



EMISSIELOOS GECOMBINEERDE HOOFD- EN AANSLUITINGLEIDINGEN AANLEGGEN

Onderzoeksrapport





EMISSIELOOS GECOMBINEERDE HOOFD- EN AANSLUITINGLEIDINGEN AANLEGGEN

Onderzoeksrapport

Auteur:**Opleiding****Opdrachtgever****Onderzoekbegeleiders:****Datum:****Status:**

Hugo Ekkel

Land- en Watermanagement

Van Gelder B.V. & CIAMS

Ronald Verweij; Van Gelder B.V.

Marcel Rompelman; Hogeschool Van Hall Larenstein

11-06-2021

Definitief

Voorwoord

Dit rapport is geschreven als onderdeel voor het afstudeeronderzoek. Binnen de hbo-opleiding Land- en Watermanagement is een afstudeeronderzoek bij een externe organisatie een vast onderdeel. Dit afstudeeronderzoek wordt uitgevoerd vanuit Van Gelder Kabel- Leiding- en Montagewerken B.V. Het afstudeeronderzoek betreft het Living Lab Emissieloos Werken, geïnitieerd door Bouwend Nederland, Combi Infra Amsterdam en Van Gelder.

Tijdens het uitvoeren van dit onderzoek hebben zich op verschillende momenten vertragingen opgedaan. Het begon met een vertraging van het leveren van de twee elektrische graafmachines. Ook bleek dat het werkpakket niet substantieel was binnen mijn afstudeeronderzoekperiode waardoor het materieel niet optimaal ingezet kon worden. Dit heeft ertoe geresulteerd dat er tijdens de stageperiode maar één project, deels gemonitord kon worden.

Samen met mijn begeleiders Ronald Verweij en Vladan Petrovic is er alles aan gedaan om het Living Lab en mijn afstuderen zo goed mogelijk te laten verlopen.

Bij deze wil ik dan ook graag mijn begeleiders bedanken voor de fijne begeleiding en hun ondersteuning. Ook wil ik graag Rinus Blanken bedanken voor de ondersteuning in het verkrijgen van de materiële tarieven.

Tevens wil ik graag de Harry Wijers, Wencke de Niet en Pim Mensch bedanken voor de fijne samenwerking en ondersteuning vanuit het Living Lab. Zij hebben mij regelmatig voorzien van feedback en tips met betrekking tot het onderzoek en de rapportage.

Als laatste wil ik ook graag mijn collega's bedanken van de Combi en Warmte voor een fijne stageperiode.

Hugo Ekkel

Amsterdam, 11-06-2021

Samenvatting

Met het Living Lab Emissieloos Werken worden er ervaringen opgedaan en mogelijkheden verkend in het emissieloos aanleggen van Combi hoofd- en aansluitleidingen. Het Living Lab is een samenwerkingsverband met de gemeente Amsterdam, de netbeheerders en Van Gelder Kabel-, Leiding-, en Montagewerken.

Het onderzoek is onderverdeeld in vier onderwerpen. Potentiële emissiereductie, deze is berekend door middel van een emissie-tool beschikbaar gesteld door TNO. Het onderdeel energievoorziening betreft de mogelijkheden om het elektrische materieel op te laden. Aan de hand van bureauonderzoek en door contact op te nemen met verschillende partijen zoals bijvoorbeeld Bredenoord¹ zijn deze in beeld gebracht. Proces, heeft betrekking op de werkvoorbereiding, de werkplanning en praktijkervaringen. Tijdens de uitvoering zijn werk- en oplaaduren bijgehouden. Daarnaast zijn de machinisten en grondwerkers geïnterviewd over hun ervaringen met het elektrische materieel. Als laatste is er een kosten-baten analyse opgesteld aan de hand van intern verkregen tarieven.

De 16 tons rupsgraafmachine vraagt om een grote stroomaansluiting, namelijk een 63A. Deze kan ook met een kleinere aansluiting opgeladen worden, maar dit heeft grote gevolgen voor de oplaadtijd. Deze kan wel oplopen tot wel 14 uur. De minigraver heeft een meer beperkte aansluiting van 16A en de accu's van het handgereedschap kan middels een 230V aansluiting opgeladen worden. Per jaar stoot één Combi-ploeg met conventionele machines dezelfde hoeveelheid CO₂ uit als 37 enkele vluchten van Amsterdam naar Rome. Eén rioolploeg stoot zelfs hetzelfde uit als 194 enkele vluchten.

In dit onderzoek zijn er twee typen stroomvoorzieningen onderscheiden: vaste en mobiele stroomvoorzieningen. Mogelijkheden voor vaste stroompunten zijn bouwstroomaansluitingen of autolaadpalen. Bouwstroom is uitermate geschikt voor het opladen van groot materieel vanwege de aanwezigheid van een grote stroomaansluiting. Autolaadpalen bieden een mogelijkheid voor het opladen van klein materieel. Dit vanwege de beperkte stroomsterkte maar ook vanwege parkeervak groottes. Mobiele oplaadvoorzieningen zijn er in de vorm van batterijcontainers en aggregaten. Van beide mogelijkheden zijn er op het moment al verschillende modellen op de markt.

De opgedane ervaringen zijn beschreven vanuit drie inzichten: een eerder uitgevoerd project door Van Gelder, Het Living Lab in het algemeen en één project binnen het Living Lab. Bij een project van Van Gelder in Oostvoorne waren ze positief over de elektrische machines terwijl op de N-Kavel de machines minder positief zijn ervaren. In beide gevallen werd er zowel in de schaft als tot de volgende ochtend opgeladen voor voldoende accupaciteit. Daarbij hangt de oplaadtijd erg af van de grootte van de stroomaansluiting.

De huidige huurtarieven van de elektrische graafmachines zijn ongeveer een factor vier hoger dan van de conventionele graafmachines. Elektrische trilstampers, inclusief accu, hebben hetzelfde tarief en trilplaten inclusief accu zijn ongeveer 35% goedkoper. De baten zijn de besparingen op brandstof. Echter dit weegt niet op tegen de hoge huurtarieven. Hierdoor is elektrisch werken op dit moment ongeveer een factor 2 duurder dan conventioneel werken. Dit is puur financieel. Waar rekening mee gehouden dient te worden is zoals beschreven de winst op emissies.

Emissieloos werken vraagt om een extra stap in de werkvoorbereiding, namelijk het voorzien van oplaadvoorzieningen. Of er een verandering in werkplanning plaats zal vinden door productieverlies zal moeten blijken uit nader onderzoek.

¹ Verkoop- en verhuurbedrijf van aggregaten.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
Figuur- en tabellenlijst	6
1 Inleiding	7
2 Theoretische achtergrond	8
2.1 Beleid schone lucht Amsterdam	8
2.2 Emissie rekenmethoden	9
2.2.1 EMMA	9
2.2.2 Toelichting parameters EMMA	10
2.2.3 Voorbeeld emissie- en TAF-factoren	10
2.3 Ontwikkelingen emissieloos bouwmaterieel	11
2.3.1 Elektrische rupsgraafmachines	11
2.3.2 Elektrisch handgereedschap	13
2.3.3 Elektrische trucks	13
2.3.4 Toekomstige ontwikkelingen	14
3 Onderzoek en methodiek	15
3.1 Probleemstelling	15
3.2 Scope	15
3.3 Onderzoeksvragen	16
3.4 Onderzoeksmethode	18
3.4.1 Materieel	18
3.4.2 Energievoorziening	18
3.4.3 Proces	19
3.4.4 Kosten-baten analyse	20
3.4.5 Casus project	20
4 Resultaten Materieel	21
4.1 Elektrisch materieel	21
4.2 Emissie-rekentool	22
4.3 Emissies per jaar	23
5 Resultaten Energievoorziening	25
5.1 Begrippenlijst	25
5.2 Stroomvoorzieningen	26
5.2.1 Aansluitingen	26

5.2.2	Vast stroompunt	27
5.2.3	Mobiele stroomvoorzieningen.....	30
6	Resultaten Proces	33
6.1	Praktijkervaringen elektrisch werken binnen Van Gelder	33
6.1.1	Projectomschrijving	33
6.1.2	Elektrisch materieel	33
6.1.3	Ervaringen	33
6.2	Ervaringen Living Lab	34
6.2.1	Ervaringen tijdens de voorbereidingsfase	34
6.2.2	Ervaringen tijdens de uitvoeringsfase.....	36
7	Kosten-baten analyse.....	37
8	Emissieloos N-kavel, blok 4.....	39
8.1	Projectomschrijving	39
8.2	Materieel.....	39
8.3	Energievoorziening	40
8.4	Proces.....	41
8.4.1	Accu- en oplaadduur	41
8.4.2	Ervaringen	42
8.5	Bijkomende kosten	44
9	Conclusie	45
10	Discussie.....	48
11	Aanbevelingen	49
	Bibliografie	50
	Bijlagen.....	54
	Bijlage 1 Aanpak mobiele werktuigen en aggregaten	54
	Bijlage 2 Overzicht elektrisch materieel	55
	Bijlage 3 Vragenformulier ervaringen emissieloos werken	56
	Bijlage 4 Codering interview project Zuidoever Oostvoorne.....	60
	Bijlage 5 Kosten-baten analyse	61
	Bijlage 6 Data monitoring accuduur week 19	63
	Bijlage 7 Codering interview project N-Kavel	64

Figuur- en tabellenlijst

Figuur 1 Opbouw emissiemodel	9
Figuur 2 Achteraanzicht DX300LC Electric (Poels, 2020)	12
Figuur 3 Foto elektrische 16 tonner (Hamberg, 2021)	21
Figuur 4 Schematische weergave peak balancing (Amanda Amara, 2021).....	30
Figuur 5 Resultaten kosten-baten analyse	38
Figuur 6 Plankaart N-kavel (Heijmans, 2019)	39
Figuur 7 Tussenmeter N-Kavel (Ekkel, Tussenmeter, 2021)	40
Tabel 1 Emissie- en TAF-factoren	10
Tabel 2 Overzicht elektrisch materieel	21
Tabel 3 Motorgegevens	22
Tabel 4 Jaarlijkse emissies Combi-ploeg	23
Tabel 5 Jaarlijkse emissies Rioolploeg	23
Tabel 6 Vergelijkingen emissiewaarden	24
Tabel 7 Typen aansluitingen (Stedin, 2021)	26
Tabel 8 Overzicht batterij containers	30
Tabel 9 Overzicht hybride aggregaten	31
Tabel 10 Overzicht materieel	37
Tabel 11 Resultaten kosten-baten analyse	37
Tabel 12 monitorresultaten week 19	41

1 Inleiding

Het klimaatakkoord is onderdeel van het Nederlandse klimaatbeleid. Het akkoord is een overeenkomst tussen organisaties en bedrijven om de uitstoot van broeikasgassen in Nederland tegen te gaan. Het belangrijkste doel is het behalen van een CO₂ reductie van 49% in 2030, vergeleken met de uitstoot in 1990 (Rijksoverheid, sd). Eén van de aangesloten organisaties is Bouwend Nederland. Dit is de vereniging van bouw- en infrabedrijven. Bouwend Nederland is als organisatie een serieuze gesprekspartner voor overheden, stimuleert de bouwbranche in nieuwe ontwikkelingen en geeft advies betreffende CAO-bepalingen, arbeidsrecht en bouw- en aanbestedingsrecht. (Bouwend Nederland, sd)

De gemeente Amsterdam heeft het klimaatbeleid vertaald naar haar eigen gemeente en heeft hiervoor verschillende plannen opgesteld om mede de CO₂-reductie te behalen. De gemeente Amsterdam streeft ernaar om in 2030 aan de adviesnormen te voldoen van de World Health Organization². Hiervoor is onder andere het Actieplan Schone Lucht opgesteld. De kern van de aanpak is als volgt:

1. Bij de bron beginnen: uitstoot van schadelijke stoffen voorkomen is beter, en op lange termijn goedkoper dan bestrijden
2. Aanpakken wat haalbaar is: tegengaan van de uitstoot van verkeer, houtstook en mobiele werktuigen als aggregaten en bouwwerktuigen
3. Meest vervuilende punten eerst: het centrum heeft de meeste knelpunten in luchtkwaliteit en is het drukste deel van de stad
4. Van zakelijk naar privaat: zakelijk verkeer maakt de meeste kilometers en heeft meer mogelijkheden om sneller te verschonen dan privaatvervoer.

(Gemeente Amsterdam, sd)

In samenwerking met de gemeente Amsterdam en Bouwend Nederland organiseerde Combi Infra Amsterdam (afgekort naar CIAMS) op 6 november 2020 het Webinar Emissieloos werken in de ondergrond (Webinar Ciams, 2020). In dit webinar werd de start van het Living Lab aangekondigd.

CIAMS is een samenwerkingsverband tussen de netbeheerders: Liander, Waternet, KPN NetwerkNL en VodafoneZiggo. Het doel van dit samenwerkingsverband is om de werkzaamheden zoveel mogelijk te combineren en waar mogelijk gezamenlijk en gelijktijdig aan te leggen. Voor regio Amsterdam West is Van Gelder de huidige uitvoerende partij (Ciams, sd).

Van Gelder is een aannemer actief in de boven- en ondergrondse infrastructuur. Van Gelder kent de volgende bedrijfstakken: Civiel, Infra en KLM. KLM staat voor kabel-leiding- en montagewerken. Dit onderzoek wordt uitgevoerd vanuit Van Gelder KLM.

Het Living Lab is een samenwerkingsverband met de gemeente Amsterdam, de netbeheerders en Van Gelder om de ontwikkeling van emissieloos werken te stimuleren. Het idee van een Living Lab is leren door te doen. Met dit Living Lab wordt gedurende een jaar getest op het gebied van emissieloos werken bij combi-projecten. Er wordt bijvoorbeeld de mogelijkheid gecreëerd voor leveranciers om emissieloos materieel uit te laten testen (Webinar Ciams, 2020). Van Gelder KLM is degene die het onderzoek Emissieloos Gecombineerde Hoofdleidingen Aanleggen uitvoert. Dit onderzoek maakt onderdeel uit van het Living Lab Emissieloos Werken.

² De Wereldgezondheidsorganisatie (World Health Organization, WHO) is de gespecialiseerde organisatie van de Verenigde Naties op het gebied van gezondheid en welzijn.

2 Theoretische achtergrond

De theoretische achtergrond is geschreven met als doel achterliggende informatie te bieden met betrekking tot het onderzoek. Er wordt nader ingegaan op het aansluitende gemeentelijke beleid. Dit beleid is de aanleiding om maatregelen te treffen ter behoeve van emissiereducties. Daarnaast wordt de rekenmethode toegelicht die in hoofdstuk 4 de basis vormt. Als laatste wordt er uitgeweid over de huidige trends omstreeks emissieloos materieel.

2.1 Beleid schone lucht Amsterdam

Het Actieplan Schone Lucht zet in op het verbeteren van de luchtkwaliteit in Amsterdam. Door middel van bronaanpak gaat de gemeente de vervuilingsbronnen wegnemen waar de gemeente de meeste invloed op heeft zoals het verkeer, de passagiers- en pleziervaart, houtstook en de mobiele werktuigen. De maatregelen in het actieplan moeten ervoor zorgen dat Amsterdam zo snel mogelijk voldoet aan de Europese normen voor luchtkwaliteit. Wanneer deze normen zijn behaald richt de gemeente zich op het behalen van de advieswaarden van het World Health Organization (WHO).

De verkeersmaatregelen leiden naast een fijn- en stikstof concentratie daling ook tot een lagere CO₂-uitstoot. Het aandeel in CO₂-uitstoot in Amsterdam van mobiliteit bedraagt 9%. Wanneer alle mobiliteit en de productie van de benodigde energie, emissieloos is wordt deze 9% CO₂-uitstoot weggenomen. Dit is van waarden voor het behalen van de CO₂-doelen van 2030 en 2050.

Werktuigen en dieselaggregaten als graafmachines, kranen en shovels zijn mobiel (verplaatsbaar) maar vallen buiten de categorie verkeer. Dit bouwmaterieel draait hoofdzakelijk op diesel en hebben een significante bijdrage aan de emissies in de stad. Door bij aanbestedingen en gunningen te sturen op uitstoot kan de emissie gereduceerd worden.

Mobiele werktuigen hebben net als alle andere voertuigen Europese emissienormen. De eerste normen zijn in 1999 vastgesteld. De nieuwste normen (fase V) gelden vanaf 2019. Hoe hoger de fasenorm, hoe lager de uitstoot is van de machine. De aanpak voor mobiele werktuigen en aggregaten is weergegeven in bijlage 1 en is afkomstig van het rapport Actieplan Schone Lucht 2019.

(Gemeente Amsterdam, 2019)

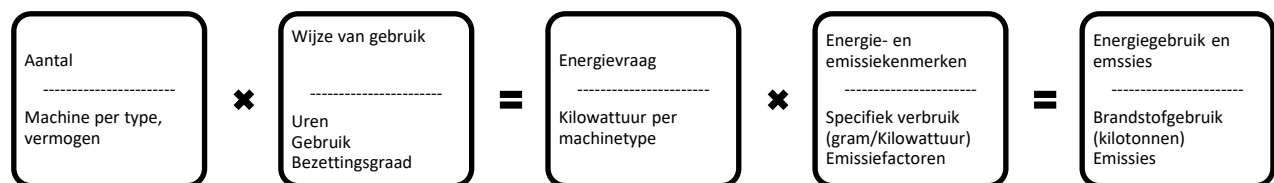
2.2 Emissie rekenmethoden

Steeds meer bedrijven en organisaties hebben als doelstelling het reduceren van emissies. Ook spelen steeds meer de emissiefactoren van een (bouw)project mee tijdens aanbestedingen en gunningen. Om emissiefactoren te kunnen vergelijken zijn er branche geaccepteerde rekenmethoden en uitgangswaarden. In dit hoofdstuk wordt de rekenmethode ontwikkeld door TNO beschreven.

