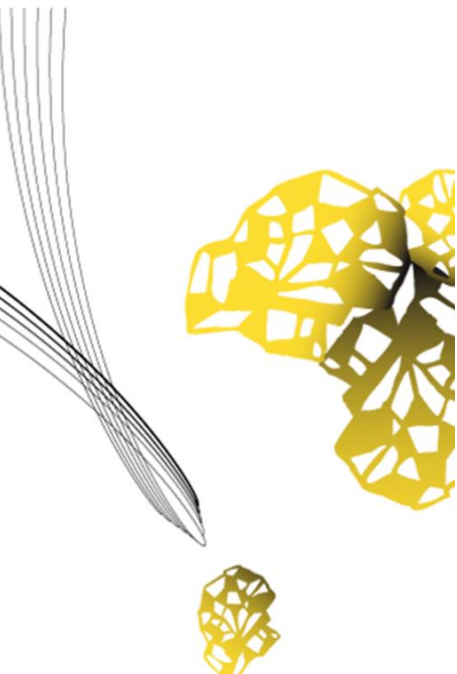
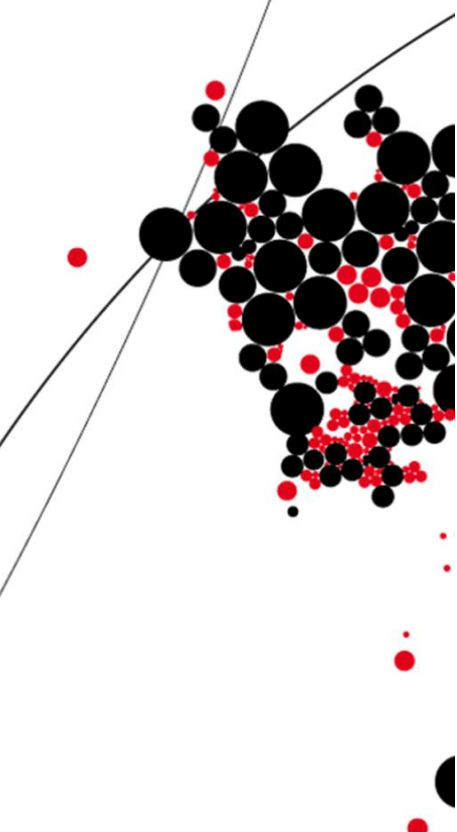




ANALYSE OPLAADALTERNATIEVEN AUTOMATISCH GELEIDE VOERTUIGEN

Wout Jansen



Technische Bedrijfskunde

1^e begeleider: Dr. P.C. Schuur

2^e begeleider: Ir. H. Kroon

14-07-2016

UNIVERSITY OF TWENTE.

Managementsamenvatting

In dit onderzoek wordt gekeken naar de mogelijkheden om Automatisch Geleide Voertuigen (AGV's) door middel van bepaalde oplaadmethodes volledig automatisch van energie te voorzien. Dit wordt gedaan voor het logistiek service bedrijf Rotra dat zich bevindt in Doesburg. Naast het distributiecentrum in Doesburg wil het bedrijf gebruik gaan maken van een nieuw cross-dock in de buurt van Velp. Vanuit het Intelligent Truck Application in Logistics (INTRALOG) project wordt door verschillende bedrijven en universiteiten/hogescholen samengewerkt om in dit geval de nieuwe locatie volledig te automatiseren.

Momenteel wordt gebruik gemaakt van Yard Trackers (YT's) om het vervoer van vrachtwagentrailers op het distributiecentrum te verwezenlijken. Dit vervoer houdt in dat de YT's de trailers van de vrachtwagens ontkoppelen en verplaatsen naar een bepaalde locatie. Vervolgens wordt de vracht van de trailers bij een dock gelost en eventueel opnieuw geladen, alvorens de YT's de trailers op komen halen en de vrachtwagens naar een volgende bestemming kunnen rijden. Voor het nieuwe cross-dock worden deze YT's omgezet in AGV's, waardoor de werkzaamheden automatisch zullen verlopen. Om de volledige automatisatie van de nieuwe locatie te realiseren zijn de mogelijkheden met betrekking tot het automatisch opladen van een AGV in deze thesis onderzocht. Daarvoor is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Wat is de meest effectieve methode om een automatisch geleid voertuig op de stackyard van een distributiecentrum volledig automatisch op te kunnen laden?

Om ervoor te zorgen dat er verschillende oplaadalternatieven geanalyseerd kunnen worden zijn een viertal performance criteria opgesteld die gebruikt zijn om de automatische oplaadmethodes uiteindelijk af te wegen ten opzichte van elkaar. Deze criteria zijn laadsnelheid, levensduur, kosten en betrouwbaarheid van een bepaalde methode.

De volgende automatische oplaadmethodes zijn uit dit onderzoek naar voren gekomen:

- **Robot-plug in**
 - Single charger
 - Supercharger
- **Inductieladen**
 - Stationaire inductie
 - Inductietrack
- **Renewable energy**
 - Zonne-energie
 - Zonnepanelen op elektrische voertuigen
 - Zonnecarport
 - Windenergie
 - Windmolen
- **Docking station**
- **Battery replacement**

De robot plug-in, het inductieladen, renewable energy, het docking station en het battery replacement systeem zijn in dit onderzoek de vijf overkoepelende oplaadmethodes. Een aantal zijn vervolgens op te delen in subsystemen die alle ook als automatische laadtechniek

kunnen functioneren. Daarbij zijn alle alternatieven gescoord ten opzichte van de gestelde criteria om inzicht te krijgen in de best scorende en de slechtst scorende alternatieven per criterium:

Criterium	Best scorende alternatieven	Slechtst scorende alternatieven
Laadsnelheid	○ Robot plug-in (supercharger) ○ Windmolen	○ Zonnecarport ○ Zonnepanelen op elektrische voertuigen
Kosten	○ Robot plug in (single charger) ○ Zonnepanelen op elektrische voertuigen	○ Docking station ○ Battery replacement systeem ○ Windmolen
Levensduur	○ Zonnecarport ○ Zonnepanelen op voertuigen	○ Docking station ○ Battery replacement systeem
Betrouwbaarheid	○ Windmolen ○ Inductietrack	○ Zonnepanelen op elektrische voertuigen ○ Battery replacement systeem

Uit deze resultaten is op te maken dat het docking station en het battery replacement systeem op meerdere criteria slecht scoren. Dit in tegenstelling tot de robot plug-in, het inductieladen en de renewable energy oplaadmethode die op bepaalde onderdelen als beste naar voren komen. Daarom zijn deze technieken verder onderzocht en gewogen ten opzichte van de vereisten waaraan ze moeten voldoen. Een belangrijk vereiste is de laadtijd van de automatische oplaadmethode. Daarnaast zijn belangrijke vereisten dat de levensduur zo lang als mogelijk is en de kosten zo laag als mogelijk blijven van een specifiek oplaadalternatief.

De huidige laadtijd van een YT202-EV model, dat momenteel wordt gebruikt op het distributiecentrum in Doesburg, is ongeveer 3 uur. De batterijcapaciteit van een voertuig kan uitgedrukt worden in kilowattuur (kWh), waarbij de laadsnelheid uitgedrukt wordt in kilowattuur per uur (kWh/h). Voor het huidige YT202-EV model wordt een laadsnelheid van gemiddeld 56 kWh/h gerealiseerd voor de batterijcapaciteit van 169 kWh. Deze laadsnelheid moet het liefst gelijk of sneller worden bij het gebruik van een automatische oplaadmethode.

De robot plug-in met single charger karakteristieken levert een 11kWh/h laadsnelheid, waar de super charger eigenschappen een 120kWh/h laadsnelheid kunnen leveren. Stationair inductieladen via het bus-systeem levert een 30kWh/h laadsnelheid. De inductietrack zorgt ervoor dat de AGV 24 uur lang kan rondrijden, mits de track genoeg energie kan leveren als de AGV eroverheen rijdt. De vormen van renewable energy hebben potentie, maar kunnen niet losstaand gebruikt worden om de AGV-batterij volledig op te laden. Dit omdat de laadsnelheid van de zonne-energie methodes veel te laag is. Aan de andere kant komt de generatie van windenergie door middel van een windmolen in het net terecht, waardoor een andere laadtechniek vereist is om deze energie toe te voeren aan een AGV.

De kosten voor zowel de methodes van het inductieladen als de robot plug-in liggen relatief hoog, maar de levensduur is daarentegen ook lang. De robot plug-in heeft als voornaamste voordelen, ten opzichte van het inductieladen, dat er weinig aanpassingen hoeven worden gedaan aan de huidige oplaadmethode en dat de laadsnelheid beduidend sneller is. Daarbij moet er wel worden gekozen om de snakebot met supercharger karakteristieken te gebruiken. Voor het inductieladen heeft de inductietrack meer potentie dan de stationaire inductie variant, omdat de AGV niet tot stilstand hoeft te komen om opgeladen te worden. Echter, moet hier wel uitgezocht gaan worden hoelang de inductietrack moet zijn om voldoende energie te kunnen genereren als de AGV er overheen rijdt.

Beide methodes kunnen eventueel in combinatie met zonne-energie gebruikt worden. Er kan gebruik gemaakt worden van een zonnecarport of zonnepanelen op de AGV of het distributiecentrum. Zo wordt een combinatie van technieken gemaakt, waar Rotra tevens duurzame energie kan gebruiken om op te laden. Windenergie door middel van een windmolen kost ontzettend veel, waardoor deze oplossing niet te combineren valt met een robot plug-in of een inductietrack. Daarom worden de volgende automatische laadtechnieken in deze volgorde aan Rotra aanbevolen:

- 1. Robot plug-in:** snakebot met supercharger karakteristieken, eventueel in combinatie met zonne-energie.
- 2. Inductietrack,** eventueel in combinatie met zonne-energie.

Deze laadtechnieken zijn in dit onderzoek als beste naar voren gekomen, waar ze getest zijn op zowel de criteria als de vereisten voor Rotra. De keus is uiteindelijk aan Rotra welke automatische oplaadmethode ze gaan hanteren en of ze er voor kiezen om nog een combinatie met zonne-energie te maken.

Voorwoord

Voor u ligt het rapport van mijn bachelor-opdracht dat ik binnen het INTRALOG project heb mogen doen. Dit onderzoek is vooral intern op de Universiteit van Twente uitgevoerd, waar ik de mogelijkheden heb gehad om mijn kennis van de afgelopen drie studiejaren Technische Bedrijfskunde toe te passen voor praktijkgerichte doeleinden. Allereerst wil ik Berry Gerrits bedanken die mij heeft meegenomen in de verschillende facetten van het INTRALOG project en vanaf het eerste moment klaarstond om me te ondersteunen. Daarnaast wil ik mijn begeleider Peter Schuur van de Universiteit van Twente graag bedanken voor het belangrijke aandeel dat hij in mijn eindresultaat heeft gehad. Als ik vragen of problemen had kon ik altijd op advies rekenen en daarnaast heb ik telkens ook goede feedback van hem gekregen.

Verder wil ik de bedrijven Rotra en Terberg Benschop bedanken voor het aanleveren van informatie en adviezen. In het bijzonder Abhishek Kumar van Terberg Benschop en Pleun Nagtegaal van Rotra die mij hebben geholpen met allerlei specificaties van de Yard Trackers en de vereisten voor het distributiecentrum om het onderzoek goed af te kunnen ronden. Ik kijk met een positief gevoel terug op mijn onderzoek, waar ik veel nieuwe kennis heb opgedaan en daardoor kan stellen dat ik erg veel heb geleerd in de afgelopen maanden.

Wout Jansen
Enschede, juli 2016

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	ii
Voorwoord	vi
Figuren en tabellen.....	x
Afkortingen.....	x
1. Inleiding	1
1.1. Onderzoekskader	1
1.2. INTRALOG	1
1.2.1 Bedrijfsomschrijving	2
1.3. Aanleiding.....	2
1.4. Plan van aanpak.....	3
1.5. Onderzoeksvragen.....	5
1.5.1. Hoofdvraag	5
1.5.2. Deelvragen.....	5
1.6. Stakeholder analyse	6
1.7. Deliverables	7
1.8. Opbouw verslag.....	7
2. Introductie op oplaadmethodes.....	9
2.1. Batterijen.....	9
2.1.1. Loodaccu.....	9
2.1.2. Nikkel-metaalhybride batterij	9
2.1.3. Lithium-ion batterij.....	10
2.1.4. Nikkel-zink batterij	10
2.1.5. Nikkel-cadmium batterij.....	10
2.1.6. Overzicht specificaties batterijsoorten	10
2.2. Smart Charging	11
2.3. Performance Criteria	12
2.3.1. Laadsnelheid.....	12
2.3.2. Levensduur	12
2.3.3. Kosten.....	12
2.3.4. Betrouwbaarheid.....	13
2.4. Samenvatting.....	13
3. Automatische oplaadmethodes	15
3.1. Robot Plug-in	15

3.2. Inductieladen.....	18
3.2.1. Stationaire inductie	18
3.2.2. Inductietrack.....	20
3.3. Renewable Energy	22
3.3.1. Zonne-energie	22
3.3.2. Windenergie	26
3.4. Docking station.....	28
3.5. Battery replacement.....	30
3.6. Overzicht automatische oplaadmethodes	32
3.6.1. Schaalverdeling performance criteria	33
3.6.2. Goede/slechte scores per criterium.....	34
3.7. Conclusie	36
4. Huidige locatie: Rotra in Doesburg.....	37
4.1. Terberg Yard Trackers	38
4.2. Distributiecentrum	38
4.3. Conclusie	39
5. Toekomstige locatie: Rotra in Velp	41
5.1. Robot plug-in	41
5.2. Inductieladen.....	42
5.3. Renewable Energy	43
5.4. Conclusie	44
6. Conclusies en aanbevelingen	45
6.1. Conclusies.....	45
6.2. Aanbevelingen.....	48
6.3. Discussie	49
6.3.1. Betrouwbaarheid resultaten	49
6.3.2. Patenten	49
6.3.3. Suggesties voor verder onderzoek	49
6.4. Feedback eindgebruiker Rotra	50
Bronnenlijst	51
Appendix A: Probleemidentificatie	55
Appendix B: Reflectie	57

Figuren en tabellen

Figuur 1-1: Trailer Rotra (Rotra, 2016)	ii
Figuur 1-1: Partners INTRALOG (INTRALOG, 2015)	1
Figuur 1-2: Trailer Rotra (Rotra, 2016)	2
Figuur 1-3: Yard Tracker (Terberg Benschop, 2016).....	2
Figuur 2-1: Besparingen Smart Charging t.o.v. overdag laden op piek-uren (Bahrami 2014).	11
Figuur 3-2: Snakebot lader (Independent, 2015)	16
Figuur 3-3: Tesla Model S (Teslamotors, 2016).....	17
Figuur 3-4: Supercharger Tesla (Teslamotors, 2016)	17
Figuur 3-5: Stationair inductielaadsysteem (Wu et al, 2011).....	18
Figuur 3-6: Omschakelproces inductie (Ho et al, 2011)	18
Figuur 3-7: Transmitterspoel en ontvangstspoel inductie (Wu et al, 2011)	19
Figuur 3-8: Inductieladen BMW & Daimler (Autoweek, 2014)	20
Figuur 3-9: Inductietrack IPT systeem (Covic et al, 2007)	20
Figuur 3-10: Zonnecarport (Hamilton et al, 2010)	22
Figuur 3-11: Laadproces zonnecarport (Hamilton et al, 2010)	23
Figuur 3-12: Zonnecarport BMW i8 (Groen7, 2016)	23
Figuur 3-13: Zonne-auto (Solar Challenge, 2015)	25
Figuur 3-14: Vermogen t.o.v. windsnelheid (Agarwal et al, 2010).....	26
Figuur 3-15: Stappenplan docking station (Luo & Liao, 2005)	28
Figuur 3-16: Forklift AGV (Egemin-Automation, 2015)	29
Figuur 3-17: Systeem battery replacement (Wu et al, 2009).....	30
Figuur 3-18: Robot en docking station (Wu et al, 2009)	31
Figuur 4-1: Huidige locatie Rotra (Google Earth, 2016)	37
Figuur 4-2: Terberg YT202-EV (Terberg Benschop, 2015)	38
Figuur 5-1: Toekomstige locatie Rotra (Google Earth, 2016).....	41
Figuur A-1: Probleemkluwen.....	55
 Tabel 2-1: Overzicht batterijsoorten	10
Tabel 3-1: Score-overzicht oplaadalternatieven	32
Tabel 3-2: Schaalverdeling Criteria.....	34
Tabel 3-3: Best/slechtst scorende oplaadalternatieven.....	35

Afkortingen

ABP	Algemene Bedrijfskundige Aanpak
AC	Alternating Current
AGV	Automatisch Geleid Voertuig
DC	Direct Current
EV	Elektrisch Voertuig
INTRALOG	Intelligent Truck Applications in Logistics
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattuur
PV	Photovoltaics
SCIG	Squirrel Cage Induction Generator
V2G	Vehicle to Grid
WEGS	Wind Energy Generation System
YT	Yard Tracker

1. Inleiding

Dit onderzoek wordt gestart met een inleidend hoofdstuk, waarin ten eerste een omschrijving van het kader van dit onderzoek wordt beschreven. In Paragraaf 1.2. zal een uitgebreide beschrijving van het betrokken bedrijf worden gegeven, alvorens in Paragraaf 1.3. de aanleiding voor het probleem in kaart wordt gebracht. Om dit probleem adequaat op te lossen zal er vervolgens een plan van aanpak besproken worden. Aan de hand van de probleemidentificatie wordt een hoofdvraag met een aantal deelvragen opgesteld om het onderzoek in goede banen te leiden. Afsluitend wordt de verdere opbouw van het verslag, met uiteindelijke oplevering aan het einde van het onderzoek, besproken.

1.1. Onderzoekskader

In het kader van de Bachelor Technische Bedrijfskunde wordt een onderzoek voor een bedrijf gedaan om de leerlijn af te ronden. Deze bachelor-opdracht omvat zowel theoretische als praktijkgerichte aspecten. De opdracht zal voor het bedrijf Rotra, vanuit het Intelligent Truck Application in Logistics (INTRALOG) project, worden uitgevoerd. Hierdoor sluit ik aan bij het INTRALOG project om in dit geval Rotra middels dit onderzoek van waardevolle informatie te voorzien.

1.2. INTRALOG

Het INTRALOG project is een samenwerking van verschillende bedrijven en universiteiten/hoge scholen om bepaalde doeleinden te bereiken. Dit project is gestart om te kijken wat de voordelen kunnen zijn van het automatisch rijden van voertuigen voor logistieke doeleinden. Het doel is om in vier jaar tijd de mogelijkheden voor het automatisch rijden van voertuigen in de transportsector te analyseren en uiteindelijk ook te implementeren in verscheidene commerciële sectoren. Zo wordt binnen het project veel onderzoek verricht om de facetten uiteindelijk in de praktijk toe te kunnen passen. Hierbij zijn bedrijven als Terberg Benschop, CarrosserieNL, TNO en Rotra nauw betrokken. Aan de andere kant zorgen de Hogeschool van Rotterdam, de Hogeschool van Arnhem & Nijmegen, de Universiteit van Eindhoven en de Universiteit van Twente allen voor de benodigde kennis die in combinatie met de bedrijven in aannemelijke tijd geïmplementeerd kan worden. Het project kan gezien worden als één groot samenwerkingsproject waarin onderzoek wordt gedaan om de vergaarde kennis in een grote branche toe te kunnen passen. Alle partners die meewerken aan het project zijn weergegeven in figuur 1-1.



Figuur 1-1: Partners INTRALOG (INTRALOG, 2015)

1.2.1 Bedrijfsomschrijving

Het bedrijf Rotra is onderdeel van het INTRALOG project. Rotra is een logistiek service bedrijf, gelegen in Doesburg, dat zich bezig houdt met zowel lucht-, zee-, rail- en wegtransport. Van origine is het een familiebedrijf dat zich al meer dan 100 jaar bezig houdt met wereldwijde transport. Op het distributiecentrum in Doesburg komen dagelijks soortgelijke trailers als in figuur 1-2 binnen die gelost moeten worden bij een docking station. Na het lossen zullen ze eventueel geladen moeten worden met allerlei goederen voor distributie naar andere (internationale) centra. Rotra staat klaar voor allerlei wegtransportverzendingen en middels het distributiecentrum in Doesburg hebben ze zich ontwikkeld tot een gerenommeerd logistiek dienstverlener.



Figuur 1-2: Trailer Rotra (Rotra, 2016)

1.3. Aanleiding

Naast het distributiecentrum in Doesburg wil men bij Rotra in een aantal jaar gebruik gaan maken van een geheel nieuw multimodaal cross-dock gelegen in Velp. Deze nieuwe locatie is de reden dat Rotra zeer betrokken is in het INTRALOG project, omdat ze dit cross-dock volledig willen automatiseren. Om deze automatisatie te realiseren willen ze gebruik gaan maken van automatisch geleide voertuigen (AGV's). De samenwerking met universiteiten, hoge scholen en bedrijven binnen INTRALOG willen ze graag benutten om in vier jaar het nog te ontwikkelen centrum in Velp te automatiseren. Daarvoor moet een duidelijk beeld verkregen worden van de mogelijkheden die de AGV's kunnen bieden.

Op dit moment maakt Rotra gebruik van Yard Trackers voor het vervoer op het distributiecentrum. Het nut van een AGV is om een trailer van een vrachtwagen automatisch af te koppelen om deze te kunnen lossen en eventueel na het lossen ook weer automatisch aan te koppelen. Dit is in tegenstelling tot de Yard Trackers, die bovengenoemde werkzaamheden niet automatisch maar met een bestuurder uitvoeren. De AGV's zorgen er dus voor dat grote handelingen op het distributiecentrum geautomatiseerd kunnen worden. Een voorbeeld van een Yard Tracker die momenteel bestuurt wordt op het distributiecentrum door personeel van Rotra, is weergegeven in figuur 1-3.



Figuur 1-3: Yard Tracker (Terberg Benschop, 2016)

De handelingen die momenteel verricht moeten worden door een Yard Tracker zijn als volgt:

1. Het ontkoppelen van de binnenkomende vracht van vrachtwagens.
2. Het verplaatsen van de vracht over het distributiecentrum naar de juiste plek voor het lossen.
3. Het aandocken van de trailer bij één van de docking-stations van het distributiecentrum, zodat de trailer gelost en eventueel weer geladen kan worden.
4. Het ophalen van de trailer.
5. Het aankoppelen van de trailer aan de vrachtwagen zodat de vracht gedistribueerd kan worden naar andere locaties.

