

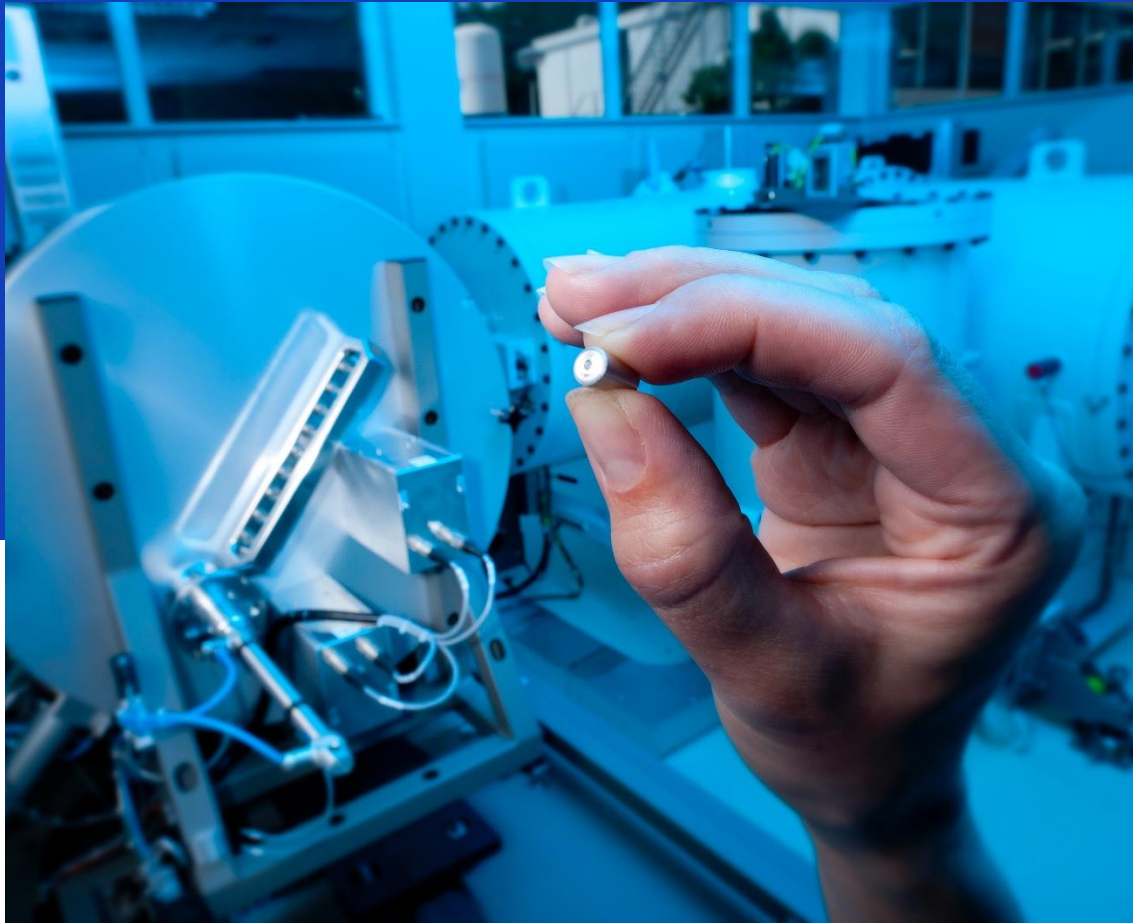
Bevindingen monitoring elektrische graafmachines “Bouwplaats van Morgen”

René van Gijlswijk

Michiel Zult

[Start presentation](#)