2.2.1 EMMA

In 2005 is het emissiemodel dat wordt beschreven ontwikkeld voor België door TNO. Dit model is aangepast voor de Nederlandse omstandigheden. Het model is gebaseerd op de registratie van de verkoop van nieuwe machines in combinatie met de landelijke monitoring van dieselgebruik in de sector door het CBS. Het Nederlandse model heet Emissiemodel Mobiele Machines in combinatie met brandstof afzet (EMMA). (Hulskotte & Verbeek, 2009). TNO heeft de praktijk emissies in kaart gebracht per type machine, vermogensklasse en bouwjaar. In 2020 zijn de laatste wijzigingen doorgevoerd.

In figuur 1 is de opbouw van het emissiemodel weergegeven.



Figuur 1 Opbouw emissiemodel

De rekenformule is als volgt:

$$\text{Emissie} = \text{Aantal machines} \times \text{Uren} \times \text{Belasting} \times \text{Vermogen} \times \text{Emissiefactor} \times \text{TAF factor}$$

Waarbij:

Emissie = emissie of brandstofgebruik (gram)

Aantal machines = het aantal machines van een bepaald bouwjaar met emissiefactoren passend bij het bouwjaar (-)

Uren = het aantal uur dat de machine gemiddeld wordt gebruikt per project of tijdseenheid (uur)

Belasting = het gedeelte van het volle vermogen van het machinetype dat gemiddeld wordt gebruikt (-/-)

Vermogen = het gemiddelde vermogen van het machinetype (kW)

Emissiefactor = de gemiddelde emissiefactor of het specifieke brandstofverbruik behorende bij het bouwjaar (emissienorm)(g/kW .uur)

TAF-factor = aanpassingsfactor op de gemiddelde emissiefactor in verband met de afwijking van de gemiddelde gebruikstoepassing van het machinetype als gevolg van wisselde vermogensvraag.

(Hulskotte & Verbeek, 2009)

2.2.2 Toelichting parameters EMMA

De informatie voor uit deze paragraaf is afkomstig van: (Hulskotte & Verbeek, 2009) mits anders vermeld.

De belastingen zullen nooit sterk afwijken van een bepaald gemiddelde omdat machines zijn ontworpen voor het uitvoeren van een bepaalde taak. Het verschil tussen belasting en vermogen is dat de belastingen een deel zijn van het totale vermogen. Een machine zal niet vaak volledig vermogen draaien.

De vermogensklassen zijn afgeleid van het bedrijfsgewicht van de machines. Per machine is er een verband gelegd tussen het gewichtsklasse en het daarbij behorende typisch vermogen.

De emissiefactoren worden bepaald aan de hand van de emissienormen. Machines hebben een bepaalde Europese-emissienorm. Voor mobiele werktuigen (non-road mobile machinery, NRMM) zijn dit stage-klassen. Sinds 2019 gelden in Europa de nieuwste eisen met betrekking tot stikstof (NOx) en fijnstof (PM) uitstoot. De motoren tot 56 kW, gebouwd vanaf 2019 vallen onder Stage V. vanaf 2020 ook de motoren tussen 56 – 130 kW. De eerste emissienormen, Stage I, zijn van kracht gegaan in 1999 (DieselNet, 2021).

Omdat werktuigen niet constant met dezelfde belastingen en omstandigheden werken worden de emissiefactoren gecorrigeerd aan de hand van TAF-factoren. TAF staat voor Transient Adjustment Factors, ofwel aanpassingsfactor. TAF-factoren hebben een grote invloed op de berekende emissies.

2.2.3 Voorbeeld emissie- en TAF-factoren

In tabel 1 zijn enkele emissie- en TAF-factoren weergegeven van de vermogensklassen: 75 – 130 kW. Met de nieuwere STAGE-normen zijn de emissiefactoren lager geworden. Met name NOx en PM zijn flink gedaald. STAGE-normen hebben geen invloed op de TAF-factoren.

Tabel 1 Emissie- en TAF-factoren

Stof	Technologie	Emissiefactor (g/kWh)	TAF-factor (-)
CO2	STAGE II	784	1,03
CO2	STAGE IV	762	1,03
NOx	STAGE II	5,2	0,87
NOx	STAGE IV	0,9	0,87
PM	STAGE II	0,08	0,89
PM	STAGE IV	0,03	0,89

2.3 Ontwikkelingen emissieloos bouwmaterieel

In dit hoofdstuk is er ingegaan op de huidige beschikbare emissieloze machines die de markt aanbiedt. Hiervoor worden enkele leveranciers, met de bijbehorende producten beschreven. Naast de huidige markt wordt ook ingegaan op ontwikkelingen in de nabije toekomst rondom emissieloos bouwmaterieel.

Disclaimer, dit is geen opsomming van alle leveranciers in binnen- en buitenland van elektrisch bouwmaterieel. Dit onderzoek is onafhankelijk geschreven.

In bijlage 2 is een selectief aantal, huidig op de markt, elektrisch (bouw)materieel weergegeven. Wat naar voren komt uit dit overzicht is het ontbreken van zwaarder bouwmaterieel, >16 t. graafmachines en >2,5 t. shovels. Wel zijn er ontwikkelingen omtrent het ombouwen van groot (bedrijfseigen) materieel. Hierover meer in de volgende paragraaf.

2.3.1 Elektrische rupsgraafmachines

SUNCAR is een Zwitsers bedrijf gericht op het produceren van elektrische graafmachines. Dit bedrijf komt voort uit een ETH (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich) (Technisch Federaal Instituut Zürich) studenten project. Tijdens dit project hebben EHT studenten, werelds eerste batterij aangedreven elektrische graafmachine ontwikkeld (SUNCAR HK AG, 2021).

Op basis van de, door SUNCAR, gegeven informatie hebben de elektrische graafmachines de volgende voordelen (SUNCAR HK AG, 2021):

De elektrische aandrijving is 2,5 keer zo efficiënt als dieselmotoren. Dit scheelt in energieverbruik. Daarnaast draait alleen de elektrische aandrijving wanneer de machinist met de machine werkt. Bij inactiviteit gebruikt de aandrijving geen stroom.

Een ander cruciaal voordeel is de CO₂-reductie. Gedurende de totaal aantal draaiuren van 12.000 uur (inclusief productie) besparen deze elektrische graafmachines tot meer dan 90% aan CO₂-emissies. De 90% is haalbaar wanneer de gebruikte energie ook volledig duurzaam is opgewekt. Wanneer er op grijze stroom wordt gewerkt is de CO₂ besparing ongeveer 75%, gedurende de totale levensduur.

Hoewel de elektrische graafmachines significant duurder zijn in aanschaf zijn de totale eigendomskosten lager vanwege het prijsverschil in diesel en stroom. Daarnaast zijn de onderhoudskosten lager vanwege het ontbreken van verschillende filters.

Eco-digger is opgericht in 2018 en is gericht op het produceren van elektrisch grondverzetmaterieel. Op basis van de, door Eco-digger, gegeven informatie hebben de elektrische graafmachines de volgende voordelen (Eco-digger, 2021):

Door de volledig elektrische machines is CO₂-uitstoot op de werklocatie nul. Daarnaast heeft de elektrische aandrijving een positieve invloed op het geproduceerde geluid. Dit werkt positief voor de communicatie rondom de machine, tijdens de uitvoering. Daarnaast zijn de elektrische machines uitermate geschikt voor projecten in gebieden waar een laag geluidsniveau gewenst is zoals stiltegebieden.

Ook wordt met het gebruik van elektrische materieel bespaard op brandstof- en onderhoudskosten.

De grond- weg- en waterbouw aannemers Ploegdam BV is in 2019 een samenwerking aangegaan met Doosan-dealer Staat en Urban Mobility Systems (UMS) met als doel het ontwikkelen van elektrisch grondverzetmaterieel dat 24 uur per dag inzetbaar is.

In juli 2020 is de eerste elektrische graafmachine geleverd, 30 tons rupsgraafmachine op basis van het nieuwste model: DX300LC-7, zie figuur 2. Om 24/7 door te kunnen werken heeft deze machine verwisselbare accu's die in 10 minuten gewisseld kunnen worden. Hierdoor kan de machine doorwerken terwijl een andere set accu's worden opgeladen. Dit verwisselbare accusysteem is ontwikkeld door UMS. (Janssen, 2020)



Figuur 2 Achteraanzicht DX300LC Electric (Poels, 2020)

2.3.2 Elektrisch handgereedschap

De Wacker Neuson Group is een fabrikant van compacte machines en bouwmachines. Sinds enkele jaren produceert Wacker Neuson ook een reeks zero emission producten. In bijlage 2 worden alle zero emission producten opgesomd, naast andere fabrikanten.

Op basis van de, door Wacker Neuson, gegeven informatie hebben de elektrische machines de volgende voordelen (Wacker Neuson Group, 2021):

De elektrische motoren van Wacker Neuson hebben een hoge efficiëntie. De geleverde energie wordt voornamelijk doorgegeven voor werkvermogen. Tijdens inactiviteit is de energievraag minimaal. Daarnaast is het vermogen groot ten opzichte van het machine formaat.

Naast energie efficiëntie vragen de elektrische motoren weinig onderhoud en hebben weinig slijtageonderdelen. Een kostentechnisch voordeel zijn de lagere totale eigendomskosten. De grootste kostenpost over de gehele levensduur zijn de brandstof-/ energiekosten.

Naast de CO₂-reductie en lagere kosten, over de gehele levensduur, kennen de compacte machines van Wacker Neuson een ander voordeel. Het accupakket voor de trilstampers, trilplaten en trilnaalden is universeel en kunnen hierdoor voor 7 verschillende machines gebruikt worden, (3 typen trilstampers, 3 typen trilplaten en de trilnaald).

STIHL heeft op het moment ook een reeks aan accumachines. Het grootste elektrisch assortiment van STIHL is tuingereedschap. Het materieel van STIHL waar de Combi gebruik van kan maken is de kleine handmatig accu doorslijper. Deze machine is geschikt voor drie universele accugroottes van STIHL en twee ruggedragen accu's (STIHL, 2021).

2.3.3 Elektrische trucks

De elektrische vrachtwagen was enkele jaren geleden alleen nog maar een concept. In april 2020 telde Nederland al 213 e-trucks, zo bleek uit de cijfers van het CBS. Dit is een stijging van 34% ten opzichte van 2019 (Visscher, 2020).

Fabrikanten zoals Volvo, Renault, Mercedes, Scania en DAF hebben anno nu een aanbod van elektrische vrachtwagens. De actieradius van de verschillende trucks ligt tussen de 200-300km.

2.3.4 Toekomstige ontwikkelingen

Naast de snelle ontwikkeling van elektromotoren en accu's is er ook een groeiende ontwikkeling in waterstof gedreven vervoersmiddelen en machines.

Hyundai Construction Equipment, Hyundai Motors en Hyundai Mobis gaan gezamenlijk bouwmachines op waterstof ontwikkelen. De komende jaren wordt er gericht op de ontwikkeling van vorkheftrucks en middelgrote graafmachines, aangedreven met waterstof. De verwachting is dat in 2023 de massaproductie en distributie plaats zal vinden

(Alles Over Waterstof, 2020).

JCB loopt op het moment voorop met de ontwikkeling van waterstof gedreven graafmachines. Op 1 juli 2020 heeft JCB bekend gemaakt dat deze een werkend prototype heeft ontwikkeld. De 20 ton 220X rupsgraafmachine is 12 maanden lang getest in een steengroeve en laat daarmee zien dat de techniek werkt (Stok, 2020).

Ook de ontwikkeling van waterstof gedreven vrachtwagens is in volle gang. Als voorbeeld, Toyota en Hino Motors. De zogeheten Fuel Cell Truck, die in ontwikkeling is, zou ongeveer een actieradius van 600km moeten krijgen (Louwman & Parqui B.V., sd). Dit is al ruim twee keer zoveel kilometers dan de huidige elektrische vrachtwagen.

De ontwikkeling van waterstof gedreven materieel is nog in een vroeg stadium. Echter ziet de toekomst van waterstof er positief uit voor de bouw-, infra-, en transportsector. Uit de huidige ontwikkelingen kan geconcludeerd worden dat waterstofmotoren uitermate geschikt zijn voor (zwaardere) materieel.

3 Onderzoek en methodiek

In dit hoofdstuk is de probleemstelling van het onderzoek beschreven. Daarnaast worden de onderzoeksvragen benoemd en op welke methode deze beantwoord zijn.

3.1 Probleemstelling

Zoals beschreven in paragraaf 2.1 is het Actieplan Schone Lucht, (Gemeente Amsterdam, 2019), opgesteld om in 2030 te voldoen aan de luchtkwaliteitsnormen van de WHO. De gemeente heeft direct invloed op verkeer en mobiele werkvoertuigen. Daarom streeft de gemeente naar uitstootvrije mobiliteit in Amsterdam. Dit betekent dat aannemers die werk verrichten in Amsterdam ook uitstootvrij moeten zijn. Het Living Lab komt voort uit het ontbreken van uitgebreide ervaringen met volledig uitstootvrij werken.

3.2 Scope

Tijdens het Living Lab gaat één ploeg voor één jaar in de Combi (een combinatie van: riool, water, gas, elektra, Ziggo en KPN), emissieloos hoofd- en aansluitleidingen aanleggen. Het Living Lab bestaat uit een verzameling van projecten waarbij deze emissieloos uitgevoerde werkzaamheden gemonitord zullen worden. De te monitoren data heeft betrekking tot het aanleggen van combi hoofd- en aansluitleidingen. Werkzaamheden en voorzieningen van andere bouwpartijen vallen buiten de scope. Tevens valt vervoer en transport van en naar projectlocaties buiten de scope. Daarnaast wordt er geen rekening gehouden met uiterste weersomstandigheden. Het Living Lab loopt gedurende één jaar waardoor er getest wordt door de seizoenen heen zoals deze zich voordoen.

Binnen dit onderzoek is de definitie van één ploeg de inzet van één elektrische rupsgraafmachine samen met één elektrisch trilplaat en -stamper. De inzet van de graafmachine kan per project verschillen tussen een 2 en 16 ton rupsgraafmachine. Hieronder volgt een opsomming van de machines:

- EcoDigger R20E / 2 ton elektrische rupsgraafmachine
- Suncar HK TB1140E / 16 ton elektrische rupsgraafmachine
- Wacker Neuson / elektrische trilplaat
- Wacker Neuson / elektrische trilstamper

Wanneer er binnen dit onderzoek data is verzameld met betrekking tot machines betreft dit de reeks benoemde machines. Alle andere benodigdheden om het emissieloos werken mogelijk te maken worden apart benoemd.

Tijdens het opwekken van stroom komt er op het moment nog emissies vrij. Bij de emissieberekening is dit buiten beschouwing gelaten.

3.3 Onderzoeksvragen

Tijdens het Living Lab is er data en ervaring verzameld over het gehele proces. Van de investering tot en met de uitvoering. Om het onderzoek overzichtelijk te houden zijn de onderzoeksvragen onderverdeeld in vier onderdelen:

- Materieel
- Energievoorziening
- Proces
- Kosten-baten analyse

Daarnaast is er aan de hand van deze vier onderdelen een casusproject nader beschreven.

Het onderdeel Materieel heeft betrekking tot de CO₂-reductie van het gebruikte materieel. Energievoorziening heeft alles te maken met hoe de accu van het materieel opgeladen kan gaan worden. Het onderdeel Proces gaat aan de ene kant over de mogelijke verschuiving in de werkplanning vanwege verandering in productiviteit. Aan de andere kant over de beleving van het gebruik van elektrisch materieel. Het laatste onderdeel heeft alles te maken de financiële voor- en nadelen.

Het Living Lab heeft een doorlooptijd van één jaar. Dit betekent dat niet alle deelvragen zijn beantwoord tijdens het afstudeertraject (01-02-2021 t/m 11-06-2021). Wijzigingen ten opzichte van het projectplan zijn benoemd in hoofdstuk 10.

Ieder van de onderdelen heeft een onderzoeksvraag met bijbehorende deelvragen. De overkoepelde hoofdvraag voor dit onderzoek luidt:

“Wat gaat emissieloos werken bij (infra)aannemers betekenen voor inzet van materieel en de bijbehorende werkwijze in termen van energieverbruik en kosten?”

De deelvragen zijn als volgt:

Materieel

- “Hoeveel CO₂, NO_x en fijnstof emissies wordt er bespaard wanneer één ploeg voor één jaar emissieloos combi hoofd- en aansluitleidingen aan gaat leggen?”
- “Wat zijn de eigenschappen van het elektrische materieel?”
- (Optioneel): “Welk emissieloos materieel is op dit moment beschikbaar op de markt³?”

Energievoorziening

“Hoe is de energievoorziening op de bouwlocatie te organiseren?”

“Wat is de huidige doorlooptijd voor het aanvragen van een vaste stroomvoorziening?”

