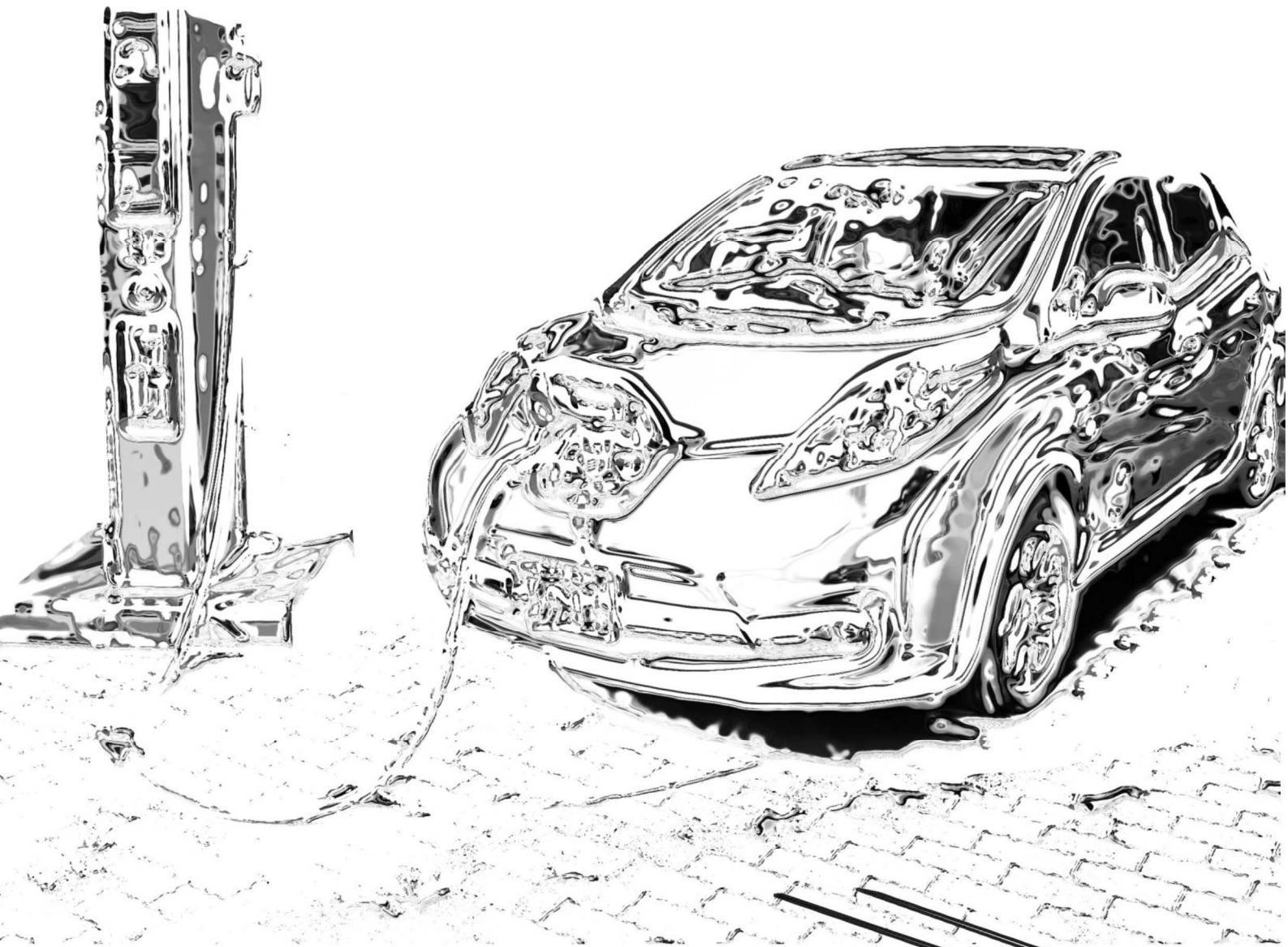


Improving Infrastructure for Electric Vehicles:

A Method to Optimize Locations for Fast chargers



Robbert Verweij

9-5-2012

Master Thesis

TU Delft // Amsterdam // Goudappel Coffeng

Master Thesis:

Improving Infrastructure for Electric Vehicles:
A Method to Optimize Locations for Fast Chargers

