mogen worden. Dit zijn namelijk de orders die heel vaak al een dag eerder geladen zullen worden, waardoor deze dus vaak 's nachts op de voorgeladen vrachtwagen zullen staan. Het zijn hierdoor waarschijnlijk vooral deze opdrachten die het meeste invloed zouden moeten hebben op de bepaling van standplaatslocaties. Ook kan er een selectie worden gemaakt op basis van vrachten die in de huidige situatie door de eigen voertuigen gereden zijn. Op basis van de transportopdrachten die door eigen voertuigen en chauffeurs zijn uitgevoerd kunnen dan alleen de eigen standplaatsen worden bepaald, zodat het niet nodig is om rekening te houden met standplaatsen van eventuele charterbedrijven. In deze situatie wordt er in de berekeningen alleen wel vanuit gegaan dat het uitbesteden van transportopdrachten onafhankelijk is van de eigen standplaatslocaties, wat niet helemaal klopt.

Beide selecties zijn voor het afsluiten van dit onderzoek nog gemaakt. Met dezelfde methode zoals die is beschreven in hoofdstuk drie zijn voor deze twee verschillende selecties nogmaals de optimale standplaatslocaties bepaald. Ook is nog bekeken of de verdeling van voertuigen en chauffeurs over de vier eigen reeds bestaande standplaatsen, door het maken van deze specifieke selecties van transportopdrachten, anders blijkt te zijn dan in de resultaten van hoofdstuk drie.

Uit de resultaten van deze berekeningen (zie Appendix C) blijkt echter dat het bepalen van standplaatslocaties op basis van deze zeer specifieke orderselecties weinig verschilt van het bepalen van standplaatslocaties op basis van de gehele dataset. Ook de herberekende verdeling van de eigen voertuigen over de vier reeds bestaande eigen standplaatsen wijkt in deze nieuwe berekeningen weinig af van de resultaten uit hoofdstuk drie. Hetzelfde is overigens gedaan met een selectie van alle transportorders uit week vierentwintig, waarmee de transportplanningen van dit hoofdstuk zijn gemaakt, om nogmaals de representativiteit van deze week te testen. Ook deze resultaten wijken vrijwel niet af van de resultaten in hoofdstuk drie. Hierdoor kan worden aangenomen dat de gebruikte datasets vrijwel geen beperkingen vormen voor dit onderzoek.

4.6 Beperkingen

De eerste beperking voor het op deze manier testen van verschillende scenario's schuilt in de gebruikte theorie. Het algoritme gebruikt door Ortec creëert namelijk geen absoluut en volledig geoptimaliseerde transportplanning. Een route wordt door deze software iedere keer een stapje uitgebreid en alleen met de beste uitbreidingen zal worden doorgedaan. Uit wetenschappelijk onderzoek blijkt echter wel dat dit in veel gevallen een bij benadering optimale routeplanning oplevert (Toth & Vigo, 2003). Deze beperking lijkt dus geen groot nadeel te zijn in dit onderzoek.

Toch zijn er nog enkele tekortkomingen in de plansoftware van Ortec. De belangrijkste is dat het systeem niet automatisch kan berekenen of het voor een voertuig rendabeler is 's nachts via de standplaats te rijden of onderweg te overnachten. Hierdoor moet dit achteraf met de hand worden nagekeken. Daarnaast moet iedere transportopdracht altijd volledig binnen een rit vallen. Dat betekent dat een transport niet in één rit kan worden voorgeleden, om de volgende dag met hetzelfde voertuig maar in een andere rit te worden gelost. Hierdoor kunnen vaak verre transporten niet worden ingepland in ééndaagse ritten en kunnen ritten met vroege tijdvensters soms helemaal niet worden gereden bij het ter beschikking stellen van ééndaagse ritten. Dit probleem is opgelost door tweedagse ritten aan te bieden. Dit heeft wel als nadeel dat een voertuig minder vaak terug moet keren op de standplaats, waardoor de verschillen in de kosten van de gesimuleerde scenario's kleiner zullen worden. Dit is voor te stellen door het extreme vergelijk tussen iedere individuele order die via de standplaats vervoerd moet worden en een voertuig dat de hele week niet op een standplaats terug hoeft te keren.

Daarnaast is het voor deze simulaties vereist om iedere keer een gelijk aantal voertuigen aan te bieden, met een vooraf bepaalde beschikbaarheid. Dit is bereikt door voor ieder van de honderd voertuigen een rit te starten. Maar in principe probeert de plansoftware van Ortec het aantal voertuigen te minimaliseren. Door echter al deze ritten alvast op te starten maakt het voor het planpakket niet meer uit of een voertuig de hele dag zal worden ingezet of slechts één enkele rit. Daardoor is de benutting van de aangeboden ritten wellicht niet bij iedere standplaats gelijk geweest. Het grootste nadeel is echter de benodigde rekentijd voor het plannen van de transporten in de verschillende scenario's. Als een simulatie binnen enkele uren zou kunnen worden afgerond maakt dit het mogelijk om veel meer verschillende standplaats verdelingen na te bootsen. Tijdens het uitvoeren van dit onderzoek blijkt echter dat het plannen van alle transportorders uit één week op de gebruikte testservers ongeveer 60 uur duurt mits er geen complicaties optreden. Hierdoor is maar een beperkt aantal scenario's goed doorgerekend.