Vanuit de verschillende invalshoeken van INTRALOG wordt onderzoek gedaan naar bepaalde facetten om de bovenstaande handelingen door AGV's te laten doen. Dit betekent dat deze handelingen allen automatisch zullen moeten gebeuren. Daarbij moeten de werkzaamheden op eenzelfde manier als momenteel uitgevoerd worden. Hierbij is het doel om in vier jaar tijd het automatische distributiecentrum te realiseren, waarbij in de optimale situatie alle vereiste kennis is verkregen zodat de uiteindelijke implementatie op de nieuwe locatie soepel kan verlopen.

Echter, moeten de karretjes niet alleen goed functioneren voor het distributiecentrum, maar zullen ze ook automatisch opgeladen moeten worden. Wanneer alle werkzaamheden op het distributiecentrum geautomatiseerd kunnen worden, maar er alsnog een werknemer nodig is om de stekker in de AGV's te steken om deze op te laden is dat natuurlijk zonde. Een wens van Rotra is om een volledig geautomatiseerd distributiecentrum te realiseren en daarom zal ik vanuit INTRALOG onderzoek doen naar de verschillende oplaadalternatieven die hier mogelijk voor gebruikt kunnen worden.

1.4. Plan van aanpak

Dit onderzoek zal aan de hand van de Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak (ABP) worden gedaan (Heerkens & van Winden, 2012). Daarbij zullen de verschillende stappen doorlopen worden om het onderzoek in goede banen te leiden. Deze stappen worden kort toegelicht en uitgebreid behandeld in de volgende hoofdstukken.

1. Probleemidentificatie

Ten eerste moet het probleem goed geïdentificeerd worden. Door middel van een probleemkluwen zijn alle problemen in kaart gebracht, om uiteindelijk achter het daadwerkelijke kernprobleem te komen (Heerkens & van Winden, 2012). Deze probleemkluwen is in de bijlage onder Appendix A weergegeven. Het daarin gevonden kernprobleem zal worden aangepakt in de hierop volgende fasen van de ABP.

2. Formuleren van probleemaanpak

De formulering van de probleemaanpak zal gedaan worden aan de hand van de K3-methode (Heerkens & van Winden, 2012). K3 staat hier voor kunnen, kennen en kiezen. Voor kunnen geldt dat het alle activiteiten omschrijft die nodig zijn om het onderzoek uit te kunnen voeren. Bij kennen worden alle kennis aspecten meegenomen die tijdens het onderzoek van belang zijn. Vervolgens is kiezen van belang om verschillende keuzes in de probleemaanpak te kunnen maken.

3. Probleemanalyse

Hier worden oorzaken van het probleem onderzocht. Vanuit daar worden een aantal oorzaken in detail bekeken, waar de verbanden tussen de oorzaken en het probleem van belang zijn. Een uitvoerige analyse van de oorzaken zorgt er in dit geval voor dat er een helder beeld verkregen kan worden voor de formulering van alternatieve oplossingen.

4. Formulering van alternatieve oplossingen

Vanuit de probleemanalyse kan er gekeken worden naar mogelijke oplossingen voor de oorzaken van het probleem. Hier wordt tevens het beslissingsproces vastgesteld. Allereerst moet de beslissing van een oplossing nauwkeurig worden omschreven, alvorens het beslisproces in gang kan worden gezet. Tijdens het onderzoek zullen criteria worden opgesteld waar de oplossingen aan moeten voldoen. Het is zaak om zoveel mogelijk oplossingen te vinden die aan deze criteria voldoen zodat er door middel van scoring op deze criteria een wel overwogen beslissing gemaakt kan worden.

5. De beslissing

Uiteindelijk zal er een beslissing moeten worden gemaakt met betrekking tot de alternatieve oplossingen. Er zal een aanbeveling komen, waarbij de verschillende oplossingen overwogen worden. De uiteindelijke beslissing zal gemaakt worden door het bedrijf. Het gegeven advies zullen ze in acht nemen, maar het is niet per definitie zo dat ze dit advies moeten doorvoeren.

6. Implementatie

Doordat de uiteindelijk gekozen oplossing pas over vier jaar wordt geïmplementeerd is deze fase niet van belang voor dit onderzoek. De implementatie zal over vier jaar wel van belang zijn voor Rotra.

7. Evaluatie

Aangezien er niet direct geïmplementeerd kan worden is een eventuele evaluatie ook niet aan de orde. Er kan niet gekeken worden naar de effecten van de implementatie van een specifieke oplaadmethode waardoor de ABP na stap 5 tijdens dit onderzoek afgerond zal worden.

1.5. Onderzoeksvragen

Het uiteindelijke doel van het INTRALOG project is om verkregen kennis toe te passen voor de eindgebruiker, in dit geval het bedrijf Rotra. Daarbij is het voornaamste doel van dit onderzoek om met een goed automatisch oplaadalternatief te komen voor de AGV's. Daarbij is het doel dan ook dat Rotra het uiteindelijk gekozen oplaadalternatief een wel overwogen keuze vindt voor hun AGV's en dat ze het advies zeker in overweging zullen nemen. Het kan natuurlijk ook zo zijn dat er meerdere gunstige alternatieven zijn, waardoor Rotra het zelf in de hand heeft welke methode ze door gaan voeren voor hun AGV's. Aan de hand hiervan is een hoofdvraag met een aantal deelvragen opgesteld die dit onderzoek in goede banen moeten leiden om uiteindelijk aan het onderzoeksdoel te voldoen.

1.5.1. Hoofdvraag

Hoofdvraag: *Wat is de meest effectieve methode om een automatisch geleid voertuig op de stackyard van een distributiecentrum volledig automatisch op te kunnen laden?*

- Rotra wil graag een effectieve methode voor het opladen en deze methode moet ook automatisch zijn. Dit heeft als reden dat het distributiecentrum anders niet in staat is om volledig automatisch te fungeren. De AGV's rijden alleen rond op het distributiecentrum en daarom is het de bedoeling dat het automatisch opladen ook op de stackyard van het distributiecentrum gaat gebeuren. Aan de hand van de hierop volgende deelvragen zal deze hoofdvraag aan het einde van het onderzoek beantwoord worden.

1.5.2. Deelvragen

Deelvraag 1: *Wat zijn de verschillende mogelijkheden om een batterij automatisch op te laden en wat is hun performance?*

- Er zullen ongetwijfeld veel mogelijkheden zijn om een batterij op te laden, maar het is van uiterst belang dat het een automatische oplaadmethode is. Voor de performance kan bijvoorbeeld gedacht worden aan factoren als levensduur en kosten van een specifieke oplaadmethode.

Deelvraag 2: *In hoeverre en op welke wijze maken vergelijkbare voertuigen momenteel gebruik van een automatische oplaadmethode?*

- Door te kijken naar andere branches kunnen nieuwe en hopelijk bruikbare inzichten verkregen worden. Op deze manier zullen een hoop alternatieven bekeken worden om een wel overwogen advies uit te brengen.

Deelvraag 3: *Welke vereisten zijn er voor het oplaadsysteem van het automatisch geleide voertuig met bijbehorende batterij om goed te kunnen functioneren voor Rotra?*

- De huidige Yard Trackers hebben bepaalde vereisten en wanneer deze worden omgebouwd tot AGV's zullen de vereisten voor deze voertuigen ook onderzocht moeten worden. Tevens zijn er vanuit het distributiecentrum vereisten waar over nagedacht zal moeten worden om zo het oplaadsysteem hierop af te stemmen.

Deelvraag 4: *Welke oplaadsystemen zijn er momenteel op de markt en in hoeverre voldoen deze aan de eisen gesteld bij deelvraag 3?*

- Door de oplaadsystemen te testen ten opzichte van de vereisten kan gevalideerd worden of het systeem daadwerkelijk in staat is om volledig automatisch te functioneren op het distributiecentrum.

Deelvraag 5: *Op welke wijze kan het oplaadsysteem afgestemd worden op het aantal automatisch geleide voertuigen?*

- Op dit moment maakt Rotra gebruik van twee Yard Trackers. Het kan alleen zijn dat er met de gekozen oplaadmethode een trade-off gemaakt moet worden. Hier zou het bijvoorbeeld zo kunnen zijn dat blijkt dat er voor een bepaalde methode drie AGV's nodig zullen zijn om optimaal te kunnen functioneren op het distributiecentrum. Deze afweging zal aan het einde van het onderzoek worden gemaakt, zodat dit ook meegenomen kan worden in het advies aan Rotra. Deze vraag staat los van alle andere vragen, omdat het niet meewerkt aan het onderzoek naar de meest effectieve automatische oplaadmethode. De deelvraag resulteert uit het gekozen oplaadsysteem, omdat het zeker impact zal hebben voor het distributiecentrum van Rotra. Daarom zal deze aan het einde van het onderzoek behandeld worden.

1.6. Stakeholder analyse

Bij het onderzoek zijn verschillende stakeholders betrokken die allen invloed hebben op het uiteindelijke advies. Zo heeft uiteraard het bedrijf Rotra grote invloeden aangezien zij de eindgebruiker van de AGV's zijn. Echter, is Terberg Benschop ook een belangrijke speler in het onderzoek, omdat zij nauw betrokken zijn bij de productie van de geautomatiseerde karretjes. Sinds enige tijd maken zij gebruik van de YT202-EV, een karretje dat volledig door elektriciteit wordt aangestuurd. Bij de productie van de AGV's zal mijn optimale oplaadmethode geïmplementeerd moeten worden en daarom is het zeker ook belangrijk om Terberg in het verhaal te betrekken. Dus daarom is in dit onderzoek Terberg, naast Rotra, een zeer belangrijke stakeholder. Dit omdat met de gegevens die bij hun verkregen kunnen worden een advies aan Rotra kan worden opgeleverd.

1.7. Deliverables

Aan het einde van dit onderzoek zullen de volgende aspecten worden opgeleverd:

- Een raamwerk van automatische oplaadalternatieven voor de toekomstige AGV's, waarin de performance van een ieder wordt geanalyseerd.
- Een overzicht van de huidige situatie en de vereisten om de werkzaamheden adequaat uit te voeren.
- Een afweging van het aantal benodigde AGV's op het nieuwe cross-dock, gegeven een specifieke oplaadmethode.

1.8. Opbouw verslag

Dit verslag is gestructureerd aan de hand van de opgestelde deelvragen en hoofdvraag. Hoofdstuk 2 bevat een theoretisch kader omtrent de verschillende batterijsoorten, de performance criteria van een oplaadmethode en het proces *smart charging*. Aan de hand van dit kader worden in hoofdstuk 3 automatische oplaadalternatieven onderzocht en gescoord op de performance criteria. Hier worden deelvragen 1 en 2 beantwoord, waarbij tevens onderzoek wordt gedaan naar vergelijkbare (robot)-voertuigen als een AGV om een zo groot mogelijke keuzeruimte aan methodes te kunnen verwezenlijken.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 gekeken naar de huidige situatie van Rotra in Doesburg, om een indicatie te krijgen van de werkzaamheden die momenteel gaande zijn. Deze werkzaamheden brengen bepaalde vereisten met zich mee die middels deelvraag 3 in kaart worden gebracht. Daarnaast zal in hoofdstuk 5 gekeken worden naar de nieuwe locatie van Rotra in Velp, waar een afweging gemaakt wordt van het aantal benodigde AGV's als er een specifieke oplaadmethode gekozen zal worden. Hier worden deelvragen 4 en 5 behandeld. In hoofdstuk 6 zal uiteindelijk een wel overwogen aanbeveling aan het bedrijf Rotra worden gegeven. Hier wordt tevens het antwoord op de hoofdvraag gegeven.

2. Introductie op oplaadmethodes

Om goed onderzoek te kunnen doen naar automatische oplaadalternatieven zal eerst een duidelijk beeld verkregen moeten worden van allerlei voor- en nadelen die een specifieke methode kan hebben. Daarbij kan gekeken worden naar de verschillende soorten batterijen die gebruikt kunnen worden, het proces *smart charging* en performance criteria van een specifiek alternatief. Deze factoren hebben invloeden op een uiteindelijke beslissing voor een bepaalde oplaadmethode en worden in de volgende paragrafen toegelicht. Vervolgens wordt er in Hoofdstuk 3 de omschakeling gemaakt naar de daadwerkelijke mogelijkheden om een batterij automatisch op te laden en worden deze methodes uiteindelijk gescoord aan de hand van de opgestelde criteria.

2.1. Batterijen

Voordat de verschillende oplaadalternatieven voor een AGV worden onderzocht zal eerst gekeken worden naar de batterijen die op dit moment door soortgelijke elektrische voertuigen gebruikt worden. Voertuigen zijn erg afhankelijk van hun energieopslagsysteem om goed te kunnen functioneren. Deze energieopslagsystemen zijn in dit geval de batterijen van een elektrisch voertuig. De vijf batterijen die wereldwijd gebruikt kunnen worden voor een (hybride) elektrisch voertuig zullen met hun karakteristieken in beeld worden gebracht. Per batterij wordt gekeken naar de levensduur, gemiddelde power in W/kg en leverbare energie in Wh/kg om een goede indicatie van het marktaanbod te verkrijgen. De specifieke power geeft aan welk batterijgewicht nodig is om een bepaalde kracht (*in Watt*) te leveren. De specifieke energie geeft weer welk batterijgewicht nodig is voor een bepaalde energievoorziening (*in Watturen*) voor het voertuig (MIT Electric Vehicle Team, 2008). Hieronder wordt een voorbeeld gegeven dat de complexe variabelen toelicht. Daarna wordt gekeken hoe de vijf batterijen scoren op de variabelen.

Voorbeeld: het Tesla model S beschikt over een batterijpack met een specifieke energie van 140Wh/kg en een specifieke power van 516W/kg (Teslamotors, 2016). Daarbij weegt de batterij die ingebouwd is in de auto 600 kg. Dat wil dus zeggen dat de totale energiec capaciteit van de auto $140 \cdot 600 = 84 \text{ kWh}$ bedraagt. Daarnaast is de totaal leverbare kracht van de auto gelijk aan $516 \cdot 600 = 310 \text{ kW}$. Naast de energie is de power van een batterij dus ook van belang, omdat de batterij met een hoge power in kW in staat is om zware verrichtingen uit te voeren. Dit kan van pas komen als een AGV bijvoorbeeld met een zware trailer over het distributiecentrum rond moet rijden.

2.1.1. Loodaccu

De loodaccu is één van de oudere varianten. Deze batterijsoort kan gezien worden als een traditioneel alternatief, omdat veel hedendaagse auto's gebruik maken van deze accu's. Deze accu's hebben als groot voordeel dat ze hoge elektrische stroom kunnen leveren, waardoor het vermogen per massa-eenheid relatief hoog is. Daarnaast zijn de accu's in vergelijking met anderen goedkoop en worden ze in grote hoeveelheden geproduceerd waardoor ze gemakkelijk te verkrijgen zijn (Khaligh & Li, 2010).

2.1.2. Nikkel-metaalhybride batterij

De energiedichtheid van de nikkel-metaalhybride batterij is twee keer zo hoog als die van de loodaccu. Hierdoor kan er dus meer energie worden opgeslagen met deze batterij. De nikkel-metaalhybride batterij wordt geregeld gebruikt voor commerciële hybride voertuigen als de Toyota Prius (Van den Bossche et al, 2005). De levenscyclus van deze batterij is wel aan de lage kant in vergelijking met bijvoorbeeld een lithium-ion batterij.

2.1.3. Lithium-ion batterij

De lithium-ion batterij heeft de hoogste energiedichtheid van alle batterijsoorten en beschikt daarnaast ook over een lange levensduur. De specifieke power van deze batterij is gemiddeld 300 W/kg, waar de specifieke energie rond de 100 Wh/kg ligt. Tevens gaat deze batterij tot ongeveer 1000 oplaadcycli mee. Deze excellente karakteristieken hebben ervoor gezorgd dat deze batterij erg veel wordt gebruikt in elektrische voertuigen (Khaligh & Li, 2010). De conventionele loodaccu's hebben grote beperkingen bij handelingen waar veel energie nodig is. Echter, kunnen de lithium-ion batterijen twee keer zoveel bruikbare energie kwijt in hetzelfde batterij-schap (Motracinde, 2015). Daarom zijn ze uiterst geschikt om bijvoorbeeld in de toekomstige AGV's de trailers rond te rijden over het cross-dock.

2.1.4. Nikkel-zink batterij

De nikkel-zink batterijen beschikken over een aantal uitstekende eigenschappen. Zo hebben ze een hoge energie- en powerdichtheid waardoor ze in staat zijn om hoge hoeveelheden power en energie te leveren. Net als de nikkel-metaalhybride batterij hebben ze één groot nadeel: de levenscyclus is relatief kort in vergelijking met de andere batterijsoorten. Momenteel wordt er veelvuldig onderzoek gedaan om de levenscyclus van deze batterijen te vergroten, zodat eventuele implementatie in elektrische voertuigen een mogelijkheid is. Er zijn weinig nikkel-zink batterijen beschikbaar voor deze voertuigen, ondanks de goede eigenschappen met betrekking tot de bruikbare energie en power (Van den Bossche et al, 2005).

2.1.5. Nikkel-cadmium batterij

De nikkel-cadmium batterijen hebben over het algemeen een lange levensduur en kunnen rond de 55 Wh/kg aan energie leveren. Echter, kosten deze batterijen rond de €20.000,- om te installeren in de voertuigen (Khaligh & Li, 2010). Hierdoor worden ze al gauw minder aantrekkelijk om in elektrische voertuigen te implementeren.

2.1.6. Overzicht specificaties batterijsoorten

Hieronder is een overzicht weergegeven van de verschillende soorten batterijen waar elektrische voertuigen gebruik van kunnen maken. De parameters specifieke energie, specifieke power en levensduur zijn per alternatief aangeduid in tabel 2-1.

Batterijsoort	Specifieke Energie	Specifieke Power	Levensduur (schaal 1-5)
Loodaccu	25 Wh/kg	75 W/kg	4
Nikkel-metaalhybride batterij	50 Wh/kg	250 W/kg	2
Lithium-ion batterij	100 Wh/kg	300 W/kg	1
Nikkel-zink batterij	80 Wh/kg	200 W/kg	5
Nikkel-cadmium	55 Wh/kg	200 W/kg	3

Tabel 2-1: Overzicht batterijsoorten

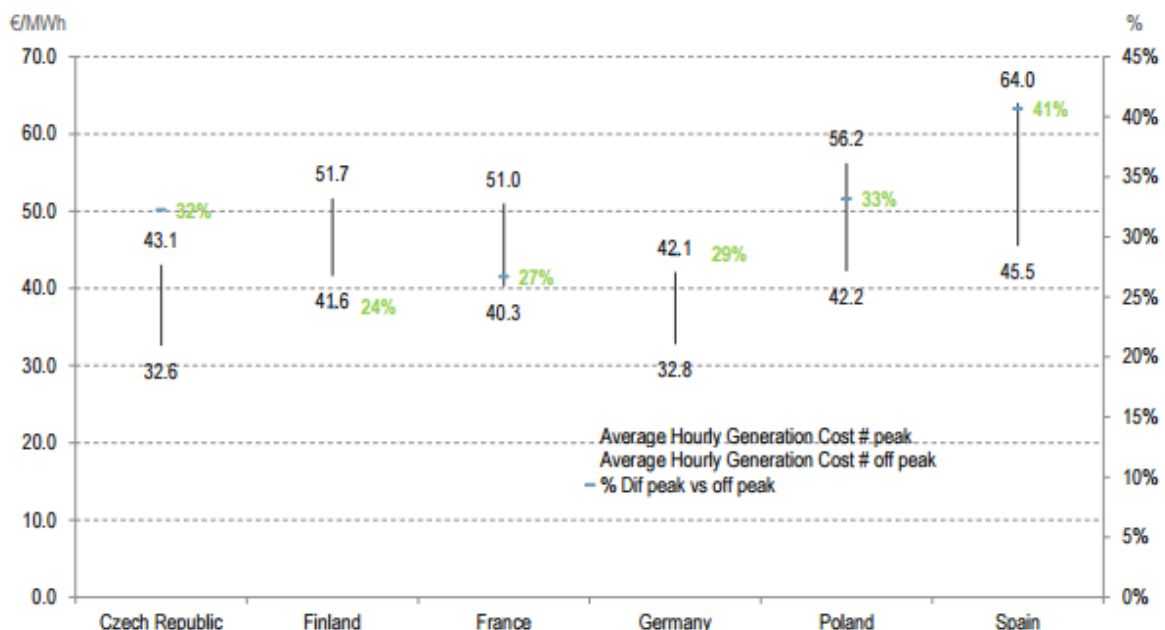
De schaal voor de levensduur is van 1 tot 5 gerangschikt, waarbij 1 een lange levensduur betekent en 5 een korte levensduur. De loodaccu, nikkel-metaalhybride batterij en lithium-ion batterij zijn op dit moment de meest voorkomende technologieën voor de batterijen van elektrische voertuigen (Qian et al, 2011). Aan de hand van deze gegevens kan gekeken worden naar de batterijen die geïntegreerd kunnen worden in de AGV's. In Hoofdstuk 6 zal naast de beste oplossing voor het automatisch opladen tevens gekeken worden welk soort batterij het meest geschikt is voor een toekomstige AGV.

2.2. Smart Charging

Grote aantallen voertuigen en apparaten worden veelvuldig opgeladen om bepaalde werkzaamheden goed uit te kunnen voeren. Verschillende oplaadmethodes hebben allemaal andere kenmerken, maar het begrip *smart charging* is een proces dat rijke invloeden kan hebben op elke methode. Dit is een proces dat sinds de introductie van elektrische voertuigen zeer interessant is geworden. Het wordt alom omschreven als een proces dat: “wordt gerealiseerd als de laadcyclus verandert kan worden middels externe activiteiten, aangepaste laadgewoontes toestaat en het voertuig de mogelijkheid geeft om te integreren in het gehele power systeem op een gebruikersvriendelijke manier” (EURELECTRIC, 2015). Hierbij is het een uitdaging om het voertuig op een zo efficiënt mogelijk tijdstip op te laden.

Het verbruik van een voertuig is afhankelijk van twee belangrijke factoren. De energie die het voertuig gebruikt in kWh en de power/capaciteit die nodig is in kW. Door de dag heen is er per voertuig een verschil in verbruik, aangezien op bepaalde momenten meer capaciteit nodig is dan op andere momenten. Als er ongecoördineerd wordt opgeladen, dat wil zeggen op willekeurige tijdstippen, kan dit serieuze gevolgen hebben voor de betrokken stakeholders. Het voornaamste probleem is dat er onnodig hoge kosten worden gemaakt door de gebruiker.