³ Dit marktonderzoek betreft een selectief aantal leveranciers. Dit zal geen compleet overzicht worden van alle leverbare machines in binnen- en buitenland

Proces

- "Welke veranderingen zijn nodig in de werkplanning door het gebruik van emissieloos materieel?"
- "Hoe wordt het emissieloos werken ervaren tijdens de uitvoering?"
- (optioneel): "Wat is de doorlooptijd van de energyscope⁴, van doorloop stappenplan tot daadwerkelijk een bruikbare stroomvoorziening?"

Kosten-baten analyse

- "Wat zijn de kosten en baten van emissieloze mobiele werktuigen tegenover conventionele werktuigen?"

⁴ De energyscope is een gestandaardiseerd stappenplan waarmee bepaald kan worden waar de meest geschikte stroomaansluiting zich bevindt en hoe deze aangevraagd kan worden. Dit plan wordt opgesteld door derden.

3.4 Onderzoeksmethode

In deze paragraaf is de onderzoeksmethode beschreven. Er is hoofdzakelijk sprake van een kwantitatief onderzoek. Dit omdat de meeste resultaten in de vorm van getallen en/of feiten zijn. Onderzoek naar de ervaring is kwalitatief. De resultaten hieruit voortkomend zijn persoonlijke ervaringen/ meningen. Hieronder is de methode per onderdeel beschreven.

3.4.1 Materieel

De CO₂-emissies zijn berekend met de emissie-tool, beschikbaar gesteld door TNO⁵. Door de Excel-tool van TNO te gebruiken is de kwaliteit en betrouwbaarheid gewaarborgd. Om de Excel-tool in te kunnen vullen zijn vooraf de volgende vragen beantwoord:

- Welke machines worden er ingezet per jaar?
- Hoeveel draaiuren worden er gemaakt per jaar?
- Wat is het gemiddelde brandstofgebruik van de vergelijkbare dieselvearianten?
- Wat is de uitstoot van de vergelijkbare dieselveariant?

Na het beantwoorden van deze vragen is de Excel-tool ingevuld, en berekent deze aan de hand van een achterliggende database de emissies uit voor een project.

Aan de hand van literatuuronderzoek is de verwachte energie- en vermogensvraag per machine opgesomd. Hiervoor is contact opgenomen met de leveranciers.

Optioneel is er binnen een selectief aantal leveranciers onderzocht welk emissieloos materieel er op dit moment de markt beschikbaar is.

Het aangeleverde product voor dit onderwerp is hoofdzakelijk het resultaat uit de emissie-tool en is weergegeven in hoofdstuk 4. Het resultaat is tekstueel beschreven. De emissies zijn weergegeven in een tabel.

3.4.2 Energievoorziening

De machines moeten dagelijks opgeladen kunnen worden. Daarom zijn er in dit onderzoek twee type oplaadmogelijkheden onderzocht:

- Vaste stroomvoorzieningen
- Mobiele stroomvoorzieningen.

Aan de hand van literatuurstudie en het opnemen van contact met leveranciers is de benodigde informatie verzameld.

Een ander onderdeel waar rekening mee gehouden dient te worden is piekbelasting en load balancing⁶. Aan de hand van het stroom leverend vermogen van diverse

⁵ TNO is de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek.

⁶ Load balancing is het verdelen van stroom onder meerdere stroomvragers om overbelasting van het stroomnet te voorkomen. Hierover meer in hoofdstuk 5.2.2.

oplaadmogelijkheden wordt gekeken hoeveel machines er tegelijkertijd opgeladen kunnen worden.

Daarnaast is er in samenwerking met een externe partij een energiescan/stroomplan opgesteld. Dit houdt in dat er een stappenplan wordt uitgewerkt wat per project doorlopen kan worden om vast te stellen hoe en waar de stroom vandaag gehaald kan worden.

Het product voor Energievoorziening is een overzicht van mogelijke oplaadmogelijkheden. Deze zijn beschreven in hoofdstuk 5. Het stroomplan is een losstaand product.

3.4.3 Proces

Het proces heeft betrekking tot de werkvoorbereiding, werkplanning en praktijkervaringen. Emissieloos werken vraagt om extra stappen in de werkvoorbereiding van de aannemer.

Het opladen van materieel kan mogelijk de dagproductie beïnvloeden. Daarom is de accuduur en de laadtijden per project, per dag gemonitord. De data is verwerkt in een Excelsheet.

Alle ervaringen die zijn ondervonden zijn gedocumenteerd. Dit zijn ervaringen van zowel de uitvoering als tijdens de werkvoorbereiding. Deze ervaringen vormen de kern van het Living Lab.

Tijdens de uitvoering is de machinist samen met de grondwerker geïnterviewd. Zij zijn degene die de ervaringen in de praktijk opdoen. Per machine/ per project zijn er dus twee personen tegelijkertijd geïnterviewd. De ervaringen die in beeld worden gebracht tijdens de uitvoering hebben betrekking tot:

- Productiviteit
- Geluid
- Opladen/ plannen opladen
- Vandalisme/ diefstal voorzieningen
- Het "nieuwe werken" (energiebewustheid)

De interviews zijn gehouden aan de hand van een vragenlijst opgesteld in Word. De interviews zijn in vier stappen verwerkt.

1. Uitwerken van de antwoorden
2. Open coderen; Labels hangen aan de antwoorden
3. Axiaal coderen; Labels vergelijken en samenvoegen tot één Label
4. Selectief coderen; het trekken van een conclusie uit de hoofdkabels van stap 3.

De antwoorden samen met de coderingen zijn overzichtelijk gemaakt in een tabel. De uiteindelijke conclusie is tekstueel verwerkt en zijn weergegeven in hoofdstuk 6 en 8.

3.4.4 Kosten-baten analyse

Om de kosten in beeld te krijgen is de volgende informatie opgevraagd bij de Hoofd Materieeldienst:

- Aanschafkosten van de elektrische 7 en 16 ton rupsgraafmachine en een trilstamper
- De huidige diesel en stroomprijs

Aan de hand van de brandstof-/ stroomprijzen is berekend wat het verschil is in kosten tussen elektrisch en fossiel werken. Dit kostenverschil is een voordeel van emissieloos werken en is weergegeven in hoofdstuk 7.

Naast de directe kosten zijn er ook indirect (extra) kosten gemaakt om elektrisch te kunnen werken. Voorbeelden van extra kosten zijn:

- Kosten stroom bouwer
- Aanvragen bouwstroom
- Realisatie bouwstroom
- Huren laadmogelijkheden
- Productiviteit verlies

Wanneer extra kosten gemaakt worden, zijn deze bijgehouden om uiteindelijk een totaal beeld te krijgen welke kosten er gemaakt moeten worden om emissieloos te werken. Deze extra kosten zijn een nadeel van het werken met elektrisch materieel. In het casus project zijn extra kosten gemaakt om emissieloos te kunnen werken.

3.4.5 Casus project

Naast de onderzoeksvragen is er één project nader uitgewerkt aan de hand van de voorgaande onderdelen. Dit hoofdstuk, hoofdstuk 8, is opgesteld om alle relevante onderdelen betreffende het project overzichtelijk te bundelen in één hoofdstuk.

4 Resultaten Materieel

In dit hoofdstuk zijn de resultaten beschreven voor het onderdeel Materieel. Het onderdeel Materieel heeft alles te maken met de elektrische machines en de emissies van vergelijkbare machines. Er is inzichtelijk gemaakt hoeveel emissies er vrijkomen per jaar, afkomstig van één Combi werkploeg. Hiervoor zijn eerst de ingevulde parameters benoemd met daarna het resultaat.

4.1 Elektrisch materieel

In deze paragraaf worden de technische eigenschappen weergegeven van het elektrische materieel.

In tabel 2 zijn de technische specificaties weergegeven voor het elektrische materieel dat wordt ingezet door een Combi-werkploeg. De variabele oplaadtijden van de drie elektrische graafmachines hangt af van het gebruikte oplaadvermogen. De 16 tons rupsgraafmachine, zie figuur 3 kan in bijvoorbeeld 3,5 uur worden opgeladen wanneer deze is aangesloten op 63A. Wanneer deze wordt opgeladen met een 16A adapter kan het opladen circa 14 uur duren. Het maximale oplaadvermogen van de TB260E en de TB1140E is 44kW. Dit oplaadvermogen is van belang bij de keuze van de stroomaansluitingen.

De draaiuren van de elektrische trilplaten en -stampers worden uitgedrukt in het aantal meters per accu. De motorslijper kan maximaal 18 minuten op vol vermogen draaien. Een voordeel van dit handgereedschap is dat deze verwisselbare accu's hebben. Door met twee of meer accu's te werken kan er achter elkaar doorgewerkt worden. Deze machines worden echter niet 8 uur per dag ingezet.

Tabel 2 Overzicht elektrisch materieel⁷

Machine	Type	Klasse	Vermogen (kw)	Accu (kWh)	Draaiuren	Max. laadtijd	Laad-aansluiting
Rups graafmachine	TB1140E	16 t	75	153	ca. 5 - 6 h	3,5 (14) h	CEE63
Minigraver	Eco Digger R20E	2 t	12,5	30,7	ca. 8 - 9 h	3 (9) h	CEE16
Trilplaat	Wacker 25060e	25 kN	1	1	ca. 404 meter*	4 h	230 V
Trilstamper	Wacker AS60e	17 kN	2,24	1	ca. 303 meter**	4 h	230 V
Motorslijper	TSA 230 Accu doorslijper	230 mm	niet bekend	0,2	ca. 18 min**	1 h	230 V

* o.b.v. een Wacker BP1000 accu

** o.b.v. een Stihl AP300 accu



Figuur 3 Foto elektrische 16 tonner (Hamberg, 2021)

⁷ Bronnen: (SUNCAR HK AG, sd), (Eco-digger, 2021), (Visser Assen, 2021), (Visser Assen, 2021), (detuinmachineshop, 2021).

4.2 Emissie-rekentool

Aan de hand van deze Excel-rekentool zijn de emissies berekend van vergelijkbare machines. De door TNO beschikbaar gestelde tool bevat alleen het invulblad. De achterliggende data en formules zijn niet beschikbaar gesteld omdat dit vertrouwelijke informatie betreft.

In het invulblad zijn de volgende parameters opgesteld:

- Totaal aantal draaiuren per periode/ project
- Periode van inzet (fases)
- Maximaal aantal draaiuren per dag
- Aantal vergelijkbare machines
- (maximaal) motorvermogen (kW)
- Type brandstof
- Type machine
- (motor) vermogensklasse
- STAGE/ FASE-norm
- Aanwezigheid roetfilter

Op basis van een achterliggende database worden de: koolstofdioxide (CO₂), stikstofoxide (NO_x) en de fijnstof (PM) emissies berekend.

De parameters die betrekking hebben op de machines zoals motorvermogen en brandstof zijn in tabel 3 weergegeven. Daarnaast is het gemiddelde brandstofverbruik per machine weergegeven. Dit verbruik is van belang bij de Kosten-baten analyse in hoofdstuk 7.

Tabel 3 Motorgegevens

Machine	Brandstof	Vermogensklasse	STAGE-norm	Brandstofverbruik (L/dag)
16 ton rups	Diesel	75 ≤ kW < 130	IV	120
2 ton minigraver	Diesel	18 ≤ kW < 37	V	17
Trilplaat 60Kn	Diesel	18 ≤ kW < 37	V	3
Trilstamper	Benzine 2-takt	SH3 ≥ 50 cm ³	II	3
Motorslijper	Benzine 2-takt	SH3 ≥ 50 cm ³	II	2

De vermogensklasse voor groot materieel wordt gebaseerd op het motorvermogen in kW. Voor handgereedschap is de cilinderinhoud maatgevend. De Europese emissierichtlijnen (2002/88) voor benzine aangedreven non-road machinery maakt onderscheid tussen "hand held" (SN) (handgereedschap) en "non hand held" (NS) (niet-handgereedschap). (Winther & Nielsen, 2006)

4.3 Emissies per jaar

Welk effect elektrisch materieel heeft op de jaarlijkse uitstoot is berekend aan de hand van twee typen werkploegen: Combi en riolering. De emissies zijn berekend op basis van de volgende inzet:

- 16 ton rupsgraafmachine, 45 weken, 40 uur per week
- 2 ton minigraver op diesel, 45 weken, 40 uur per week
- Trilplaat op diesel met een slagkracht van 6 kilonewton, 45 weken, 16 uur per week
- Trilstamper op benzine. 45 weken, 16 uur per week
- Motorslijper op benzine, 45 weken, 6 uur per week

Gemiddeld bestaat een jaar uit 45 werkweken. Daarnaast is ervan uitgegaan dat de kraanmachinist 8 uur per dag, 40 uur per week graafwerkzaamheden verricht. De trilplaat, trilstamper en motorslijper worden niet de gehele dag door gebruikt. Daarom is er voor de trilplaat en trilstamper gerekend met 16 uur/week en voor de motorslijper 6 uur/week.

Jaarlijkse emissies Combi-ploeg

Op basis van de parameters en de draaiuren zijn de volgende emissies bepaald voor één Combi-ploeg met een 2 ton minigraver, zie tabel 4.

Tabel 4 Jaarlijkse emissies Combi-ploeg

Machine	CO2 (Ton)	NOx (Kg)	PM (Kg)
2 ton minigraver	9,8	77,1	0,15
Trilplaat 60Kn	1,8	15	0,06
Trilstamper	1,5	1,1	5,6
Motorslijper	1,1	0,8	3,5
Totaal:	14,2	94	9,2

Jaarlijkse emissies Riolploeg

Op basis van de parameters en de draaiuren zijn de volgende emissies bepaald voor één Combi-ploeg/ rioolploeg met een 16 ton minigraver, zie tabel 5.

Tabel 5 Jaarlijkse emissies Riolploeg

Machine	CO2 (Ton)	NOx (Kg)	PM (Kg)
16 ton rups	70,1	95,4	2,2
Trilplaat 60Kn	1,8	15	0,06
Trilstamper	1,5	1,1	5,6
Motorslijper	1,1	0,8	3,5
Totaal:	74,5	112,3	11,3

Wat opvalt is dat de trilstamper en motorslijper een hoge fijnstof emissie hebben. Dit is te verklaren door de lagere STAGE-norm en het type motor.

Waar rekening mee gehouden moet worden ten opzichten van hoofdstuk 2.2 is dat in de Excel-rekentool ook emissies in stationaire situatie zijn berekend. De Excel-rekentool geeft hierdoor hogere en nauwkeurigere emissies weer dan wanneer deze handmatig worden berekend.

De hoeveelheid uitstoot is vertaald naar praktische voorbeelden. Hierdoor wordt er een beeld geschept wat deze waarden precies inhouden, zie tabel 6.

Tabel 6 Vergelijkingen emissiewaarden

Vergelijking		2T ploeg	16T ploeg
1 ton CO ₂	Een half jaar lang rijden met 1 auto op benzine in Nederland (o.b.v. 9.994 km/ jaar). (Climate Neutral Group, 2021)	7 jaar rijden	37 jaar rijden
1 ton CO ₂	Ook hetzelfde als 2,6 economy vluchten van Amsterdam naar Rome. (Climate Neutral Group, 2021)	37 enkele vluchten	194 enkele vluchten
12 kg NO _x	Eén autorit van Amsterdam naar Utrecht met een Euro 5 diesel bedrijfsauto. (TNO, 2015)	8 enkele ritten	10 ritten
1 kg PM	Uitstoot van 1 open haard op jaarbasis. (o.b.v. een warmte opwekking tot 5 Megawatt in 2018). (ir. J. Koppejan & Ir. F. de Bree, 2018)	9 open harden	11 open haarden

5 Resultaten Energievoorziening

In dit hoofdstuk zijn de deelvragen van het onderdeel Energievoorziening beantwoord. Eerst zijn er enkele begrippen toegelicht. Daarna zijn er mogelijkheden beschreven om het materieel op te laden. Ook is er ingegaan het principe van load balancing.

5.1 Begrippenlijst

Capaciteit: aangegeven in kilowattuur (kWh), wat inhoudt dat deze maximaal een x-aantal kilowatt per één uur kunnen leveren. Ook worden deze in Ampère uur (Ah) aangegeven. Dit betekent dat er een x-aantal ampères per uur geleverd kunnen worden.

Spanning: de hoeveelheid energie die een elektrische lading heeft. De spanning op een Schuko aansluiting ("normaal" stopcontact) is in Nederland 230 V. Bij 400 V wordt er gesproken van krachtstroom.

Frequentie: bij wisselspanning lopen elektronen van de plus- naar de minpool, en andersom. Hoe vaak de energie per seconde veranderd heet de frequentie. Een frequentie van 50 Hertz betekent dat er binnen één seconde de spanningswaarde 50 keer verandert. Bron: (Rob, Elektroshop.nl, 2021).

Vermogen: wordt vermeld in kilovoltampère (kVA). Het vermogen is te berekenen aan de hand van: $Vermogen (W) = spanning (V) * stroom (A)$.

Omvormer: batterijen en accu's leveren gelijkspanning. Gelijkspanning kan worden opgewekt met zonnecellen. Met een omvormer wordt gelijkspanning omgezet naar wisselspanning. Het stroomnet levert altijd wisselspanning.