4.7 Conclusie

Door gebruik te maken van het professionele transportplansysteem van Ortec zijn in dit hoofdstuk enkele scenario's met verschillende standplaatsen getest. Die scenario's volgen uit het vorige hoofdstuk waarin zij door de basis van het zwaartepuntmodel aan het licht zijn gebracht. Het blijkt niet realistisch te zijn om de huidige situatie te simuleren zonder daarin de uitbestede transporten mee te nemen, de kostenverschillen zijn hiervoor namelijk te groot. Daarom is als referentie gekozen voor een scenario waarin de eigen standplaatsen en standplaatsen van charters op de huidige manier zijn verdeeld. Het herverdelen van de eigen voertuigen over de bestaande standplaatsen lijkt vervolgens weinig tot geen effect te hebben. Toevoegen van enkele voertuigen op de nog niet bestaande standplaatsen Amsterdam en Veghel lijkt echter net voldoende kostenreducerend te werken en dus rendabel te zijn. Het weglaten van één vestiging, die hoogstwaarschijnlijk het minst extra kosten met zich mee zou brengen, blijkt niet rendabel. De kosten van de planning stijgen hierdoor veel sterker dan de vaste lasten afnemen.

Kort samengevat komt het er dus op neer dat in dit onderzoek geen heel sterke significante verbeteringen voor het logistieke netwerk van Rondas BV naar voren komen. Dat betekent dus dat er eigenlijk geen grote tekortkomingen zijn aan het netwerk van standplaatslocaties en de verdeling van capaciteiten over de verschillende standplaatsen bij Rondas BV.

5. Conclusie

5.1 Advies

De laadlocaties en loslocaties van Rondas BV liggen verspreid door heel Nederland. Dat maakt een standplaatsbepaling lastig, bij één enkele laadlocatie en één enkele loslocatie is een ideale standplaats gemakkelijk te bepalen. Die zou namelijk op die ene laadlocatie of loslocatie worden gevestigd, of natuurlijk ergens op de directe route tussen de laadlocatie en loslocatie. De loslocaties van bouwmaterialen zijn echter erg divers en vaak maar van tijdelijk aard, daarom is op basis hiervan moeilijk een standplaats te bepalen. Enige constante stabiliteit is alleen te vinden bij de laadlocaties, dit zijn namelijk vooral productielocaties van klanten. Deze locaties bestaan soms al honderden jaren en het lijkt dus verstandig om standplaatsen te hebben dichtbij deze stabiele productielocaties. Hierop moeten echter niet alle pijlen worden gericht bij het bepalen van een standplaatslocatie. Een productielocatie kan namelijk wel tientallen jaren op dezelfde plek zitten, maar dat betekent niet dat Rondas BV al die jaren het transport vanaf die locatie mag uitvoeren.

Transportbewegingen door voertuigen van Rondas BV lijken goed op elkaar te zijn afgestemd. Het grote netwerk van klanten zorgt ervoor dat er vaak kan worden geladen dichtbij een loslocatie. Wanneer echter goed naar deze goederenstromen wordt gekeken zal het opvallen dat er enkele mogelijkheden tot verbetering zijn. De meest belangrijke komt voort uit het overschot van transportopdrachten richting Noord-Holland en een ongeveer even groot tekort aan transportbewegingen richting Noord-Brabant. Directe aanvulling in de vorm van vrachten die worden geladen in Noord-Holland en gelost in Noord-Brabant zou ideaal zijn, maar er zijn natuurlijk ook verschillende tussenstappen mogelijk. Daarnaast worden er relatief veel vrachten gelost in het hoge Noorden van Nederland en Overijssel, waar vaak geen retourvrachten voor zijn in de richting van bij voorkeur Kampen. Transportopdrachten van deze aard kunnen worden gezocht in de vorm van opdrachten van nieuwe of bestaande klanten. Ook is het mogelijk om de vrachten die het overschot te veroorzaken af te stoten of uit te besteden als losse ritten. Nog beter zou het zijn om samen te werken met andere bouwvervoerders, op zijn minst in de vorm van vrachtwisseling. Hierdoor kunnen de goederenstromen van beide bedrijven elkaar aanvullen.

In de huidige situatie (scenario drie) wordt ongeveer vijfendertig procent van de transportorders uitgevoerd door andere bouwvervoerders. Het is voor Rondas BV belangrijk om te beseffen dat dit uitbesteden de totale kosten van de transportplanning sterk terugdringt. Deze besparing komt vooral doordat deze ingehuurde transportbedrijven voertuigen hebben gestationeerd op standplaatsen die het netwerk met standplaatsen van Rondas BV goed aanvullen. Het gaat hierbij dan vooral om standplaatsen bij Kampen en Alblasserdam. Wanneer al dat uitbestede werk door eigen voertuigen vanaf de vier bestaande eigen standplaatsen moet worden uitgevoerd (zoals in scenario één), kan dit de wekelijkse transportkosten met wel vijfduizend euro (1,7%) verhogen. Ook het weglaten van één van de huidige vestigingen (scenario zes) resulteert in een wekelijkse kostenstijging van minimaal vijfendertighonderd euro, dat is een kostenstijging van bijna één procent vergeleken met de huidige situatie. Bovendien lijkt de kans dat tijdvensters worden geschonden groter te worden het bij het wegnemen van een van de bestaande vestigingen.