Student

R. Verweij, BSc	RVerweij1@TUDelft.nl www.linkedin.com/robbert-verweij
-----------------	--

Committee

Chairman <i>TU Delft</i>	Prof. dr. ir. B van Arem
Daily supervisor <i>TU Delft</i>	Dr. ir. R van Nes
External Daily supervisor <i>Goudappel Coffeng</i>	Ir. R. van den Brink
External support <i>DIVV Amsterdam</i>	Ir. J. Schrijver
External support <i>TU Delft: Faculty of Technology, Policy and Management</i>	Dr. K. Maat
General support <i>TU Delft</i>	Ir. P. Wiggenraad

Management samenvatting

Inleiding

In tijden van eindige olievoorraden, stijgende olieprijsen en een stijgende aandacht voor duurzame mobiliteit worden alternatieve brandstoffen steeds aantrekkelijker. Elektrische voertuigen (EVs) zijn een alternatief voor de huidige voertuigen. Deze voertuigen rijden op elektriciteit in plaats van benzine of diesel. Elektrische voertuigen kunnen zowel onderweg als thuis worden opgeladen door middel een laadpaal. Met een volle batterij kan in de praktijk ongeveer 80-100 kilometer worden gereden mits negatieve effecten zoals slechte weersomstandigheden, extra gewicht en stop-en-go verkeer worden meegerekend. Deze afstand is de actieradius. Dit betekent dat als er afstanden langer dan deze afstand moet worden afgelegd, een tussentijdse laadbeurt nodig zal zijn. Hiervoor zijn snelladers ideaal, deze kunnen de batterij tot 80% opladen in ongeveer dertig minuten. Dit is veel sneller dan de 8 uur die nodig is als met een gewone (langzaam)lader word geladen.

Probleemstelling

Afgelopen jaren zijn er enkele snelladers geplaatst in Nederland. De locaties van deze snelladers zijn echter niet bepaald aan de hand van rijpatronen of verkeerskundig inzicht. Hierdoor kan het voorkomen dat snelladers op sommige locaties te weinig worden gebruikt en op andere locaties worden overbelast. In het eerste geval is de snellader een slechte investering en in het laatste geval kunnen er wachtrijen ontstaan.

Een optimaal netwerk van snelladers is zodanig ruimtelijk opgebouwd dat, gegeven het aantal laadpunten, zoveel mogelijk autoverplaatsingen met een elektrische auto kunnen worden gemaakt. Met andere woorden, het faciliteert maximaal het gebruik van elektrische auto's en stimuleert daarmee maximaal de transitie naar elektrische auto's. Het doel van dit onderzoek is om de optimale locaties voor snelladers te bepalen zodat het beschikbare geld zo efficiënt mogelijk wordt besteed.

In deze thesis is een methode ontwikkeld waarmee onder andere voor een willekeurig gebied de optimale configuratie met het daarbij horende benodigde aantal snelladers kan worden bepaald.

Doelgroep en relevante verplaatsingen

De actieradius van een EV is het belangrijkste aspect om te bepalen of iemand een snellader nodig heeft. Om te bepalen wie de potentiële gebruikers zijn, zijn dagpatronen van voertuigen geanalyseerd. In deze patronen is weergegeven hoe een auto wordt gebruikt over een dag. De EV gebruikers die op een dag meer dan de actieradius rijden zijn mogelijke gebruikers. Daarnaast wordt verondersteld dat gebruikers niet twee keer op een dag dertig minuten willen wachten terwijl hun auto wordt geladen. Een uitgangspunt in dit onderzoek is dat de batterij van het EV 's ochtend helemaal opgeladen is omdat gedurende de voorgaande nacht is geladen. Met deze aanname kan worden bepaald welke autoverplaatsingen relevant zijn:

- De totale afstand van het dagpatroon is groter dan de actieradius
- De totale afstand van het dagpatroon is kleiner dan twee keer de actieradius

Uit analyse is gebleken dat 12,1% van de dagpatronen latent (relevant) zijn uitgaande van een actieradius van 80km. Hierbij is verondersteld dat er geen andere laders, bijvoorbeeld op een bestemming, worden gebruikt.