Het slim opladen van voertuigen kan daarom significante mogelijkheden bieden. Het belangrijkste aandachtspunt dat hier uitgebreid behandelt zal worden zijn de energiekosten die verbonden zijn aan het opladen. Slim opladen kan ervoor zorgen dat op den duur grote kostenbesparingen gerealiseerd kunnen worden. In de off-peak uren is de netstroom stukken goedkoper, waardoor hier grote besparingen gedaan kunnen worden. Voor de energiekosten kan er onderscheid worden gemaakt in peak en off-peak uren. Wanneer deze off-peak uren gehanteerd worden kan per energiebedrijf verschillend zijn, maar over het algemeen kunnen deze laagtariefuren vastgesteld worden op werkdagen tussen 23.00 uur en 7.00 uur en alle uren op zaterdag, zondagen en erkende feestdagen (Essent, 2016).



Figuur 2-1: Besparingen Smart Charging t.o.v. overdag laden op piek-uren (Bahrami & Parniani, 2014).

In figuur 2-1 is voor een zestal landen onderzocht wat voor besparingen behaald zouden kunnen worden middels slim laden, door in dit geval de off-peak uren te benutten. In de grafiek worden de kosten in euro's per verbruik in MWh uitgezet tegen de zes landen. Zoals te zien is liggen de besparingen die worden behaald tussen de 24% en 41% als men in off-peak periodes gaat opladen (Bahrami & Parniani, 2014). Uiteraard heeft het laden in off-peak uren ook zo zijn nadelen, omdat er 's nachts opgeladen moet worden. Dit kan voor een bedrijf als Rotra consequenties hebben, omdat werkzaamheden op het distributiecentrum dikwijls in de nacht plaatsvinden. Zo kunnen de vrachtwagens overdag rijden en in de nacht worden geladen en gelost. Dit zijn factoren die in overweging moeten worden genomen als er gekeken gaat worden naar het begrip *smart charging*. Het is een proces dat de nodige kosten bespaart, maar deze besparing moet worden afgewogen tegen de werkzaamheden en wensen van het bedrijf om te kunnen concluderen of het daadwerkelijk zin heeft om een soortgelijke laadstrategie te hanteren.

2.3. Performance Criteria

Om ervoor te zorgen dat de AGV met batterij en oplaadmethode goed functioneren in de toekomst worden performance criteria opgesteld. Aan de hand hiervan kan het beslissingsproces voor de oplaadmethode vergemakkelijkt worden door per alternatief scores toe te kennen aan de criteria. Er zijn een aantal belangrijke aspecten waar rekening mee gehouden moet worden in de afweging van de oplaadmethode. De voornaamste factoren waar, gegeven een bepaalde oplaadmethode, rekening mee gehouden zal worden zijn de laadsnelheid, de levensduur, de kosten en de betrouwbaarheid. Deze factoren zullen in de hierop volgende paragrafen toegelicht worden.

2.3.1. Laadsnelheid

Om de AGV's van genoeg energie te voorzien moet er logischerwijs tijd uitgetrokken worden om de batterij op te laden. Echter, hoe sneller een batterij opgeladen kan worden hoe meer profijt hier behaald kan worden. Als de laadsnelheid van een bepaald oplaadalternatief relatief snel is kan er gekozen worden om niet al te veel AGV's op het distributiecentrum te gebruiken, omdat deze voertuigen bij een laag energieniveau snel weer naar het gewenste energieniveau gebracht kunnen worden. Laadsnelheden hebben dus zeker invloed op een keuze voor een oplaadalternatief. De laadsnelheden omvatten het aantal geladen kilowatturen (kWh) per uur, weergegeven als kWh/h.

2.3.2. Levensduur

Naast de laadsnelheid is het ook van belang om per oplaadmethode een schatting te maken van de levensduur. Doordat er dagelijks opgeladen moet worden zal er op den duur slijtage van het materiaal van het oplaadalternatief ontstaan. Door hier een schatting van de totale levensduur aan te hangen kan gekeken worden welk oplaadalternatief over het algemeen het langst mee zal gaan in de praktijk. Dit is van belang, omdat Rotra haar nieuwe automatische distributiecentrum met automatische oplaadmogelijkheden graag lang in gebruik wil nemen.

2.3.3. Kosten

De kosten die verbonden zijn aan het oplaadalternatief kunnen in twee aspecten opgedeeld worden. Er kan gekeken worden naar de kosten voor de aanschaf van het materiaal dat nodig is om op te laden. Verder kan er gekeken worden naar de kosten die tijdens het opladen gemaakt worden per kWh aan energievoorziening. Om deze kosten goed uit te

kunnen drukken wordt een schaalverdeling gemaakt. Deze verdeling wordt gehanteerd om voor de gevonden oplaadalternatieven te kunnen kijken hoe het ene alternatief scoort ten opzichte van de anderen.

2.3.4. Betrouwbaarheid

Naast de genoemde criteria is het ook van belang om te kijken naar de betrouwbaarheid van de verschillende methodes. Om de betrouwbaarheid meetbaar te maken wordt gekeken naar het huidige gebruik van een bepaald alternatief. Dat wil zeggen dat de mate waarin de technologie momenteel geïmplementeerd is wordt geanalyseerd om te kijken of er al veelvuldig gebruik gemaakt wordt van de techniek. Al met al kan ruwweg gezegd worden dat dit het aantal jaren is dat de techniek momenteel op de markt is. Hierbij wordt gesteld dat hoe langer een bepaalde oplaadmethode al in gebruik is, des te betrouwbaarder deze zal zijn. Daarnaast is een ver ontwikkelde techniek gemakkelijker te implementeren voor Rotra, omdat alles hierover bekend is en zodoende het systeem gemakkelijker op het nieuwe distributiecentrum gebruikt kan worden.

2.4. Samenvatting

Dit hoofdstuk omvat een theoretisch kader van de batterijsoorten die gebruikt kunnen worden door (hybride) elektrische voertuigen. De batterijen die hier met elkaar vergeleken worden zijn de loodaccu, de nikkel-metaalhybride batterij, de lithium-ion batterij, de nikkel-zink batterij en de nikkel-cadmium batterij. Door de batterijen met elkaar te vergelijken kan gekeken worden of de batterijen invloeden hebben op de oplaadmethodes. Daarnaast wordt het proces *smart charging* behandeld waarin wordt gesproken over een mogelijke laadstrategie. Hier is gekeken naar de onnodig hoge kosten die worden gemaakt als er op willekeurige tijdstippen op een dag wordt opgeladen, omdat de netstroom in de piekuren hogere kosten met zich meebrengt. Door *smart charging* toe te passen kan in de off-peak uren geladen worden, waardoor de kosten voor het opladen enigszins gedrukt worden. Echter is de bedrijfsvoering van Rotra dikwijls 's nachts, waardoor het nog de vraag is of een dergelijke laadstrategie gehanteerd kan worden. De batterijsoorten en laadstrategie kunnen invloeden hebben op de oplaadsystemen. Dit is de reden dat deze aspecten zijn onderzocht om bij het genereren van oplossingen en uiteindelijke aanbevelingen te kijken of het type batterij en/of de laadstrategie van de AGV nog van belang kan zijn.

Vervolgens zijn er in dit hoofdstuk performance criteria opgesteld om de automatische oplaadmethodes uiteindelijk in een verder stadium te kunnen scoren. Deze criteria zijn laadsnelheid, levensduur, kosten en betrouwbaarheid van een dergelijk oplaadalternatief. De laadsnelheid omvat het aantal oplaadbare kilowatturen per uur en wordt per oplaadmethode in kWh/h weergegeven. De levensduur is van belang, zodat Rotra een indicatie kan krijgen van het aantal jaren dat een dergelijk systeem meegaat. De kosten kunnen voor de methodes met elkaar vergeleken worden om te kijken welk alternatief het goedkoopst of het duurst uitvalt. Daarnaast geeft de betrouwbaarheid een beeld van het aantal jaren dat een bepaalde methode al op de markt is. Hoe langer deze methode al op de markt des te betrouwbaarder zal het systeem zijn. Aan de hand van deze vier criteria zal de analyse van de automatische oplaadtechnieken vereenvoudigd worden, waarbij de methodes tegen elkaar zullen worden gewogen. Zo kunnen de best scorende en de slechtst scorende alternatieven door middel van deze criteria analyse in het volgende hoofdstuk bekeken worden.

3. Automatische oplaadmethodes

In dit hoofdstuk worden deelvragen 1 en 2 beantwoord. Hiervoor zal er gekeken worden naar de verschillende mogelijkheden om een batterij automatisch op te laden en op welke wijze vergelijkbare voertuigen gebruik maken van een soortgelijke oplaadmethode. Alle oplaadalternatieven zullen in Paragraaf 6 opgesomd worden, waarbij de scores op de performance criteria van Hoofdstuk 2 geanalyseerd worden. De technische haalbaarheid van een dergelijke methode, gezien de vereisten voor het specifieke oplaadsysteem en het distributiecentrum van Rotra, zullen in Hoofdstuk 4 uitgebreider worden toegelicht.

3.1. Robot Plug-in

Vandaag de dag wordt er steeds meer elektrisch gereden en deze auto's moeten allen elektrisch opgeladen worden. Deze voertuigen worden plug-in voertuigen genoemd die over een energie-opslagapparaat met oplader beschikken (Brooks & Thesen, 2007). Met de huidige oplaadmethodes hoeft de batterij in het elektrische voertuig alleen maar een aantal uren opgeladen te worden. Daarbij wordt de *Vehicle-to-Grid* (V2G) methode gehanteerd waar de voertuigen de elektriciteit opnemen vanuit het netwerk. Hiervoor is een oplaadpaal nodig waarin de oplader door een persoon ingeplugd kan worden (Brooks & Thesen, 2007). Een soortgelijk oplaadsysteem is weergegeven in figuur 3-1.



Figuur 3-1: V2G-oplaadmethode (Brooks & Thesen, 2007)

Bij dit oplaadsysteem komen een aantal complicaties kijken, waarvan de grootste is dat de werknemer de oplader zelfstandig in moet pluggen. De V2G methode wordt ook wel *conductive charging* genoemd waarin direct metaal-tot-metaal contact wordt gemaakt. Dit directe contact wordt gemaakt tussen het elektrische voertuig en de kabel, maar kan alleen gebeuren als er menselijk ingeplugd wordt (Yilmaz & Krein, 2013).

Snakebot

Het automerk Tesla beschikt over de nieuwste technologieën voor plug-in voertuigen. Onlangs is er een automatische oplaadmethode ontwikkeld waarbij hetzelfde effect als de V2G-methode wordt gerealiseerd. Het prototype dat afgelopen jaargang getest is heet de *snakebot* lader (Independent, 2015). Deze laadmethode zorgt ervoor dat de oplader automatisch het oplaadpunt van het voertuig opzoekt en deze van energie voorziet, zonder dat de bestuurder hier iets voor hoeft te doen. Deze snakebot lader is weergegeven in figuur 3-2.



Figuur 3-1: Snakebot lader (Independent, 2015)

De oplaadmethode maakt als het ware slangachtige bewegingen (<https://www.youtube.com/watch?v=uMM0IRfX6YI>) om goed in beeld te krijgen waar de lader ingeplugd moet worden. Als het oplaadpunt gevonden is doet de robot zelf al het werk en zorgt deze er ook voor dat het inpluggen op een goede manier gebeurt. Deze innovatieve methode van Tesla toont aan dat het mogelijk is om automatisch, via een plug-in, op te laden.

Doordat deze laadmethode relatief nieuw is zijn er nog weinig dingen bekend over de performance en zijn er nog veel aspecten die verbeterd moeten worden. Daarom wordt hier de aanname gedaan dat de snakebot hetzelfde presteert als een conventionele oplader van elektrische voertuigen, in dit geval van het automerk Tesla. Het doel van Tesla is namelijk om het opladen van haar auto's te vergemakkelijken en dit uiteindelijk door middel van de snakebot te realiseren (Teslamotors, 2016). De conventionele laders kunnen opgesplitst worden in *single chargers* en *superchargers*. De superchargers zijn onlangs ontwikkeld en worden al veelvuldig gebruikt. Ze hebben als voornaamst voordeel dat ze ontzettend snel kunnen opladen waardoor de voertuigen in weinig tijd weer kunnen rijden. Echter, hangen er ook hogere kosten aan een supercharger dan aan een eenvoudige single charger die over het algemeen in huishoudens wordt gebruikt. Zo zijn er voor- en nadelen van beide laders en de scores op de performance criteria van beiden zullen bekeken worden, om een betere indicatie te krijgen welke mogelijkheden er in de toekomst zijn als één van de laadtechnieken wordt omgezet in een automatische snakebot.

Single charger

Een single charger wordt vooral gebruikt om aan het einde van de dag thuis de auto op te laden. Deze oplader heeft een laadcapaciteit van 11 kW. Op het moment heeft Tesla veel voertuigen met 90 kWh, 85 kWh en 70 kWh batterijcapaciteit (Teslamotors, 2016). Het veel gebruikte Tesla Model S voertuig, weergegeven in figuur 3-3, beschikt veelal over een 90 kWh capaciteit. Met de 11 kW laadcapaciteit is er ongeveer 8 uur nodig om dit model weer volledig op te laden. Hierbij is de laadsnelheid gelijk aan 11 kWh/h. Het oplaadsysteem bestaat uit een laadpaal met bijbehorende kabel, waarvan de aanschafprijs rond de €500,- ligt. Echter, het automatiseren van een single charger middels een snakebot brengt de nodige kosten met zich mee en daarom zullen de totale kosten uiteindelijk een stuk hoger uitvallen als de single charger geautomatiseerd wordt. Deze afwegingen zullen in het overzicht in Paragraaf 6 op schaal gedaan worden om een duidelijk overzicht te krijgen van alle kosten van de oplaadalternatieven en deze met elkaar te vergelijken.

Het single charger laadsysteem is tegelijk met het eerste Tesla-model ingevoerd. De allereerste Tesla is in het jaar 2008 ontwikkeld. Het single charger systeem werd toentertijd veelvuldig gebruikt om deze auto van energie te voorzien. Dit laadsysteem is dus ongeveer acht jaar op de markt en kan het dus gezien worden als een relatief ver ontwikkeld systeem (Auto en Vervoer, 2013). Het laadsysteem gaat over het algemeen behoorlijk lang mee en daarom is de levensduur van het systeem betrekkelijk hoog (Teslamotors, 2016).



Figuur 3-2: Tesla Model S (Teslamotors, 2016)

Supercharger

Een Tesla supercharger heeft een maximaal laadvermogen van 120 kW. De 90 kWh batterijcapaciteit van het bekende Tesla Model S voertuig zorgt ervoor dat de batterij van dat voertuig in 45 minuten geladen kan worden. Wat betekent dat de laadsnelheid van een supercharger gelijk is aan 120kWh/h. De supercharger is door Tesla in Amerika ontwikkeld en in 2013 op de markt gebracht. Daardoor bestaat dit laadsysteem op het moment ongeveer drie jaar (Groen7, 2012). Een supercharger is een stuk duurder dan de single charger, omdat er veel geavanceerdere technieken worden gebruikt om sneller op te kunnen laden. Dit brengt de nodige kosten met zich mee en als dit in de toekomst op een automatische methode als de snakebot lader wordt gerealiseerd zal het laadstation vanwege de automatisering alleen maar duurder worden. Daarnaast moet de batterijcapaciteit van de voertuigen hoog zijn om de supercharger te kunnen gebruiken.

Momenteel betaalt men voor het laden zelf amper iets, maar is de aanschaf van het systeem vooral erg duur. Daarom is er eenmalig een hoge aanschafprijs vereist, die stukken hoger is dan de aanschafprijs van de single charger (€500,-). Tijdens het automatiseren zal de prijs nog hoger komen te liggen, maar zoals vermeld geldt dit eveneens voor de single charger. Een voorbeeld van deze superchargers die langs de weg gebruik kunnen worden is weergegeven in figuur 3-4. De levensduur van de supercharger is wel langer dan die van de single charger als er gekeken gaat worden naar het aantal oplaadmomenten. De superchargers worden een stuk vaker gebruikt, aangezien ze langs de grote (snel)wegen liggen en veel elektrische auto's gebruik kunnen maken van één supercharger. Dus als de levensduur van de single charger met de levensduur van de supercharger vergeleken wordt zou op basis van gebruik geschat kunnen worden dat de supercharger vaker in gebruik genomen kan worden dan de single charger voordat een nieuwe oplader aangeschaft moet worden.



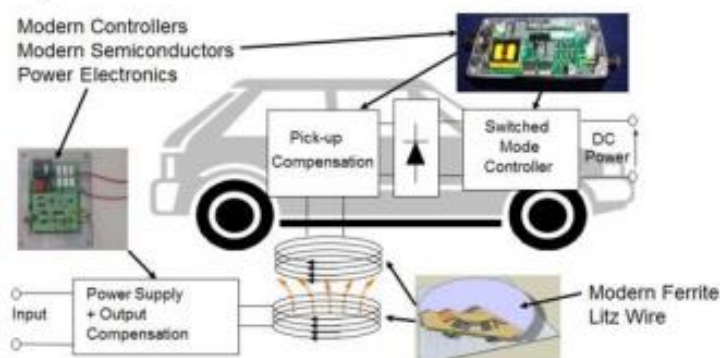
Figuur 3-3: Supercharger Tesla (Teslamotors, 2016)

3.2. Inductieladen

Een andere toekomstige technologie om een AGV van de benodigde energie te kunnen voorzien is inductieladen. Inductieladen is een proces waarbij de energievoorziening, in tegenstelling tot deze plug-in methode, draadloos gebeurt. Het proces van inductieladen wordt ook wel *Inductive Power Transfer (IPT)* genoemd dat zich specifiek richt op de energievoorziening van elektrische voertuigen (Wu et al, 2011). IPT systemen kunnen zowel stationaire inductie als een inductietrack omvatten. Bij de stationaire inductie wordt het voertuig middels inductie in stilstande modus opgeladen. De inductietrack zorgt ervoor dat als het voertuig over de aangegeven weg rijdt het vanzelf wordt opgeladen. Zo kan het voertuig blijven rijden en hoeft het zich niet in stilstande modus te bevinden. Beide methodes worden in de volgende paragrafen met bijbehorende voor- en nadelen toegelicht.

3.2.1. Stationaire inductie

Stationaire inductie is een ver ontwikkelt laadproces dat onderhand voor verschillende doeleinden gebruikt wordt. Een typisch stationair inductielaadsysteem van een elektrisch voertuig is weergegeven in figuur 3-5.



Figuur 3-4: Stationair inductielaadsysteem (Wu et al, 2011)

Voor deze laadmethode wordt gebruik gemaakt van elektrische componenten die bestaan uit geleidende wikkelingen. Deze componenten worden ook wel spoelen genoemd. Meestal wordt bij deze spoelen de goede elektrische geleider koper gebruikt voor de wikkelingen. Om het inductielaadproces in gang te zetten wordt eerst een hoge frequentie van afwisselende stroom gegenereerd door middel van de *Power Supply*. Hierbij is het van belang dat er een transmitterspoel en een ontvangspoel aanwezig zijn. Zo kan de transmitterspoel allereerst spanning opwekken door de veranderende stroom en deze met behulp van inductie omschakelen naar de ontvangspoel. Het omschakelproces van de transmitterspoel naar de ontvangspoel is hieronder in figuur 3-6 weergegeven. Hierbij wordt geen contact gemaakt tussen de spoelen, maar worden de elektromagnetische velden gebruikt om de energie over te brengen.



Figuur 3-5: Omschakelproces inductie (Ho et al, 2011)

Doordat er geen contact wordt gemaakt tussen de spoelen en er over het algemeen een 50-100 mm afstand tussen de spoelen zit heeft dit als groot voordeel dat er weinig energie verloren gaat door bijvoorbeeld slechte connecties tussen de spoelen (Ho et al, 2011). Een

voorbeeld van een inductieproces waar de transmitterspoel en de ontvangspoel energie overbrengen met een kleine afstand ertussen is weergegeven in figuur 3-7.



Figuur 3-6: Transmitterspoel en ontvangspoel inductie (Wu et al, 2011)

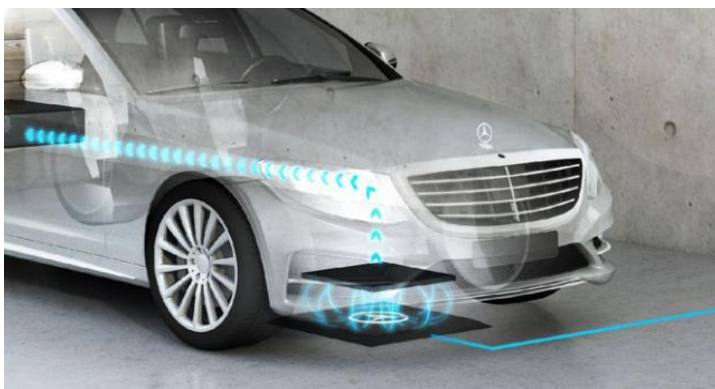
De ontvangspoelen kunnen vervolgens de opgewekte energie converteren naar de *Direct Current* (DC), weergegeven in figuur 3-5, die ervoor zorgt dat de batterij in het voertuig in stationaire toestand opgeladen kan worden. Er zijn verschillende systemen ontwikkelt die gebruik maken van inductieladen. De technieken voor het opladen van bussen en elektrische auto's zullen bekeken worden.

Bus-systeem

Er is onlangs een 30kW bus-systeem ontwikkeld waarin bussen worden geladen als ze tot stilstand komen. In dit voorbeeld is het laadvermogen dus 30kW en kan er met 30kWh/h geladen worden. Dit zou betekenen dat een batterijcapaciteit van bijvoorbeeld de beschreven Tesla Model S (90 kWh) binnen 3 uur volledig opgeladen kan worden met inductieladen. Echter, wordt er bij dit bus-systeem alleen geladen als de bus stil staat. Voor de AGV's op het distributiecentrum van Rotra betekent dit dat er maar één echte mogelijkheid is om een soortgelijk systeem te gebruiken. Dat is namelijk als de AGV zich voor een aantal uur in stilstaande modus bevindt om ervoor te zorgen dat de batterij volledig opgeladen wordt. Het stationaire inductieladen zou bijvoorbeeld op een parkeerplaats op het terrein kunnen gebeuren. Dit wordt bij het voorbeeld van de elektrische auto's geïllustreerd. Het bus-systeem is al een aantal jaar geleden geïmplementeerd. Het bedrijf Scania heeft in Zweden een busnetwerk op basis van inductie aangelegd in het jaar 2014. Dit is één van de eerste ontwikkelingen op dat gebied geweest en sindsdien zijn steeds meer landen in zee gegaan met de laadtechniek voor het openbaar vervoer. De betrouwbaarheid van deze inductietechniek is dus ongeveer twee jaar, waar in de toekomst steeds meer innovatieve ontwikkelingen gedaan zullen worden om veel bussen draadloos en elektrisch te laden (Groen 7, 2014).