Het toevoegen van ongeveer negen voertuigen met de standplaats Veghel en ongeveer zes chauffeurs en voertuigen met de standplaats Amsterdam (scenario 5) lijkt maar erg weinig effect te hebben op de totale kosten van de transportplanning. De kosten dalen hierdoor met ongeveer 0,4%, zeker omdat het hier een simulatie van één week betreft is dit verschil te verwaarlozen. Ook lijkt het toevoegen van deze twee standplaatsen geen positief effect te hebben op het aantal geschonden tijdvensters, dat zijn er namelijk ongeveer evenveel als in de huidige situatie.

Eigenlijk blijkt uit dit onderzoek dat er weinig aanmerkingen zijn op de bestaande locaties van standplaatsen en de verdelingen van voertuigen en chauffeurs over de standplaatsen van Rondas BV. Het toevoegen van één of enkele standplaatsen aan het huidige netwerk lijkt niet direct heel erg kostenbesparend te zijn. Terwijl het weglaten van één van de vestigingen al snel een sterke kostenverhoging met zich meebrengt. Kort samengevat zijn de aanbevelingen die volgen uit dit onderzoek naar het logistieke netwerk van Rondas BV als volgt:

- Maak bij collega transportbedrijven bekend welke transportopdrachten een goede aanvulling zouden zijn op de eigen goederenstromen. En geef dan ook aan van welke goederenstromen er vaak een overschot zijn. Dit maakt het uitwisselen van vrachten gemakkelijker.
- De voordelen van het gebruik van standplaatslocaties van collega transportbedrijven zijn groot, blijf de voertuigen van deze transportbedrijven dus inzetten in de transportplanning.
- Het afstoten van één van de bestaande eigen standplaatsen verhoogt de kosten van de transportplanning sterk. Het is niet verstandig om een standplaats af te stoten, behalve als later blijkt dat de afname van vaste kosten hoger is dan de toename van variabele plankosten.
- Toevoegen van één of enkele standplaatsen in Veghel en Amsterdam verlaagt de kosten van de routeplanning niet of nauwelijks, dit is moeilijk aan te bevelen op basis van dit onderzoek.

Dit zijn wellicht niet de ingrijpende adviezen die voorafgaand aan dit onderzoek werden verwacht. In de sector van het bouwtransport zijn de marges echter klein en daarom kunnen ook deze kleine veranderingen mogelijk voldoende positieve effecten hebben. Dat neemt echter niet weg dat dit onderzoek zeker kan worden aangepast en verbeterd, daarom is het uitvoeren van het in de volgende paragraaf beschreven toekomstig onderzoek ook een advies aan Rondas BV.

5.2 Toekomstig onderzoek

Uit dit onderzoek blijkt dat de methode voor het bepalen van standplaatslocaties, zoals in hoofdstuk drie is beschreven, veelbelovende standplaatslocaties genereert. Ook levert deze methode duidelijke verdelingen van het aantal voertuigen en chauffeurs over deze standplaatsen op, als van percentages van de totale transportkosten. Echter komen de forse kostenbesparingen die in hoofdstuk drie worden gesuggereerd niet in dezelfde mate terug in de resultaten die volgen uit het maken en doorrekenen van de realistisch gegenereerde transportplanning.

Daarom is het interessant om te kijken of het model, of mogelijk toch de input van gegevens in het model, kan worden aangepast zodat deze besparingen wel doorvoeren in de werkelijke transportplanning. Marginaal aanpassen van het gebruikte model is vooral mogelijk door de methode van kostenberekening te wijzigen. In het huidige model zijn de transportkosten direct en lineair afhankelijk van het gewicht van een transportorder. Hierdoor kunnen de kosten voor deelleveringen lager uitvallen dan ze werkelijk zijn, terwijl de kosten voor volle vrachten relatief hoger lijken dan ze werkelijk zullen zijn. Om dit op te lossen zouden de kosten niet meer direct en lineair afhankelijk moeten zijn van het gewicht.