Powerlock: een enkelpolige aansluiting die geschikt is voor hogere stroomsterktes. Deze worden toegepast wanneer meerpolige connectoren en kabels onpraktisch zijn. Bron: (Cannon veom, 2021).

Afzekeren: het begrenzen van het vermogen.

5.2 Stroomvoorzieningen

In dit onderzoek zijn er twee mogelijkheden van stroomvoorziening onderscheiden: vast en mobiel. Deze twee mogelijkheden zijn in dit hoofdstuk nader beschreven. Ook zijn er enkele stroomvoorzieningen die thans op de markt zijn beschreven.

5.2.1 Aansluitingen

Stroomaansluitingen kennen twee typen, een 1-fase- en een 3-fase-aansluiting. Een 1-fase-aansluiting bestaat uit een kabel met twee draden: de fasedraad en de nuldraad. De fasedraad staat onder spanning ten opzicht van de nuldraad en aarde. Een 3-fase-aansluiting heeft drie fasedraden van 230V en een nuldraad. Met een 3-fase-aansluiting kan ook krachtstroom worden geleverd. Bij krachtstroom wordt de spanning tussen de fasedraden verhoogt naar 400V. Krachtstroom is benodigd voor apparaten die veel stroom gebruiken. Over het algemeen wordt krachtstroom gebruikt in industriële situaties.

Op basis van het vermogen zijn de aansluitingen onderverdeeld in drie klassen: huisaansluiting, kleinzakelijke aansluiting en een grootverbruikaansluiting. In de tabel 7 hieronder zijn de verschillende aansluitingen weergegeven.

Tabel 7 Typen aansluitingen (Stedin, 2021)

Aansluiting	Toepassing
1 x 10 A	Aansluiting voor apparatuur zoals een elektrische deur
1 x 35 A	Kleine huisaansluiting
3 x 25 A	Standaard huisaansluiting
3 x 35 A	Grote huisaansluiting bijv. gebruik warmtepomp
3 x 50 A	Kleinzakelijke aansluiting bijv. winkel
3 x 63 A	Groot Kleinzakelijke aansluiting
3 x 80 A	Bedrijfsaansluiting
>3 x 80 A	Grootverbruikaansluiting

5.2.2 Vast stroompunt

Een vast stroompunt of permanent stroompunt biedt een stabiele vorm qua stroomvoorziening. Voorbeelden van vaste stroompunten zijn: evenement-stroompunten, autolaadpalen maar ook stroomaansluitingen op bouwlocaties, zogeheten bouwstroom. Bouwstroom wordt in dit onderzoek gezien als een vast stroompunt omdat (nieuw)bouwprojecten langere tijd duren.

In deze paragraaf wordt ingegaan op bouwstroom en autolaadpalen.

Bouwstroom

Een bouwaansluiting is een tijdelijke aansluiting ter behoeve van (bouw)werkzaamheden. Het aanvragen van bouwstroom loopt via de landelijke website: mijnaansluitingen.nl. De grootte van de aansluiting is op basis van de benodigde stroomvraag van de bouwer. Kleinverbruik aansluitingen beginnen bij 3 x 25A en lopen op tot 3 x 80A. Alles groter dan 3 x 80A valt onder grootverbruik. Per locatie wordt er één aansluiting gerealiseerd. In plaats van drie 3 x 25A aansluitingen moet er gekozen worden voor een 3 x 80A aansluiting, zie berekening:

$$(230V * 25 * 3) * 3 = 51,75 \text{ kW}$$

$$(230V * 80 * 3) * 1 = 55,20 \text{ kW}$$

De netbeheerders hebben een aansluitplicht op basis van artikel 23 lid 4 van de Elektriciteitswet 1998 (de "E-wet"). Hierin staat vermeld dat een aansluiting voor elektriciteit binnen redelijke termijn gerealiseerd moet worden. Dit redelijke termijn is bepaald op 18 weken. Deze aansluitingstermijn geldt voor:

- een aansluiting tot 10 MVA, of;
- een aansluiting voor een productie-installatie voor de opwekking van duurzame elektriciteit of een installatie voor hoogrenderende warmtekrachtkoppeling, tenzij de netbeheerder niet in redelijkheid kan worden verweten dat hij de aansluiting niet binnen de genoemde termijn heeft gerealiseerd.

(Holla, 2020)

Liander is de netbeheerder voor onder andere de gemeente Amsterdam. Uit telefonisch contact is gebleken dat Liander zich richt op een aanvraagtermijn van 13 weken, bij aansluitingen tot 3 x 80A.

Eén 16 tons rupsgraafmachine heeft een maximaal laadcapaciteit van 44 kW. Om deze op te laden is een 3 x 80A aansluiting nodig. Een 3 x 63A aansluiting heeft een capaciteit van 43,5 kW. Dit zit tegen het maximale laadcapaciteit aan en zal daardoor het volledige vermogen vragen.

Bij twee 16 tons rupsgraafmachines zal minimaal een 3 x 125A aansluiting nodig zijn. Deze levert maximaal 86,25 kW. Een 3 x 160A aansluiting zou de voorkeur hebben. Deze is gelijk aan 110,4 kW en heeft dus nog capaciteit over.

Autolaadpalen

Op basis van de website Chargemap zijn er op 4 mei 2021, 988 oplaadpunten in Amsterdam (Chargemap, 2021). Binnen de stad Amsterdam is Vattenfall de beheerder van de openbare laadpalen.

Autolaadpalen maken gebruik van dynamic load balancing. Dynamic Load Balancing verdeelt de beschikbare stroom over de aangesloten apparaten, aangesloten binnen één netwerk. Wanneer de stroomconsumptie stijgt zakt de laadsnelheid. Wanneer de stroomconsumptie weer zakt stijgt de laadsnelheid weer. Met dynamic load balancing kan er voorkomen worden dat de huidige netaansluiting verzwakt moet worden. Ook wordt de laadsnelheid geoptimaliseerd op basis van de beschikbare stroom. Dit alles om overbelasting te voorkomen.

Het opladen van elektrische auto's werkt aan de hand van het Mode 3 protocol. Dit houdt in dat er communicatie plaats vindt tussen de auto en de laadpaal. Wanneer er twee auto's aan de laadpaal hangen wordt via het Mode 3 protocol gecommuniceerd tussen beide auto's en de laadpaal en kan er dynamisch worden opgeladen.

Bouwmachines die aan de hand van een verloopstuk aan een laadpaal worden verbonden hebben niet de zogeheten "control pilot pin", en vindt er dus ook geen communicatie plaats met de laadpaal. Dit betekent dat er in theorie maar één machine op één laadpaal gekoppeld kan worden. Wanneer er op hetzelfde dubbele laadstation één auto en één elektrische minigraver tegelijkertijd aangesloten wordt, wordt er gecommuniceerd met de auto maar niet met de minigraver. Hierdoor gaat de laadpaal, aan de kant van de minigraver, op veilige modes en laad niet verder op. Hier zal dus rekening mee gehouden moeten worden wanneer laadpalen worden gebruikt om materieel op te laden.

Vattenfall plaatst laadpalen van zowel de producent EVBox als Alfen. Hieronder zijn twee typen laadpalen beschreven.

EVBox BusinessLine

Dit type laadpaal heeft een maximaal laadcapaciteit tot 22 kW en is leverbaar als dubbelstation. Dit houdt in dat deze twee auto's tegelijkertijd kan bedienen. Alle laadpalen van EVBox maken gebruik van (dynamic) load balancing. Het maximaal aan te sluiten laadstations binnen één balancing cluster bedraagt 10 dubbele of 20 enkele laadstations. De voertuigverbinding is een type 1 of 2 stopcontact met, afhankelijk van het type, een uitgangsvermogen: 1-fase (32A) of 3-fasen (16A en 32A). (EVBox Manufacturing B.V., 2021)

Alfen Twin

Dit type laadpaal heeft een maximaal laadcapaciteit tot 22 kW en is een dubbelstation. Eén balancing cluster van Alfen kan tot 50 dubbele of 100 enkele laadstations bedragen. De voertuigverbinding is een type 2 stopcontact met, afhankelijk van het type, een uitgangsvermogen van 20A (13,75kW) of 32A (22kW) per fase. (Alfen N.V., 2021)

Parkeervakken

Wanneer het elektrische materieel door middel van een openbare laadpaal wordt opgeladen moet deze worden gestald op één of meerdere parkeervakken. Binnen de openbare ruimte worden er twee typen parkeervakken gedefinieerd: langs en haaks parkeren. Voor langs parkeren moet er minimaal een strook van 1,80m x 5,50m worden gereserveerd, per vak. De parkeervakgroottes bij haaks parkeren zijn minimaal: 2,40m x 5,00 meter. (TU Delft, 2020).

De TB1140E, 16 tons rupsgraafmachine heeft een transportafmeting van: 7,78m x 2,49m. De R20E, 2 tons minigraver heeft een transportafmeting van: 3,84m x 1,25m.

Op basis van de afmetingen houdt dit in dat de TB1140E niet opgeladen kan worden met openbare laadpalen omdat deze ruim de parkeervakgroottes overschrijdt. De R20E past zowel binnen een langs als haaks vak.

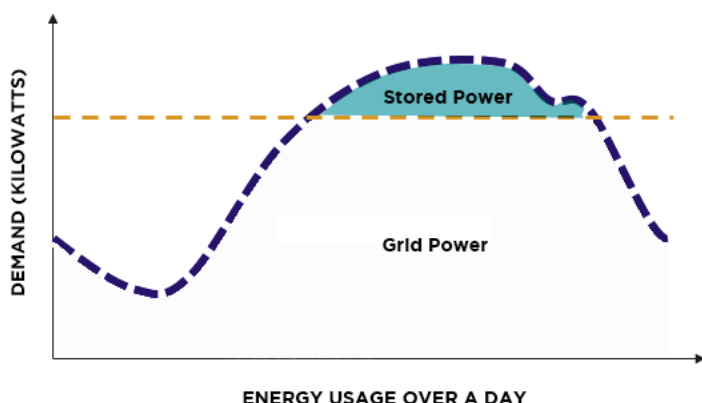
Naast parkeervakgroottes moet er ook rekening gehouden worden met parkeerzones.

5.2.3 Mobiele stroomvoorzieningen

Op projectlocaties waar geen vaste stroompunten aanwezig zijn zoals in een bouwrijp situatie kan er gekozen worden voor een grootschalige batterijcontainer of bij noodzaak een aggregaat. Een diesel aggregaat is geen gewenste oplossing. Daarom is er gekeken naar hybride- en waterstofvarianten. In deze paragraaf worden beide opties beschreven, samen met enkele modellen die huidig verkrijgbaar zijn.

Batterijcontainers

Een batterijcontainer of accucontainer is een grootschalig accupakket in een (metalen) behuizing. De batterijen/ accu's worden constant gevoed door een kleinere stroombron zoals een netaansluiting, zonnepanelen of een aggregaat. Op het moment dat er een tijdelijke piekvraag is, zoals bij het opladen van groot elektrisch materieel, dan leveren de accu's het benodigde vermogen. Op het moment dat de piekvraag voorbij is laden de accu's zich weer bij. Dit staat ook wel bekend als "peak shaving". (Greener, 2021). In figuur 4 is peak shaving weergegeven in grafiek. De "stored Power" slaat op de batterijen die de piekvraag afvangt.



Figuur 4 Schematische weergave peak balancing (Amanda Amara, 2021)

In onderstaande tabel 8 zijn vier mogelijk toepasbare producten weergegeven van verschillende leveranciers. In het overzicht is onder andere de capaciteit en de beschikbare aansluitingen weergegeven. Dit zijn echter enkele van de mogelijkheden die momenteel op de markt zijn.

Tabel 8 Overzicht batterij containers

Batterij containers												
Product	Capaciteit	Spanning	Frequentie	Aansluitingen					Formaat	Gewicht (Kg)	Huur/week	Bron:
				16A	32A	64A	125A	Overig				
Battery Box Bredenoord	600 kWh	360 - 400 V	50/60 Hz		1		1	Klemmen en powerlocks	20 ft	16.180	€ 5.100,00	(Bredenoord, 2021)
Mobiele batterijen Greener	336 kWh	230 - 400 V	50 Hz			1			10 ft	7.500	€ 3.500,00 - € 2.800,00	(Greener, 2021)
Batterypack 50 kw F&L Powerrental	110 kWh			2	1	1	1	Ingaand: powerlock of 125A	10 ft	5.000	€ 1.015,00	(Powerrental, 2021)
Batterypack 100 kw F&L Powerrental	110 kWh			2	1	1	1	Ingaand: powerlock of 125A	10 ft	5.500	€ 1.225,00	(Powerrental, 2021)

Hybride aggregaten

Een hybride aggregaat is een combinatie van zonnepanelen en een (bio)dieselaggregaat. De zonnepanelen leveren stroom aan het accupakket. Wanneer er stroom gevraagd wordt zal eerst het accupakket haar stroom afgeven waarna de aggregaat aanslaat. Ook bij een piekvraag zal de aggregaat inschakelen. Door de combinatie van een accupakket en een aggregaat worden brandstofkosten en emissies gereduceerd. De hoeveelheid zonnepanelen hangt af van het model/product. Gemiddeld zijn de aggregaten voorzien van 6 zonnepanelen.

In onderstaande tabel 9 zijn vijf mogelijk toepasbare producten van verschillende leveranciers weergegeven. In het overzicht is onder andere de capaciteit en de beschikbare aansluitingen weergegeven. Dit zijn echter enkele van de mogelijkheden die momenteel op de markt zijn.

Tabel 9 Overzicht hybride aggregaten

Hybride aggregaten met zonnepanelen												
Product	Vermogen	Omvormer	Capaciteit	Aansluitingen					Formaat	Gewicht (kg)	Huur/week	Bron:
				16A	32A	63A	125A	Overig				
De Groene Aggregaat: model 30	40 kVA	30 kVA	320 Ah	1	1				10 ft		€ 756,00	(De Groene Aggregaat, 2021)
De Groene Aggregaat: model 45	60 kVA	45 kVA	640 Ah		1	1			10 ft		€ 882,00	(De Groene Aggregaat, 2021)
De Groene Aggregaat: model 100	73 kVA	73 kVA	1520 Ah			1	1*		20 ft		€ 1.810,00	(De Groene Aggregaat, 2021)
Loxam	44 kVA	30 kVA	640 Ah		1	1			10 ft		€ 1.268,40	(Loxam, 2021)
Loxam	66 kVA	45 kVA	640 Ah		1	1			10 ft		€ 1.412,60	(Loxam, 2021)

* Afgezekerd op 83A

Waterstofaggregaten

Aggregaten op waterstof zijn op dit moment nog in ontwikkeling. Bredenoord is hierin één van de koplopers. Deze heeft Purity ontwikkeld (Bredenoord, 2021). Dit is een aggregaat voor op de bouwplaats gebaseerd op waterstofcellentechnologie. Een waterstofcel/brandstofcel brengt waterstof en zuurstof in aanraking waardoor er een chemische reactie optreedt waarbij energie, warmte en water vrijkomt (Feenstra, 2019).

Purity heeft een vermogen van 5 kVA en is voorzien van 12 cilinders waterstof 5.0⁸ van elk 50 liter. Bij vollast kan deze 30 uur stroom leveren waarna de cilinders gewisseld moeten worden. Later dit jaar komt er een tweede model op de markt met een vermogen van 30 kVA.

Toepassing

Om een keuze te maken voor een geschikte batterijcontainer of aggregaat moet er gekeken worden de type aansluiting, de capaciteit en voor de aggregaten het vermogen. Daarnaast moet er rekening houden worden dat batterijcontainers ook een stroomaansluiting vragen om op te laden.

Om een voorbeeld te geven: De 16 tonner heeft een netto accucapaciteit van 153 kWh. Met een 600 kWh batterijcontainer kan bijna vier keer volledig worden opgeladen. Waarna de batterijcontainer opgeladen moet worden.

De maximale oplaadcapaciteit van de 16 tonner is 44 kW. Dit betekent dat de (hydride)aggregaat minimaal 44 kVA aan vermogen nodig heeft. Echter wordt hiermee het volledige vermogen gevraagd. Verstandig is om meer vermogen te hebben dan maximaal gevraagd wordt.

Met 640 Ah kan er maximaal 10 uur lang 63A geleverd worden. Op basis van de factsheet (SUNCAR HK AG, sd) kan deze bijna drie keer volledig worden opladen. Mits de accu van de hybride aggregaat volledig ontladen kan worden.

Waterstof is op dit moment nog geen optie voor het opladen van groot bouwmaterieel.

⁸ Het getal 5.0 geeft de zuiverheid aan van het gas (Rijngas, 2021).

6 Resultaten Proces

Dit hoofdstuk bevat de resultaten van het onderdeel Proces. In dit hoofdstuk worden eerder opgedane ervaringen beschreven van het werken met elektrisch materieel. Deze ervaringen komen voort vanuit een project gerealiseerd door de Aannemingsmaatschappij Van Gelder. Daarnaast zijn de ervaringen beschreven die tijdens het Living Lab zijn opgedaan.

6.1 Praktijkervaringen elektrisch werken binnen Van Gelder

Tijdens de periode naar de start van het Living Lab toe heeft de 16 tons rupsgraafmachine gedraaid binnen een project buiten het Living Lab. Dit project is uitgevoerd door Aannemingsmaatschappij Van Gelder.