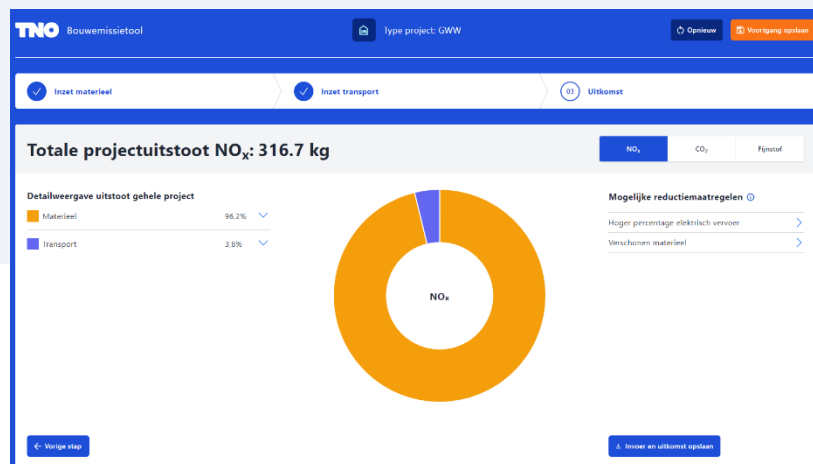
Agenda



1. TNO-onderzoek bouwmachines
2. Het project “Bouwplaats van Morgen”
3. Inzetbaarheid en energiegebruik
4. Vergelijkende meting elektrisch – diesel
5. Kosten
6. Conclusies

TNO doet onderzoek naar bouwmachines

- Meten/monitoring dieselmaterieel tijdens normaal bedrijf (graafmachines, pompen, aggregaten, trekkers, shovels): NO_x , CO_2 , fijnstof, inzet
- Model EMMA-MEPHISTO waarmee Nederlandse emissietotalen worden berekend
- Monitoring van elektrisch materieel (graafmachines, betonmixer, vrachtwagens)
- Monitoring laadpleinen voor zware voertuigen
- Scenariostudies (ingroeiscenarios)
- Model bouwemissies.nl