Hiertoe zou bijvoorbeeld bij ieder ordergewicht een factor van het verschil tussen het laadvermogen op de route en het ordergewicht kunnen worden opgeteld. Als deze factor bijvoorbeeld op 0,1 wordt gesteld, neemt het rekengewicht van een order van 1.000 kilogram voor een transportroute met een laadvermogen van 30.000 kilogram bijvoorbeeld toe tot 3.900 kilogram ($1000 + 0.1 \times (30000 - 1000)$). Waardoor de bezettingsgraad en dus ook de transportkosten met een factor 3,9 toenemen. De alternatieve formule is op de volgende pagina weergegeven:

$$U_i = (W_i + C \times (M_i - W_i)) / M_i / L$$

U_i = bezettingsfactor van order i

W_i = gewicht in kilogram van order i

M_i = laadvermogen in kilogram op de route van order i

C = nader te bepalen constante factor

L = gemiddelde beladingsgraad

Op deze manier zullen de kosten van een deelpartij altijd worden verhoogd met een factor die afhankelijk is van de grootte van de deelpartij en het laadvermogen op de route. Hierdoor worden transportorders met kleine gewichten beter meegewogen in de standplaatsbepalingen. Het bepalen van deze constante factor kan bijvoorbeeld worden gedaan door te kijken naar de tarieven die Rondas BV hanteert voor haar klanten. Hierin zijn wellicht vaste basiskosten per aparte transportopdracht opgenomen en ook zal het transport van deelpartijen waarschijnlijk meer kosten per kilogram dan het transport van volle vrachtwagenladingen kost per kilogram.

Een probleem zoals het maken van een transportplanning blijkt veel complexer en dynamischer te zijn dan het probleem van het bepalen van locaties voor centrale distributiecentra. Dit komt omdat het ritplansysteem van Ortec uitgaat van start- en eindpunten voor een route, dat zijn de in dit onderzoek bepaalde standplaatslocaties. Transportopdrachten waarvan de laadlocatie of loslocatie niet in de buurt ligt van deze start- of eindpunten zullen door het planpakket overdag worden ingepland. Terwijl orders waarvan de laadlocatie of loslocatie wel in de buurt van de start of eindpunten van een route liggen juist in het begin of einde van een werkdag worden gepland. Dit maakt de transportplansoftware van Ortec veel flexibeler en dynamischer dan een relatief simpele standplaatsbepaling. Wellicht zijn hierdoor de verschillen in werkelijke kosten tussen de verschillende scenario's een stuk kleiner dan in hoofdstuk drie werd geïnsinueerd.

Het is ook mogelijk om dit onderzoek op een radicaal andere manier aan te pakken. Zo kan bijvoorbeeld compleet onafhankelijk van eventueel te bepalen standplaatsen een optimale transportplanning, die doorloopt over enkele weken, worden gemaakt met het ritplansysteem van Ortec. Uit deze doorlopende transportplanning kunnen vervolgens van iedere dag en voor ieder voertuig de begin en eindpunten worden gehaald. Dit zijn dus geen standplaatslocaties, maar gewoon de eerste en laatste locaties die op een dag worden bezocht voor het laden of lossen van bouwmaterialen. Als al deze locaties zijn verzameld kunnen vervolgens, wederom via de methode zoals die is beschreven in hoofdstuk drie, standplaatslocaties worden berekend. Het grote voordeel is dat hierbij geen rekening hoeft te worden gehouden met gewichten van transportopdrachten. Dat komt omdat een voertuig in de ochtend vertrekt vanaf de standplaats naar de eerste laad- of loslocatie van een werkdag, en na de laatste laad- of loslocatie van een dag altijd weer vertrekt naar de standplaats. De belading van een voertuig over deze afstanden is weinig tot niet relevant, omdat de kosten hier maar minimaal van afhankelijk zijn. Minimalisatie van de totale afstand is in dit eventuele alternatieve onderzoek dus het primaire doel.

Buiten al deze problemen en alternatieven is het vooral wenselijk om de verschillende scenario's over een langere periode te simuleren. Nu is vanwege de beperkte rekencapaciteit iedere keer slechts één week gesimuleerd. Het simuleren van één week geeft misschien wel een goede indicatie van mogelijke toename of afname van de totale kosten, maar om meer zekerheid te krijgen zouden eigenlijk meerdere opeenvolgende werkweken moeten worden gesimuleerd.

6. Literatuurlijst

- Amstel, W. P. van (2010). *Betere bouwlogistiek is bitterhard nodig*. Verkregen op 20 augustus 2013, van <http://www.logistiek.nl/Supply-Chain/algemeen/2010/2/Betere-bouwlogistiek-bitterhard-nodig-LOGBLG100276W/>
- Ballou, R.H. (1968). *Dynamic warehouse location analysis*.
- Ballou, R. H. (2004). *Business Logistics / Supply Chain Management*. Harlow: Pearson Education.
- CAO (2013). Collectieve arbeidsovereenkomst beroepsgoederenvervoer. *Staatscourant* 2496.
- CBS (2013). *Bedrijfsvoertuigen per periode naar technische kenmerken*. Verkregen op 3 september 2013, van [http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=71407ned&D1=0-102&D2=a&D3=\(l-6\)-l&D4=0&VW=T](http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=71407ned&D1=0-102&D2=a&D3=(l-6)-l&D4=0&VW=T)
- CBS (2013). *Wegvervoer vaak bouwgerelateerd*. Verkregen op 3 september 2013, van <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/verkeer-vervoer/publicaties/artikelen/archief/2013/2013-wegvervoer-art.htm>
- Chopra, S. & Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management, Strategy, Planning & Operation*. New Jersey: Pearson
- D-centralize (2013). *4PP lijst van Nederland*. Verkregen op 5 juli 2013, van <http://www.d-centralize.nl/projects/6pp/downloads/>
- Doppert, E. & Stijn, A. van (2013). Malaise duurt voort. *Transport en Logistiek*, 2013 (5), p.14-15.
- Farahani, R.Z. & Hekmatfar, M. (2009). *Facility Location*. Berlin: Springer-Verlag.
- Funke, B. & Grünert, T. & Irnich, S. (2004). *Local search for vehicle routing and scheduling problems*.
- Geonames (2013). *Postal codes Luxembourg*. Verkregen op 5 juli 2013, van <http://www.geonames.org/postal-codes/>
- Gromicho, J. & Hoorn, J.J. van & Kok, A.L. & Schutten, J.M.J. (2011). *Restricted dynamic programming: A flexible framework for solving realistic VRPs*.
- Klose, A. & Drexel, A. (2005). *Facility location models for distribution system design*.
- Kok, A.L. & Kopfer, H. & Schutten, J.M.J. (2010). *A dynamic programming heuristic for the vehicle routing problem with time windows and european community social legislation*.
- Kok, A.L. & Hans, E.W. & Schutten, J.M.J. (2011). *Vehicle routing under time-dependent travel times: The impact of congestion avoidance*.
- Linde, P. van der (2013). Langzaam wakker. *Transport en Logistiek*, 2013 (5), p.34-45.
- Malandraki, C. & Dial, R.B. (1994). *A restricted dynamic programming heuristic algorithm for the time dependent traveling salesmen problem*.