6.1.1 Projectomschrijving

Het project was voor de gemeente Westvoorne. In Oostvoorne aan de Zuidoever van het Oostvoornsemeer werd er een kwalitatieve verbetering van de openbare ruimte gerealiseerd. Dit betrof met name de aanleg van veilige oversteeklocaties voor fietsers, het verbeteren van de gebiedsentree en een verbetering van de parkeervoorzieningen. Alle werkzaamheden dienden emissieloos uitgevoerd te worden, van aanvoer materiaal en materieel als de uitvoering van bovengenoemde werkzaamheden.

6.1.2 Elektrisch materieel

Tijdens het project is het volgende elektrische materieel ingezet:

- Elektrische vrachtwagen met dieplader (t.b.v. transport kranen en straatmaterialen) en kieptrailer.
- 2 stuks elektrische 16 tonner rupskraan
- 1 stuks elektrische 2 tonner minikraan
- 1 stuks knikmops 2,5 tonner.
- 3 stuks elektrische gator (t.b.v. transport mensen en klein materieel)
- 1 stuks accu trilplaat
- 1 stuks accu motorslijper
- 2 stuks accupack (t.b.v. stroomvoorziening bouwkeet)

6.1.3 Ervaringen

Om de resultaten van de ervaringen te vergaren is er een vragenlijst opgesteld. Deze is weergegeven in bijlage 3. De antwoorden zijn verwerkt aan de hand van een kwalitatieve codering. Dit houdt in dat de antwoorden worden toegespitst naar overkoepelende kernwoorden. De antwoorden en codering is weergegeven in bijlage 4.

Uit de antwoorden blijkt is dat elektrisch werken effect heeft op de manier van werken. Omdat de accu de werkdag bepaald wordt er efficiënter gewerkt met de machines. Dit om de accuduur maximaal te benutten. Dit heeft er ook mee te maken dat de accuduur van de grote machines beperkt is. Deze moeten tijdens de pauze bijladen zodat de machines tot het einde van de werkdag inzetbaar zijn. Daarna worden alle machines aansluitend tot de volgende ochtend opgeladen. De oplaadtijden variëren sterk. Dit hangt af van de grootte van de stroomaansluiting. Gemiddeld werd er een oplaadtijd van 6,5 uur ondervonden. Naast de besparing op emissies is de geluidreductie een groot voordeel. Dit werkt ten goede aan de communicatie rondom de machines. Stemmen hoeven niet meer verheft te worden waardoor signaleringen of waarschuwingen duidelijker overkomen.

6.2 Ervaringen Living Lab

In deze paragraaf zijn de ervaringen beschreven die zijn opgedaan tijdens het Living Lab. Deze paragraaf verschilt van 6.1 omdat bovengenoemde ervaringen gericht op het werken met elektrisch materieel los staan van het Living Lab.

6.2.1 Ervaringen tijdens de voorbereidingsfase

Complexiteit stroomvoorzieningen

Voordat er groot elektrisch materieel aangeschaft wordt zal er goed nagedacht moeten worden hoe deze machines opgeladen gaan worden. Elektrisch handgereedschap kan eenvoudig met 230V worden opgeladen. Echter het grote materieel vraagt om vermogens tussen de 16A en 63A. Dit zijn vermogens die niet overal zomaar beschikbaar zijn. De uitdaging met elektrisch werken is hoofdzakelijk het opladen van het materieel. (10-03-2021)

Storing

Voor aanvang van de levering van de 16 tons elektrische rupsgraafmachine ondervond de machine een storing. Een groot nadeel ten opzichte van diesel/benzine machines is dat deze storingen voornamelijk niet door Van Gelder's eigen monteurs gerepareerd kunnen worden. Hiervoor moet een externe monteur worden ingevlogen. Dit betekent dat op dit moment elektrische machines langer buiten gebruik zullen zijn bij gebreken dan diesel/benzine machines. (10-03-2021)

Onderaanneming

Van Gelder KLM Combi werkt met onderaannemers. Wanneer Van Gelder overgaat naar emissieloos werken zal ook overlegd moeten worden met de onderaannemers. Dit is van groot belang om draagvlak te creëren.

Onderaannemers hebben veelal eigen materieel. Dit betekent dat wanneer deze worden ingehuurd er een machinist inclusief graafmachine wordt gehuurd. Wanneer de machinist met elektrisch materieel, van Van Gelder, gaat werken staat zijn eigen materieel stil. Dit kost de onderaannemer geld. Over de inzet van elektrisch materieel zullen dus goede afspraken gemaakt moeten worden. (29-03-2021)

Vertraging levering

Begin januari had de verhuurder de twee elektrische graafmachines gereed staan voor Van Gelder. Echter door een verschuiving in de planning zijn deze twee graafmachines in de tussentijd verhuurd. Op het moment is groot elektrisch materieel zeer schaars leverbaar. Dit is ook de reden dat het verhuurbedrijf deze in de tussentijd heeft verhuurd. In de tussentijd is de beslissing genomen dat dit materieel gespoten moest worden in de kleuren van Van Gelder. Tijdens het spuiten zijn er problemen ondervonden en zijn de graafmachines naar een andere spuitspecialist gebracht. Al met al heeft dit een vertraging van twee maanden opgeleverd. Wat achteraf gezien beter had gekund is het hanteren van een harde planning, duidelijkheid over de kleurstelling en betere begeleiding tijdens het spuiten zelf. (31-03-2021)

Gebruik van bouwstroom

Via de organisatie NRG Accounting is er contact gelegd met de woningbouwbedrijven in verband met het gebruik van de huidige bouwstroomaansluitingen. Wij hebben ondervonden dat de bouwer van zowel de O-Kavel als de N-Kavel hier open voor stond. Door een overeenkomst op te stellen en een kWh-prijs af te stemmen was de stroomvoorziening binnen een week geregeld. Uitgezonderd van de stroommeters. (05-05-2021)

Vroegtijdig opladen bij onregelmatig gebruik

Wanneer de machines onregelmatig worden ingezet moet er aan gedacht worden dat de machine van te voren worden opladen. Wanneer dit vergeten wordt is de kans aanwezig dat de machine met een lage accustand op het werk komt te staan. (07-05-2021)

6.2.2 Ervaringen tijdens de uitvoeringsfase

Opladen hybride aggregaat

Tijdens het project Fridtjof Nansenhof is de 16 ton elektrische graafmachine ingezet in combinatie met een hybride aggregaat. Dit project betrof een bouwrijp situatie waardoor er een mobiele stroomvoorziening is ingezet in de vorm van een Hybride aggregaat.

Wij hebben ondervonden dat de elektrische graafmachine: Suncar TB1140E niet geschikt is om via een hybride aggregaat opgeladen te worden. Een hybride aggregaat heeft zowel een accupakket als een generator. In ons geval had deze ook zonnepanelen. De zonnepanelen laden het accupakket op. De generator werkt als back-up bij een hoge stroomvraag.

Wanneer het aggregaat aansloeg, stopte de graafmachine met opladen. Op het moment dat de schakeling plaats vond tussen het accupakket en de generator is er een verlaging/verandering in spanning. De graafmachine "las" deze verandering alsof de stroomtoevoer was gestopt. Deze stopte hierdoor met opladen. Wanneer de spanning weer op niveau was startte de graafmachine niet automatisch met opladen. Het opladen moet handmatig worden gestart, met een druk op de knop.

Doormiddel van de instelling "slow start", in de graafmachine, hebben wij het probleem enigszins weten te omzeilen. Met "slow start" konden wij het opladen starten met 8 Ampère en na een aantal minuten is deze verhoogd naar 16 Ampère. Dit resulteerde de volgende ochtend in een accustand van 30%. (07-04-2021)

Lagere hijskracht

De 7 tons elektrische rupsgraafmachine heeft niet de kracht om volle Big Bags, met grond, te verplaatsen. De verwachting was dat deze krachtig genoeg zou zijn. (10-05-2021)

Uitvallen machine

In week 20 hebben wij problemen ondervonden met de 16 tons rupsgraafmachine. Deze viel regelmatig uit. Op 19 mei 2021 viel deze 4x uit binnen één half uur. De oorzaak van deze storing is op dit moment nog onbekend (19-05-2021)

Problemen elektrische bronbemaling

In de middag van 8-6-2021 is de elektrische bronbemaling op de O-kavel kapot gegaan. Omdat de volgende ochtend de bouwkuip droog moest zijn is er besloten dezelfde avond nog een dieselpomp te laten komen. Dit om zeker te zijn dat de kuip bemalen zou worden. Anders had het werk stilgelegd de volgende dag. (08-06-2021)

Minigraver in warm weer

Op 8-6-2021 heeft de minigraver in de ochtend zo goed als aan één stuk door kunnen graven. Dit in combinatie met het warme weer (~25°C +) resulteerde dit, dat de accu na een halve dag leeg was. Intensief graven in combinatie met een koelsysteem, dat volop draait, maakt dat de accu snel leegloopt. (08-06-2021)

7 Kosten-baten analyse

In dit hoofdstuk zijn de kosten en de baten van elektrisch materieel inzichtelijk gemaakt. Dit is gedaan door de conventionele kosten tegenover de elektrische kosten te zetten. Er is een onderscheidt gemaakt tussen materiële kosten en brandstofkosten. Onder materiële kosten vallen de interne (ver)huurtarieven. Van Gelder heeft zijn eigen materiële dienstverlening. Dit houdt in dat er intern materiële stukken gehuurd kunnen worden, wat weer betekend dat de huurtarieven afwijken van de marktprijzen. Brandstofkosten zijn de diesel- en de stroomkosten.

In bijlage 5 zijn de volledige begrotingen weergegeven. De tarieven van het materieel zijn verborgen. Ook zijn deze tarieven enigszins aangepast omdat dit vertrouwelijke informatie betreft. Het resultaat is een kosten-baten analyse met richtprijzen.

De materiële kosten zijn als volgt opgebouwd. Eerst zijn de materiële huurtarieven in beeld gebracht ter behoeve van twee Combi-werkploegen. Het begrootte materieel is weergegeven in tabel 10.

Tabel 10 Overzicht materieel

Combi-ploeg	Rioolploeg
1x 2 tons minigraver	1x 16 tons rupsgraafmachine
1x trilplaat	1x trilplaat
1x trilstamper	1x trilstamper

Dit materieel is zowel voor de conventionele als elektrisch situatie begroot.

De brandstofkosten zijn berekend op basis van de dieselrichtprijs van 19-04-2021. Het brandstofverbruik komt voort uit de emissieberekeningen. De prijs voor 2-takt benzine is gebaseerd op basis van de particuliere prijs per 25L, bepaald op 06-05-2021. In de berekening is geen rekening gehouden met prijsfluctuaties. De stroomprijs is begroot aan de hand van de afgesproken prijs ter behoeve van het project N-Kavel.

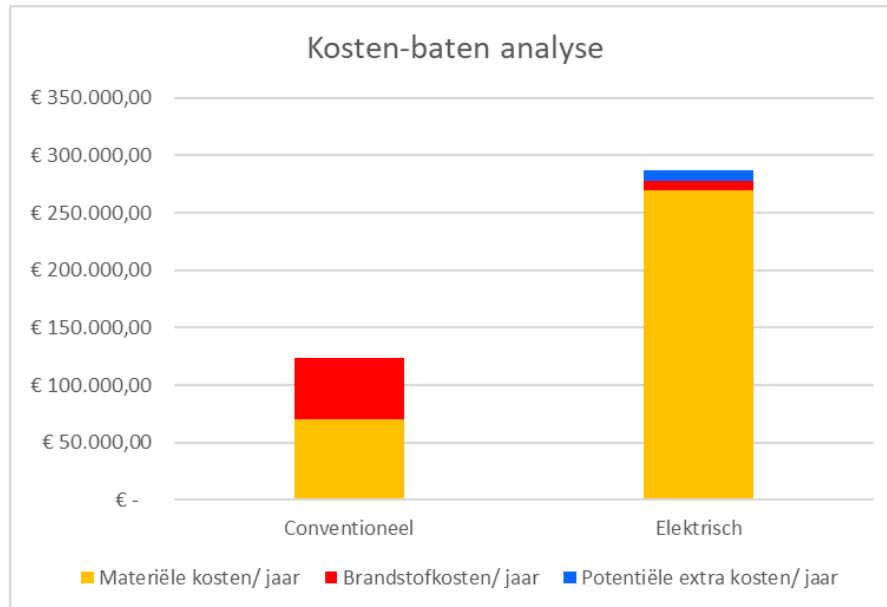
Bij elektrisch werken worden er ten opzichte van conventioneel extra kosten gemaakt. Deze kosten hebben betrekking tot stroommeters ter behoeve van afrekening en eventueel de huur van batterijcontainers. In de kosten-baten analyse zijn de huurprijzen van twee stroommeters gecalculeerd.

De jaarlijkse kosten en baten resulteren in het overzicht weergegeven in tabel 11 en figuur 5.

Tabel 11 Resultaten kosten-baten analyse

	Conventioneel	Elektrisch	Vershil
Materiële kosten/ jaar	€ 70.000,00	€ 270.000,00	€ -200.000,00
Brandstofkosten/ jaar	€ 54.000,00	€ 8.000,00	€ 46.000,00
Potentiële extra kosten/ jaar	€ -	€ 9.000,00	€ -9.000,00
Rendement			€ -163.000,00

Uit de resultaten blijkt dat het inzetten van elektrisch materieel 2,2 keer duurder is als conventioneel. De huidige huurtarieven van het grote materieel zijn daarentegen ongeveer 4,3 keer hoger als conventioneel. Dit verschil wordt verklaard door de besparing op brandstofkosten. Echter is dit verschil niet dusdanig dat de hogere huurtarieven de lagere brandstofkosten opheffen.



Figuur 5 Resultaten kosten-baten analyse

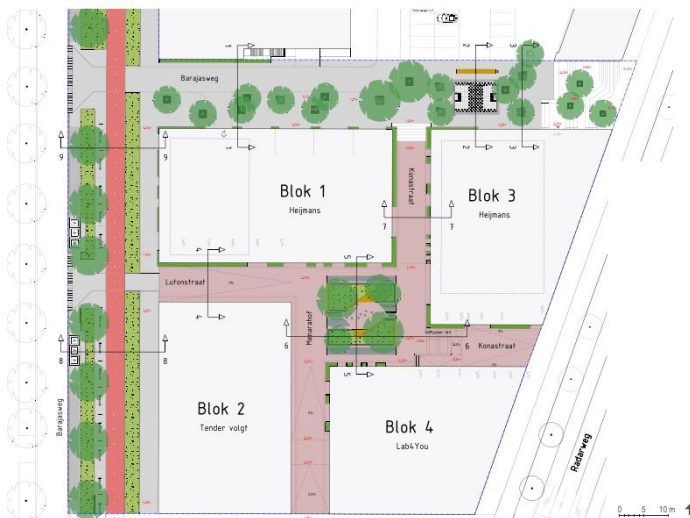
De potentiële extra kosten kunnen enorm stijgen wanneer er op projectlocaties een batterijcontainer aangesloten moet worden omdat er geen andere stroompunten aanwezig zijn.

8 Emissieloos N-kavel, blok 4

Dit hoofdstuk beschrijft hoe het desbetreffende project deels emissieloos is uitgevoerd en ervaren. Ook zijn voor dit project de extra kosten beschreven om emissieloos werken mogelijk te maken. Vanwege het tijdsbestek zijn de data en ervaringen van een deel van de werkzaamheden gedocumenteerd.

8.1 Projectomschrijving

Ten zuiden van station Sloterdijk, te Amsterdam, is de N-kavel in ontwikkeling. Deze kavel grenst ten oosten aan de Raderweg, ten zuiden aan de Alandaweg en ten westen aan de Barajasweg. Op de kavel worden vier woonblokken gerealiseerd, zie figuur 6.



Figuur 6 Plankaart N-kavel (Heijmans, 2019)

10 mei 2021 is Van Gelder gestart met het aanleggen van de ondergrondse infrastructuur ter behoeve van blok 4. Gedurende 12 weken realiseert Van Gelder hoofd- en aansluitleidingen van: riolering, drinkwater, elektra en data.

Het voorbereidende werk betrof het plaatsen van Big Bags gevuld met grond. Deze dienden als grondkering tussen de bouwweg en het nieuwe maaiveldniveau.

8.2 Materieel

Het elektrisch materieel wat over het gehele project wordt ingezet is als volgt:

Vorbereidend werk:	- 16 ton rupsgraafmachine
Rioleringswerk:	- 16 ton rupsgraafmachine
Drinkwater:	- 2 ton minigraver + trilstamper
Elektra:	- 2 ton minigraver + trilstamper
Data:	- 2 ton minigraver + trilstamper

Daarnaast wordt er elektrische bronbemaling ingezet.

8.3 Energievoorziening

Namens van Gelder heeft NRG Accounting contact opgenomen met de uitvoerende partij: Vink Bouw. Aan de hand van een overeenkomst opgesteld door NRG Accounting biedt Vinkbouw de mogelijkheid om het elektrische materieel aan te sluiten en op te laden aan de hand van de aanwezige bouwaansluiting.

NRG Accounting richt zich op het ontsluiten van energie in de openbare ruimte vanuit bestaande energievoorzieningen. Met ontsluiten wordt bedoeld het monitoren, beheren en registreren van toegang en verbruik tot deze stroompunten. NRG heeft hiervoor diverse tools en gereedschappen om dit proces volledig te begeleiden en uit te voeren. De belangrijkste tool hierin is het softwarematig aansturen van (semi)openbare aansluitingen vanuit het NRG platform. Dit platform zorgt er voor dat gebruikers vanuit een mobiele (web)applicatie een stroompunt veilig en zelfstandig kan gebruiken.