De TAGA-methode

Een methode is ontwikkeld die kan worden gebruikt om de optimale configuratie van snelladers te verkrijgen in een bepaald gebied. Deze methode, de TAGA-methode, bestaat uit drie onderdelen:

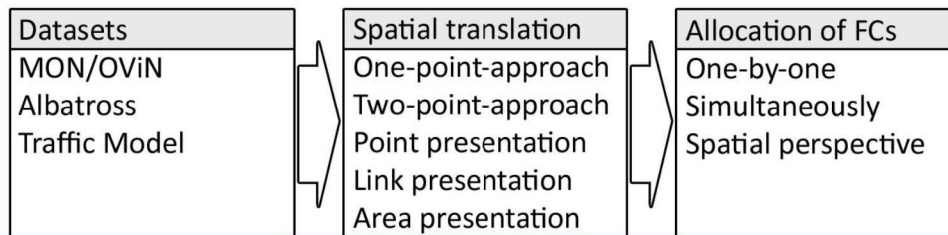
De input:

- Een dataset die informatie bevat over hoe mensen zich verplaatsen.

Stappen die nodig zijn om de data uit de dataset om te zetten naar een configuratie van snelladers:

- Vertaling van data naar ruimtelijke vraag
- Toewijzen van snelladers

Om de meest betrouwbare methode te vinden zijn verschillende opties die per stap onderzocht. Deze zijn weergegeven in figuur 1.



Figuur 1, Mogelijke opties per onderzochte stap

De gekozen optie per stap worden hieronder toegelicht:

De dataset

Een dataset is nodig om informatie te krijgen over het ruimtelijke verplaatsingsgedrag van automobilisten. Uit analyse is gebleken dat geen van de onderzochte datasets voldoet aan de eisen die waren gesteld. De twee eisen waar geen van de datasets aan voldeed waren:

- Betrouwbaarheid en soort data: de dataset bevat informatie over dagpatronen (kwaliteit)
- De grootte van de dataset: de hoeveelheid data (kwantiteit)

Er is daarom gekozen om met behulp van een verkeersmodel en data van het MON/OViN dagpatronen te genereren over een bepaald gebied. Omdat genereren van alle soorten dagpatronen (te)veel rekentijd kost is gekozen om slechts drie soorten dagpatronen te creëren. Dit zijn dagpatronen bestaande uit 1 tour met twee, drie of vier trips.

Verkeersmodel

In een herkomst/bestemming ochtend matrix van een verkeersmodel zijn verkeerstromen, het aantal voertuigen, tussen gebieden (zones) weergegeven die worden gemaakt tijdens de ochtendspits (zie figuur 2, stap 1). Dit is echter maar één verplaatsing, het is dus niet bekend hoe iemand zich vervolgens zal gaan verplaatsen.

Mobiliteits Onderzoek Nederland

Om te bepalen hoe iemand zijn reis zal vervolgen is data uit het Mobiliteits Onderzoek Nederland (MON/OViN) geanalyseerd. In het MON/OViN vullen elk jaar ongeveer 50.000 mensen in hoe ze over een dag hebben gereisd. Met deze data is een kansverdeling gemaakt waar iemand naar toe zal rijden vanuit het gebied waar hij is aangekomen. Deze kansverdeling is gebaseerd op de volgende twee gegevens:

- Een gravitatie model: De gebieden krijgen een kans gebaseerd op afstand van het vertrekgebied.
- De attractiviteit van gebieden: Kansen op basis van aantrekkingskracht van gebieden. Stedelijke gebieden hebben bijvoorbeeld meer kans als bestemming gekozen te worden dan gebieden die voornamelijk bestaan uit weiland.

Door het combineren van beide kansen kan vanaf elke bestemming worden bepaald waar mensen met een bepaalde waarschijnlijkheid heen zullen reizen. Op deze manier worden verschillende dagpatronen gegenereerd die bestaan uit 1 tour met twee, drie of vier trips (zie voorbeeld in stap 2). Omdat niet alle dagpatronen een zelfde waarschijnlijkheid hebben om gemaakt te worden wegen ze niet allemaal even zwaar.



1. First trip of a daily pattern



2. Sequel trips of a daily pattern

Figuur 2, Stappen in TAGA-methode (1/2)

Vertaling van data naar ruimtelijke vraag

Van de gegenereerde dagpatronen kan worden bepaald of ze relevant zijn. Met andere woorden, welke dagpatronen hebben een snellader nodig om gemaakt te kunnen worden met een EV. Voor deze dagpatroon die zijn de mogelijke locaties bepaald waar een snellader kan worden bepaald. Hiervoor worden twee extremen punten op de route van het dagpatroon bepaald:

- De eerste mogelijkheid is het punt op de route waarbij (na volledige lading) de batterij precies leeg is bij aankomst op de eindbestemming
- De laatste mogelijkheid is het punt waarbij er zo lang wordt doorgereden totdat de batterij leeg is.