- Melo, M.T. & Nichel, S. & Saldanha-da-Gama, F. (2009). *Facility location and supply chain management: A review*.
- Owen, S.H. & Daskin, M.S. (1998). *Strategic facility location: A review*.
- Perl, J. & Daskin, M.S. (1985). *A warehouse location-routing problem*.
- Roosmalen, R. van (2013). *Economische crisis biedt bouwlogistiek kansen*. Verkregen op 5 augustus 2013, van <http://www.logistiek.nl/Supply-Chain/servicelogistiek/2013/3/Economische-crisis-biedt-bouwlogistiek-kansen-1205617W/>
- Shmoys, D.B. & Tardos, E. & Aardal, K. (1997). *Approximation algorithms for facility location problems*.
- Simchi-Levi, D. & Kaminsky, P. & Simchi-Levi, E. (2007). *Designing and Managing the Supply Chain*. New York: McGraw-Hill.
- Slack, N. & Chambers, S. & Johnston, R. (2006). *Operations Management*. New Jersey: Prentice Hall.
- Stadsbeheer Etten-Leur (2013). *Aanvraagformulier vrachtwagenparkeerplaats Transferium*. Verkregen op 10 september 2013, van <http://www.etten-leur.nl/dsresource?objectid=62492&type=org>
- TNO (2006). *Handboek verladerssamenwerking*. Verkregen op 2 september 2013, van <http://www.tno.nl/downloads/Handboek%20verladerssamenwerking.pdf>.
- TNO (2011). *TNO Bouwprognoses 2011-2016*. Verkregen op 2 september 2013, van http://www.tno.nl/downloads/bouwprognoses_2011_2016_tno.pdf.
- TNO (2012). *Trends in bouwlogistiek*. Verkregen op 2 september 2013, van http://www.tln.nl/media/2_deelmarkten/bouwmaterienvervoer/tln_en_tno_kansen_rapport_eindversie.pdf.
- Toth, P. & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: SIAM.
- Toth, P. & Vigo, D. (2003). *The granular tabu search and its application to the vehicle-routing problem*.
- Visokio (2013). *Geographic coordinate merge files*. Verkregen op 5 juli 2013, van <http://www.visokio.com/merge-files>
- Visser, H.M. & Goor, A.R. van (2011). *Werken met logistiek / Supply Chain Management*. Groningen: Noordhoff Uitgevers.
- Welmers, R. (2013). Wensen vaak heel verschillend. *Transport en Logistiek*, 2013 (5), p.10-12.
- Winston, W.L. (2003). *Operations Research, Applications and Algorithms*. Stamford: Cengage Learning.

Appendix A: Variaties in goederenstromen tussen data uit de verschillende weken.

	NL-1	NL-2	NL-3	NL-4	NL-5	NL-6	NL-7	NL-8	NL-9	Totaal
NL-1	1,03%	0,62%	0,64%	0,22%	0,19%	0,09%	0,01%	0,03%	0,00%	2,82%
NL-2	1,00%	0,78%	0,77%	2,41%	1,98%	1,27%	1,78%	0,99%	2,07%	13,06%
NL-3	0,45%	0,36%	0,32%	0,69%	0,32%	0,34%	0,27%	0,30%	0,15%	3,20%
NL-4	3,43%	2,70%	2,97%	0,72%	0,65%	0,60%	1,02%	0,53%	2,94%	15,55%
NL-5	2,22%	2,91%	3,40%	2,24%	1,51%	1,82%	1,60%	2,00%	0,78%	18,48%
NL-6	1,85%	1,32%	1,65%	0,70%	0,74%	0,66%	0,61%	0,89%	0,37%	8,79%
NL-7	0,14%	0,25%	0,33%	0,27%	0,27%	0,14%	0,08%	0,06%	0,09%	1,62%
NL-8	1,18%	2,24%	2,07%	2,13%	3,75%	3,47%	1,50%	0,30%	0,41%	17,05%
NL-9	0,00%	0,04%	0,02%	0,07%	0,03%	0,07%	0,00%	0,01%	0,00%	0,23%
Totaal	11,30%	11,20%	12,17%	9,45%	9,45%	8,45%	6,86%	5,10%	6,81%	80,80%

Tabel 1: Gemiddelde goederenstromen van de weken 18 tot en met 27 tussen Nederlandse één-cijferige postcodegebieden weergegeven als percentage van de totale kosten.