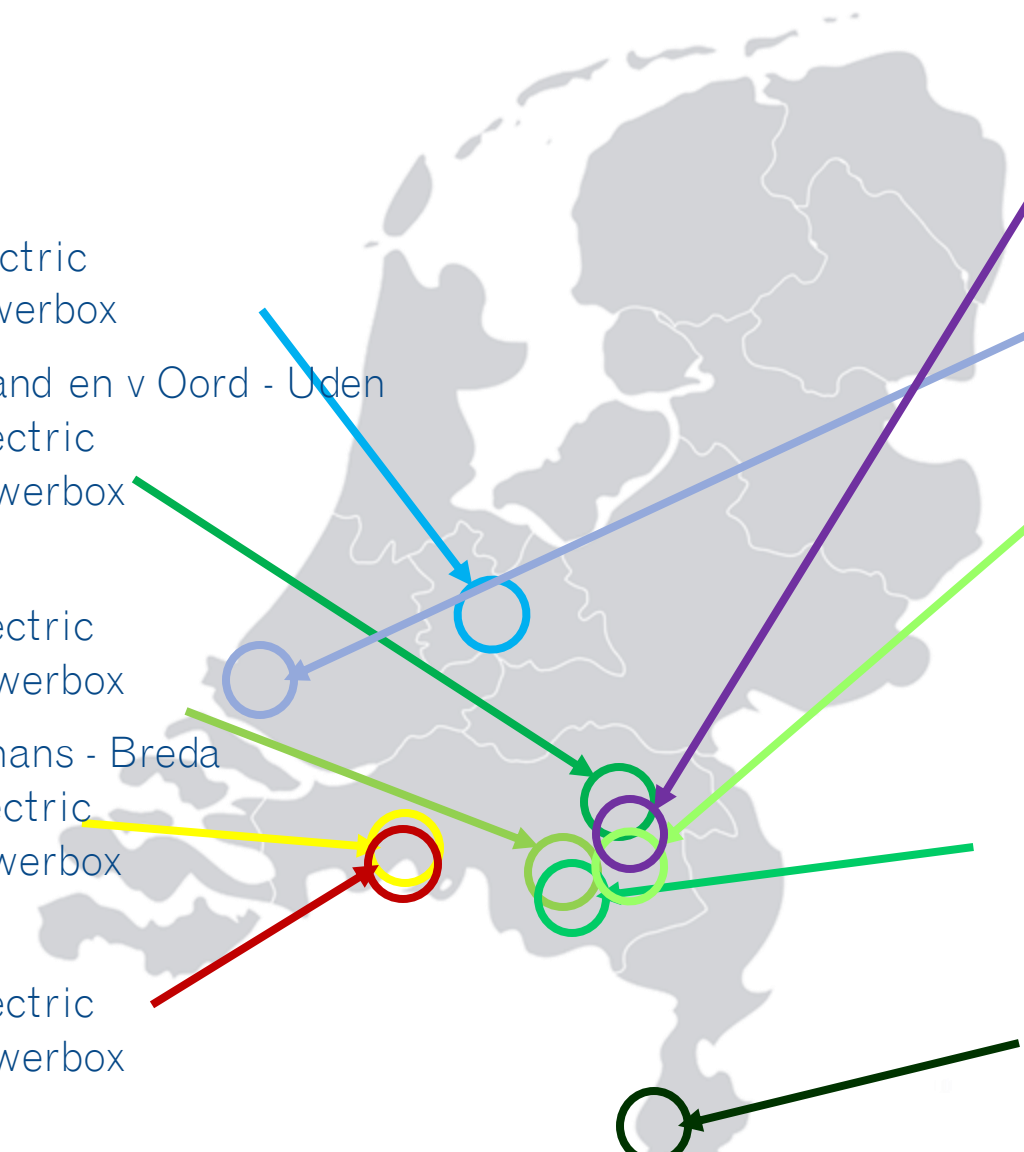
Het project Bouwplaats van Morgen

- Januari 2022 – September 2024
- DKTI project met cofinanciering van I&W
- Inzet van 7 graafmachines (mobiele & rups) op bouwprojecten
 - Uiteenlopende use cases
 - Data monitoring ~ 12.5 jaar aan data
- 2 daagse test - vergelijk van inzet tussen diesel / elektrisch
- Bijdragen aan opschaling van elektrische graafmachines





Deelnemers



Westbroek
DX165W Electric
2 x extra powerbox



Gebr. vd Brand en v Oord - Uden
DX165W Electric
1 x extra powerbox



Udenhout
DX165W Electric
2 x extra powerbox



Gebr. Coremans - Breda
DX165W Electric
1 x extra powerbox



Zundert
DX165W Electric
1 x extra powerbox

Veghel
GWW machine
leverancier

Den Haag
Kennisinstituut

Helmond
Penvoerder / project
management

Moergestel
DX300 Electric
1 x extra powerbox

Maastricht
DX165W Electric
1 x extra powerbox



Ervaringen delen

Periodiek overleg

- Ervaringen uitwisselen over de inzet van machines door aannemers
- Terugkoppeling en afstemming vanuit TCO & technische analyses
- Afstemming tussen fabrikant en aannemers
- Gastsprekers
- Test tussen inzet van diesel / elektrisch

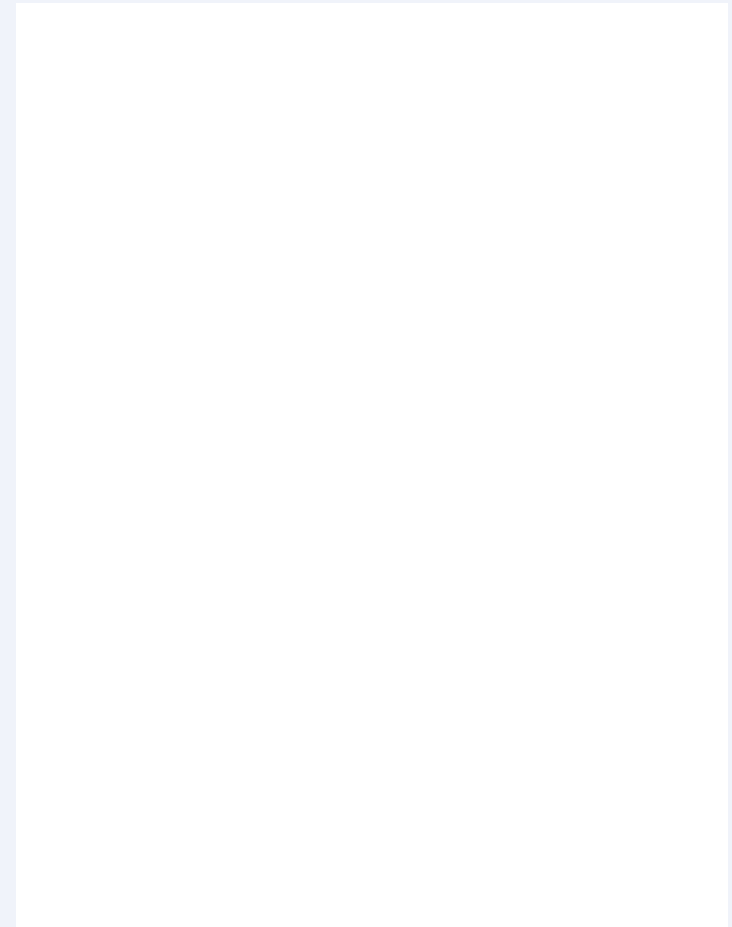
Onderwerpen

- Waar lopen we tegenaan met de techniek / marktvrage / juridisch?
- Wat vinden de machinisten?
- Hoe gaan we om met het laden of accuwissels?
- Technische verbeteringen van machine