Op de wegvakken tussen deze punten is een snellader nodig, dit is het "potentiele interval voor een snellader". Om te bepalen welke wegvakken zijn gesitueerd in dit interval is een netwerk gebruikt. Hiermee is gekeken welke wegvakken worden gebruikt als er via de snelste route tussen twee gebieden wordt gereden. Op deze manier wordt de mogelijke locaties voor een snellader ruimtelijk weergegeven. In figuur 3 stap 3 is een dagpatroon weergegeven met daarin in rood aangegeven waar een snellader geplaatst kan worden.

De wens om te laden is het grootst in het midden van het potentiële interval, de kans om te stranden met een lege batterij is hier theoretisch het kleinst. Daarom is er gekozen voor een driehoekige verdeling van het vraag over het interval, zoals weergegeven in stap 4. Gebruikmakend van deze verdeling krijgen de wegvakken in het potentiële interval een score toegewezen. Deze score is gebaseerd op het oppervlak onder de driehoek en hangt af van: de waarschijnlijkheid van voorkomen van het dagpatroon en de lengte van het wegvak.

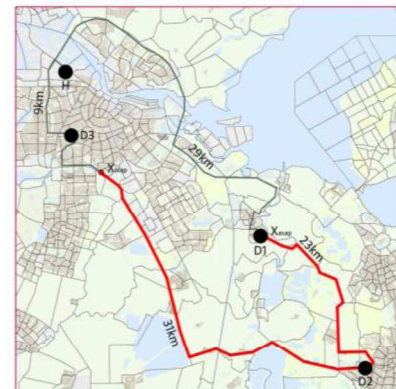
Vervolgens worden deze scores toegewezen aan cellen. Het gebied waarin de dagpatronen zijn gegenereerd is onderverdeeld in cellen. Op deze manier ontstaat er voor elk dagpatroon cel scores, zie stap 5.

Indien dit voor alle gegenereerde relevante dagpatronen wordt gedaan en de cel scores worden opgeteld ontstaat er een totale verdeling van de vraag. Dit is weergegeven in stap 6.

Om de vraag in een toekomstig jaar te bepalen dient er rekening te worden gehouden met de volgende aspecten:

- Marktaandeel van EVs: *Hoe meer EVs er zijn, hoe meer vraag.*
- Laadgedrag: *Niet iedereen met een EV zal gebruik maken van snelladers door de extra reistijd*
- Aanwezigheid van langzaamladings op bestemmingen: *Indien EVs ook op bestemmingen kunnen laden zullen er minder snelladers nodig zijn.*
- Factor dagpatronen: *omdat slechts drie soorten dagpatronen zijn gegenereerd is niet alle vraag weergegeven*

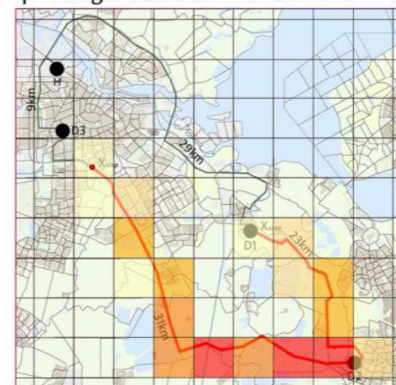
Deze effecten worden toegepast op de cel scores. Uiteindelijk resulteert dit in een ruimtelijke verdeling van de vraag, het aantal verwachte laadbeurten in een bepaald tijdsinterval, in een gebied.