De stroomaansluiting is gerealiseerd door een tussenmeter te plaatsen, aangesloten op een bouwstroomkast, zie figuur 7.



Figuur 7 Tussenmeter N-Kavel (Ekkel, Tussenmeter, 2021)

De tussenmeter weergegeven in figuur 7 heeft een in- en output van 125A met een verloop naar 63A. Hiermee kan de 16 tons rupsgraafmachine worden opgeladen op maximaal vermogen. De tussenmeter meet elke 900 sec, per fase de stroomafname als het spanningsniveau. Elke twee weken wordt er een rapport verstuurd met de gemeten parameters om grip te houden op de stroomafname. Tevens is dit ideaal ten behoeve van de afrekening met Vink Bouw.

Voor de bronbemaling is een aparte stroommeter geplaatst. Dit omdat deze een 32A aansluiting heeft en deze op een aparte stroomgroep is gezet.

8.4 Proces

Tijdens de uitvoering van het voorbereidende werk is er data verzameld met betrekking tot de accuduur en het opladen.

8.4.1 Accu- en oplaadduur

Tijdens het werk is informatie bijgehouden over: de accustanden, begin en eind van de dag en de oplaadtijden. Het formulier is weergegeven in bijlage 6. De data heeft betrekking op het voorbereidende werk.

In tabel 12 is de gemonitorde data van week 19, 2021 weergegeven. Hieruit is op te maken dat de 16 tons rupsgraafmachine, voor dit type werkzaamheid 50% accu gebruikt over de gehele werkdag. Wanneer de machine stationeer staat, gebruikt deze minimaal stroom. Dit is de reden dat de draaiuren van de machine grofweg zijn bijgehouden in plaats van de totale werkuren.

Wat opvalt is dat op dinsdag de machine meer accucapaciteit heeft gebruikt terwijl deze in de schaft in totaal één uur heeft bijgeladen. Dit kan eventueel verklaard worden door een grotere totale rijafstand die dag. Rijden kost namelijk de meeste accucapaciteit.

Tabel 12 monitorresultaten week 19

		Ma	Di	Wo	Do	Vr	Za	Zo
Accu [%] start werk			90%	100%				
Accu [%] eind werk			36%	50%				
Draaiuren machine			4,5	4,5				
Oplaad ampères (16A - 32A- 63A)	Schaft		63A	-				
	Einde dag		16A	16A				
Opladen in uren	Schaft		1	-				
	Einde dag		10	8				

8.4.2 Ervaringen

Ervaringen machinist

Na het voorbereidende werk en aan het begin van het rioleringswerk is de machinist geïnterviewd. De ervaringen van de machinist zijn over het algemeen niet positief. Het initiatief om met elektrische machines te werken vond hij op zich wel goed. De codering van het interview is weergegeven in bijlage 7.

Elektrisch materieel is relatief recent op de markt beschikbaar. Op dit moment zijn de meeste machines omgebouwde dieselmachines. Deze techniek is dus vrij nieuw en heeft hierdoor nog kinderziektes. Zo is ondervonden dat het vermogen regelmatig weg viel tijdens het werken.

Ook zijn er model technisch minpunten ervaren. Wat als minpunt werd ervaren is de tweedelige giek in plaats van driedelig. Een driedelige giek heeft een betere reikwijdte. Daarnaast heeft de 16 tons rupsgraafmachine geen draai-kantelbak.

Opmerkelijk is dat het gereduceerde geluid ook als een nadeel werd ondervonden. "Het gevoel met de machine is hierdoor weg" vertelde hij. Er is geen geluidsindicatie meer van de motorbelasting. Of de machine aan zijn maximale vermogen zit of niet is niet meer te horen.

De machine werd tijdens de schaft opgeladen voor een boost en aan het eind van de dag opgeladen met een laag amperage. Het opladen duurde ongeveer tussen de 8 à 10 uur, afhankelijk van het resterende accuprocentage. De dag werd makkelijk volgemaakt op één accu, zelfs zonder bijladen.

Van vandalisme of diefstal was geen sprake omdat het werk en de machines zich binnen een omheind en beveiligd bouwterrein bevonden.

Ervaringen uitvoerder

Er is besloten, nadat op 19-05 er een storing optrad, het rioleringswerk voort te zetten met een conventionele graafmachine, met hieronder beschreven functies. Ook nadat er een tijdelijke vervangende machine werd geleverd. Dit omdat productie en efficiëntie van groter belang was. Het werk was onderdeel van een integrale planning waarin geen ruimte was voor vertragingen. De voortzetting met een conventionele machine is de reden dat er ook ervaringen zijn opgehaald bij de betreffende uitvoerder(s).

De machine heeft een mindere mate aan kracht dan een conventionele 16 tonner. Het bleek niet mogelijk betonplaten te verplaatsen. Daarnaast verliest de machine vermogen bij dubbele handelingen. De machine verliest kracht wanneer er bijvoorbeeld zowel getild als gedraaid wordt. De machine werkt optimaal wanneer de handelingen één voor één worden verricht. Ook voelt de machinist geen weerstand meer bij het graven. "Het gevoel is weg" werd er gezegd.

Naast ervaringen met betrekking tot de elektrificering zijn er ook model technisch nadelen ondervonden. De machine die ter onze beschikking is gesteld heeft geen driedelige giek, maar tweedelig. Dit betekent dat deze niet kan graven bij een beperkte hoogte zoals onder een balkon. Daarnaast miste de machinist en uitvoerder een draai-kantelstuk. Dit is een tussenstuk (tussen giek en bak) die het mogelijk maakt de bak te kantelen en 360 graden te draaien. Vanwege de beperkte werkruimte is dit benodigd om langs kabels en leidingen te kunnen graven.

De uitvoerder staat open om alles te proberen. Wel moeten de nadelen niet de voordelen overschrijden. Het mag niet ten koste gaan van de productie. Als hij de keuze kon maken zou hij een nieuwe kraan aanschaffen en deze laten ombouwen met een krachtigere elektromotor. Een nieuwe kraan betekend de aanwezigheid van de bovenstaande functies.

8.5 Bijkomende kosten

Het elektrisch werken is mogelijk gemaakt door de samenwerking met NRG Accounting die gesprekken heeft gevoerd met de bouwer, de overeenkomst opgesteld en een offerte opgevraagd voor de tussenmeters. Dit zijn de extra kosten die zijn gemaakt voor het project N-Kavel.

- De diensten van NRG Accounting zijn eenmalig en komen neer op: € 4370,00⁹
- De tussenmeters hebben een huurtarief van: € 100,00/ week

In totaal zijn de extra kosten ongeveer: € 5870,00. Dit over een periode van 8 weken.

Bij toekomstige projecten vallen de eenmalige kosten van NRG Accounting weg door de inzet van het door deze opgestelde stroomplan.

⁹ De diensten van NRG Accounting omvatten naast het optreden als intermediair ook het opstellen van een stroomplan. Dit stroomplan is niet projectgebonden.

9 Conclusie

De inhoud van het afstudeeronderzoek is het antwoord op de vraag: "Wat gaat emissieloos werken bij (infra)aannemers betekenen voor inzet van materieel en de bijbehorende werkwijze in termen van energieverbruik en kosten?". Hiervoor is zowel kwantitatief als kwalitatief onderzoek uitgevoerd naar het emissieloos aanleggen van combi-hoofdleidingen en -aansluitingen. Hieronder worden de onderzoeksvragen benoemd en beantwoord.

"Hoeveel CO₂, NO_x en fijnstof emissies wordt er bespaard wanneer één ploeg voor één jaar emissieloos combi hoofd- en aansluitleidingen aan gaat leggen?"

Uit de emissieberekening komt naar voren dat één combi-ploeg een CO₂ uitstoot heeft van 14,2 ton. De jaarlijkse uitstoot voor stikstofoxide bedraagt 94 kg en voor fijnstof 9,2 kg. Een rioolploeg stoot meer uit door de inzet van een 16 tons rupsgraafmachine namelijk: 74,5 ton CO₂, 112,3 kg stikstofoxide en 11,3 kg fijnstof. Deze emissies zijn berekend op basis van 45 werkweken en een maximale inzet van de machines. In de praktijk zullen de emissies minder zijn omdat de machines niet aan één stuk werken.

"Wat zijn de eigenschappen van het elektrische materieel?"

Op basis van de, door de leverancier gegeven, data kan de minigraver één werkdag werken op één acculading, de 16 tonner 5 à 6 uur. Uit de praktijkdata blijkt dat de accucapaciteit sterk afhangt van het type werk en de intensiteit. Met de 16 tonner zijn Big Bags geplaatst en kon de machine makkelijk één dag werken op één acculading.

Omdat de 16 tonner gebaseerd is op een ouder model, en wordt gehuurd, heeft deze technische nadelen. Dit wordt later dit hoofdstuk nader toegelicht.

"Hoe is de energievoorziening op de bouwlocatie te organiseren?"

Afhankelijk van het materieel is er een bepaalde aansluitingsgrootte gewenst. Voor de 16 tons rupsgraafmachine is een 3x80A aansluiting gewenst. Met deze grootte kan de minimale laadtijd behaald worden. Op een bouwlocatie zijn deze groottes beschikbaar. Zo was op de N-Kavel een 3x125A aansluiting beschikbaar.

Voor de 2 tons minigraver is een 16A aansluiting al voldoende en handgereedschap kan worden opgeladen middels een regulier stopcontact. Wanneer er geen stroomvoorziening is op de bouwlocatie kan er gebruikt gemaakt worden van batterij containers of hybride aggregaten. Het nadeel van batterijcontainers is dat deze een hoge huurprijs hebben en er een mogelijkheid moet zijn deze van stroom te voorzien, middels een kleine netaansluiting of een aggregaat. Uit ervaring is gebleken dat een hybride aggregaat geen optie is om de 16 tons rupsgraafmachine op te laden.

Autolaadpalen in de buurt kunnen een laadmogelijkheid bieden voor een 2 tons minigraver. De laadpalen hebben voldoende capaciteit om deze op te laden en een minigraver past binnen de afmetingen van één parkeervak.

Groot materieel vraagt dus om een grote stroomaansluiting, zij kunnen op dit moment alleen nog op bouwterreinen worden opgeladen. Klein en makkelijk vervoerbaar materieel kan eenvoudig elders opgeladen worden en dagelijks naar het project worden getransporteerd.

"Wat is de huidige doorlooptijd voor het aanvragen van een vaste stroomvoorziening?"

Vanuit een gesprek met Liander werd aangegeven dat zij ernaar streven om een aansluiting binnen 13 weken te regelen. Dit is niet werkzaam voor de afdeling Combi omdat projecten ongeveer pas een maand van te voren van een harde planning worden voorzien. Van Gelder kan dus niet zijn eigen vaste stroomvoorziening op tijd regelen.

"Welke veranderingen zijn nodig in de werkplanning door het gebruik van emissieloos materieel?"

Uit de gemonitorde uren blijkt dat de werkplanning niet aangepast hoeft te worden omdat de machine één werkdag vol kan maken op één accu. De data zijn echter beperkt en niet gebaseerd op graafwerkzaamheden. Dit zal effect hebben op de accustanden. Het is te verwachten dat verandering in werkplanning voornamelijk zal optreden bij projecten waar niet op locatie opgeladen kan worden. Ook zal uit data moeten blijken of er een productieverlies optreedt in vergelijking met conventionele machines.

"Hoe wordt het emissieloos werken ervaren tijdens de uitvoering?"

Tot nu toe is het zowel positief als negatief ervaren. Aan de ene kant werkt de geluidsreductie positief op de verbale communicatie. Aan de andere kant is het gevoel met de machine verdwenen en is niet meer te merken hoe hard de machine werkt. De oplaadtijd, zoals verwacht, is variabel en hangt af van de beschikbare stroomaansluiting. Dit kan 2 tot 12 uur.

Een nadeel van de omgebouwde 16 tons machine is dat deze niet de nieuwste technieken heeft zoals een draai-kantelbak. Nieuwere modellen bieden deze mogelijkheid wel. Voor rioolwerk heeft dit de voorkeur. Zoals de machine nu is zou deze uitstekend gebruikt kunnen worden voor bijvoorbeeld baggerwerk of het zetten van beschoeiingen. Het elektrische grondverzetmaterieel is relatief nieuw waardoor er ook kinderziekten zijn ondervonden. Nieuwere machinemodellen met nieuwere accusystemen zullen mogelijk de conventionele machines evenaren.

"Wat zijn de kosten en baten van emissieloze mobiele werktuigen tegenover conventionele werktuigen?"

Uit de kosten-baten analyse blijkt dat de interne huurtarieven van het elektrisch grondverzetmaterieel ongeveer 4,3 keer hoger zijn. Wanneer besparing op brandstofkosten wordt meegerekend blijft het materieel ongeveer 2,2 keer zo duur. Tarieven van elektrisch handgereedschap zijn daarentegen gelijk of 1/3 goedkoper. Op het moment wegen de hogere huurtarieven niet op tegen de besparing op brandstof.

Het antwoord op de hoofdvraag *"Wat gaat emissieloos werken bij (infra)aannemers betekenen voor inzet van materieel en de bijbehorende werkwijze in termen van energieverbruik en kosten?"* is als volgt:

De inzet van emissieloos materieel zal een grote bijdragen gaan leveren aan de luchtkwaliteit. Mogelijke productieverlies is op het moment nog niet bekend. Productieverlies kan zich voordoen als een materieelstuk niet de volledige werkdag ingezet kan worden of doordat deze minder efficiënt werkt. Of er daadwerkelijk productieverlies plaatst vindt door het gebruik van emissieloos materieel moet blijken uit nader onderzoek.

Om emissieloos te kunnen werken zullen er extra handelingen moeten worden meegenomen in de voorbereidende fase. Het voorzien van de juiste stroomvoorziening is essentieel bij de inzet van elektrisch materieel. Het stroomplan zal hiervoor ondersteuning gaan bieden.

De huurtarieven van het elektrische grondverzetmaterieel liggen op het moment nog erg hoog vergeleken met het conventionele materieel. Dit houdt in dat de prijzen van de aannemers zullen stijgen wanneer deze elektrisch materieel inhuren.

Wel zullen (infra)aannemers, in Amsterdam, de stap naar emissieloos moeten maken om in de nabije toekomst aan het duurzaamheidsbeleid van de gemeente Amsterdam te voldoen.

10 Discussie

Eén wijziging dat effect heeft gehad op het Living Lab in het algemeen is de geringe inzetbaarheid van de 7 tons elektrische graafmachine. De eerste opzet van het Living Lab was het testen van een 7 en 16 tons elektrische graafmachine. Achteraf bleek echter dat het werkpakket niet aansloot op de inzetbaarheid van de 7 tons graafmachine. In overleg met CIAMS en de gemeente Amsterdam is de 7 tons graafmachine niet ingezet binnen het Living Lab maar een elektrische 2 tons minigraver.

De resultaten, voortkomend uit hoofdstuk 4 Materieel, zijn indicatief. De technische gegevens van de machine-eigenschappen zijn afkomstig van de leveranciers zelf. De draaiuren gegeven door de leverancier komen echter niet overeen met de ondervonden draaiuren. Dit kan worden verklaard doordat de gemonitorde draaiuren niet gebaseerd zijn op graafwerkzaamheden. Mogelijk dat tijdens graafwerkzaamheden de accu sneller zal ontladen.

De berekende emissies op jaarbasis zijn berekend aan de hand van de Emissietool, beschikbaar gesteld door TNO. Door de vele onderzoeken voorafgaande aan de tool maakt dat de berekeningen betrouwbaar en herhaalbaar zijn. Wel dient er rekening mee gehouden te worden dat de uren op jaarbasis een aanname is. In de praktijk zal een machinist niet het jaar rond acht uur per dag met een graafmachine werken. Denk hierbij aan het voorsteken van de sleuf of het meten van de sleufdiepte. Het is echter moeilijk in te schatten hoeveel draaiuren er worden gemaakt per machine, per jaar mits deze softwarematig worden bijgehouden.

Optioneel zou er een marktonderzoek gedaan worden naar de huidige leverbare emissieloze werktuigen. Vanwege tijdsredenen is de lijst van beschikbaar elektrisch materieel (bijlage 2) opgesteld in aanvulling van de theoretische achtergrond, niet verder uitgebreid.

De resultaten uit hoofdstuk 5 komen voort vanuit verkregen informatie van netbeheerders en leveranciers. De huurprijzen van de mobiele stroomvoorzieningen zijn gebaseerd op basis van de prijs ten tijde van dit onderzoek. Deze kunnen in de toekomst veranderen. De Energyscan/ stroomplan is een losstaand product binnen het Living Lab. Omdat deze tijdens de uitwerking van dit rapport nog niet was opgeleverd is deze niet meegenomen in dit rapport.

In eerste instantie zou naast de uitvoerde partij ook de omgeving worden geïnterviewd om ervaringen te verzamelen. Echter bevond het, voor dit onderzoek gemonitorde project, zich binnen een bouwterrein waar eventuele geluidsreductie weg viel tegen alle andere werkzaamheden. Dit is de reden dat de omgeving niet is geïnterviewd.