Elektrische auto's

Naast de bussen wordt er veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om elektrische auto's door middel van inductieladen van energie te voorzien. Op het moment is de techniek voor de auto's nog in het voorstadium en zijn er nog maar een aantal bedrijven die grondig onderzoek doen naar de mogelijkheden ervan. Zo zijn BMW en Daimler (Mercedes-Benz) gaan samenwerken om het inductieladen te realiseren volgens het beschreven IPT-systeem. Daarbij kan er zonder kabel een laadcapaciteit van 7kW worden gerealiseerd voor de elektrische auto's, wat een laadsnelheid van 7kWh/h met zich meebrengt (Autoweek, 2014). Hier wordt een spoel in de bodem van de auto en een spoel in de grond geplaatst. Vervolgens wordt door het magnetische veld stroom overgedragen naar de accu's in de auto. Dit proces is in figuur 3-8 voor een Mercedes auto weergegeven, waarbij de energiestroom vanuit de spoel in de bodem wordt aangegeven.

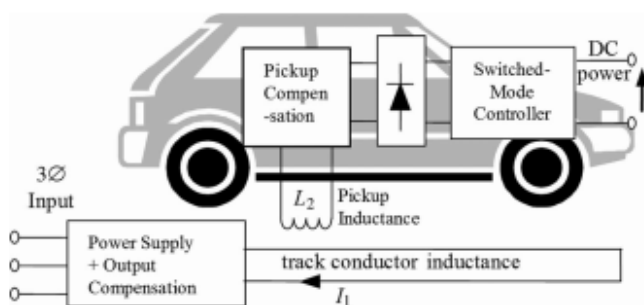


Figuur 3-7: Inductieladen BMW & Daimler (Autoweek, 2014)

De techniek is nog niet geïmplementeerd in de geproduceerde elektrische auto's voor de consument en daarom is de betrouwbaarheid van de techniek te verwaarlozen. De bijkomende kosten zijn lastig in te schatten, maar doordat er elektriciteit wordt opgewekt door de spoelen zullen er na aanschaf van het oplaadsysteem weinig bijkomende kosten meer zien. De aanschaf van het systeem zal enigszins hoog komen te liggen, omdat de techniek achter de laadinfrastructuur redelijk complex is. Al biedt het bedrijf Plugless Power een toekomstig eenvoudig inductief systeem aan voor rond de €2000,-, dat specifiek op auto's gericht is (RVO, 2014). Door middel van de schaalverdeling in Paragraaf 6 zal het stationaire inductieladen, met bijbehorende kosten, gescoord worden ten opzichte van de andere methodes om hier een duidelijk beeld van te krijgen.

3.2.2. Inductietrack

Naast het stationaire inductieladen kan er ook gedacht worden aan een inductietrack, waar het voertuig overheen kan rijden om zodoende opgeladen te worden. Hierbij is het van uiterst belang dat de voertuigen exact over de inductietrack rijden, waardoor dit een geschikte methode kan zijn voor automatische voertuigen. Doordat een AGV automatische stuurcontrole krijgt zal het voertuig gemakkelijker in staat zijn om over een inductietrack te rijden dan wanneer er menselijke besturing plaatsvindt. Bij de stationaire methode wordt er gebruik gemaakt van energieopslag in het voertuig zelf. Aan de hand van een inductietrack kan ervoor gezorgd worden dat deze opslag niet meer nodig is en er door middel van de track altijd genoeg energie zal zijn om het voertuig voort te bewegen. Daarbij krijgt het voertuig als het ware kleine energievoorzieningen die ook kunnen variëren als het voertuig meer power nodig heeft, mits dit in de aangelegde track is opgenomen. Daarnaast kan het voertuig door middel van de track ten alle tijden blijven rondrijden, omdat het niet hoeft stil te staan om opgeladen te worden. Een IPT systeem met inductietrack is hieronder in figuur 3-9 te zien.



Figuur 3-8: Inductietrack IPT systeem (Covic et al, 2007)

Het weergegeven IPT systeem bestaat uit twee verschillende elektromagnetische componenten die ervoor zorgen dat een voertuig in motie kan opladen (Covic et al, 2007):

1. Een *Power Supply* die ervoor zorgt dat de aangelegde track de benodigde energie bevat. Deze energie omvat een constante flow in de inductietrack.
2. Meerdere opneemspoelen die de power van de track kunnen ontvangen en omzetten in bruikbare energie voor het voertuig.

Er zou gekozen kunnen worden om de AGV bij elke verplaatsing van een trailer op het centrum over een inductietrack te laten rijden om telkens deels opgeladen te worden. Hierdoor krijgt het voertuig de kleine power-boosts om zo wederom de werkzaamheden goed uit te kunnen voeren. Deze inductietracks zijn al veelvuldig in gebruik en daarom erg betrouwbaar als het gaat om automatisch opladen. De eerste inductietracks werden rond het jaar 2005 gelegd en daarom kan gesteld worden dat ze al ongeveer 10 jaar in gebruik zijn in verschillende sectoren. De kunst is om zoveel mogelijk energie te genereren met een zo klein mogelijke inductietrack. In een testconcept van een IPT systeem is een 13 meter lange track aangelegd die met een frequentie van 38,4 kHz een 40 Ampère stroom kan leveren. Met de krachtstroom van 220 Volt levert dit een vermogen van 8,8 KW (Covic et al, 2007). Daardoor kan de laadsnelheid voor dit voorbeeld van een 13 meter lange inductietrack geschat worden op 8,8 kWh/h. Echter, wordt hier in een korte tijd overheen gereden en worden de batterijen maar deels opgeladen. Daarom zal de AGV in het geval van een inductietrack vaak hier overheen moeten rijden om ervoor te zorgen dat de batterij altijd genoeg energie heeft.

De kosten van een inductietrack hangen af van de lengte van de inductietrack (aanschafprijs) en de leverbare energie (energieprijs). Deze kosten zullen wederom middels een schaal vergeleken worden met de andere oplaadalternatieven. De levensduur zal tevens vergeleken worden met de andere alternatieven om op basis hiervan een inschatting te maken van de technieken en de voor- en nadelen die hieraan verbonden zijn. Een soortgelijke inductietrack van 13 meter zou bij Rotra geïntegreerd kunnen worden, waarbij in de software geprogrammeerd wordt dat de AGV's voor en na iedere verplaatsing van een trailer over de aangelegde track rijden. In hoofdstuk 5 zal gekeken worden hoe deze oplaadmethode, gegeven de verschillende variabelen, toepasbaar zou kunnen zijn op het nieuwe distributiecentrum in Velp.

3.3. Renewable Energy

Om ervoor te zorgen dat steeds meer elektrische voertuigen rond kunnen rijden op een duurzame manier kan er gebruik gemaakt worden van *renewable energy* om de voertuigen van energie te voorzien. Vormen van renewable energy zijn bijvoorbeeld zonne-energie en windenergie (Xin, Lopes & Williamson, 2009). Deze aspecten worden als mogelijke automatische oplaadmethodes voor een AGV toegelicht.

3.3.1. Zonne-energie

Zonne-energie kan een significante bijdrage leveren aan de energievoorziening van AGV's. Deze vorm van energie kan in elektrische voertuigen worden ingebouwd, waarbij de energieopslag van uiterst belang is. Zo zou er gekozen kunnen worden om zonnepanelen in te bouwen op het voertuig om zodoende energie te genereren, maar wanneer er bijvoorbeeld in wintertijden alleen gebruik gemaakt wordt van deze vorm van energie is opslag van belang. Allereerst wordt de integratie van zonne-energie in elektrische voertuigen door middel van innovatie technologieën besproken. Hierbij zullen de scores op de gestelde performance criteria tevens behandeld worden.

PV-integratie in elektrische voertuigen

Het converteren van zonne-energie tot bruikbare energie is een belangrijk proces dat *photovoltaics* wordt genoemd. Hierbij worden *photovoltaic* (PV) panelen gebruikt die de energie van de lichtstralen van de zon opvangen om dit direct in bruikbare elektriciteit om te zetten. Hieronder worden twee voorbeelden gegeven van mogelijk gebruik van deze panelen. Allereerst wordt de zonnecarport geanalyseerd, waarna gekeken wordt naar het gebruik van zonnepanelen op de voertuigen zelf.

Zonnecarport

Een innovatieve technologie die onlangs ontwikkelt is en zeer bruikbaar kan zijn voor de AGV's is een zonnecarport. Onder deze carport stationeren de voertuigen zich en kunnen de batterijen middels de PV's direct de benodigde energie opnemen. Een voorbeeld van een zonnecarport die momenteel in de staat Florida in Amerika wordt gebruikt is weergegeven in figuur 3-10.

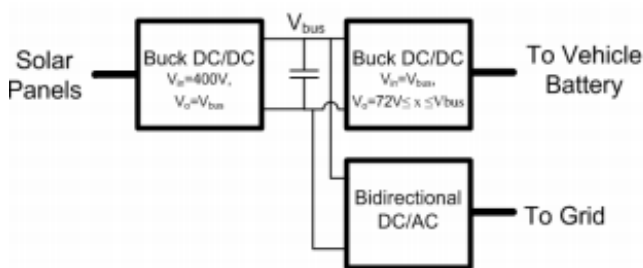


Figuur 3-9: Zonnecarport (Hamilton et al, 2010)

Door middel van de zonnepanelen op de carport kan er energie richting de batterijen van het geparkeerde voertuig worden gegenereerd en is hierbij het idee dat de overtollige energie teruggevoerd kan worden naar het net. Op deze manier is dit proces een flexibele manier om elektrische voertuigen op te laden en kan ervoor gezorgd worden dat er genoeg energie beschikbaar is voor de aanwezige AGV's op het centrum. Om deze methode en soortgelijke methodes met zonnepanelen te gebruiken is het van belang dat dit op een efficiënte manier

gebeurt. Daarvoor is een zekere laadstrategie belangrijk. Deze strategie zal gebaseerd moeten worden op het aantal op te laden voertuigen en de oplaadmomenten van deze voertuigen. In dit concept worden per parkeerplaats vier strings van zes zonnepanelen gebruikt, waar elk zonnepaneel ongeveer 200W aan power levert. Dit resulteert dus in een

totale power van 1,2kW per parkeerplaats. Als de AGV plaatsneemt op de parkeerplaats kan er gemiddeld met 1,2 kWh/h geladen worden. Om ervoor te zorgen dat de zonne-energie daadwerkelijk gebruikt kan worden door de batterijen in het voertuig wordt een DC/DC converter gebruikt die ervoor zorgt dat er direct stroom gebruikt kan worden. In normale opladers is er sprake van een AC/DC converter waarbij netstroom wordt opgenomen. De DC/DC converter krijgt in dit geval vanuit de zonnepanelen een gemiddelde 400 voltage binnen. Met behulp van deze DC/DC converter wordt de batterij dus weer opgeladen. De reststroom kan teruggevoerd worden op het net doormiddel van een DC/AC converter. Dit gebeurt dus als de leverbare power van de PV's groter is dan de benodigde power van de batterij. Wanneer er te weinig leverbare power van de panelen is merkt het systeem dat de batterij niet volledig opgeladen kan worden en wordt er vanuit de netstroom converter de restenergie aangeleverd. Op deze manier zorgt deze zonnecarport ervoor dat geparkeerde auto's door middel van zonne-energie opgeladen kunnen worden (Hamilton et al, 2010). Het beschreven proces is in blokschema weergegeven in figuur 3-11.



Figuur 3-10: Laadproces zonnecarport (Hamilton et al, 2010)

Het automerk BMW heeft in haar strategie ingespeeld op deze zonnecarport door in lijn met de nieuwe milieuvriendelijke BMW i-voertuigen zonnecarports te ontwikkelen die uitsluitend voor BMW-designs geschikt is (Groen7, 2014). Het principe werkt hetzelfde als het beschreven proces, waarbij overtollige energie wordt teruggevoerd op het net. Een voorbeeld van een zonnecarport van BMW waar een BMW i8 wordt opgeladen door middel van een zonnecarport is weergegeven in figuur 3-12.



Figuur 3-11: Zonnecarport BMW i8 (Groen7, 2016)

Rond het jaar 2010 is de zonnecarport geïntroduceerd en vanaf dat jaar zijn meerdere landen de oplaadmethode gaan gebruiken, waarbij voornamelijk personenauto's elektrische geladen worden. De betrouwbaarheid van het omschreven concept ligt dus ongeveer op 5 jaar. In Nederland zijn in 2013 de eerste zonnecarports in gebruik genomen, waar verschillende bedrijven en huishoudens gebruik maken van één carport of meerdere parkeerplaatsen om de auto's op te laden. De levensduur van deze zonnecarports is behoorlijk lang. De zonnepanelen van de carports gaan tussen de 25 en 30 jaar mee. Er zit zelfs een garantie van 30 jaar op de zonnecarports en daarom scoort deze automatische oplaadmethode op dit criterium betrekkelijk hoog (Groen 7, 2016). De kosten die aan een zonnecarport hangen zijn daarentegen wel hoog. Daarbij geven de afmetingen van de carport een belangrijke indicatie, omdat daarmee een inschatting gemaakt kan worden hoeveel zonnepanelen er nodig zijn. Als er gekeken wordt naar een zonnecarport voor één parkeerplaats dan zijn er minstens zes zonnepanelen nodig om een voertuig van energie te voorzien. Tevens moet het hele "carport-systeem" worden aangeschaft wat de nodige kosten met zich mee zal brengen. In Paragraaf 6 zullen deze kosten ten opzichte van de andere oplaadmethodes vergeleken worden om een goede indicatie te krijgen hoe de zonnecarport op dit onderdeel scoort.

Zonnepanelen op elektrische voertuigen

Naast de zonnecarport waarin de voertuigen in stilstaande modus geladen worden kan er ook worden gedacht aan het automatisch opladen tijdens de werkzaamheden. Er is ontzettend veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om zonnepanelen te plaatsen op voertuigen en deze middels de zonne-energie voort te laten bewegen. Zo zijn PV cellen geplaatst en getest op verschillende delen van auto's zoals de deuren, de motorkap en het dak. Daarnaast zijn auto's als de Audi A8 en de Toyota Prius getest met zonnepanelen op het dak om zodoende energie te verkrijgen voor ventilatiemogelijkheden. Bij deze panelen is de invalshoek van de zon van uiterst belang om een optimale hoeveelheid energie te genereren. Allereerst zullen de soorten zonnepanelen besproken worden, voordat de mogelijkheden met betrekking tot integratie op de elektrische voertuigen bekeken worden.

Er zijn verschillende soorten zonnepanelen op de markt waarvan de kristallijn silicium PV en de dunne-film PV de meest gebruikte zonnepanelen zijn. De kristallijn panelen kunnen opgedeeld worden in monokristallijn en polykristallijn. Het verschil tussen deze twee kristallijnen is dat de monokristallijn panelen wat duurder zijn, maar iets meer rendement (per oppervlakte eenheid) hebben dan polykristallijne panelen. De polykristallijne panelen worden vaker toegepast op grotere daken, omdat ze een wat lager rendement hebben. Waar de monokristallijn panelen vanwege het hogere rendement geschikter zijn voor de kleinere oppervlaktes. De dunne-film PV's hebben als voordeel dat ze erg licht zijn en daarnaast ook goedkoper zijn dan de kristallijn variant. De nieuwste technologie van de dunne-film panelen zijn de CIS-panelen. Deze panelen hebben als groot voordeel dat ze goed kunnen presteren onder zwak licht omstandigheden. Daarbij behalen ze vooral in de winter meer opbrengst dan de kristallijn panelen (Allesoverzonnepanelen, 2012). De panelen hebben dus allen voor- en nadelen en daarom zal er gekeken moeten worden welke panelen het meest geschikt zijn op de elektrische voertuigen en of dit geïntegreerd kan worden.

Over het algemeen kan op het dakoppervlak van een gemiddelde auto ongeveer één vierkante meter aan zonnecellen worden geplaatst. Daarom zijn de zonnepanelen met een hoger rendement het meest geschikt. Als er één zonnepaneel met een gemiddeld rendement van 15% op wordt geplaatst dan kan er rond de 140 kWh per jaar aan zonnestroom opgewekt worden. Dit betekent dat er $((140/365)/24) = 0,016$ kWh/h geladen kan worden. De laadsnelheid van één zonnepaneel op een elektrische auto kan geschat worden op ongeveer 16 Wh/h (Schoenmakers, 2015). Nu is dit de laadsnelheid per m² zonnepaneel, maar er is uiteraard ook de mogelijkheid om gehele voertuigen vol te bouwen met zonnepanelen. 16Wh/h is een erg lage laadsnelheid en daarom zijn meerder panelen nodig, zodat er meer kWh in een korte tijd geleverd kan worden. Een mooi voorbeeld van voertuigen die volledig ingebouwd zijn met zonnepanelen zijn de auto's die ieder jaar meedoen aan de Solar Challenge. Een voorbeeld van een dergelijke auto is weergegeven in figuur 3-13.



Figuur 3-12: Zonne-auto (Solar Challenge, 2015)

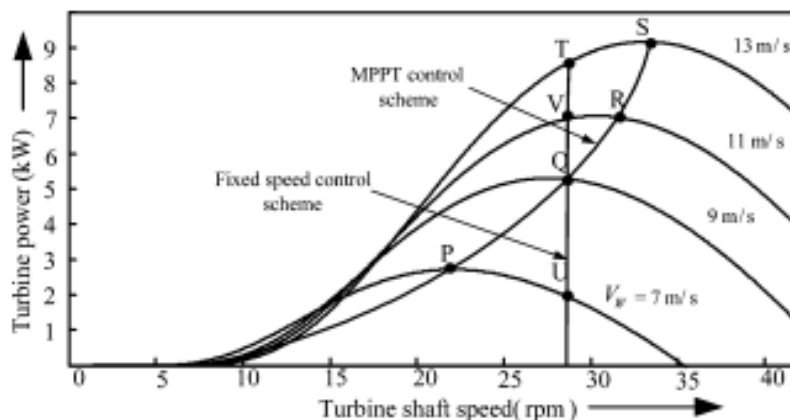
Deze auto's rijden volledig op zonne-energie en kunnen behoorlijk wat kilometers overbruggen. Zoals in figuur 3-13 te zien is zijn de panelen in verschillende maten, vormen en hoeken op het voertuig geplaatst om ervoor te zorgen dat de lichtinval zo effectief als mogelijk kan worden opgevangen. Op de Terberg Yard Trackers wordt het lastig om de panelen zo te plaatsen als op de zonne-auto, maar er zouden wel een aantal m² met zonnepanelen bekleed kunnen worden. Echter, zal de energie die hieruit verkregen kan worden niet toereikend zijn om de batterij continu adequaat op te laden. Daarom zal er een combinatie gemaakt moeten worden van de zonnepanelen met een ander soort oplaadmethode, om ervoor te zorgen dat er altijd gecompenseerd kan worden bij energietekorten. De levensduur van de zonnepanelen is zoals bij de zonnecarport beschreven zeer hoog (25-30 jaar). De zonnepanelen op de voertuigen zijn daarentegen niet heel betrouwbaar. Het zijn voornamelijk de zonne-auto's die gebruik maken van de zonnepanelen. Auto's, vrachtwagens en de toekomstige AGV's hebben veel meer power nodig om werkzaamheden goed uit te kunnen voeren. De technieken achter de zonnepanelen zijn in ontwikkeling, maar ze zijn op dit moment nog niet erg geschikt om als losstaande laadtechniek op dit soort voertuigen te gebruiken. Daarom kan gesteld worden dat deze oplaadtechniek niet betrouwbaar is. Door te blijven ontwikkelen zou er in de toekomst wel de mogelijkheid kunnen komen om volledig op de zonnepanelen te vertrouwen en ze als enige oplaadmethode te gebruiken.

3.3.2. Windenergie

Windenergie wordt momenteel vooral gegenereerd door het gebruik van windmolens in gebieden waar veel wind staat. Deze vorm van energie zou ook gebruikt kunnen worden om elektrische voertuigen op te laden. Door de windenergie te integreren in de voertuigen kunnen grote delen van de totaal geproduceerde windenergie opgenomen worden (Richardson, 2013). Hierbij moeten de voertuigen aan het netwerk worden aangesloten door middel van de V2G methode die besproken is in paragraaf 3.1. Wanneer ze aan het netwerk aangesloten zijn kunnen ze overtollige energie uit het netwerk opslaan. Dit zou kunnen gebeuren als er bijvoorbeeld harde wind is geweest waarvan energie opgeslagen dient te worden. Als de opslag van overtollige energie gerealiseerd wordt dan hebben de voertuigen de mogelijkheid om gebruik te maken van deze energie wanneer de nood hoog is. Om dit goed in beeld te krijgen zullen de huidige technieken van windgeneratie en windopslag besproken worden, zodat deze eventueel in een verder stadium door Rotra geïmplementeerd kunnen worden.

Windmolens

De voornaamste methode voor het opwekken van windenergie is door middel van windmolens. Deze mate van energiegeneratie is afhankelijk van de windsnelheid/kracht, de afmetingen van de windmolen en de luchtdichtheid, waarbij de luchtdichtheid vaak een constante parameter is. Het vermogen in kW dat door één windmolen behaalt kan worden bij verschillende windsnelheden is in figuur 3-14 weergegeven. Deze energie wordt opgevangen door middel van een *Wind Energy Generation System (WEGS)*.



Figuur 3-13: Vermogen t.o.v. windsnelheid (Agarwal et al, 2010)

De aanschaf van een windmolen is behoorlijk duur, omdat het enorme objecten zijn waar behoorlijk wat complexe techniek achter zit om de wind op te vangen en de energie ervan uiteindelijk te kunnen gebruiken. De windturbine kost ongeveer 1,5 tot 2 miljoen (Windpark, 2016). Op een windrijke plek kan één windmolen, afhankelijk van het rotoroppervlak en het exacte vermogen wel 7 tot 17.5 miljoen kWh op jaar basis leveren (Windpark, 2016). Uitgaande van de minimale 7 miljoen kWh is dit dus $((7.000.000/365)/24) = 800 \text{ kWh/h}$. De windmolens bestaan al erg lang en zijn door de jaren heen flink ontwikkeld. In de jaren 90 is men veel bezig geweest met het ontwikkelen van innovatieve windmolens en in de 21^{ste} eeuw is dit alleen maar verder uitgebreid. Daarom is de windmolen een erg betrouwbare energievoorzienaar als het gaat om de techniek en expertise. De betrouwbaarheid kan hier dan ook geschat worden op ongeveer 25 jaar, waar de nieuwere modellen vanaf het jaar 2000 zijn ontwikkeld (Windpark, 2016).