Monitoring

1. Praktische inzet elektrische machines
2. Voordelen in cijfers (bespaarde emissies, gevolg voor kosten)
3. In kaart brengen beperkingen (accucapaciteit, beschikbaarheid laders, aanloopproblemen, planning)
4. Aanbevelingen



Opzet monitoring



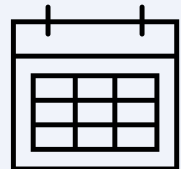
1
Machine
(motordata)



2
Power-
boxen
(accudata)



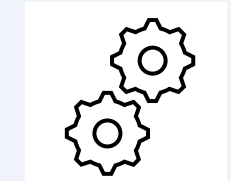
3
Planning
(type klossen)



Opslag



Verwerking

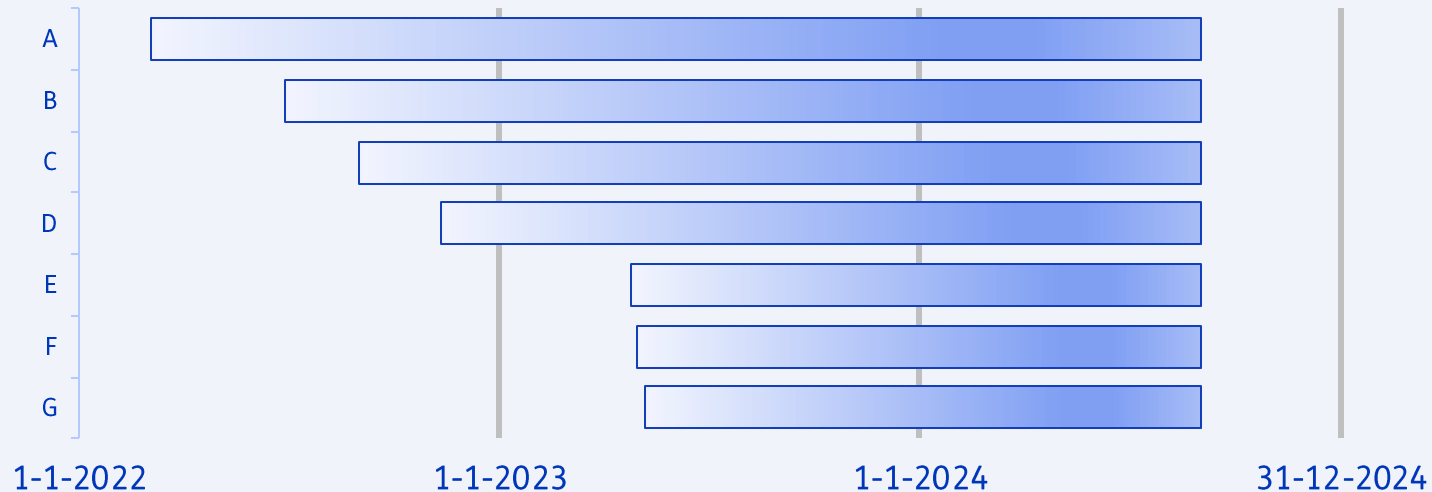


Rapportage



Opzet monitoring (2)



- 7 machines in dagelijkse inzet
- De machines zijn geleidelijk uitgeleverd
- In totaal is ongeveer 12,5 draai-jaren aan data verzameld en geanalyseerd



Resultaten



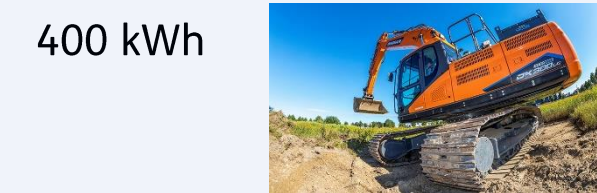
Resultaten monitoring

- De machines zijn op werkdagen gemiddeld 7,9 uur per dag ingezet.
- Gemiddelde belasting 16t mobiele kraan: 28 kW (ca. 25%) 
- Gemiddelde belasting 35t rupskraan: 50 kW (ca. 25%) 