Een limitatie is de geringe gemonitorde data. Tijdens de onderzoeksperiode hebben zich verschillende obstakels/ omstandigheden voorgedaan waardoor het monitoren pas later in de periode van start kon gaan. Ook leidde verschillende storingen tot een mindere mate van monitoring. Dit maakt de conclusie op basis van de huidige data minder valide.

Hoofdstuk 7 Kosten-baten analyse is een afwijking ten opzichte van het onderzoekplan. In eerste instantie was een "total cost of ownership" berekening de opzet. Het is echter niet gelukt om binnen het tijdsbestek, gegevens met betrekking tot onderhoud te verkrijgen. Dit is de reden dat er gekozen is om een kosten-baten analyse op te stellen op basis van de huurtarieven, gehanteerd binnen Van Gelder, en de brandstofprijzen.

De huurtarieven van het materieel betreft vertrouwelijke informatie. Daarom is ervoor gekozen hier een aanpassing in door te voeren. Dit maakt dat de kosten niet 100% overeenkomen met de werkelijkheid. Wel geven deze een goede indicatie van de kosten. Een beperking binnen de analyse is het verwaarlozen van prijsfluctuaties van zowel diesel als benzine en stroom. Hier is voor gekozen omdat de brandstofprijzen onvoorspelbaar zijn.

11 Aanbevelingen

Een uitgebreid marktonderzoek kan leiden tot inzicht in gaten in de huidige markt op het gebied van emissieloze mobiele werktuigen. Dit kan leiden tot een oproep aan leveranciers om nieuwe emissieloze machines te ontwikkelen.

Wanneer de draaiuren van machines softwarematig bijgehouden kunnen worden, biedt dit de mogelijk emissies in kaart te brengen per type werkzaamheid. Hiermee kan emissieloos materieel gericht ingezet worden om de meeste milieuwinst te behalen.

Het is nodig om te verkennen op welk moment in de werkvoorbereiding het stroomschema doorlopen moet worden om de stroomvoorziening voor aanvang van uitvoering ter beschikking te hebben en om het daarna te implementeren.

Een advies is om na afronding van dit afstudeeronderzoek, verder onderzoek te doen naar productieverlies door inzet van emissieloos materieel, om zo meer inzicht te krijgen in de kosten. En als bewijs aan klanten, dat planningen ruimer opgezet moeten worden bij emissieloos werken.

Wanneer er werkzaamheden binnen een woonwijk plaats vinden biedt dit de mogelijkheid andere mobiele oplaadvoorzieningen te testen en de bewoners te interviewen naar hun beleving.

Onderzoek naar de onderhoudskosten van emissieloos materieel is nodig om een compleet beeld te krijgen van de kosten. Elektrisch materieel heeft minder slijtbare onderdelen. Dit zal lagere onderhoudskosten met zich meebrengen. Er zal ook onderzoek gedaan moeten worden naar de levensduur van accu's. Mogelijk zal over de jaren heen de accucapaciteit verminderen waardoor de machines vaker moeten worden opgeladen op één dag. Dit heeft grote gevolgen voor de productie.

Wanneer de noodzakelijke switch gemaakt wordt naar emissieloos werken is hier draagvlak voor nodig bij het personeel. Emissieloos werken zal veranderingen met zich meebrengen. Men zal open moeten staan voor een nieuwe werkwijze om van emissieloos werken het nieuwe normaal te maken.

Bibliografie

- Alfen N.V. (2021). *Twin*. Opgeroepen op mei 4, 2021, van alfen: <https://alfen.com/nl/Alfen-Twin>
- Alles Over Waterstof. (2020). *Hyundai gaat waterstof graafmachines ontwikkelen*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van allesoverwaterstof: <https://allesoverwaterstof.nl/hyundai-gaat-waterstof-graafmachines-ontwikkelen/>
- Amanda Amara. (2021, januari 19). *Peak Shaving: solar energy storage methods to reduce peak load*. Opgeroepen op maart 31, 2021, van elum-energy: <https://elum-energy.com/en/2021/01/19/peak-shaving-solar-energy-storage-methods-to-reduce-peak-load-2/>
- Bouwend Nederland. (sd). *Over Bouwend Nederland*. Opgeroepen op februari 17, 2021, van bouwendnederland: <https://www.bouwendnederland.nl/over-bouwend-nederland>
- Bredenoord. (2021, Maart 12).
- Bredenoord. (2021). *Purity*. Opgeroepen op juni 2, 2021, van bredenoord: <https://www.bredenoord.com/nl/huren/specials/brandstofcelaggregaat-purity/>
- Cannon veom. (2021). *Powerlock*. Opgeroepen op maart 31, 2021, van ittcannon: <https://www.ittcannon.com/products/powerlock/>
- Chargemap. (2021). *Oplaadpunten in Amsterdam*. Opgeroepen op mei 4, 2021, van chargemap: <https://nl.chargemap.com/cities/amsterdam-NL>
- Ciams. (sd). *Combi Infra Amsterdam*. Opgeroepen op februari 8, 2021, van ciams: <https://www.ciams.nl/>
- Climate Neutral Group. (2021). *Wat is 1 ton CO2?* Opgeroepen op april 6, 2021, van climateneutralgroup: <https://www.climateneutralgroup.com/nieuws/wat-is-1-ton-co2/>
- CO2-emissiefactoren. (sd). *CO2emissiefactoren*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van co2emissiefactoren: <https://www.co2emissiefactoren.nl/>
- CO2-emissiefactoren. (sd). *Hoe werkt het*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van co2emissiefactoren: <https://www.co2emissiefactoren.nl/hoe-werkt-het/>
- DAF Trucks N.V. (sd). *DAF CF Electric*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van daf: https://www.daf.nl/nl-nl/trucks/alternatieve-brandstoffen-en-aandrijflijnen/batterij-elektrische-voertuigen/daf-cf-electric?utm_source=adwords&utm_campaign=%5BNL%5D+2020+-+Search+-+Electric+-+Generic&utm_medium=ppc&utm_term=elektrische%20vrachtwagen&hsa_s
- De Groene Aggregaat. (2021, maart 12). *template koop + huur 2020*.
- detuinmachineshop. (2021, april 6). *STIHL TSA 230 Accu doorslijper*. Opgehaald van detuinmachineshop: https://detuinmachineshop.nl/product/stihl-tsa-230-accu-doorslijper/?utm_campaign=shopping&utm_content=&utm_source=googlesurface&utm_medium=organic&utm_term=79850&gclid=CjwKCAjwjbCDBhAwEiwAiudBy5bv cgrIDyUIWpcN7rLQ3PooVjTI_RBdXX0mCE0f5nFNk_DB0g1xphoCPfsQAv
- DieselNet. (2021). *Emissienormen*. Opgeroepen op april 7, 2021, van dieselnet: <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>
- Eco-digger. (2021). *R10E*. Opgeroepen op april 28, 2021, van eco-digger: https://eco-digger.com/wp-content/uploads/2021/04/R10e_SPEC_00.pdf
- Eco-digger. (2021). *R20E*. Opgeroepen op april 28, 2021, van eco-digger: https://eco-digger.com/wp-content/uploads/2021/04/R20e_SPEC_B0.pdf
- Ekkel, H. (2021). *Van Gelder, Amsterdam*.
- Ekkel, H. (2021). *Tussenmeter*. Amsterdam.
- EVBox Manufacturing B.V. (2021). *Zakelijke laadpalen van EVBox*. Opgeroepen op mei 4, 2021, van evbox: <https://evbox.com/nl-nl/producten/zakelijke-laadpalen>
- Feenstra. (2019, augustus 7). *Brandstofcel: wat kan er niet en wat kan er wel?* Opgeroepen op juni 2, 2021, van feenstra: <https://www.feenstra.com/zorgelooswonen/brandstofcel/>

- Gemeente Amsterdam. (2019). *Actieplan Schone Lucht*. Amsterdam: Gemeente Amsterdam. Opgeroepen op februari 10, 2021
- Gemeente Amsterdam. (sd). *Volg het beleid: schone lucht*. Opgeroepen op februari 8, 2021, van amsterdam: <https://www.amsterdam.nl/bestuur-organisatie/volg-beleid/duurzaamheid/schone-lucht/>
- Greener. (2021, maart 6). *Mobiele batterijen*. Amsterdam: Greener.
- Greener. (2021). *Peak shaving*. Opgeroepen op maart 30, 2021, van greener: <https://www.greener.nl/nl/technologie/peak-shaving/>
- Hamberg, R. (2021). *hugo-ekkel-003*. Amsterdam.
- Heijmans. (2019, november). *N-kavel*. Opgeroepen op april 29, 2021, van <https://www.amsterdamvertical.com/wp-content/uploads/2019/11/Concept-VO-boekwerk-openbaar-gebied-N-Kavel-bew.pdf>
- Holla. (2020, oktober 20). *Aansluitplicht Elektriciteitswet*. Opgeroepen op april 29, 2021, van holla: <https://www.holla.nl/nieuwsbericht/aansluitplicht-elektriciteitswet/#:~:text=Het%20CBb%20schept%20in%20twee,zoals%20zonneparken%20en%20kleine%20windparken.>
- Hulskotte, I. J., & Verbeek, I. R. (2009). *Emissiemodel Mobiele Machines gebaseerd op machineverkoop in combinatie met brandstof afzet (EMMA)*. Utrecht: Planbureau voor de Leefomgeving. Opgeroepen op mei 21, 2021
- Infra Solar BV. (2021, maart). Folder InfraSolar_A4_NL. Drachtstercompagnie: Infra Solar BV.
- ir. J. Koppejan, P. B., & Ir. F. de Bree, B. B. (2018). *Kennisdocument Houtstook in Nederland*. Enschede: Procede Biomass BV. Opgeroepen op april 9, 2021
- Janssen, M. (2020, mei 20). *Staad werkt met Ploegam aan drie elektrische graafmachines*. Opgeroepen op juni 1, 2021, van bouwmaterieel-benelux: <https://www.bouwmaterieel-benelux.nl/staad-werkt-met-ploegam-aan-drie-elektrische-graafmachines/>
- Louwman & Parqui B.V. (sd). *Toyota ontwikkelt vrachtwagen op waterstof*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van toyoto: <https://www.toyota.nl/over-toyota/toyota-world/Toyota-ontwikkelt-vrachtwagen-op-waterstof.json>
- Loxam. (2021). *Hybride aggregaat 44kVA*. Opgeroepen op maart 31, 2021, van loxam: <https://www.loxam.nl/p/hybride-aggregaat-44kva-30kva-48v-640ah/031-0110-020105>
- Loxam. (2021). *Hybride aggregaat 66 kVA*. Opgeroepen op maart 31, 2021, van loxam: <https://www.loxam.nl/p/hybride-aggregaat-66kva-45kva-48v-640ah/031-0111-020103>
- Mercedes-Benz. (sd). *eActros: Sustainable, fully electric and quiet*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van mercedes-benz: <https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/trucks/mercedes-benz-eactros-sustainable-fully-electric-and-quiet/>
- Poels, P. (2020, mei 20). *Staad werkt met Ploegam aan drie elektrische graafmachines*. Opgeroepen op juni 1, 2021, van bouwmaterieel-benelux: <https://www.bouwmaterieel-benelux.nl/staad-werkt-met-ploegam-aan-drie-elektrische-graafmachines/>
- Post Rental & Trading. (2021, maart 1). Datasheet NL TB1140E. Harderwijk.
- Post Rental & Trading. (2021, maart 1). Datasheet NL TB260E. Harderwijk.
- Powerrental. (2021). *Groene stroom*. Opgeroepen op maart 31, 2021, van powerrental: <https://powerrental.nl/nl/groene-stroom>
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2021). *AERIUS, rekeninstrument voor de leefomgeving*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van aerius: <https://www.aerius.nl/nl/producten>
- Rijksoverheid. (sd). *Klimaatakkoord*. Opgeroepen op februari 8, 2021, van rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord>

- Rijngas. (2021). *Waterstof*. Opgeroepen op juni 2, 2021, van rijngas: https://rijngas.nl/product_en_dienst/waterstof/
- Rob, Elektroshop.nl. (2021). *Wisselspanning*. Opgeroepen op maart 31, 2021, van info.elektroshop: <https://info.elektroshop.nl/elektroinfo/begrippenlijst/wisselspanning/>
- Scania Nederland B.V. (sd). *BEV*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van scania: <https://www.scania.com/nl/nl/home/products-and-services/trucks/our-range/scania-battery-electric-truck.html>
- Stedin. (2021). *Typen aansluitingen*. Opgeroepen op april 23, 2021, van stedin: <https://www.stedin.net/aansluiting>
- STIHL. (2021). *TSA 230 zonder accu en lader*. Opgeroepen op mei 5, 2021, van stihl: <https://www.stihl.nl/STIHL-Producten/Doorslijpers-en-betonzagen/Accu-doorslijpers/240781-40931/TSA-230-zonder-accu-en-lader.aspx>
- Stok, T. v. (2020, juli 3). *JCB waterstof*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van cumela: <https://www.cumela.nl/nieuws/nieuws/jcb-verrast-met-waterstof-machine>
- SUNCAR HK AG. (2021). *Advantages of Electric Excavators*. Opgeroepen op februari 10, 2021, van suncar-hk: <https://www.suncar-hk.com/en/electric-excavators/advantages>
- SUNCAR HK AG. (2021). *History*. Opgeroepen op februari 10, 2021, van suncar-hk: <https://www.suncar-hk.com/en/company/history>
- SUNCAR HK AG. (sd). *Electric Excavator Models*. Opgeroepen op februari 10, 2021, van suncar-hk: <https://www.suncar-hk.com/en/electric-excavators/models>
- TNO. (2015, maart 9). *Emissies van voertuigen in de praktijk; euro 5 diesel*. Opgeroepen op april 9, 2021, van tno: <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/mobiliteit-logistiek/roadmaps/sustainable-traffic-and-transport/sustainable-mobility-and-logistics/verbeteren-luchtkwaliteit-door-monitoring-werkelijke-uitstoot/emissies-van-voertuigen-in-de-praktijk-euro-5-diesel/>
- TNO. (sd). *Emissiemetingen aan treinen, schepen en bouwmaschinen*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van tno: <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/mobiliteit-logistiek/roadmaps/sustainable-traffic-and-transport/sustainable-mobility-and-logistics/verbeteren-luchtkwaliteit-door-monitoring-werkelijke-uitstoot/emissiemetingen-aan-treinen-schepen-en-bouwmaschinen/>
- TU Delft. (2020, maart 3). *Parkeren*. Opgeroepen op mei 3, 2021, van ocw.tudelft: <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/parkeren/#:~:text=Voor%20haaksparkeren%20zijn%20parkeervakken%20van,de%20straatbreedte%206m%20breed%20zijn.>
- Visscher, Q. (2020, april 27). *De elektrische vrachtwagen is niet meer te stoppen*. Opgeroepen op februari 10, 2021, van trouw: <https://www.trouw.nl/nieuws/de-elektrische-vrachtwagen-is-niet-meer-te-stoppen~b9733da2/>
- Visser Assen. (2021). *Accu-trilplaat Wacker AP 2560e*. Opgeroepen op april 6, 2021, van visser-assen: <https://www.visser-assen.nl/trilplaat-op-accu-wacker-ap-2560e-snellader-accu>
- Visser Assen. (2021). *Trilstamper accu Wacker AS 60e*. Opgeroepen op april 6, 2021, van visser-assen: <https://www.visser-assen.nl/trilstamper-accu-wacker-as60e-snellader-accu>
- Volta-Energy. (2021, maart 23).
- Volvo Trucks Nederland. (sd). *Volvo FE Electric*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van volvotrucks: <https://www.volvotrucks.nl/nl-nl/trucks/trucks/volvo-fe/volvo-fe-electric.html>
- Volvo Trucks Nederland. (sd). *Volvo FL Electric*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van volvotrucks: <https://www.volvotrucks.nl/nl-nl/trucks/trucks/volvo-fl/volvo-fl-electric.html>
- Wacker Neuson Group. (sd). *AP2560e Technische gegevens*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van wackerneuson:

- <https://www.wackerneuson.nl/nl/produkten/verdichting/trilplaten/eenrichtingstrilplaten/model/ap2560e/type/TechnicalData/>
- Wacker Neuson Groep. (sd). *AS50e, AS60e Technische gegevens*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van wackerneuson: <https://www.wackerneuson.nl/nl/produkten/verdichting/trilstamper/accustamper/model/as50e-as60e/type/TechnicalData/>
- Wacker Neuson Group. (2021). *Zero emission*. Opgeroepen op februari 10, 2021, van wackerneuson: <https://www.wackerneuson.nl/nl/produkten/zero-emission/>
- Wacker Neuson Group. (sd). *AP1850e, AP1840e Varianten*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van wackerneuson: <https://www.wackerneuson.nl/nl/produkten/verdichting/trilplaten/eenrichtingstrilplaten/model/ap1850e-ap1840e/type/Variants/>
- Wacker Neuson Group. (sd). *AS30e Technische gegevens*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van wackerneuson: <https://www.wackerneuson.nl/nl/produkten/verdichting/trilstamper/accustamper/model/as30e/type/TechnicalData/>
- Wacker Neuson Group. (sd). *DW15e Technische gegevens*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van wackerneuson: <https://www.wackerneuson.nl/nl/produkten/dumpers/wieldumpers/model/dw15e/type/TechnicalData/>
- Wacker Neuson Group. (sd). *EZ 17e*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van wackerneuson: <https://www.wackerneuson.nl/nl/produkten/graafmachines/rupsgraafmachines-met-zero-tail/model/ez17e/>
- Wacker Neuson Group. (sd). *WL20e*. Opgeroepen op februari 11, 2021, van wackerneuson: <https://www.wackerneuson.nl/nl/produkten/wielladers/knikgestuurde-wielladers/model/wl20e/type/TechnicalData/>
- Webinar Ciams. (2020, novemver 6). *Webinar Emissieloos werken in de ondergrond*. Opgeroepen op februari 8, 2021, van ciams: <https://www.ciams.nl/emissieloos-werken/>
- Wijers, H. (sd). Prokectorganisatie. *20210204 Voorstel projectorganisatie*. Opgeroepen op februari 8, 2021
- Winther, M., & Nielsen, O.-K. (2006). *Fuel use and emissions from non-road machinery in Denmark from 1985-2004 - and projections from 2005-2030*. København, Denmark: The Danish Environmental Protection Agency. Opgeroepen op april 28, 2021