Als ervan uit wordt kan gegaan dat ieder van deze 81 goederenstromen normaal verdeeld is over de tien verschillende weken kunnen de relatieve standaardafwijkingen van deze goederenstromen worden bepaald. Dit is de standaardafwijking van de goederenstromen weergegeven als percentage van de gemiddelde goederenstromen uit tabel 1.

	NL-1	NL-2	NL-3	NL-4	NL-5	NL-6	NL-7	NL-8	NL-9	Totaal
NL-1	0,31%	0,23%	0,25%	0,15%	0,19%	0,08%	0,03%	0,05%	0,00%	0,67%
NL-2	0,31%	0,21%	0,17%	1,74%	0,43%	0,68%	1,05%	0,63%	1,25%	2,22%
NL-3	0,13%	0,21%	0,22%	0,29%	0,29%	0,23%	0,31%	0,37%	0,10%	0,66%
NL-4	0,62%	0,39%	0,40%	0,25%	0,31%	0,27%	0,48%	0,20%	0,88%	1,60%
NL-5	0,84%	0,56%	0,91%	0,74%	0,35%	0,44%	0,64%	0,65%	0,37%	1,70%
NL-6	0,87%	0,92%	1,01%	0,75%	0,67%	0,39%	0,30%	1,02%	0,39%	2,21%
NL-7	0,15%	0,25%	0,36%	0,35%	0,53%	0,09%	0,09%	0,07%	0,10%	0,51%
NL-8	0,43%	0,57%	0,47%	0,75%	0,44%	1,09%	0,49%	0,09%	0,20%	3,02%
NL-9	0,00%	0,05%	0,06%	0,13%	0,04%	0,06%	0,00%	0,02%	0,00%	0,17%
Totaal	1,77%	1,45%	1,30%	1,46%	0,90%	1,52%	1,18%	1,46%	2,09%	2,54%

Tabel 2: Relatieve standaardafwijkingen van goederenstromen in de weken 18 tot en met 27 tussen Nederlandse één-cijferige postcodegebieden.

Door het verschil tussen de goederenstromen in een bepaalde week en de gemiddelde goederenstromen te delen door deze relatieve standaardafwijkingen uit *tabel 2*, is voor iedere aparte goederenstroom binnen een bepaalde week de standaardafwijking te berekenen. In de onderstaande *tabel 3* is dit gedaan voor week 24, waarvan de transportorders zijn gebruikt voor het berekenen van de verschillende scenario's in het ritplansysteem.

	NL-1	NL-2	NL-3	NL-4	NL-5	NL-6	NL-7	NL-8	NL-9	Totaal
NL-1	0,67	0,27	1,53	0,85	0,40	1,24	0,32	0,34	0,00	0,54
NL-2	0,09	0,30	0,75	1,37	1,22	0,10	0,02	0,57	0,45	1,29
NL-3	1,43	1,10	0,42	0,31	0,35	1,63	0,44	0,71	0,56	0,06
NL-4	1,03	0,19	0,72	1,13	0,35	0,23	0,68	1,18	0,84	0,02
NL-5	0,83	1,31	0,54	0,86	0,26	1,28	0,00	0,70	1,34	0,76
NL-6	0,50	0,46	0,38	0,27	0,81	0,18	1,04	0,76	0,50	0,74
NL-7	0,08	0,03	0,36	0,11	0,45	0,85	0,85	0,76	1,02	0,38
NL-8	0,40	0,62	0,72	1,16	0,46	0,90	0,78	1,18	0,31	0,79
NL-9	0,00	0,06	0,32	0,55	0,63	0,70	0,00	0,38	0,32	0,49
Totaal	1,13	1,26	0,13	1,28	0,30	0,15	0,24	0,52	0,76	0,08

Tabel 3: Standaardafwijkingen van de goederenstromen tussen Nederlandse één-cijferige postcodegebieden in de week 24.