Windopslag en gebruik

Het lastige aan windenergie is de variabiliteit in de windrichting en windkracht die ervoor zorgen dat de energievoorziening erg onvoorspelbaar is. Doordat er veel variabiliteit is moet er energie worden opgeslagen zodat dit op bepaalde momenten, wanneer er geen wind is, gebruikt kan worden als back-up (Bellekom et al, 2012). In Nederland wordt al veelvuldig onderzoek gedaan om de elektriciteitssector door middel van windenergie te vergroten. Daarbij zal de verkregen energie van de WEGs omgezet moeten worden tot netstroom. Deze opslag gebeurt door middel van een *Squirrel Cage Induction Generator* (SCIG) die direct met het net verbonden is en daar ook de energie kan opslaan (Agarwal et al, 2010). Het gebruik van de opgeslagen windenergie kan dus alleen verkregen worden als er gebruik gemaakt wordt van een laadmethode die de netstroom toevoert aan de AGV's. De windenergie wordt wel automatisch verkregen, maar kan niet automatisch over worden gebracht op een AGV. Dus zal hier een andere optie voor moeten komen door bijvoorbeeld één van de eerder genoemde oplaadalternatieven te gebruiken. Zo kan een combinatie worden gemaakt van het automatisch verkrijgen van duurzame energie en het automatisch opladen van een AGV. Deze afwegingen zullen in hoofdstuk 6 worden gemaakt.

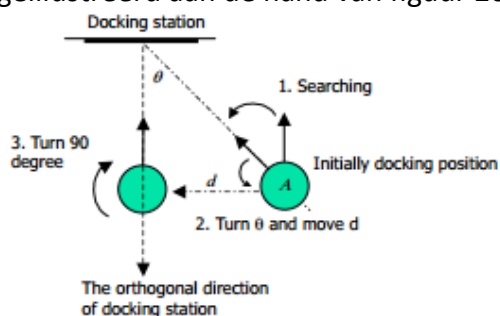
3.4. Docking station

Als alternatief kan tevens gekeken worden naar een docking station waarin de voertuigen automatisch opgeladen kunnen worden. Voor verscheidene andere producten wordt een soortgelijk laadstation al regelmatig gebruikt om ervoor te zorgen dat er automatisch geladen wordt. Momenteel wordt er door veel robot sectoren gebruik gemaakt van een docking station om de robots te kunnen opladen. Uiteraard opereren deze robots automatisch waardoor de technieken die in deze branche worden gebruikt eventueel ook kunnen worden toegepast op de “robot” AGV’s. Hieronder zal het oplaadproces van een robot met behulp van een docking station worden toegelicht, waarna gekeken wordt naar docking stations die in soortgelijke branches als de toekomstige AGV’s van Rotra gebruikt worden.

Voor veel laadprocessen van robots wordt momenteel gebruik gemaakt van een *vision system* wat ervoor zorgt dat het docken aan het laadstation goed gebeurt. Daarbij wordt er een camera of sensor op de robot geplaatst die het docking station kan lokaliseren (Luo & Liao, 2005). Voorbeelden van robots die hier gebruik van maken zijn de robotstofzuigers en robotgrasmaaiers. Om een robotvoertuig van energie te voorzien moeten er een aantal stappen ondernomen worden voordat er daadwerkelijk geladen kan worden:

1. Navigeren van de robot richting het docking station.
2. Het positioneren van de robot naar de geschikte docking positie.
3. Gebruik maken van het *vision system* om de robot exact aan te docken om te kunnen laden.

Bij de robots wordt veel software gebruikt om de werkzaamheden goed uit te kunnen voeren. Maar het proces van het docken aan het laadstation is een losstaand proces dat door middel van het *vision system* gedaan moet worden. Dit proces berust wederom op een stappenplan dat ervoor zorgt dat de robot zich precies op het goede punt van het docking station bevindt. Dit komt erg nauw, omdat de robot op de exacte locatie gepositioneerd moet zijn. Als dit niet het geval is kan het opladen niet plaatsvinden. Om het docking station te gebruiken met behulp van camera’s of sensoren moeten de volgende stappen, geïllustreerd aan de hand van figuur 20, uitgevoerd worden.



Figuur 3-14: Stappenplan docking station (Luo & Liao, 2005)

1. Het systeem gaat op zoek naar de locatie van het docking station en het initialiseren van de huidige positie.
2. Schatting maken van de afstand en de invalshoek richting de voorkant van het docking station.

3. Benaderen van het docking station en aankoppelen met behulp van een koppelmechanisme.

De stappen zijn tevens genummerd in figuur 3-15, waarin in dit geval het groene rondje **A** de robot is. Om een voertuig als een Yard Tracker automatisch te laten functioneren zouden bovenstaande handelingen met betrekking tot het opladen kunnen worden uitgevoerd. Hierbij komt een hoop software aan te pas om de AGV uiteindelijk goed te kunnen positioneren voor het docking station. Daarnaast worden de meeste docking stations voorsnog gebruikt voor kleinere robots.

De techniek achter het docking station bestaat al erg lang. In de beginfase werd het voornamelijk door kleinere robots, zoals een robotstofzuiger, gebruikt als oriëntatiepunt. Zo werd het docking station alleen gebruikt als start- en eindpunt van de rit. Door de jaren heen is deze techniek geavanceerder geworden waardoor de robots ook zelf inzien wanneer ze opgeladen moeten worden en hier ook naar handelen. Een mooi voorbeeld van deze ontwikkeling zijn de heftruck laadstations. Hierin kunnen heftrucks zichzelf positioneren om bijvoorbeeld aan het eind van de dag op te laden. Een aantal heftrucks die al automatisch rondrijden zijn *Forklift AGV systemen* (Egemin-Automation, 2015). Ze kunnen zich automatisch positioneren in het station, alleen moet er nog wel menselijk contact worden gemaakt om op te laden. De volgende stap is om dit docking station te gaan automatiseren zoals met de kleinere robots al is gedaan. Wanneer dit gebeurt dan zou dit één op één geïmplementeerd kunnen worden op de AGV's van Rotra, omdat die ongeveer dezelfde afmetingen hebben en ook zware werkzaamheden moeten verrichten. Een automatische Forklift AGV is hieronder in figuur 3-16 weergegeven. In het geval van deze Forklift wordt gebruik gemaakt van een 35kWh batterij en een 30 kW oplader die er iets meer dan één uur, met een laadsnelheid van 30kWh/h, over doet om de batterij volledig op te laden (Renquist, Dickman & Bradley, 2012).



De eerste patenten voor het robot docking station voor verschillende kleinere robots zijn in de begin jaren 2000 aangevraagd. De betrouwbaarheid kan dan ook geschat worden op ongeveer 15 jaar. Echter, voor de grotere laadstations bestaat de techniek nog niet heel lang en is het zelfs nog niet volledig geautomatiseerd. De Forklift AGV is ontwikkelt rond 2010-2011, net als de laadstations. De betrouwbaarheid is voor dit voorbeeld dus ongeveer vijf jaar.

Figuur 3-15: Forklift AGV (Egemin-Automation, 2015)

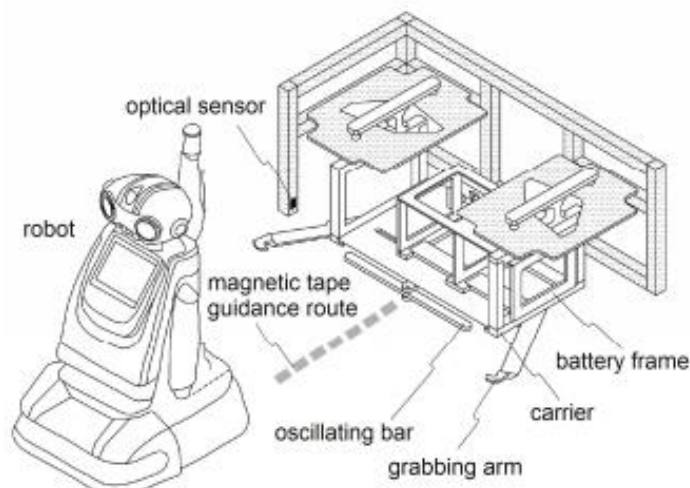
Voor de Forklift AGV wordt de levensduur geschat tussen de drie en vijf jaar (Renquist, Dickman & Bradley, 2012). Dit is mede afhankelijk van hoe vaak het laadstation per dag gebruikt dient te worden. Door de producent van de huidige Forklift laadstations, Toyota Materials en Raymond Corporation, is geconstateerd dat er geavanceerde technieken nodig zijn om grote voertuigen als een heftruck door middel van een docking station op te laden waardoor deze techniek momenteel nog niet heel lang meegaat. Het vervangen van een compleet docking station wordt geschat op €25000,- tot €30000,-. Tevens dienen de

batterijen in het laadstation binnen drie jaar vervangen te worden, waar ook weer hoge kosten aan verbonden zijn (Renquist, Dickman & Bradley, 2012).

3.5. Battery replacement

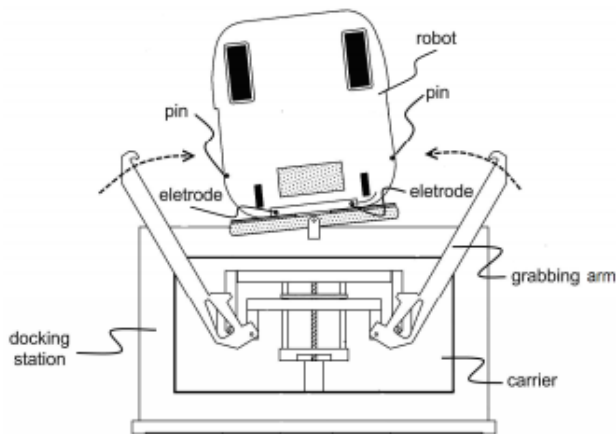
Naast de genoemde methodes is er ook een manier om de batterij niet direct automatisch op te laden, maar automatisch te vervangen door een volle batterij. Dit vervangingsproces wordt ook wel *battery replacement* genoemd. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van een soortgelijk systeem als een docking station. Alleen in plaats van het automatisch opladen in dit station wordt de batterij uit het voertuig gehaald en vervangen met een andere, reeds geladen, batterij. Silverman et al. hebben een concept ontwikkelt van dit proces waarin ze exact omschrijven hoe het systeem in elkaar zit en welke elementen nodig zijn om ervoor te zorgen dat het mechanisme goed functioneert. Dit concept wordt hier eerst kort toegelicht alvorens de voor- en nadelen besproken worden.

Allereerst is het van belang dat het voertuig, in dit geval een AGV, communiceert met het station wanneer de batterij een laag energieniveau bereikt. Nadat de AGV een signaal aflevert aan het station dient het voertuig zich richting het station te verplaatsen op eenzelfde manier als het omschreven *vision system* onder Paragraaf 3.4. Vervolgens is het belangrijk dat het systeem een grote reikwijdte heeft om ervoor te zorgen dat de batterij op allerlei manieren uit het voertuig gehaald kan worden. Zo moeten mogelijke locatiefouten van de AGV tijdens het voortbewegen richting het station te overzien zijn, zodat de batterijvervanging te alle tijden gedaan kan worden. Een voorbeeld van een dergelijk systeem is weergegeven in figuur 3-17. In dit concept wordt een relatief kleine robot gebruikt waarvan de batterij vervangen wordt, maar het proces achter het systeem zou toegepast kunnen worden op een AGV.



Figuur 3-16: Systeem battery replacement (Wu et al, 2009)

In dit proces benadert de robot het station achterwaarts, omdat de batterij zich aan de achterzijde bevindt. Er wordt gebruik gemaakt van optische sensoren en magnetische geleidingsroutes om de robot goed in het station te positioneren zodat de vervanging plaats kan vinden. Om de vervanging goed te laten verlopen wordt gebruik gemaakt van een karretje in het station die twee grijpparmen heeft die ervoor zorgen dat het voertuig volledig tegen het verwisseldeel van het systeem wordt geplaatst. Dit is in figuur 3-18 weergegeven.



Figuur 3-17: Robot en docking station (Wu et al, 2009)

Nadat het voertuig goed gepositioneerd is kan de lege batterij met een pull/push mechanisme verwijderd worden. Vervolgens wordt vanuit een extern laadstation een volle batterij aangeleverd die met het mechanisme in het voertuig geplaatst kan worden. De lege batterij wordt naar het laadstation gebracht waarin deze wederom opgeladen wordt.

Doordat de batterijen in dit geval vervangen worden is er geen sprake van een laadsnelheid in kWh/h voor de AGV zelf, omdat het voertuig simpelweg een nieuwe batterij toegediend krijgt. Er is wel sprake van een verwisseltijd, maar die is nagenoeg verwaarloosbaar voor de AGV. De verwisseltijd van het beschreven systeem neemt momenteel 45 seconden in beslag, waardoor de AGV in dit geval de trailers snel weer kan afhandelen (Wu et al, 2009). Het oplaadsysteem zelf beschikt echter wel over een laadsnelheid om de batterijen op te kunnen laden. Als dit oplaadsysteem op de normale netstroom is aangesloten betekent dit dat er 220 volt en 16 ampère geleverd kan worden. Onder deze omstandigheden is de laadcapaciteit gelijk aan $220 \times 16 = 3,52 \text{ kW}$ (InfoNu, 2014). Met deze laadcapaciteit zou het verwisselsysteem in staat zijn om de op te laden batterijen met een laadsnelheid van ongeveer 3,5 kWh/h. Doordat het battery replacement systeem veel gelijkenissen heeft met het docking station kan gesteld worden dat de kosten ongeveer gelijk zullen zijn. Echter is er een extra robot(arm) nodig die de batterij automatisch uit het voertuig haalt, in het oplaadstation plaatst en vervolgens een volle batterij terugplaatst. Hierdoor zullen de kosten nog hoger uitvallen dan die van een “normaal” docking station.

De betrouwbaarheid van het systeem voor de kleinere robots ligt rond de 5 jaar, maar voor grote voertuigen zoals een AGV is nog geen systeem ontwikkeld dat het mogelijk maakt om de batterijen automatisch te verwisselen. Dus hier is geen sprake van een betrouwbaarheid en de huidige techniek voor kleine voertuigen zal nog verder ontwikkeld moeten worden om het mogelijk te maken om de batterijen van grote voertuigen te verwisselen. Het huidige systeem heeft vanwege de complexe technieken een relatief lage levensduur, net als het docking station. De levensduur zal, net als de andere criteria, in de hierop volgende paragraaf uitvoerig geanalyseerd en vergeleken worden met de andere oplaadalternatieven

3.6. Overzicht automatische oplaadmethodes

De oplaadmethodes hebben allen voor- en nadelen die gebruikt kunnen worden om de meest effectieve methode te achterhalen. De scores op de criteria laadsnelheid, levensduur, kosten en betrouwbaarheid zijn per alternatief in tabel 3-1 weergegeven. Voor de criteria levensduur en kosten is een schaalverdeling gemaakt, waarin “--” een zeer slechte score en “++” een zeer goede score is ten opzichte van de andere alternatieven. Deze schaalverdeling wordt gehanteerd, omdat het lastig is te schatten in hoelang methodes meegaan en hoeveel ze daadwerkelijk gaan kosten. Hierin is het automatiseren van de specifieke methode het voornaamste probleem, omdat dit voor veel methodes onduidelijkheden geeft met betrekking tot de levensduur en vooral de bijkomende kosten van automatisering. Op basis van de schaalverdeling kan wel een duidelijk beeld verkregen worden hoe er ten opzichte van de andere methodes wordt gescoord op de criteria. De laadsnelheid en betrouwbaarheid zijn per oplaadmethode gekwantificeerd en opgenomen in het overzicht.

Tabel 3-1: Score-overzicht oplaadalternatieven

Oplaadmethodes/Criteria	Laadsnelheid	Levensduur	Kosten	Betrouwbaarheid (jaren op de markt)
Robot plug-in				
- <u>Single charger</u>	11kWh/h	+-	++	8 jaar
- <u>Supercharger</u>	120kWh/h	+	+-	3 jaar
Inductieladen				
- <u>Stationaire inductie</u>				
○ Bus-systeem	30kWh/h	+-	+-	2 jaar
○ Elektrische auto's	7kWh/h	+-	+	XX
- <u>Inductietrack</u>				
○ 13 meter concept	8,8kWh/h	+-	+-	10 jaar
Renewable energy				
- <u>Zonne-energie</u>				
○ Zonnecarport	1,2 kWh/h	++	-	5 jaar
○ Zonnepanelen op EV	16Wh/h (per m ²)	++	+-	XX
- <u>Windenergie</u>				
○ Windmolen	800kWh/h	+	--	25 jaar
Docking station				
○ Forklift AGV	30kWh/h	--	-	5 jaar
Battery replacement	XX Systeem zelf: 3,5 kWh/h	-	--	XX

Voor alle geanalyseerde oplaadalternatieven zijn de criteria gescoord en kan er gekeken gaan worden welke methode(s) goed scoren op een bepaald criterium. Daarnaast kunnen de criteria gerangschikt worden van meest belangrijk tot minst belangrijk door middel van een schaal. Dit zal gedaan worden met behulp van de schaalverdeling van de ABP (Heerkens & van Winden, 2012). Aan de hand daarvan kan gekeken worden welke automatische oplaadalternatieven het meest effectief zijn en dus geadviseerd zullen worden om in gebruik te nemen op het distributiecentrum.

3.6.1. Schaalverdeling performance criteria

Aan de criteria kan een schaal worden toegekend die op basis van gewichten de mate van belangrijkheid aangeeft. Door weging te gebruiken kan een betrouwbare beslissingsaanpak worden gerealiseerd (Heerkens & van Winden, 2012). De weging zal van 1 tot 4 worden gedaan, waarin 1 het als meest belangrijke criterium wordt geacht en 4 het minst belangrijke. De criteria zijn gewogen in dit onderzoek aan de hand van de mate van belangrijkheid voor Rotra.

De betrouwbaarheid van de automatische oplaadmethode is enigszins belangrijk, maar aangezien de implementatie pas over vier jaar wordt gedaan zegt de betrouwbaarheid op dit moment nog weinig. Als de betrouwbaarheid momenteel relatief laag is zouden er in de komende jaren veel ontwikkelingen op dat specifieke gebied gedaan kunnen worden waardoor het mechanisme veel betrouwbaarder wordt. Daarom krijgt het criterium betrouwbaarheid in dit onderzoek score 4, omdat het ten opzichte van de andere criteria momenteel het minst belangrijk is.

De levensduur van een bepaald oplaadalternatief geeft een indicatie van de afschrijving van de laadtechnieken. Echter, zijn de levensduren van de complexe technieken achter de oplaadmethodes allen relatief hoog en hoeft Rotra zich daar nog weinig zorgen om te maken. Op het moment dat één van de laadmethodes in gebruik wordt genomen op het distributiecentrum zal het dus lang meegaan alvorens onderhoud of nieuwe aanschaf nodig is. In vergelijking tot de resterende criteria is de levensduur minder belangrijk en krijgt daarom score 3 toegekend.

De kosten van de oplaadmethode zijn behoorlijk belangrijk, omdat deze flink hoog kunnen uitvallen voor Rotra. De kosten moeten niet te hoog uitvallen, omdat het opladen van de AGV's maar een klein onderdeel is van de volledige automatisatie van het distributiecentrum. Daarom is het van belang dat de kosten voor zowel de aanschaf als het energieverbruik per kWh zo laag mogelijk blijven. Dit is de reden dat het criterium kosten score 2 toegekend krijgt, omdat het belangrijker wordt geacht dan de levensduur en de betrouwbaarheid.

Het criterium dat vooral gericht is op de werkzaamheden van het distributiecentrum zelf is de laadsnelheid. Hoe sneller een lege batterij van een AGV met een oplaadmethode geladen kan worden des te efficiënter kunnen de werkzaamheden worden uitgevoerd. Dit heeft tevens invloed op het aantal benodigde AGV's. Gezien de laadsnelheid kan een afweging worden gemaakt om met meer of minder AGV's te werken. Daarom wordt dit gezien als het meest belangrijke criterium.

De totale schaalverdeling is in tabel 3-2 weergegeven. Bij gebrek aan gewichteninput vanuit Rotra wordt in deze analyse aangenomen dat Rotra de volgende gewichten zou geven aan de criteria:

Tabel 3-2: Schaalverdeling Criteria

Criterium	Gewichten
Laadsnelheid	1
Kosten	2
Levensduur	3
Betrouwbaarheid	4

3.6.2. Goede/slechte scores per criterium

In deze paragraaf zal gekeken worden naar de beste en slechtste scores van bepaalde oplaadmethodes op de verschillende criteria, gegeven de gewichten van de criteria. Aan de hand daarvan kunnen de meest efficiënte oplaadmethodes gevonden worden. De vereisten vanuit Rotra met betrekking tot de Yard Trackers en het distributiecentrum zullen in Hoofdstuk 4 weerlegt worden. Met behulp daarvan kan gekeken worden of de beste oplossingen, die met behulp van deze scores op de criteria gegenereerd worden, aan deze eisen voldoen. De criteria worden één voor één behandeld en per criterium de best scorende en slechtst scorende alternatieven gegeven worden.

Criterium 1: Laadsnelheid

De laadsnelheid wordt het meest belangrijk geacht en hierop scoren de supercharger robot plug-in (120kWh/h) en de windmolen (800kWh/h) zeer goed. Deze technieken zijn in staat om binnen één uur zeer veel kWh aan energie te leveren, wat ervoor zorgt dat een AGV zeer snel geladen kan worden. Echter, kan de energie die door de windmolen wordt verkregen niet direct vanuit de windmolen worden toegeleverd aan de AGV. De energie wordt opgenomen in het net en moet via een andere methode worden toegevoerd aan de AGV. Daar kan een techniek als de snakebot plug-in zeer geschikt voor zijn. En daarom kan deze robot plug-in, uitgaande van de supercharger karakteristieken, gezien worden als de beste laadmethode gezien de laadsnelheid. De zonnecarport en de zonnepanelen op de voertuigen leveren erg weinig kWh binnen een uur ten opzichte van de rest en scoren hier dus slecht.