Bijlagen

Bijlage 1 Aanpak mobiele werktuigen en aggregaten

	Inzet	Huidige situatie	Toekomstige situatie
Communicatie	++	Ondertekening van de Green Deal Het Nieuwe Draaien waarin de gemeente toezegt in te zetten op vermindering van de uitstoot door mobiele werktuigen	Kennis delen, bewustwording creëren en handelingsperspectief bieden m.b.t. de uitstoot van mobiele werktuigen
Stimulatie	+		Onderzoek nut subsidies uitstootvrije mobiele werktuigen
Faciliteren	0	Voor aggregaten op festivals en evenementen geldt een verbod en worden vaste stroompunten aangelegd	Onderzoeken op welke bouwlocaties dieselaggregaten vervangen kunnen worden door reeds aanwezige bouwstroom en op locaties waar het semi-permanente voorzieningen betreft zoeken naar oplossingen om krachtstroom in plaats van een verbrandingsmotor te gebruiken
Reguleren	+	Eerste pilotprojecten waarin gunningscriteria over de inzet van schone werktuigen in aanbestedingen van Grond-Water-Weg projecten zijn meegenomen	Opname gunningscriteria en eisen schone werktuigen in aanbestedingen Grond- Water-Wegprojecten Onderzoeken stimuleren inzet schone werktuigen in andere bouwprojecten Plan van aanpak dieselaggregaten Q3 2019 Onderzoeken van een stadsbrede (binnen de ring) regulering zo schoon mogelijke/uitstootvrije mobiele werktuigen in 2025

Bron: (Gemeente Amsterdam, 2019)

Bijlage 2 Overzicht elektrisch materieel

Machine	Type	Fabrikant	Gewichtsklasse/ vermogen	Draaiuren/ bereik/ acculading	Oplaadtijd	Bron
Rups kraan	TB216E	SUNCAR	1,9 ton	5-6 u	ca. 4 u	(SUNCAR HK AG, sd)
Rups kraan	TB260E	SUNCAR	7 ton	5-6 u	ca. 3 u	(SUNCAR HK AG, sd)
Rups kraan	TB1140E	SUNCAR	16 ton	5-6 u	ca. 3,5 u	(SUNCAR HK AG, sd)
Rups kraan	ECO DIGGER R10E	Eco-digger	1 ton	8-9 u	ca. 2 u	(Eco-digger, 2021)
Rups kraan	ECO DIGGER R20-E	Eco-digger	2 ton	8-9 u	Ca. 3 u	(Eco-digger, 2021)
Rups kraan	EZ 17e	Wacker Neuson	1,8 ton	23,4 kWh	ca. 6,5 u (o.b.v. 16A - 230V)	(Wacker Neuson Group, sd)
Shovel	WL20e	Wacker Neuson	2,5 ton	2-5 u	ca. 8 u	(Wacker Neuson Group, sd)
Trilplaat	AP1840e	Wacker Neuson	1,8 ton	-	-	(Wacker Neuson Group, sd)
Trilplaat	AP1850e	Wacker Neuson	1,8 ton	-	-	(Wacker Neuson Group, sd)
Trilplaat	AP2560e	Wacker Neuson	2,5 ton	-	-	(Wacker Neuson Group, sd)
Trilstamper	AS30e	Wacker Neuson	1,0 ton	572 - 770 m	-	(Wacker Neuson Group, sd)
Trilstamper	AS50e	Wacker Neuson	1,6 ton	342 - 456 m	-	(Wacker Neuson Groep, sd)
Trilstamper	AS60e	Wacker Neuson	1,7 ton	278 - 363 m	-	(Wacker Neuson Groep, sd)
Herlaadbare- accu	BP1000	Wacker Neuson	-	1000 Wh	-	(Wacker Neuson Group, sd)
Herlaadbare- accu	BP1400	Wacker Neuson	-	1400 Wh	-	(Wacker Neuson Group, sd)
Snelle acculader	C48/13	Wacker Neuson	-	-	ca. 80 min	(Wacker Neuson Group, sd)
Standaard acculader	C48/4	Wacker Neuson	-	-	ca. 4 u	(Wacker Neuson Group, sd)
Wieldumper	DW15e	Wacker Neuson	1500 kg	3,5 - 6,5 u	ca. 8 u	(Wacker Neuson Group, sd)
Truck	CF Electric	DAF	37 ton	200 km	ca. 75 min (DC-lader 250kW/400A)	(DAF Trucks N.V., sd)
Truck	Volvo FE Electric	Volvo	27 ton	120 - 200 km	ca. 1 - 6,5 u	(Volvo Trucks Nederland, sd)
Truck	Volvo FL Electric	Volvo	16,7 ton	300 km (6 accu's)	ca. 1,5 - 10,5 (6 accu's)	(Volvo Trucks Nederland, sd)
Truck	-	SCANIA	Max. 29 ton	250 km	-	(Scania Nederland B.V., sd)
Truck	eActros	Mercedes-Benz	11,5 ton	200 km	ca. 3 - 11 u	(Mercedes-Benz, sd)

Bijlage 3 Vragenformulier ervaringen emissieloos werken



VRAGENFORMULIER ERVARINGEN EMISSIELOOS WERKEN VGAM

Van Gelder KLM is samen met de gemeente Amsterdam en CIAMS het Living Lab gestart Emissieloos werken. Tevens maakt dit onderdeel uit van mijn afstudeeronderzoek. Ik (Hugo Ekkel) ben benieuwd hoe het werken met (groot) elektrisch materieel wordt ervaren. Hiervoor heb ik enkele vragen opgesteld.

Projectnaam:

Geef hieronder een korte projectomschrijving:

.....

.....

.....

.....

.....

Met welk (groot) elektrisch materieel heeft u gewerkt?

.....

.....

.....

.....

.....

Heeft u positieve ervaringen ondervonden van het werken met het elektrische materieel? Zo ja, welke? (Bij meerdere machines graag onderscheid maken)

.....

.....

.....

.....

.....

Heeft u negatieve ervaringen ondervonden van het werken met het elektrische materieel? Zo ja, welke? (Bij meerdere machines graag onderscheid maken)

.....

.....

.....

.....

.....

Merkt u dat de machines minder geluid produceren? Zo ja, hoe ervaart u dit?

.....

.....

.....

.....

.....

Op welke momenten laad u het materieel op?

.....

.....

.....

.....

.....

Hoelang duurt gemiddeld het opladen?

.....

.....

.....

.....

.....

Heeft u te maken gehad met vandalisme en/of diefstal? Denk bijvoorbeeld aan een aggregaat of oplaadkabels.

.....

.....

.....

.....

.....

Doc_Code
Vdoc_Version d.d. Doc_Rev_Date

Bent u anders gaan werken, meer energiebewust? Zo ja, welke veranderingen heeft u gemaakt?

.....

.....

.....

.....

.....

Tot slot, wat zou u veranderen aan het emissieloos werken?

.....

.....

.....

.....

.....

Dank u wel voor uw input en tijd!

Hugo Ekkel

Bijlage 4 Codering interview project Zuidoever Oostvoorne

Interview VGAM project: Zuidoever Oostvoorne (06-05-2021)

Tekstfragment	Open codes	Axiale code
V: Heeft u positieve ervaringen ondervonden van het werken met het elektrische materieel? Zo ja, welke? (Bij meerdere machines graag onderscheid maken)		
A: Zeker positieve ervaring opgedaan met elektrisch materieel. M.n. stuk voor stuk krachtige machines die heel direct en fijn te bedienen zijn. Machinisten worden gedwongen slim om te gaan met accuduur machine wat efficiëntie ten goede komt.	Goed materieel. Uitdagen om efficiënt te werken.	Efficiëntie.
V: Heeft u negatieve ervaringen ondervonden van het werken met het elektrische materieel? Zo ja, welke? (Bij meerdere machines graag onderscheid maken)		
A: De grote machines hebben een beperkte accuduur. Daarnaast ontbreken grote verdichtingsmachines op de markt zoals walsen en grote trilplaten. Een andere uitdaging/ knelpunt is het project voorzien van een stroomvoorziening. Het regelen van een grote stroomvoorziening in een bestaande situatie (wijk) is op het moment niet te realiseren. Dit vanwege de grote van de stroomvoorziening als door de relatief korte projectduur.	Beperkte accuduur. Beperkt machineaanbod. Het voorzien van een groot stroompunt is een knelpunt.	Accuduur. Marktbeperkingen. Stroomvoorziening.
V: Merkt u dat de machines minder geluid produceren? Zo ja, hoe ervaart u dit?		
A: Jazeker, de machines produceren minder geluid dan diesel aangedreven machines. Geluiden uit omgeving worden beter opgevangen door de machinisten maar ook andersom de werkmensen buiten de machines ervaren een zekere rust op het werk door ontbreken van geluid van de elektrische machines.	Andere geluiden worden beter opgevangen. Ervaren van meer rust.	Minder geluid.
V: Op welke momenten laad u het materieel op?		
A: Het meeste materieel werd 's nachts opgeladen. Een enkele machine werd in de pauze of bij stilstand overdag opgeladen. Dit tussentijds opladen was dan vooral om de accuduur van de machines te verlengen.	s Nachts opladen. Opladen tijdens de pauze.	Opladen buiten werktijd.
V: Hoelang duurt gemiddeld het opladen?		
A: Gemiddelde laadtijd was 6,5 uur (max 12 uur! minimaal 2 uur)	Variabel.	Variabel.
V: Heeft u te maken gehad met vandalisme en/of diefstal? Denk bijvoorbeeld aan een aggregaat of oplaadkabels.		
A: Er is geen vandalisme geweest of diefstal. Dit was mede dankzij een bewakingscamera op depotlocatie.	Beveiliging.	Beveiliging.
V: Bent u anders gaan werken, meer energiebewust? Zo ja, welke veranderingen heeft u gemaakt?		
A: We zijn absoluut anders gaan werken en energie bewuster geworden. Vooral plannen op efficiënt inzet materieel en tijdig laden.	Energiebewust. Plannen van inzet en opladen.	Efficiëntie
V: Tot slot, wat zou u veranderen aan het emissieloos werken?		
A: De accuduur van de machines verbeteren zodat ze langer ingezet kunnen worden.	Langere accuduur.	Accuduur.

Bijlage 5 Kosten-baten analyse

Kosten twee Combi-ploegen conventioneel				
Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid	Eh. prijs	Week totaal
16 tons rupskraan	1 week		€	1.020,00
2 tons rupskraan	1 week		€	288,00
Trilplaat 25 kN 2x	40 uur		€	211,20
Trilstamper 17 kN 2x	40 uur		€	115,20
Subtotaal			€	1.634,40
Dieselprijs (19-04-2021)	Liter		€	1,24
Aspen 2t-benzine (06-05-2021)	Liter		€	4,15
Brandstofverbruik 16 tons rupskraan	18,0 L/h		€	894,67
Brandstofverbruik 2 tons rupskraan	2,0 L/h		€	99,41
Brandstofverbruik trilplaat 30 kN	1,2 L/h		€	47,72
Brandstofverbruik trilstamper 17 kN	1,2 L/h		€	159,36
Subtotaal/ week			€	1.201,16
Totaal/ week			€	2.835,56
Materiële kosten/ jaar			€	73.548,00
Brandstof/ jaar			€	54.052,01
TOTAAL			€	127.600,01
Materiële kosten/ 4 jaar			€	294.192,00
Brandstof/ 4 jaar			€	216.208,05
TOTAAL/ contractsduur			€	510.400,05

**Alle tarieven zijn Incl. onderhoud*

Kosten twee Combi-ploegen elektrisch				
Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid	Eh. prijs	Totaal
16 tons rupskraan	1 week		€	4.560,00
2 tons rupskraan	40 uur		€	1.200,00
Trilplaat 25 kN Incl. accu en acculader 2x	40 uur		€	134,40
Trilstamper 17 kN Incl. accu en acculader 2:	40 uur		€	115,20
Subtotaal			€	6.009,60
KWh-prijs	KWh		€	0,20
Accucapaciteit 16 tons rupskraan	153 KWh		€	153,00
Accucapaciteit 2 tons rupskraan	30,7 KWh		€	30,70
Accucapaciteit accu trilplaat/ trilstamper 2	1 KWh		€	2,02
Subtotaal/ week (o.b.v. één acculading/dag)			€	185,72
TOTAAL/ week			€	6.195,32
Materiële kosten/ jaar			€	270.432,00
Brandstof/ jaar			€	8.357,22
TOTAAL/ jaar			€	278.789,22
Materiële kosten/ 4 jaar			€	1.081.728,00
Brandstof/ 4 jaar			€	33.428,88
TOTAAL/ contractsduur			€	1.115.156,88

Potentiële extra kosten				
Huur grootschalig accupakket	1 week		€	5.100,00
Huur meetbox - 125A	1 week		€	100,00
Huur meetbox - 32A	1 week		€	100,00

*Alle tarieven zijn Incl. onderhoud

Bijlage 6 Data monitoring accuduur week 19

MONITORFORMULIER EMISSIELOOS WERKEN

Projectnummer: CH210002

Weeknummer: 19

Elektrische rupskraan tonnage: (2 / 7 / 16)

		Ma	Di	Wo	Do	Vr	Za	Zo
Accu [%] start werk			90%	100%				
Accu [%] eind werk			36%	50%				
Draaiuren machine			4,5	4,5				
Oplaad ampères (16A - 32A- 63A)	Schaft		63A	-				
	Einde dag		16A	16A				
Opladen in uren	Schaft		1	-				
	Einde dag		10	8				

Elektrische Wackerstamper / (.....)

		Ma	Di	Wo	Do	Vr	Za	Zo
Accu [%] start werk								
Accu [%] eind werk								
Draaiuren machine								
Oplaad ampères (16A - 32A- 63A)	Schaft							
	Einde dag							
Opladen in uren	Schaft							
	Einde dag							

Bijlage 7 Codering interview project N-Kavel

Interview: Ervaringen 16T kraan CH210002 (voorbereidend werk)

Tekstfragment	Open codes	Axiale code
V: Heeft u positieve ervaringen ondervonden van het werken met het elektrische materieel? Zo ja, welke? (Bij meerdere machines graag onderscheid maken)		
A: Mooi dat er wordt getest met de elektrische kraan.	Een mooi initiatief.	Initiatief.
V: Heeft u negatieve ervaringen ondervonden van het werken met het elektrische materieel? Zo ja, welke? (Bij meerdere machines graag onderscheid maken)		
A: Wij hebben (veel) te maken gehad met kinderziektes zoals het wegvallen van het vermogen.	Kinderziektes.	Kinderziektes.
V: Merkt u dat de machines minder geluid produceren? Zo ja, hoe ervaart u dit?		
A: De machine is inderdaad stiller. Wel is hierdoor het gevoel minder. Je kan niet meer horen aan de machine hoe deze werkt. Heeft deze moeite of niet.	Minder geluid. Minder gevoel tijdens het werk	Minder geluid. Minder gevoel.
V: Op welke momenten laad u het materieel op?		
A: De schaft en eind van de dag, door de nacht heen.	s Nachts opladen. Opladen tijdens de schaft	Opladen buiten werktijd.
V: Hoelang duurt gemiddeld het opladen?		
A: 8 à 10 uur afhankelijk van de leegte van de accu en het amperage.	Afhankelijk van verbruik en amperage	Variabel.
V: Heeft u te maken gehad met vandalisme en/of diefstal? Denk bijvoorbeeld aan een aggregaat of oplaadkabels.		
A: Nee. Dit omdat het werk binnen zich in een omheind bouwterrein bevind.	Een omheind bouwterrein.	Beveiliging.
V: Bent u anders gaan werken, meer energiebewust? Zo ja, welke veranderingen heeft u gemaakt?		
A: Wel wat rustiger maar dit heeft ook te maken met een beperking in handelingssnelheid	Iets rustiger, deels door handelingsbeperkingen	Beperkingen.
V: Tot slot, wat zou u veranderen aan het emissieloos werken?		
A: Het zicht achter kan beter vanwege de hoge kont. Bredere rupsen vanwege zijn hoge gewicht. Een driedelige giek i.p.v. een tweedelige. Hiermee wordt het bereik een stuk beter. Er mist nu de mogelijkheid voor een kantelbak en om de bak omgedraaid erop te zetten.	Beperkingen vanwege de ombouw van "oudere" machines	Beperkingen.