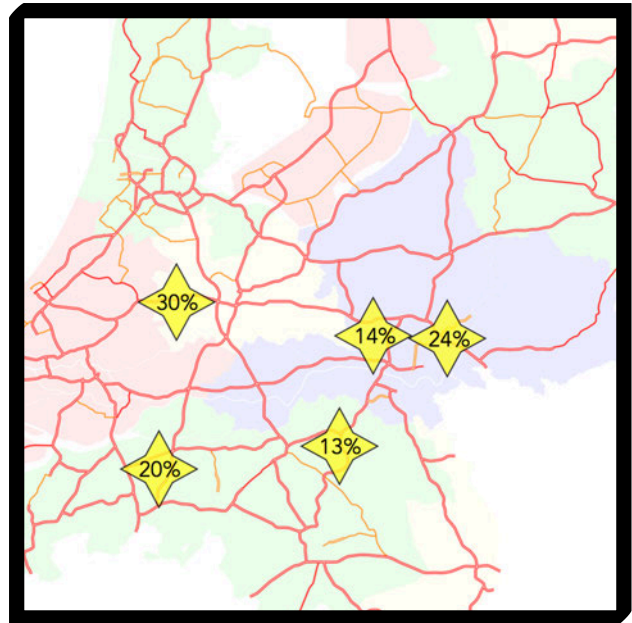
Door de kwadraten van deze standaardafwijkingen bij elkaar op te tellen, om vervolgens van dit totaal de wortel te trekken, is de totale standaardafwijking van een bepaalde week te berekenen. Deze waarden zijn berekend voor ieder van de tien weken en zijn hieronder weergegeven:

	Totale standaardafwijking
week 18	7,58
week 19	9,01
week 20	7,95
week 21	7,57
week 22	8,20
week 23	8,16
week 24	6,64
week 25	9,22
week 26	8,99
week 27	9,97

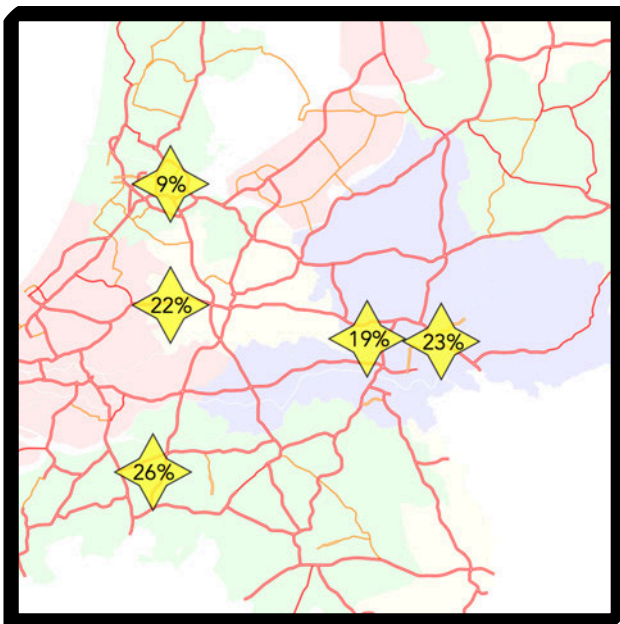
Appendix B: Totale kosten vergeleken met de basiskosten bij het toevoegen van standplaatsen.



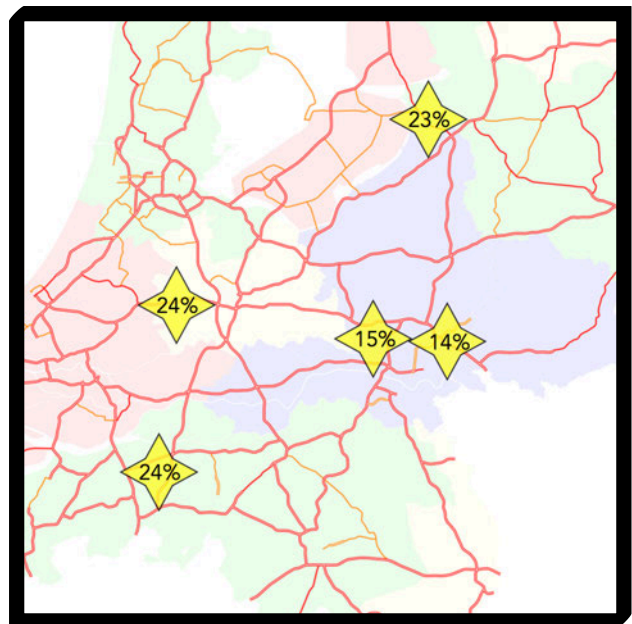
Toevoeging van Alblaserdam. Kosten: +24,4%