Criterium 2: Kosten

De meest goedkope methode om een AGV van energie te voorzien is de robot plug-in met de karakteristieken van een single charger. Deze single charger kost momenteel rond de €500,- en wanneer die geautomatiseerd kan worden volgens de snakebot methode zullen de kosten weliswaar wat hoger uitvallen, maar valt dit alsnog te verwaarlozen ten opzichte van de hoge kosten voor de andere methodes. Naast de single charger is de stationaire inductie van elektrische auto's op een parkeerplaats het goedkoopste alternatief. Hierbij is er eenmalig een aanschaf van het systeem waarna de AGV's door te parkeren opgeladen kunnen worden. Het systeem is lang niet zo complex als dat van een docking station of het systeem voor battery replacement, waardoor de kosten beduidend lager zullen zijn. Het docking station en het battery replacement systeem zijn dan ook, naast de ontzettend dure windmolen (€2.000.000,-), de twee oplaadalternatieven die hoge aanschafprijzen hebben.

Criterium 3: Levensduur

Betreft de levensduur zijn het vooral de zonnepanelen die erg lang meegaan. De zonnepanelen gaan tussen de 25 en 30 jaar mee en daarom scoren de zonnecarport en de zonnepanelen op de elektrische voertuigen erg goed op dit criterium. Het docking station en het battery replacement systeem moeten echter een stuk sneller vervangen worden. Zo wordt de levensduur voor het Forklift AGV docking systeem geschat tussen de 3 en 5 jaar, wat een stuk lager is dan de zonne-energie varianten. Aangezien het battery replacement systeem gebruik maakt van een soortgelijk docking station kan gesteld worden dat ook deze levensduur beduidend laag zal liggen.

Criterium 4: Betrouwbaarheid

Voor de betrouwbaarheid is er met uitstekende één techniek die al zeer ver ontwikkelt is door de jaren en dat is het genereren van windenergie door middel van windmolens. Naast de windmolen is de inductietrack het meest betrouwbare concept tot nu toe. De zonnepanelen op elektrische voertuigen en het battery replacement systeem zijn nog amper op de markt te vinden, waardoor deze systemen minder betrouwbaar zijn.

Criterium	Best scorende alternatieven	Slechtst scorende alternatieven
Laadsnelheid	○ Robot plug-in (supercharger) ○ Windmolen	○ Zonnecarport ○ Zonnepanelen op elektrische voertuigen
Kosten	○ Robot plug in (single charger) ○ Zonnepanelen op elektrische voertuigen	○ Docking station ○ Battery replacement systeem ○ Windmolen
Levensduur	○ Zonnecarport ○ Zonnepanelen op voertuigen	○ Docking station ○ Battery replacement systeem
Betrouwbaarheid	○ Windmolen ○ Inductietrack	○ Zonnepanelen op elektrische voertuigen ○ Battery replacement systeem

Tabel 3-3: Best/slechtst scorende oplaadalternatieven

De best en slechtst scorende oplaadalternatieven per criteria zijn weergegeven in tabel 3-3. Hieruit valt op te maken dat het docking station en het battery replacement systeem op veel onderdelen zeer slecht scoren. Beide systemen zijn erg duur en hebben een lage levensduur. Daarnaast scoren ze op de onderdelen laadsnelheid en betrouwbaarheid middelmatig (zie tabel 3-1), waardoor deze twee methodes niet meegenomen zullen worden in de uiteindelijke oplossingen.

De automatische methodes die aan de andere kant op bepaalde onderdelen wel zeer goed scoren zijn: robot plug-in, renewable energy en inductieladen. Deze alternatieven zullen in Hoofdstuk 5 getest worden aan de hand van de vereisten van de huidige Yard Trackers en het distributiecentrum van Rotra van Hoofdstuk 4. Daarnaast zal er in Hoofdstuk 5 gekeken worden of de werkzaamheden normaal door kunnen gaan als één van deze methodes wordt geïmplementeerd. Waarbij de afweging van het aantal benodigde AGV's zal worden gemaakt.

3.7. Conclusie

Dit hoofdstuk geeft een raamwerk van mogelijkheden die er zijn om automatisch op te laden. Het achterliggende proces om adequaat op te kunnen laden is per oplaadmethode uitvoerig besproken. Daarbij is gekeken naar vergelijkbare voertuigen die gebruik maken van een automatische oplaadmethode en is de performance van een ieder geanalyseerd. Zodoende is er onderzoek gedaan naar deelvragen 1 en 2. De mogelijkheden die gegeven zijn om automatisch op te laden zijn:

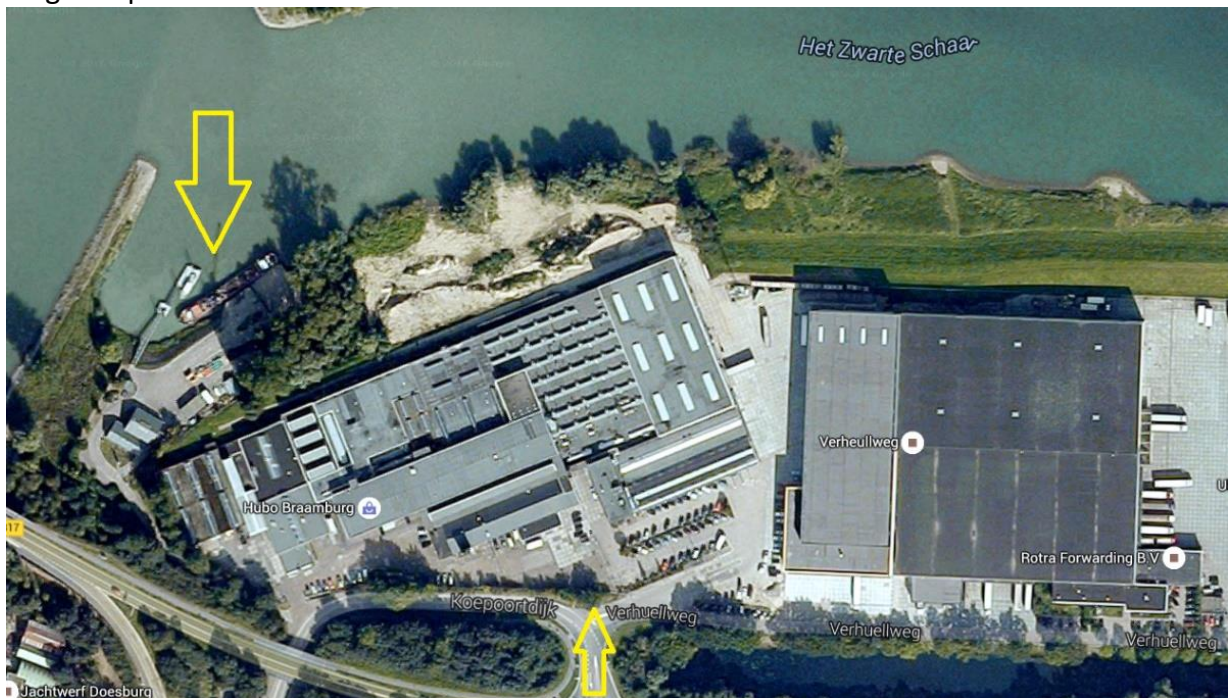
- Robot-plug in
 - Single charger
 - Supercharger
- Inductieladen
 - Stationaire inductie
 - Inductietrack
- Renewable energy
 - Zonne-energie
 - Windenergie
- Docking station
- Battery replacement

De oplaadmethodes zijn in dit hoofdstuk allen voorzien van voorbeelden om te illustreren hoe het alternatief momenteel gebruikt wordt of in de toekomst gebruikt zou kunnen worden. Tevens zijn ze allen gescoord ten opzichte van de performance criteria laadsnelheid, levensduur, kosten en betrouwbaarheid. Dit is gedaan door gebruik te maken van een multi-criteria analyse.

Aan het einde is een tabeloverzicht gegeven van de scores van de respectievelijke oplaadmethodes op de criteria. Uiteindelijk is gekeken welke methodes het best en welke methodes het slechtst scoren op de performance criteria. Zo kan een analyse worden gemaakt van de performance van de methodes. Hieruit volgt dat de oplaadalternatieven docking station en battery replacement op veel onderdelen slecht scoren. Beide systemen zijn erg duur en hebben een lage levensduur. De andere laadmethodes scoren op bepaalde criteria erg goed, waardoor hier verder onderzoek naar gedaan zal worden. De goed scorende methodes zijn de robot plug-in, het inductieladen en renewable energy. Deze worden in de volgende hoofdstukken intensiever onderzocht en getest ten opzichte van de vereisten voor het distributiecentrum en de AGV.

4. Huidige locatie: Rotra in Doesburg

Op dit moment bevindt het bedrijf Rotra zich in Doesburg. Hier worden alle logistieke diensten verleent en dit is ook de plek waar de Terberg Yard Trackers op het distributiecentrum rondrijden om de trailers naar de verschillende dock-deuren te brengen. Sinds kort heeft Rotra niet alleen de mogelijkheid om wegtransport te distribueren, maar kan er middels de nieuwe containerterminal ook watertransport in Doesburg plaatsvinden. Deze containerterminal ligt aan de rivier de IJssel en zodoende kunnen ook containerschepen in Doesburg aanmeren, waardoor Rotra de verbinding tussen Gelderland met Duitsland en de rest van Europa aanzienlijk versterkt. De exacte locatie is in figuur 4-1 weergegeven, waar de gele pijlen een indicatie geven van de binnenkomende water- en wegtransport.



Figuur 4-1: Huidige locatie Rotra (Google Earth, 2016)

In dit hoofdstuk zal deelvraag 3 behandeld worden. Ten eerste wordt er gekeken naar de Yard Trackers van Terberg die de werkzaamheden op het distributiecentrum momenteel uitvoeren. Zo kunnen alle specificaties van deze voertuigen worden opgesteld om aan de hand daarvan om te schakelen naar de vereisten van de batterij/oplaadmethode om alle werkzaamheden goed uit te kunnen voeren voor Rotra. De werkzaamheden op de huidige locatie worden in beeld gebracht om zo een analyse van de vereisten voor de toekomstige AGV's te maken die op het nieuwe cross-dock moeten functioneren. Vervolgens worden de vereisten in een overzicht weergegeven. In hoofdstuk 5 zal dan de omslag naar de nieuwe locatie worden gemaakt om te kijken hoe de geschikte oplaadmethodes voldoen aan deze vereisten en om een adequate afstemming van de benodigde AGV's te maken.

4.1. Terberg Yard Trackers

Terberg produceert drie verschillende soorten terreintrekkers, waarvan de YT202-EV het enige model is met een geheel elektrische aandrijving. Dit resulteert erin dat de batterijen allen elektrisch opgeladen moeten worden. Daarom worden de specificaties van de YT202-EV weergegeven in figuur 4-2 hier bekeken, omdat die op het distributiecentrum van Rotra rondrijden en in de toekomst geautomatiseerd worden. Dit model beschikt over een 138 kW motor die in staat is om trailers te verplaatsen op het distributiecentrum van Rotra. Daarbij wordt gemiddeld 22 kWh gebruikt om een trailer te verplaatsen. De batterij kan tussen de 4 (113 kWh) en 6 (169 kWh) uur meegaan alvorens er opgeladen moet worden. Om de batterij weer volledig op te laden, door middel van de elektrische plug-in, kost ongeveer 2 tot 3 uur. Dus kan er gesteld worden dat de minimale laadsnelheid van de YT202-EV, als de batterij 6 uur meegaat en 3 uur aan laadtijd nodig heeft, gelijk is aan $169/3 = 56$ kWh/h. Dit is de belangrijkste specificatie van de Yard Trackers, omdat deze laadtijd ook met behulp van de automatische laadmethode en batterij van de AGV gerealiseerd zal moeten worden. Op dit moment maakt Rotra gebruik van twee YT202-EV voertuigen en om de werkzaamheden met twee AGV's goed te laten verlopen zal de laadtijd gelijk of sneller moeten zijn met de alternatieven. Daarbij zullen ook minstens twee AGV's gebruikt moeten worden bij het nieuwe distributiecentrum.



Figuur 4-2: Terberg YT202-EV (Terberg Benschop, 2015)

4.2. Distributiecentrum

Op het distributiecentrum in Doesburg komen gemiddeld 150 vrachtwagens per dag binnen die allen met een Terberg Yard Tracker vervoert moeten worden. Voor het nieuwe distributiecentrum in Velp wordt getracht om 400 vrachtwagens per dag te verwerken. Deze vrachtwagens moeten vervolgens allen gelost/geladen worden op het distributiecentrum. Deze acties worden aan de achterkant van de trailer gedaan, dus de Yard Trackers moeten de trailers met de achterzijde richting de dock-deuren van een bepaald dock rijden. Verder moet er tijdens het afhandelen van de vrachtwagens en het opladen van de toekomstige AGV's een duidelijk onderscheid zijn in de menselijke en automatische taken. Zo zullen de werknemers de automatische processen niet in de weg moeten staan door opeens andere werkzaamheden op het distributiecentrum uit te voeren. Verder zal er in het beginstadium te alle tijden menselijk toezicht moeten zijn om mogelijke fouten op het distributiecentrum te kunnen corrigeren. Tevens is er logischerwijs de wens dat producten zolang als mogelijk mee gaan. Daarom is één van de vereisten ook dat de AGV's met bijbehorende

oplaadtechniek een lange levensduur hebben. Daarnaast is het uiteraard te alle tijden gewenst dat de kosten voor de oplaadtechniek zo laag als mogelijk zijn.

4.3. Conclusie

In dit hoofdstuk worden de vereisten voor het oplaadsysteem gegeven. Op deze manier wordt gekeken waaraan de automatische oplaadtechniek moet voldoen om goed te kunnen functioneren voor Rotra. Daarbij is de huidige Terberg YT202-EV bekeken om zo een indicatie te krijgen welke vereisten er zullen zijn voor een toekomstige AGV, er vanuit gaande dat de karakteristieken van een AGV nagenoeg gelijk zullen zijn aan die van een YT202-EV. Daarnaast zijn de vereisten van de distributiecentra van Rotra in beeld gebracht. Op deze manier is deelvraag 3 beantwoord, waar alle vereisten voor een oplaadsysteem weerlegd zijn. De volgende vereisten zijn genoemd:

- Batterijen moeten elektrisch opgeladen worden.
- Maximale laadtijd gegeven de batterijcapaciteit (169 kWh) = 3 uur (56 kWh/h).
- Minstens 2 AGV's op het distributiecentrum om de werkzaamheden uit te voeren.
- Afhandeling van 400 voertuigen per dag op het nieuwe distributiecentrum.
- Laden/lossen aan de achterkant van de trailer.
- Duidelijk onderscheid in menselijke en automatische processen.
- Menselijk toezicht om eventuele fouten te kunnen corrigeren.
- De AGV's met bijbehorende oplaadtechniek moeten een zo lang als mogelijke levensduur hebben.
- De kosten voor de oplaadtechniek moeten zo laag als mogelijk zijn.

5. Toekomstige locatie: Rotra in Velp

De nieuwe locatie is strategisch gepositioneerd in de buurt van Velp, gelegen tussen de rivier de IJssel en de A348 snelweg, zoals in figuur 5-1 is weergegeven. Hierdoor heeft Rotra op het toekomstige terrein wederom de mogelijkheid om zowel weg- als watertransport af te handelen. In dit hoofdstuk zullen deelvragen 4 en 5 beantwoord worden voor de goed scorende oplaadsystemen: de robot plug-in, het inductieladen en de renewable energy methodes. Zo kan een indicatie worden verkregen of de oplaadsystemen in staat zijn om aan de vereisten van het distributiecentrum te voldoen en of er op basis van deze eisen een afweging gemaakt kan worden van het aantal benodigde AGV's.



Figuur 5-1: Toekomstige locatie Rotra (Google Earth, 2016)

De belangrijkste vereisten die voor het oplaadsysteem naar voren zijn gekomen uit Hoofdstuk 4 is dat de laadtijd het liefst drie uur of minder moet zijn, de levensduur van de oplaadtechniek het liefst vijf jaar of meer bedraagt en de kosten zo laag als mogelijk zijn. Deze vereisten zullen voor de goed scorende oplaadalternatieven op de performance criteria bekeken worden om een indicatie te krijgen in welke mate ze aan de gestelde eisen voldoen.

5.1. Robot plug-in

De snakebot lader biedt een mooie mogelijkheid om de AGV's, met een kleine aanpassing aan de huidige oplaadmethode, automatisch van energie te voorzien. Momenteel wordt de plug-in menselijk bestuurd bij Rotra, waardoor dit proces zeer gemakkelijk kan worden omgeschakeld. Met de capaciteiten van een single charger kan er 11kWh/h geladen worden wat ervoor zorgt dat de batterij (169kWh) van de huidige Terberg YT202-EV binnen iets meer dan 15 uur volledig opgeladen zal zijn. Gezien de karakteristieken van de supercharger, met een maximale laadsnelheid van 120kWh/h kan de Yard Tracker binnen ongeveer anderhalf uur volledig geladen worden. Het verschil in laadtijd tussen de snakebot met single charger eigenschappen of de snakebot met supercharger eigenschappen is aannemelijk te noemen. Op het moment dat een toekomstige AGV, met dezelfde batterijcapaciteit als de huidige Yard Trackers, er 15 uur over doet om zichzelf weer volledig op te laden dan gaat dit

behoorlijk wat complicaties met zich meebrengen. In dat geval zullen er zeker meerdere AGV's nodig zijn om de werkzaamheden goed uit te blijven voeren. 15 uur aan laadtijd zorgt er echter voor dat de toekomstige AGV meer dan de helft van de dag aan de oplader ligt, wat uiteraard geen effectieve oplaadstrategie is.

De bestaande superchargers kunnen dus beter gebruik gaan maken van het snakebot systeem om zo eventueel de robot plug-in in Velp te verwezenlijken. De anderhalf uur laadtijd zorgt ervoor dat er sneller geladen kan worden dan momenteel gebeurt. Dit heeft positieve gevolgen voor de inzet van de AGV's, omdat ze logischerwijs langer rond kunnen rijden op het terrein als ze minder aan de oplader moeten. De kosten die momenteel voor superchargers worden gehanteerd liggen enigszins hoog en als hierop nog een snakebot systeem wordt losgelaten zullen deze kosten nog hoger komen te liggen. Alleen hebben de superchargers op dit moment een lange levensduur, die sowieso boven de 5 jaar ligt, waardoor deze kosten over meerdere jaren afgeschreven zouden kunnen worden. Doordat de ontwikkelingen van het snakebot systeem zich nog in het conceptstadium bevinden zal er de komende jaren nog behoorlijk wat gedaan moeten worden om Rotra de beschikbaarheid te geven over een snakebot, die in dit geval met supercharger karakteristieken kan functioneren. In dat geval zou het een welkome techniek kunnen zijn die voor weinig verandering zal zorgen en in staat is om de werkzaamheden nagenoeg intact te houden met de ingecalculerde hoeveelheid AGV's.

5.2. Inductieladen

Voor het inductieladen kan zoals eerder vermeld gekozen worden om gebruik te maken van stationaire inductie of een inductietrack. Het grote verschil in de twee methodes is dat bij stationaire inductie de AGV daadwerkelijk tot stilstand moet komen om net als de robot plug-in een zekere tijd opgeladen te worden. Voor de inductietrack geldt dit niet, waardoor de voertuigen in principe gehele dagen kunnen rondrijden mits er genoeg energie gegenereerd kan worden uit de track. Allereerst zal gekeken worden of de stationaire inductiemethode aan de vereisten voldoet, waarna hetzelfde voor de inductietrack wordt gedaan.

Voor de stationaire inductie bestaat het bus-systeem dat tijdens stilstand rond de 30kWh/h geladen kan worden. Dat zou in het geval van de YT202-EV betekenen dat er 5-6 uur nodig is om de batterij volledig op te laden. Dit is enigszins hoger dan de huidige laadtijd, maar dit hoeft niet te betekenen dat deze oplossing meteen van de baan is. Er zou namelijk gekozen kunnen worden om meerdere AGV's aan te schaffen of een combinatie met een andere laadtechniek te maken om zo de werkzaamheden goed uit te blijven voeren. Het systeem is al op de markt en daarom zou Rotra dit bijvoorbeeld kunnen toepassen op een aantal parkeerplaatsen op het terrein. In kosten zal het systeem niet erg verschillen van de robot plug-in. Het voornaamste voordeel dat hier wordt behaalt is dat er geen aanschaf voor "automatische technieken" als de snakebot meer benodigd is. Door spoelen in de voertuigen en grond van een parkeerplek te plaatsen kan het proces in gang worden gezet. Doordat alleen één of meerdere parkeerplaatsen voor de AGV's de magnetische velden hoeven op te wekken zullen de aanschafkosten meevallen en enigszins lager liggen dan de robot plug-in. Waarbij de levensduur van het systeem, net als de robot plug-in, lang zal zijn.

Naast het bus-systeem is het inductieproces voor elektrische voertuigen ook in kaart gebracht, wat nog in de ontwikkelingsfase is. Hier zal ongeveer 7kWh/h geleverd kunnen worden. Dit is 4kWh/h lager dan de single chargers van Tesla, waardoor de laadtijd nog langzamer zal zijn. Deze 7kWh/h wordt geschat door producenten van BMW en Mercedes, waarbij de batterijcapaciteit van hun voertuigen betrekkelijk lager zal zijn (Autozine, 2016). De 169kWh batterijcapaciteit van de YT202-EV is nodig om de zware werkzaamheden met de trailers uit te kunnen voeren. Conventionele voertuigen als de BMW i3-modellen beschikken bijvoorbeeld over een 33kWh batterij en in dat geval zal de 7kWh/h laadsnelheid van het inductieproces wel rijken (Autozine, 2016). Maar voor de batterijcapaciteit die benodigd is voor de toekomstige AGV's is de stationaire inductiemethode voor de elektrische auto's voorlopig nog niet geschikt.

De inductietrack zorgt aan de andere kant voor de kleine energievoorzieningen als voertuigen eroverheen rijden. Daarbij wordt in het 13 meter concept een laadsnelheid van nagenoeg 9kWh/h behaald. Alleen rijden de voertuigen er in korte tijd overheen, waardoor ze telkens deels geladen worden. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het aanbrengen van een track op de rijweg van de AGV. Zo kan er gekozen worden om iedere keer als de AGV een nieuwe trailer gaat ophalen en deze naar één van de dock-deuren brengt, het voertuig eerst even over de inductietrack te laten rijden zodat er weer voldoende energie is om de taken uit te voeren. Daarbij kan tevens gekozen worden om de inductietrack te verlengen om meer stroom te genereren. Net als met de stationaire inductie zullen spoelen in de onderkant van het voertuig aangebracht moeten worden. Doordat er meer oppervlak aan "inductiesysteem" nodig is om de inductietrack te realiseren zullen de kosten hiervan iets hoger liggen dan die van de stationaire inductie. Maar hierbij is het grote voordeel dat de AGV's 24 uur per dag kunnen functioneren indien ze genoeg energietoevoer krijgen.