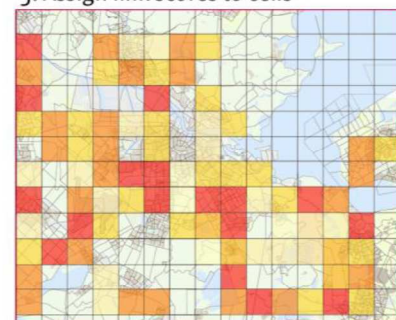
3. Determine potential interval



4. Triangle distribution of demand



5. Assign link scores to cells



6. Addition of daily patterns

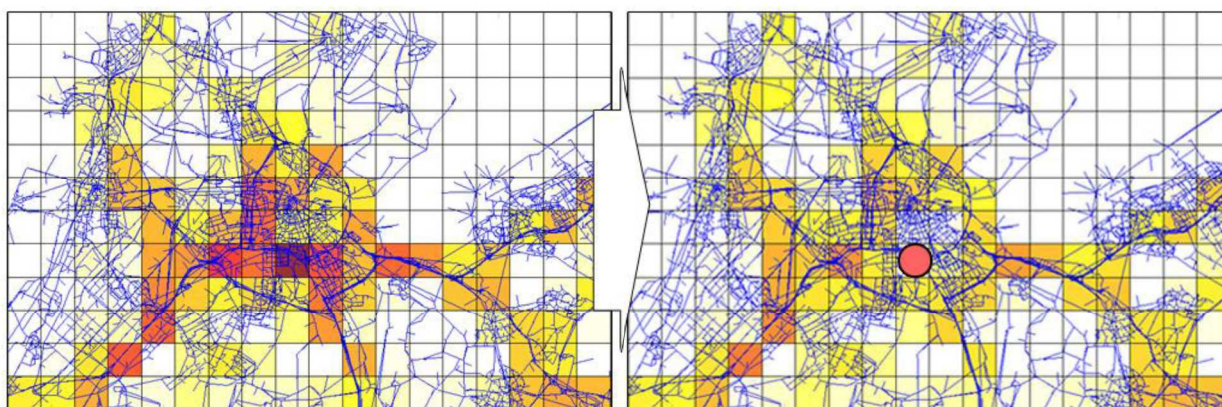
Figuur 3, Stappen in TAGA-methode (2/2)

Toewijzen van snelladers

Met de ruimtelijke verdeling van de vraag naar snelladers wordt vervolgens de stap gemaakt naar daadwerkelijke locaties. De snelladers worden als volgt toegewezen aan het gebied:

1. Zoek de cel met de hoogste vraag, de cel met de hoogste score.
2. Plaats zoveel snelladers in die cel totdat de vraag – die daalt na elke geplaatste snellader- te laag is om nog een rendabele snellader neer te zetten. Dit houdt in dat de snellader niet winstgevend is bij de overgebleven vraag.
3. Herhaal stap 1.

Dit proces is weergegeven in Figuur 4. Aan de linkerkant is een mogelijke verdeling van de vraag te zien. Aan de meest rode cel, de cel met de hoogste vraag, worden snelladers toegewezen. Dit heeft effect op de vraag in de andere cellen, zoals is te zien in het rechter figuur. De volgende snelladers zullen worden toegewezen aan de cel die nu de hoogste score heeft. Indien er nergens meer een rendabele snellader kan worden neergezet is een optimale configuratie bepaald.



Figuur 4, Voorbeeld van de effecten op de vraag in een gebied na plaatsing snelladers op een locatie

De combinatie van de drie beschreven stappen leidt tot de TAGA (Twee-punts Aanpak Greedy Algoritme)-methode.

Toepassingsgebieden

De ontwikkelde TAGA-methode kan worden gebruikt voor de volgende doeleinden:

- Het bepalen van de optimale configuratie (locaties en aantal snelladers per locatie) binnen een willekeurig gebied
- Het beoordelen en ranken van geplande of mogelijke locaties op winstgevendheid
- Bepalen welke bestaande locaties het best kunnen worden opgewaardeerd tot hubs (meer laders op een locatie)