Toevoeging van Veghel. Kosten: +23,3%

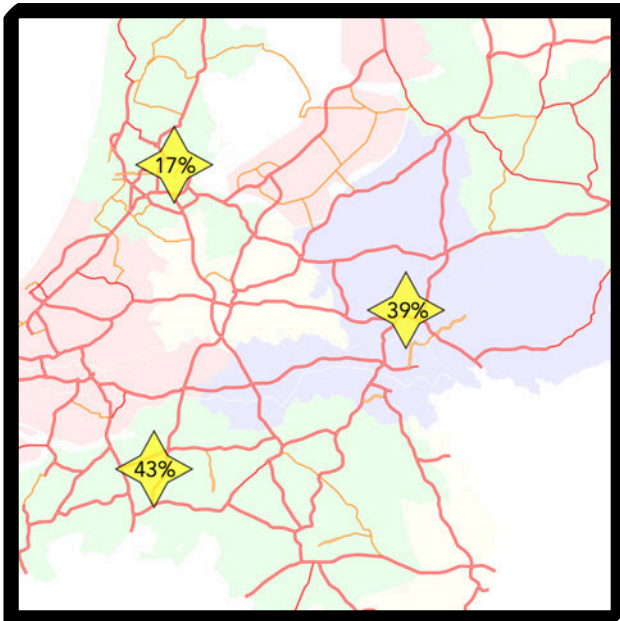


Toevoeging van Amsterdam. Kosten: +23,1%

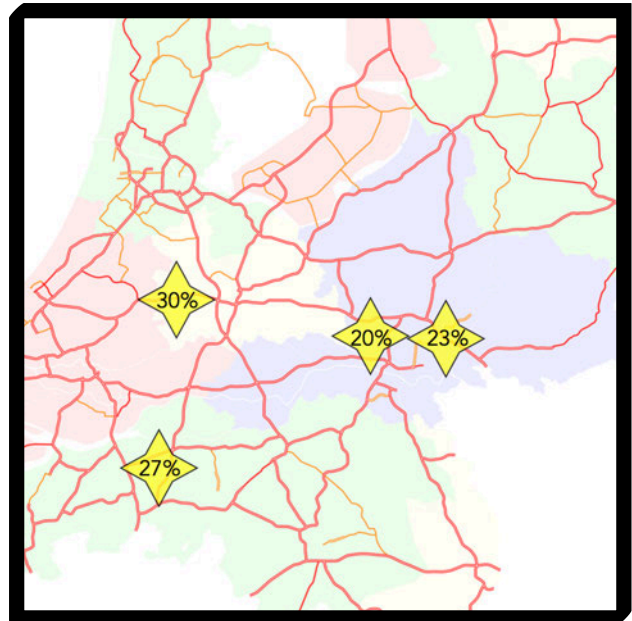


Toevoeging van Kampen. Kosten: +21,4%

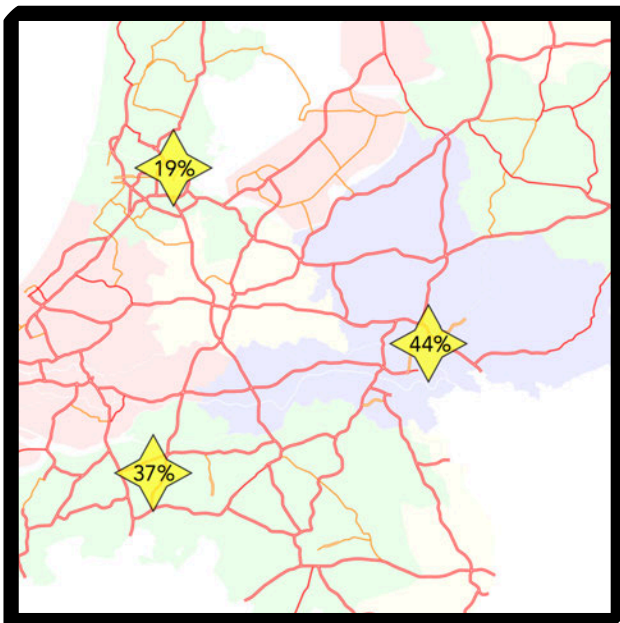
Appendix C: Totale kosten vergeleken met de basiskosten bij het wijzigen van de dataset.



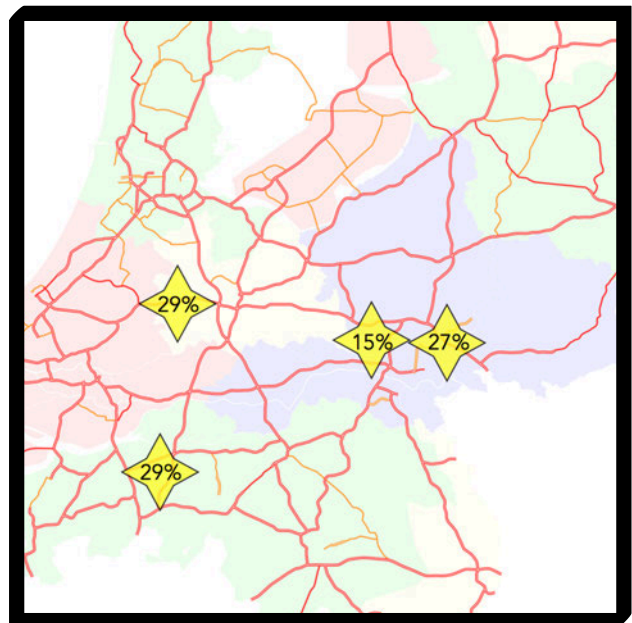
Drie optimale locaties van standplaatsen, berekend op basis van orders met vroege tijdvensters. Kosten: +26,1%.



Herberekening over de vier eigen bestaande standplaatsen, op basis van orders met vroege tijdvensters. Kosten: +26,6%.



Drie optimale locaties van standplaatsen, berekend op basis van de zelf uitgevoerde transportorders. Kosten: +31,0%.



Herberekening over de vier eigen bestaande standplaatsen, op basis van de zelf uitgevoerde transportorders. Kosten: +32,8%.