5.3. Renewable Energy

Duurzame energie heeft veel ontwikkelingen gehad op vooral de zonne- en windenergie vlakken. De vormen van zonne-energie leveren echter te weinig energie om binnen reële tijd de batterij van een AGV op te laden. De zonnecarport is in staat om 1,2 kWh/h per parkeerplaats toe te brengen, waar de zonnepanelen op de voertuigen zelf gemiddeld maar 16Wh/h m² leveren. Met behulp van windmolens kan er wel meer dan genoeg energie geleverd worden (800kWh/h), maar moet deze stroom altijd vanuit het net worden toegevoerd aan de AGV's. Waarbij dus weer een andere methode gebruikt dient te worden. Voor de verschillende vormen van renewable energy toevoer kan dus geconcludeerd worden dat een combinatie met één van de andere alternatieven noodzakelijk is, omdat het niet mogelijk is om uitsluitend duurzame energie te gebruiken om de 169kWh batterijcapaciteit snel te laden.

De robot plug-in zou bijvoorbeeld gecombineerd kunnen worden met zonne- of windenergie en daarnaast kan het ook een mogelijkheid zijn om een inductievorm samen te voegen met een duurzaam alternatief. Zo heeft Rotra de mogelijkheid om niet alleen automatische oplaadmethodes te gebruiken, maar ook deels duurzame energie te gebruiken op haar distributiecentrum. De duurzame methodes hebben allen een lange levensduur (25-30 jaar) en kunnen dus voor zeer lange periodes worden aangeschaft. Dit heeft als voordeel dat

Rotra er amper nog omkijken naar heeft en toch uitstraalt dat het nieuwe distributiecentrum met duurzame energiebronnen deels wordt aangestuurd.

5.4. Conclusie

In dit hoofdstuk is gekeken of de best scorende oplaadmethodes op de criteria in staat zijn om aan de gestelde vereisten van hoofdstuk 4 te voldoen. Verder is gekeken of er meer of minder AGV's nodig zullen zijn als de laadsnelheden van deze oplaadmethodes worden vergeleken met de huidige situatie. Op deze manier zijn deelvragen 4 en 5 onderzocht.

Allereerst is de robot plug-in onderzocht, waar geconcludeerd kan worden dat de snakebot met single charger karakteristieken met de 11kWh/h laadsnelheid er te lang (± 15 uur) over doet om een AGV volledig op te laden. Als de snakebot wordt gebruikt zal de 120 kWh/h laadsnelheid van de supercharger gebruikt moeten worden, zodat deze laadtechniek er maar anderhalf uur over doet om de AGV op te laden. De kosten voor de Tesla supercharger liggen momenteel relatief hoog. Echter, heeft de supercharger een lange levensduur waardoor de aanschaf van het systeem over meerdere jaren afgeschreven kan worden. Daarnaast zal er weinig aan het distributiecentrum hoeven te veranderen, omdat de huidige plug-in methode simpelweg wordt omgezet tot een automatische snakebot. De robot plug-in kan dus zeker als een goede techniek voor de nieuwe locatie worden gezien, mits de supercharger karakteristieken worden doorgevoerd.

Naast de robot plug-in is het inductieladen getest ten opzichte van de vereisten. Daarbij is gekeken naar zowel het stationaire inductieladen als het gebruik van een inductietrack. Als voor de stationaire inductie dezelfde laadsnelheid als het bus-systeem (30kWh/h), beschreven in Paragraaf 3.2.1., gerealiseerd kan worden is het een reële optie waarbij 5-6 uur aan laadtijd nodig is. Dit zorgt er wel voor dat er meerdere AGV's nodig zijn als we het vergelijken met de huidige laadtijd, maar dit hoeft niet per se een nadeel te zijn. Er hoeven voor deze methode maar een aantal parkeerplaatsen omgebouwd te worden, waardoor dit in kosten nog zal meevallen. Net als de robot-plug in heeft het systeem een lange levensduur en is het dus ook toepasbaar voor het distributiecentrum. De inductietrack zorgt er aan de andere kant voor dat de AGV's 24 uur lang de werkzaamheden kunnen uitvoeren, mits ze genoeg energietoevoer krijgen van de inductie. Dit is afhankelijk van vooral de lengte van de inductietrack, want als deze zo lang als mogelijk is en de AGV er veelvuldig op de dag overheen rijdt zou dit toereikend kunnen zijn. De kosten voor een track zullen wel hoog uitvallen, maar daarbij is het wel een groot voordeel dat de AGV niet meer hoeft stil te staan om op te laden.

Duurzame energie heeft veel potentie als laadtechniek, maar het is niet mogelijk om uitsluitend gebruik te maken van deze technieken om de AGV-batterij volledig op te laden. De zonne-energie levert met de gegeven voorbeelden te weinig energie per uur, waardoor de AGV's ontzettend lang nodig zouden hebben om volledig op te laden. De windenergie geeft daarentegen meer dan genoeg energie, maar deze energie wordt opgeslagen in het net. Dat wil zeggen dat er altijd een andere oplaadtechniek vereist is om deze stroom vanuit het net toe te voeren aan een AGV. Daarom kan geconcludeerd worden dat de renewable energy technieken niet toereikend zijn als ze losstaand worden gebruikt. In combinatie met de robot plug-in of de inductielaadtechnieken zou dit eventueel wel kunnen, zodat de energievoorziening in dat geval wel genoeg is.

6. Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk bespreekt allereerst de voorgaande hoofdstukken en benadrukt daarin de conclusies van dit onderzoek. Daarnaast worden de aanbevelingen met betrekking tot de automatische oplaadmethodes gegeven, alvorens er wordt afgesloten met een discussie waarin de beperkingen van dit onderzoek bekeken worden en suggesties voor verder onderzoek worden gedaan.

6.1. Conclusies

Dit onderzoek legt de focus op automatische oplaadmethodes voor een AGV waarbij het doel is om de meeste effectieve oplaadmethode uit dit onderzoek te achterhalen. Hieronder worden de belangrijkste vondsten per onderzoeksvraag behandeld.

1: Wat zijn de verschillende mogelijkheden om een batterij automatisch op te laden en wat is hun performance?

Er is een raamwerk van methodes gegeven om automatisch op te laden:

- **Robot-plug in**
 - Single charger
 - Supercharger
- **Inductieladen**
 - Stationaire inductie
 - Inductietrack
- **Renewable energy**
 - Zonne-energie
 - Zonnepanelen op elektrische voertuigen
 - Zonnecarport
 - Windenergie
 - Windmolen
- **Docking station**
- **Battery replacement**

Deze oplaadmethodes zijn allen gescoord ten opzichte van een viertal criteria. Deze criteria zijn laadsnelheid, levensduur, kosten en betrouwbaarheid.

Criterium	Best scorende alternatieven	Slechtst scorende alternatieven
Laadsnelheid	○ Robot plug-in (supercharger) ○ Windmolen	○ Zonnecarport ○ Zonnepanelen op elektrische voertuigen
Kosten	○ Robot plug in (single charger) ○ Zonnepanelen op elektrische voertuigen	○ Docking station ○ Battery replacement systeem ○ Windmolen
Levensduur	○ Zonnecarport ○ Zonnepanelen op voertuigen	○ Docking station ○ Battery replacement systeem
Betrouwbaarheid	○ Windmolen ○ Inductietrack	○ Zonnepanelen op elektrische voertuigen ○ Battery replacement systeem

De best scorende en slechtst scorende alternatieven zijn per criterium gegeven. Hieruit volgt dat het docking station en het battery replacement systeem slecht scoren op veel onderdelen. De andere laadmethodes: robot plug-in, inductieladen en renewable energy scoren op bepaalde onderdelen erg goed en deze methodes zijn dus intensiever onderzocht.

2: In hoeverre en op welke wijze maken vergelijkbare voertuigen momenteel gebruik van een automatische oplaadmethode?

Om de oplaadmethodes van deelvraag 1 goed te kunnen onderzoeken zijn vergelijkbare voertuigen bekeken die momenteel gebruik maken van een dergelijke methode. Voor de robot-plug in is gekeken naar het automerk Tesla, waar de single charger en superchargers voor de conventionele auto's onderzocht zijn. Daarnaast is bij het inductieladen gekeken naar de BMW & Daimler technieken om te onderzoeken hoe die gebruik maken van stationaire inductie. Verder wordt zonne-energie gebruikt door verschillende vergelijkbare voertuigen. De BMW i-voertuigen maken al gebruik van een zonnecarport en aan de hand daarvan zijn de specificaties beschreven. Verder zijn Solar Challenge auto's onderzocht om een indicatie te krijgen van de mogelijkheden om zonnepanelen te plaatsen op voertuigen. Als laatste is bij het docking station gekeken hoe een AGV Forklift gebruik maakt van een soortgelijk laadstation. Er zijn dus veel, enigszins vergelijkbare voertuigen, die gebruik maken van een automatische oplaadmethode. Daarbij is de kennis van soortgelijke voertuigen gebruikt om de oplaadmethodes adequaat te onderzoeken.

3: Welke vereisten zijn er voor het oplaadsysteem van het automatisch geleide voertuig met bijbehorende batterij om goed te kunnen functioneren voor Rotra?

Er is in dit onderzoek gekeken naar de vereisten van de huidige Terberg YT202-EV om zo een indicatie te krijgen welke vereisten er zijn voor een toekomstige AGV. Daarnaast zijn de vereisten voor het huidige distributiecentrum en het toekomstige distributiecentrum van Rotra in beeld gebracht. Aan de volgende eisen moet het oplaadsysteem voldoen om goed te kunnen functioneren:

- Batterijen moeten elektrisch opgeladen worden.
- Maximale laadtijd gegeven de batterijcapaciteit (169 kWh) = 3 uur (56 kWh/h).
- Minstens 2 AGV's op het distributiecentrum om de werkzaamheden uit te voeren.
- Afhandeling van 400 voertuigen per dag op het nieuwe distributiecentrum.
- Laden/lossen aan de achterkant van de trailer.
- Duidelijk onderscheid in menselijke en automatische processen.
- Menselijk toezicht om eventuele fouten te kunnen corrigeren.
- De AGV's met bijbehorende oplaadtechniek moeten een zo lang als mogelijke levensduur hebben.
- De kosten voor de oplaadtechniek moeten zo laag als mogelijk zijn.

4: Welke oplaadsystemen zijn er momenteel op de markt en in hoeverre voldoen deze aan de eisen gesteld bij deelvraag 3?

De methodes voor de robot plug-in, het inductieladen en renewable energy zijn getest ten opzichte van de vereisten van deelvraag 3. Daarbij zijn vooral de laadsnelheid, levensduur en bijkomende kosten onderzocht. De robot plug-in met supercharger karakteristieken en de vormen van inductieladen zijn in staat om als alleenstaande oplaadmethode te functioneren op het distributiecentrum. Daarbij lopen vooral de robot plug-in met supercharger eigenschappen en de inductietrack hoog in de kosten. Echter, hebben ze wel weer een lange

levensduur en kunnen ze in de komende vier jaar nog verder ontwikkelt worden zodat de betrouwbaarheid van de methodes ook hoger komt te liggen. De vormen van renewable energy hebben veel potentie, maar kunnen niet losstaand functioneren op het distributiecentrum vanwege de lage laadsnelheden. Ditzelfde geldt voor de robot plug-in met single charger eigenschappen. Deze oplaadmethodes zijn wel goedkoper dan de eerstgenoemde methoden, maar doordat ze langzaam laden betekent dit dat er veel meer AGV's nodig zijn om de werkzaamheden uit te voeren. Dit wordt bij deelvraag 5 verder beantwoordt.

5: *Op welke wijze kan het oplaadsysteem afgestemd worden op het aantal automatisch geleide voertuigen?*

De huidige laadtijd van een YT202-EV is ongeveer 3 uur, wat betekent dat de batterij van 169kWh met een gemiddelde laadsnelheid van 56kWh/h wordt geladen. De twee onderzochte laadtechnieken die een snellere laadsnelheid hebben zijn de robot plug-in met supercharger karakteristieken (120kWh/h) en de windmolen (800kWh/h). Daarbij is de robot plug-in de enige methode die direct energie kan toevoeren aan een AGV, waarbij de totale laadtijd ongeveer anderhalf uur is. Dit betekent dat er twee keer zo snel geladen wordt in vergelijking tot de huidige laadtijd van een YT202-EV. Dit heeft een positieve invloed op het aantal benodigde AGV's. De windmolen levert nog veel sneller energie dan de robot plug-in, maar heeft een andere oplaadmethode nodig om de windenergie vanuit het net toe te voeren aan een AGV. Aan de andere kant zorgt de inductietrack ervoor dat de AGV's 24 uur per dag kunnen rondrijden als ze genoeg energietoevoer van de track krijgen. Dit heeft ook een positieve invloed op het aantal benodigde AGV's, omdat de werkzaamheden continu door kunnen gaan. Om een exact aantal benodigde AGV's te berekenen moet gebruik gemaakt worden van een simulatiemodel. Dit wordt bij de suggesties voor verder onderzoek onder paragraaf 6.3. toegelicht.

De overige methodes hebben alle een lagere laadsnelheid dan momenteel. De robot plug-in met single charger karakteristieken doet er met de 11kWh/h meer dan 15 uur over om een AGV met batterijcapaciteit 169kWh volledig op te laden. De stationaire inductie, mits het volgens het beschreven bus-systeem met 30kWh/h laadt, doet er vijf tot zes uur over. In beide gevallen betekent dit dat er meer AGV's nodig zullen zijn dan bij gebruik van de huidige plug-in methode voor de YT202-EV, omdat er simpelweg langzamer geladen wordt. Daarentegen zijn de vormen van zonne-energie niet toereikend genoeg, omdat ze er veel te lang over doen om de huidige batterijcapaciteit van 169 kWh op te laden. Dit geldt zowel voor de zonnecarport (1,2 kWh/h) als de zonnepanelen (16Wh/h per m²) op de voertuigen.

6.2. Aanbevelingen

Na de multi-criteria analyse zijn de drie overkoepelende automatische oplaadmethodes toegelicht, waarbij alle voor- en nadelen besproken zijn. Daaruit blijkt dat de robot plug-in en het inductieladen de technieken zijn die in staat zijn om losstaand te functioneren, omdat ze beide goed scoren op veel criteria. In deze paragraaf wordt gekeken welke oplaadtechniek het meest effectief is voor Rotra en dus aanbevolen wordt om te gebruiken.

Voor de laadsnelheid is de robot plug-in met supercharger eigenschappen met uitstek het meest geschikt om toe te passen op het nieuwe distributiecentrum. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de beschreven snakebot die geheel automatisch inplugt. De aanpassingen die met deze snakebot gedaan moeten worden op het distributiecentrum zijn laag, omdat de plug-in alleen geautomatiseerd wordt. Dit in tegenstelling tot het inductieladen waar voor de stationaire inductie volledige parkeerplaatsen omgebouwd moeten worden en er voor de inductietrack een hele weg opnieuw gebouwd moet worden. Verder is de levensduur van het systeem lang en kan de techniek in de komende vier jaar tijd verder ontwikkelt worden waardoor de betrouwbaarheid ook goed zal zijn. De kosten van het systeem zijn aannemelijk, omdat de supercharger van Tesla momenteel al behoorlijk duur is en dit door middel van automatisatie nog wat duurder zal worden. Maar de kosten voor het inductieladen zijn ook hoog, waarbij vooral de inductietrack erg duur zal zijn vanwege de aanleg van een lange baan met inductiespoelen.

Vanwege deze redenen wordt aanbevolen om de “supercharger snakebot” te gebruiken op het nieuwe distributiecentrum. Deze techniek kan eventueel in combinatie met zonne-energie gebruikt worden. Zo zouden zonnepanelen op de AGV of het distributiecentrum geplaatst kunnen worden, zodat Rotra ook op een duurzame wijze energie genereert. Daarnaast kan er ook een zonnecarport gebouwd worden naast de robot plug-in om hier nog extra energie te genereren. De optie tot windenergie valt in dit onderzoek af, omdat de kosten hiervan abnormaal hoog liggen. Naast de robot plug-in komt uit dit onderzoek dat de inductietrack tevens een goede automatische oplaadmethode is. Daarbij heeft de track als groot voordeel, in tegenstelling tot de stationaire inductie, dat de werkzaamheden 24 uur per dag kunnen doorgaan, mits de track genoeg energie levert. Hier zal nog verder onderzoek naar gedaan moeten worden als Rotra dit daadwerkelijk wil gaan gebruiken, zodat zekerheid geboden wordt dat de track genoeg kWh aan energie kan leveren. Daarom zal vooral bepaald moeten worden hoe lang de inductietrack zal moeten worden om genoeg energie toe te voeren aan de AGV, iedere keer als deze eroverheen rijdt. Waarbij de inductietrack eventueel ook in combinatie met zonne-energie kan worden gebruikt, zodat Rotra tevens duurzaam oplaadt.

Samenvattend wordt in dit onderzoek aan Rotra het volgende aanbevolen:

- 1. Robot plug-in:** snakebot met supercharger karakteristieken, eventueel in combinatie met zonne-energie.
- 2. Inductietrack,** eventueel in combinatie met zonne-energie.

Uiteraard is het aan het bedrijf zelf om de uiteindelijke keuze te maken, maar gezien de analyse die in dit onderzoek gemaakt is zijn de snakebot met supercharger karakteristieken en de inductietrack de twee beste alternatieven. Waarbij de snakebot net iets effectiever wordt geacht voor het nieuwe distributiecentrum.

6.3. Discussie

Hier zullen de beperkingen van het onderzoek besproken worden. De twee discussiepunten die hier aangekaart worden zijn de betrouwbaarheid van een aantal verkregen resultaten en de invloed van patenten op de onderzochte methodes. Als laatste wordt afgesloten met een aantal suggesties voor verder onderzoek, zodat andere onderzoekers binnen het INTRALOG project deze in acht kunnen nemen.

6.3.1. Betrouwbaarheid resultaten

Aangezien gedurende dit onderzoek vier criteria zijn vastgesteld om de oplaadalternatieven met elkaar te kunnen vergelijken is het van belang dat ze allen een score op ieder criterium toegekend kregen. Voor de criteria laadsnelheid en betrouwbaarheid (jaren op de markt) is het gelukt om dit voor elk alternatief te kwantificeren. Voor de overige criteria kosten en levensduur kon er echter alleen op basis van schatting worden gescoord, omdat de kosten van methodes vaak niet bekend zijn in de literatuur en de levensduur erg kan variëren per product en dus een discutabel principe is. Daarom valt de betrouwbaarheid van de scores op deze criteria te discussiëren. Door middel van een schaalverdeling kon wel gekeken worden hoe een bepaald oplaadalternatief op deze criteria scoort ten opzichte van een andere methode, maar kwantificering zou de scores op de criteria sterker kunnen maken.

6.3.2. Patenten

Naast de betrouwbaarheid van de resultaten zijn de mogelijke patenten die op de oplaadalternatieven kunnen zitten een discussiepunt. Tijdens dit onderzoek zijn de patenten achterwege gelaten, waardoor het zo kan zijn dat bedrijven patent hebben op een bepaalde methode en daardoor het implementeren van een specifiek alternatief lastig zal zijn. Vooral de methodes die echt door de bedrijven voor specifieke doeleinden zijn ontwikkelt kunnen over patent beschikken. De snakebot lader van Tesla is hier een goed voorbeeld van. Deze automatische oplaadmethode is door Tesla zelf ontwikkelt en het is maar de vraag of ze de techniek hierachter zomaar prijsgeven. Als de integratie van een bepaalde oplaadtechniek op het distributiecentrum wordt verwezenlijkt zal hier dus nog naar gekeken moeten worden.

6.3.3. Suggesties voor verder onderzoek

Dit onderzoek heeft een raamwerk gegeven van automatische oplaadmethodes, waarin een performance analyse is uitgevoerd per alternatief. Echter, zijn er een aantal onderdelen die nog verder onderzocht kunnen worden om ervoor te zorgen dat de uiteindelijke techniek adequaat geïmplementeerd kan worden op de nieuwe locatie. Een aantal suggesties worden hier gedaan:

- Een goede locatie voor het plaatsen van een oplaadsysteem dient onderzocht te worden. Er is in dit onderzoek gefocust op de performance van methodes, maar uiteindelijk moet het systeem ook op het distributiecentrum geplaatst worden. In overleg met Rotra zal hier een goede locatie voor moeten worden gevonden.
- In de software van de AGV's moet worden opgenomen dat ze met behulp van een laadstrategie op een bepaald tijdstip richting het laadstation rijden als ze opgeladen dienen te worden.
- Een simulatiemodel kan gebruikt worden om een goede afweging te maken van het aantal benodigde AGV's gegeven de performance van het oplaadsysteem. Zo kan door simulatie een indicatie worden verkregen van de consequenties voor de

werkzaamheden, voordat het oplaadsysteem daadwerkelijk in gebruik wordt genomen.

- De mogelijke patenten op de automatische oplaadmethodes moeten onderzocht worden voordat daadwerkelijke implementatie van een laadtechniek gedaan kan worden.

6.4. Feedback eindgebruiker Rotra

Ter afronding van dit onderzoek zijn alle resultaten en aanbevelingen met de uiteindelijke eindgebruiker Rotra besproken. Tijdens dit eindoverleg hebben dhr. Roelofsen en dhr. Nagtegaal uitgebreid feedback gegeven. Zo waren ze zeer positief over de uiteindelijke aanbevelingen, waarbij ze vooral positief gestemd zijn over de inductietrack. Ze zagen zeker potentie in deze track op het automatische distributiecentrum, waardoor dit een oplossing is die ze zeker in acht zullen nemen. Doordat de werkzaamheden 24 uur per dag voortgezet kunnen worden met deze laadtechniek wordt dit als een zeer bruikbare methode gezien. Daarbij moet nog wel onderzocht worden hoe lang deze inductietrack zal moeten zijn om genoeg energie te kunnen genereren. Tevens moet een goede locatie worden gevonden om de track neer te leggen en zal middels een simulatiemodel verder onderzocht moeten worden hoe de laadtechniek daadwerkelijk zal functioneren op het distributiecentrum. Maar de oplaadmethode vonden ze zeer geschikt en daarbij wouden ze graag dat hier verder onderzoek naar gedaan zal worden.