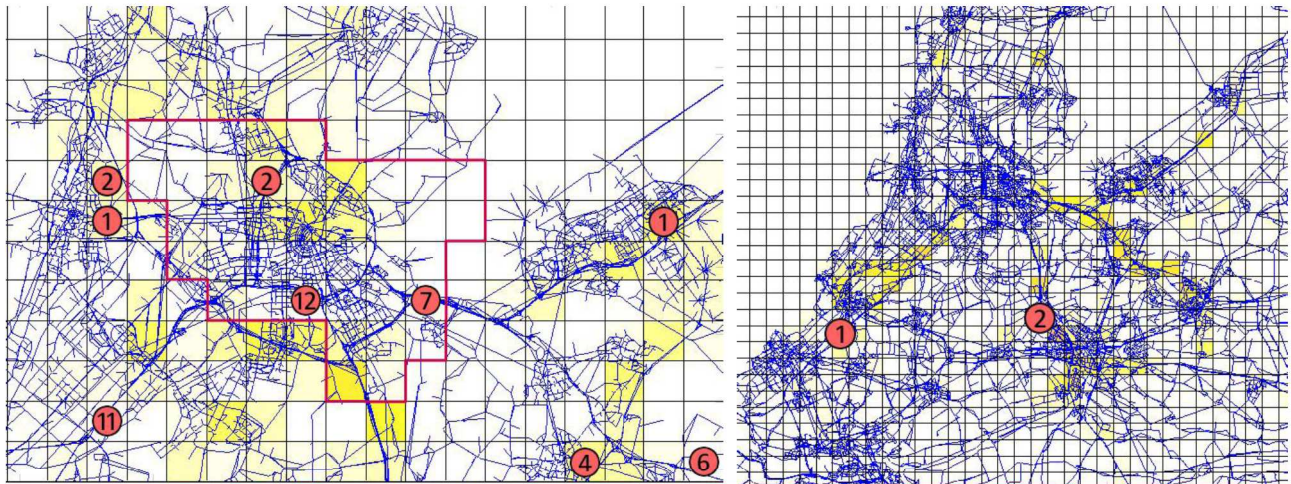
Toepassing op Amsterdam

De methode is toepast om de optimale locaties voor enerzijds Amsterdammers en anderzijds mensen die door de regio Amsterdam rijden te bepalen. De dagpatronen, de dataset, zijn gecreëerd door middel van:

- De H/B ochtend matrix van het verkeersmodel VENOM (Verkeerkundig noordvleugel model)
- Gestapelde data van het Mobiliteits Onderzoek Nederland (MON/OViN 2004-2010)

De eerste verplaatsingen van de dagpatronen zijn overgenomen van VENOM en de vervolgerplaatsingen zijn bepaald met behulp van aannames uit het MON/OViN.

In de figuren 5 en 6 zijn de resultaten weergegeven voor een aangenomen actieradius van 80km. De rode bollen zijn de optimale locaties en het getal wat erin staat het aantal benodigde (rendabele) laders.



Figuur 5, Optimale configuratie van snelladers in en rondom Amsterdam (totaal binnen de gemeentegrens: 21 laders verdeeld over 3 locaties)

Figuur 6, Optimale configuratie van snelladers voor EV gebruikers vertrekkend uit Amsterdam

In figuur 5 is te zien dat voor een optimale configuratie binnen de gemeentegrens van Amsterdam 21 snelladers nodig zijn verdeeld over drie locaties.

De EV gebruikers die 's ochtends vertrekken uit Amsterdam wensen een snellader nodig op ongeveer 30-40 kilometer ten zuiden van Amsterdam. Hiervoor zijn drie snelladers verdeeld over twee locaties nodig. Echter zullen deze locaties en aantallen niet passen in de optimale situatie voor een groter gebied. Daarvoor dienen alle EV verplaatsingen te worden meegenomen.

Evaluatie van de methode

De TAGA-methode is geëvalueerd door het vergelijken van de gecreëerde dataset en door middel van een gevoeligheidsanalyse.

De gecreëerde dataset met dagpatronen, welke is gebruikt voor de toepassing op Amsterdam, is gevalideerd met de dagpatronen uit het MON/OViN. Hierbij is gekeken naar de gemiddelde lengte van de relevante dagpatronen, de gemiddelde lengte van het potentiële interval en het percentage relevante dagpatronen. Uit deze analyse blijkt dat de gecreëerde dataset goed overeenkomt met de MON/OViN ondanks het feit dat MON/OViN is gebaseerd op het verleden en de gecreëerde dataset op de toekomst (2020).

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de locaties vrij robuust zijn. Daarentegen varieert de vraag in verschillende berekende scenario's sterk. Gerelateerd hieraan is het aantal benodigde laders.

Het verbeterpunt zijn de dagpatronen die zijn gegenereerd en zijn gebruikt als input voor de methode. De gecreëerde dataset is verondersteld de best beschikbare te zijn en geeft ook goede resultaten. Echter kan deze worden verbeterd door de volgende (grootste) zwaktes aan te pakken:

- Onlogische tours kunnen worden gecreëerd door de algemene aannames met betrekking tot bestemmingskeuze.
- Daarnaast worden niet alle mogelijke dagpatronen gecreëerd.

De betrouwbaarheid van de uitkomsten hangt daarom vooral af van de kwaliteit en kwaliteit van de dataset.