Daarnaast vonden ze de aanbevolen robot plug-in een betrouwbare en originele oplossing die zeer geschikt zou kunnen zijn voor de AGV's. Daarbij was vooraf de inschatting gemaakt dat ze de snakebot een leuke, maar veel te dure oplaadtechniek zouden vinden. Achteraf bleek dat ze het helemaal niet te duur vonden en er zelfs over nadachten om meerdere snakebots aan te schaffen. Op deze manier zouden ze in combinatie met de inductietrack de AGV's van meer dan genoeg energie kunnen voorzien waardoor de werkzaamheden 24 uur per dag uitgevoerd kunnen worden. Dus waar ik van tevoren dacht dat ze één van beide aanbevelingen zouden willen aanschaffen waren ze echter bereid om meerdere oplaadtechnieken te combineren. Waarbij ze erg positief waren over de voorgestelde laadtechnieken, waardoor ik hier zeker voldoening uit heb gehaald.

Verder werd nog wel aangeraden om eens onderzoek te doen naar de oplaadmogelijkheden die er zijn met waterstof. In deze vorm van duurzame energie zagen ze bij Rotra nog potentie en daarom is dit een onderdeel wat nog kort is meegenomen in dit onderzoek. Echter moet er in een vervolgstudie intensiever gekeken worden naar waterstofladen om aan deze wens van Rotra te voldoen. Al met al waren ze zeer tevreden met de verkregen resultaten en zouden ze de aanbevelingen zeker in acht nemen bij de bouw van het nieuwe distributiecentrum. Het eindgesprek gaf dus de bevestiging dat het onderzoek voor Rotra zeer nuttig is geweest.

Bronnenlijst

Artikelen

Agarwal, V., Aggarwal, R.K., Patidar, P. & Patki, C. (2010). A Novel Scheme for Rapid Tracking of Maximum Power Point in Wind Energy Generation Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol 25, No 1.

Bellekom, S., Benders, R., Pelgröm, S., Moll, H. (2012). Electric cars and wind energy: Two problems, one solution? A study to combine wind energy and electric cars in 2020 in The Netherlands. *Energy* 45, 859-866.

Brooks, A.N. and Thesen, S.H. (2007). PG&E and Tesla Motors: Vehicle to Grid Demonstration and Evaluation Program

Covic, G.A., Boys, J.T., Michael, L., Kissin, G., & Lu, H.G. (2007). A Three-Phase Inductive Power Transfer System for Roadway-Powered Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 54, No 6.

ECORYS Nederland BV. (2008). Handleiding voor kosten-batenanalyses in het sociale domein.

Eurelectric. (2015). SMART CHARGING: Steering the charge, driving the change.

Hamilton, C., Gamboa, G., Elmes, J., Kerley, R., Arias, A., Pepper, M., Shen, J. & Batarseh, I. (2010). System Architecture of a Modular Direct-DC PV Charging Station for Plug-in Electric Vehicles.

Heerkens, H., & van Winden, A. (2012). Geen Probleem – Een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries.

Ho, S.L., Wang, J., Fu, W.N., & Sun, M. (2011) A Comparative Study Between Novel Witricity and Traditional Inductive Magnetic Coupling in Wireless Charging. *IEEE Transactions on Magnetism*, Vol 47, No.5.

Independent. (2015). Tesla unveils its bizarre new 'Snakebot' automatic car charger.

Khaligh, A., & Li, Z. (2010). Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-in Hybrid Electric Vehicles: State of the Art. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol 59, No.6.

Luo, R.C. & Liao, C.T. (2005). Automatic Docking and Recharging System for Autonomous Security Robot.

Renquist, J.V., Dickman, B. & Bradley, T.H. (2012). Economic comparison of fuel cell powered forklifts to battery powered forklifts. *International Journal of Hydrogen Energy* 12054-12059

Richardson, D.B. (2013). Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Reviews* 19, 247-254.

Van den Bossche, P., Vergels, F., Van Mierlo, J., Matheys, J., & Van Autenboer, W. (2005). An assessment of sustainable battery technology. *Journal of Power Sources* 162(2006) 913-919

Yilmaz, M. & Krein, P.T. (2013). Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-in Electric and Hybrid Vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics* Vol 28, No.5.

Wu, H.H., Gilchrist, A., Sealy, K., Israelsen, P., & Muhs, J. (2011). A Review on Inductive Charging for Electric Vehicles. *IEEE International Electric Machines & Drives Conference*

Wu, Y., Teng, M. & Tsai, Y. (2008). Robot Docking Station for Automatic Battery Exchanging and Charging. *International Conference on Robotics and Biomimetic*.

Sites

Allesoverzonnepanelen. (2012). Verschil tussen monokristallijne en polykristallijne zonnepanelen.
http://www.allesoverzonnepanelen.nl/kennisbank/productie-van-silicium-zonnecellen/soorten_kristallijne_zonnecellen/verschil-tussen-monokristallijne-en-polykristallijne-zonnepanelen/ **Laatst geraadpleegd op: 10-05-2016**

Autoweek. (2016). BMW en Daimler werken aan inductieladen elektrische auto's.
<http://www.nu.nl/auto/3823555/bmw-en-daimler-werken-inductieladen-elektrische-autos.html> **Laatst geraadpleegd op: 22-05-2016**

Auto en Vervoer. (2013). Elektrisch autorijden met Tesla.
<http://auto-en-vervoer.infonu.nl/auto/120136-elektrisch-autorijden-met-tesla.html>
Laatst geraadpleegd op: 03-05-2016

Autozine. (2016). BMW i3 – Krachtigere batterij voor BMW i3.
http://www.autozine.nl/nieuws/nieuws_archief.php?nk=14690
Laatst geraadpleegd op: 12-06-2016

Egemin-Automation (2016). <http://www.egemin-automation.nl/nl/>
Laatst geraadpleegd op: 10-05-2016

Essent. (2016). Stroom & Gas – Schakeltijden
https://www.essent.nl/content/particulier/producten/alle_energietarieven/enkeltarief_of_dubbeltarief/schakeltijden.html#
Laatst geraadpleegd op: 28-04-2016

Groen7. (2012). Tesla onthult Supercharger: extreem snel laden met maximaal 100 kW.
<http://www.groen7.nl/tesla-onthuld-supercharger-extreem-snel-laden-met-maximaal-100-kw/> **Laatst geraadpleegd op: 06-06-2016**

Groen7. (2016). BMW bouwt carport met zonnepanelen.
<http://www.groen7.nl/bmw-bouwt-carport-met-zonnepanelen/>
Laatst geraadpleegd op: 10-06-2016

InfoNu. (2014). Elektriciteit: over volt, stroom, vermogen en kilowattuur.
<http://wetenschap.infonu.nl/techniek/144302-elektriciteit-over-volt-stroom-vermogen-en-kilowattuur.html>
Laatst geraadpleegd op: 01-05-2016

Motraclinde. (2015). Compleet systeem op basis van lithium-iontechnologie.
<http://www.motraclinde.nl/nieuws/linde-ontwikkelt-heftrucks-met-lithium-ion-batterijen.aspx#>
Laatst geraadpleegd op: 30-04-2016

RVO. (2014). Nederland inductieland?! *Rapportage Inductieladen DEF.*
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/01/Nederland%20Inductieland%20-%20Een%20verkennde%20studie%20naar%20mogelijkheden%20en%20potentieel%20voor%20inductieladen.pdf>
Laatst geraadpleegd op: 01-06-2016

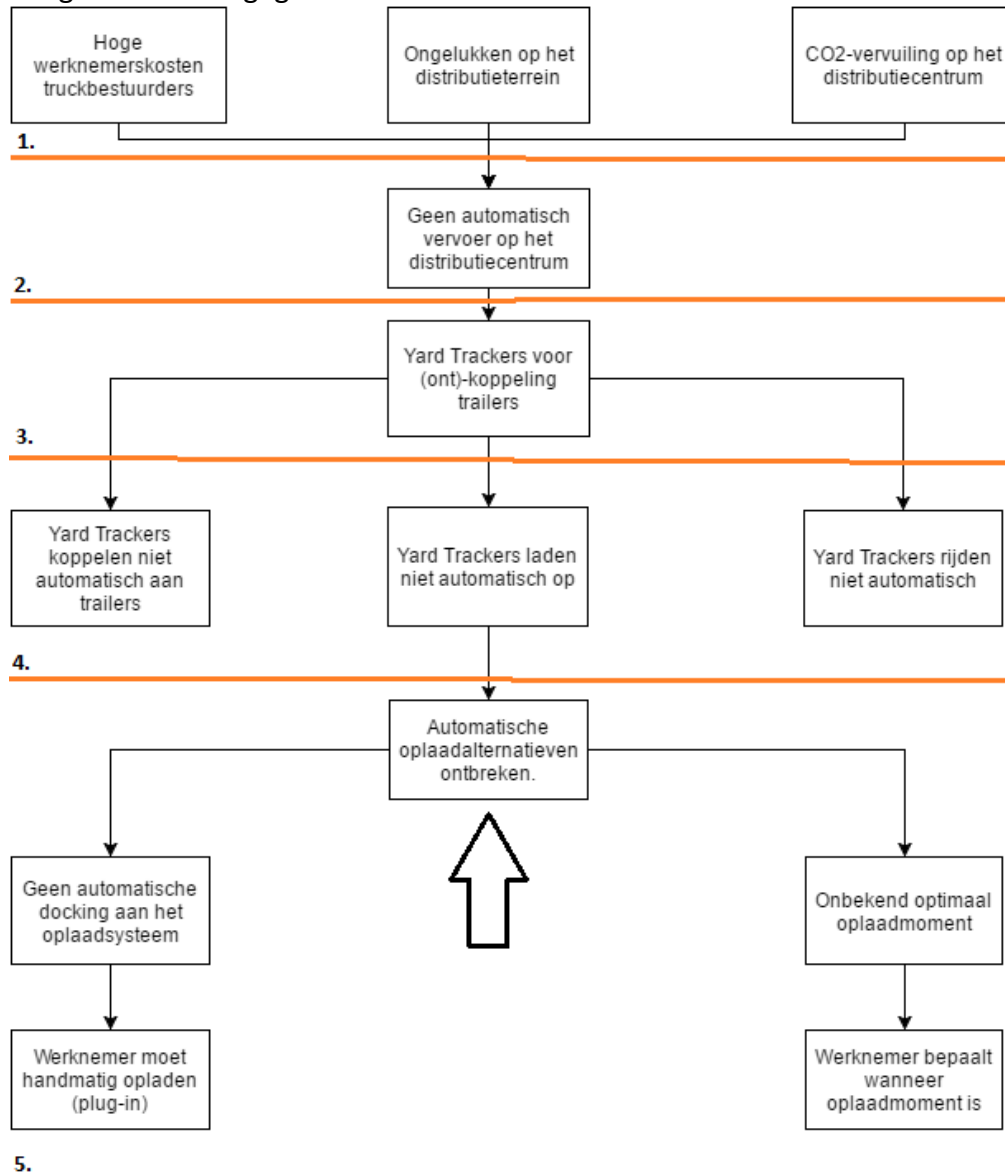
Schoenmakers, H. (2015). Opbrengst zonnepanelen.
<https://www.bespaarbazaar.nl/kenniscentrum/financieel/zonnepanelen-opbrengst/>
Laatst geraadpleegd op: 20-06-2016

Teslamotors. (2016). <https://www.teslamotors.com/nl>
Laatst geraadpleegd op: 27-06-2016

Windpark. (2016). Subsidie, kosten en baten van een windpark.
<http://windpark.nu/windenergie/subsidie/>
Laatst geraadpleegd op: 10-06-2016

Appendix A: Probleemidentificatie

Om het probleem goed in kaart te brengen en achter het ware kernprobleem van Rotra te komen is een probleemkluwen opgesteld. Deze kluwen, gemaakt volgens de richtlijnen van de Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak (Heerkens & van Winden, 2012), is hieronder in figuur A-1 weergegeven:



Figuur A-1: Probleemkluwen

De probleemkluwen zal aan de hand van de verschillende lagen, aangeduid met de opgenomen cijfers, worden toegelicht. Dit om duidelijkheid te verschaffen en achter het uiteindelijke kernprobleem te komen.

1. De transport op het distributiecentrum wordt momenteel door menselijke bestuurders gedaan. Deze bestuurders brengen ten eerste onnodig hoge werknemerskosten met zich mee voor Rotra. Daarnaast kunnen er problemen in de vorm van ongelukken gebeuren op het distributiecentrum door menselijke sturfouten. Als laatste stoten de trucks ook CO₂ uit.

2. Het overkoepelende probleem dat ervoor zorgt dat de problemen bij laag 1 ontstaan is dat er op dit moment geen automatisch vervoer plaatsvindt op het distributiecentrum. Dit is iets wat Rotra graag wil realiseren in de toekomst.
3. Er is geen automatisch vervoer op het distributiecentrum, omdat de huidige karretjes (Yard Trackers) voor de ontkoppeling en koppeling van de vrachtwagentrailers niet automatisch bestuurbaar zijn.
4. Omdat er Yard Trackers worden gebruikt door Rotra kunnen deze karretjes niet automatisch koppelen aan de trailers, rijden ze niet automatisch, en kunnen ze tevens niet automatisch opladen. Dit laatste punt is van uiterst belang in dit onderzoek en daarom is dit verder geanalyseerd om achter het daadwerkelijke kernprobleem te komen.
5. De Yard Trackers laden niet automatisch op. Dit komt doordat de oplaadalternatieven hiervoor ontbreken en hier nog niet over nagedacht is. Doordat deze methoden ontbreken is er geen mogelijkheid om een karretje automatisch te docken aan een oplaadsysteem en is het ook niet bekend welk moment optimaal is om op te gaan laden. Op dit moment worden de karretjes door de werknemers opgeladen en bepaalt deze werknemer ook zelf wanneer het een geschikt moment is om op te gaan laden. Wanneer er een afweging wordt gemaakt van de verschillende oplaadalternatieven om automatisch op te kunnen laden zullen deze problemen allen opgelost kunnen worden. Daarom is het kernprobleem in dit geval dat de automatische oplaadalternatieven ontbreken.

Appendix B: Reflectie

Introductie

Tijdens mijn onderzoek ter afronding van de bachelor-leerlijn Technische Bedrijfskunde ben ik binnen het Intelligent Trucking and Applications in Logistics (INTRALOG) project op zoek gegaan naar mogelijkheden om een Automatisch Geleid Voertuig (AGV) automatisch op te laden en dit toe te passen op het nieuwe distributiecentrum van het bedrijf Rotra. In dit verslag wordt gereflecteerd op deze opdracht. Daarbij worden mijn persoonlijke ervaringen tijdens het afronden van de opdracht, het contact met de bedrijven, de link met Technische Bedrijfskunde en de opgedane vaardigheden besproken. Deze aspecten zullen in de hierop volgende hoofdstukken worden gereflecteerd.

Persoonlijke ervaringen

Voordat ik op zoek ging naar een bachelor-opdracht wist ik voor mezelf niet goed waar ik precies naar op zoek was. Daarom begon ik mijn zoektocht door een aantal bedrijven en docenten te mailen of ze toevallig een geschikte opdracht voor mij hadden. Al snel werd ik in contact gebracht met het INTRALOG project. Van tevoren wist ik niet zo goed wat dit allemaal inhield, maar Berry Gerrits heeft mij in een ochtend van alles verteld over het project en vanaf dat moment ben ik aan de slag gegaan om de opdracht binnen het project uit te gaan voeren.

Uiteindelijk heb ik mijn opdracht als zeer uitdagend ervaren. Ik was verrast door de hoeveelheid automatische oplaadmethodes die ik uiteindelijk heb kunnen vinden, waardoor mijn criteria analyse veel gegevens bevatte. De uitdaging was om alle methodes te scoren op de criteria met behulp van literatuur. Voor twee criteria heb ik dit goed kunnen doen, maar voor de criteria levensduur en kosten van een bepaalde oplaadmethode was het lastig om voldoende informatie te vinden. Daarom heb ik gekozen om hier gebruik te maken van een schaalverdeling. Dit is het enige wat ik jammer vind aan mijn onderzoek. Doordat alle methodes nog niet heel ver ontwikkeld zijn betekent dit dat er lastig gekwantificeerd kon worden op deze onderdelen. Dus op basis van een schaalverdeling heb ik de performance uiteindelijk moeten meten, waar ik liever had gezien dat ik in staat was geweest om voor elk criterium een exacte waarde te kunnen scoren voor iedere oplaadmethode. Maar voor de rest ben ik tevreden met het eindresultaat en denk ik dat ik Rotra van een wel overwogen advies heb voorzien.

Contact bedrijven

Om mijn opdracht goed uit te kunnen voeren was het vooral van belang om contact te leggen met Terberg Benshop, de producent van de AGV's, en eindgebruiker Rotra. Voordat ik daadwerkelijk aan het onderzoek ben begonnen ben ik bij Rotra langsgegaan om daar het een en ander te vragen. Door die bespreking kreeg ik direct een goede indicatie van alle werkzaamheden die er in Doesburg plaatsvonden. Hierbij was het vooral van belang dat ik begreep wat een AGV op het distributiecentrum zou moeten doen en hoe ze momenteel de voertuigen opladen. Aan de hand daarvan kreeg ik direct ideeën voor het nieuwe distributiecentrum in Velp en kon mijn opdracht van start gaan.

Doordat de nieuwe locatie in ongeveer vier jaar pas in gebruik wordt genomen betekende dit dat ik mijn opdracht vanaf de universiteit kon uitvoeren, omdat er simpelweg bij Rotra weinig te onderzoeken viel. Er moet veel literatuurstudie gedaan worden om in die vier jaar in staat te zijn om het volledig geautomatiseerd distributiecentrum te realiseren. Dit betekende dat ik grotendeels intern aan mijn opdracht heb gewerkt. De eerste weken waren vooral oriënterend wat inhield dat ik me veel met literatuurstudie heb beziggehouden. Maar op een gegeven moment moeten bijvoorbeeld de technische haalbaarheid van een oplaadmethode en de vereisten voor het distributiecentrum onderzocht worden. Hier zijn in mijn onderzoek de bedrijven aan te pas gekomen. Mijn contactpersoon bij Terberg Benschop was Abhishek Kumar, die mij ontzettend heeft geholpen door veel specificaties van de huidige Yard Trackers te geven zodat ik een indicatie kon krijgen voor de toekomstige AGV's. Dit contact met hem was prettig en liep over het algemeen soepel. Hij vond het geen probleem om mij verder te helpen met mijn onderzoek en ik heb gemerkt dat hij er ook tijd instopte om mij van goede informatie te voorzien.

Vanuit Rotra was het wat lastiger om de gewenste informatie te verkrijgen. Ik heb meerdere malen gemaaild en gebeld, omdat ik bepaalde informatie nodig had om verder te kunnen met mijn opdracht. Echter, bleken de contactpersonen enigszins druk te zijn met andere werkzaamheden waardoor ik niet alle gewenste informatie heb mogen ontvangen. Daardoor zijn er een aantal zaken in mijn verslag die ik op basis van aannames en logisch nadenken heb moeten maken, omdat ik hier geen ophelderende antwoorden van de eindgebruiker Rotra voor kreeg.

Link met Technische Bedrijfskunde

Vooraf had ik verwacht dat er wel redelijk wat raakvlakken met Technische Bedrijfskunde zouden zijn, maar achteraf bleek de opdracht meer richting een studie als Werktuigbouwkunde te gaan. Doordat ik binnen het INTRALOG project aan de slag kon was ik vanaf het eerste moment ontzettend vrij in de uitwerking van mijn eigen opdracht. Met de technieken achter bepaalde oplaadmethodes en de bijkomende laadsnelheden denk ik dat mijn thesis wat technischer is geworden dan alleen een literatuurstudie. Hier ben ik erg blij om, omdat ik het veel leuker vind om dergelijke berekeningen uit te voeren in plaats van iedere keer maar weer bronnen te raadplegen. Verder is er niet echt sprake geweest van de "TBK-richtingen" binnen mijn opdracht. Van tevoren had ik verwacht dat ik wel in staat zou zijn om met een financieel plaatje, door middel van bijvoorbeeld een kosten-baten analyse, mijn aanbevelingen zou kunnen doen. Echter, bleek dat er zeer weinig bekend is over bijkomende kosten van een bepaalde oplaadmethode. Vooral omdat veel technieken nog in ontwikkeling zijn en de automatisatie het lastig maakt om een inschatting te doen van de aanschafprijzen. Al met al denk ik dus dat ik meer een Werktuigbouwkundige opdracht heb uitgevoerd. Ik kijk daar positief op terug, omdat ik het wel leuk vind om me op de iets technischere kant van dit onderzoek te richten.

Vaardigheden

Tijdens het onderzoek zijn er verschillende vaardigheden die ik verder ontwikkelt heb. Ten eerste ben ik uiteraard veel met literatuurstudie bezig geweest, waardoor ik daarbij vooral de betrouwbaarheid van mijn bronnen moest waarborgen. Mijn hele onderzoek is voornamelijk gebaseerd op literatuur, omdat veel oplaadtechnieken nog in ontwikkeling zijn en hierdoor weinig dingen al in de praktijk worden gebruikt. Ik heb dus mijn vaardigheid

voor literatuuronderzoek zeker verder ontwikkeld. Daarnaast denk ik dat ik mijn academische schrijfvaardigheid door middel van mijn bachelor thesis zeer goed ontwikkeld heb. Ik heb geleerd hoe ik mijn verslag goed kan opbouwen en schrijven en dat is iets waar ik van tevoren nog niet bekend mee was. Als laatste wil ik nog een goede presentatie op mijn colloquium neerzetten zodat ik vrienden en familie kan vertellen wat ik de afgelopen tijd heb gedaan en bereikt met mijn onderzoek. Hopelijk gaat het presenteren daar goed en kan ik mijn bachelor-opdracht op een mooie manier afsluiten.

Conclusie

De bachelor-opdracht heb ik als zeer leerzaam en uitdagend ervaren. Er zijn een aantal aspecten die wat beter hadden gekund, maar alsnog denk ik dat het onderzoek op een goede wijze is afgerond en Rotra uit de aanbevelingen nuttige informatie kan halen. Daarbij zou het natuurlijk leuk zijn als er over een aantal jaren op het nieuwe distributiecentrum gebruik gemaakt wordt van een automatische oplaadmethode. Tijdens het onderzoek heb ik veel vaardigheden opgedaan en ben ik tevreden met mijn eindresultaat. Ik kijk dan ook met een positief gevoel terug op mijn bachelor-opdracht.