Per werkdag van 8 uur:

220 kWh

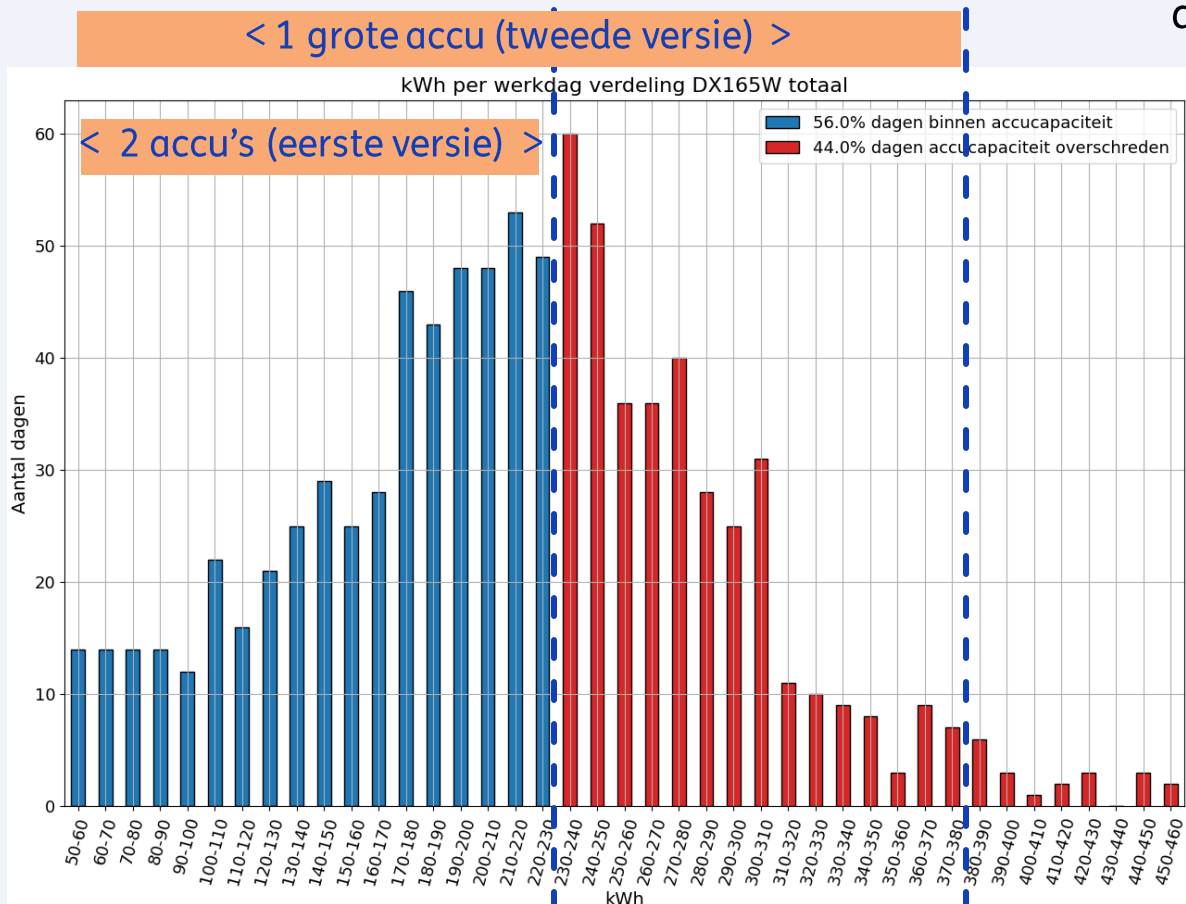


400 kWh

| DX165W | Eenheid | GW | Bouw huizen | Bosbeheer | Rondom spoorwegen | Sloopwerkzaamheden |
|----------------------------|---------|------|-------------|-----------|-------------------|--------------------|
| Gemiddeld vermogen | kW | 28.2 | 24.2 | 31.5 | 23.6 | 25.2 |
| Draaiuren / werkdag | Uur | 8.1 | 8.0 | 6.6 | 8.3 | 6.6 |
| kWh / werkdag | kWh | 227 | 193 | 208 | 208 | 156 |
| Aantal werkdagen | - | 1036 | 159 | 202 | 27 | 30 |

Resultaten monitoring (2)

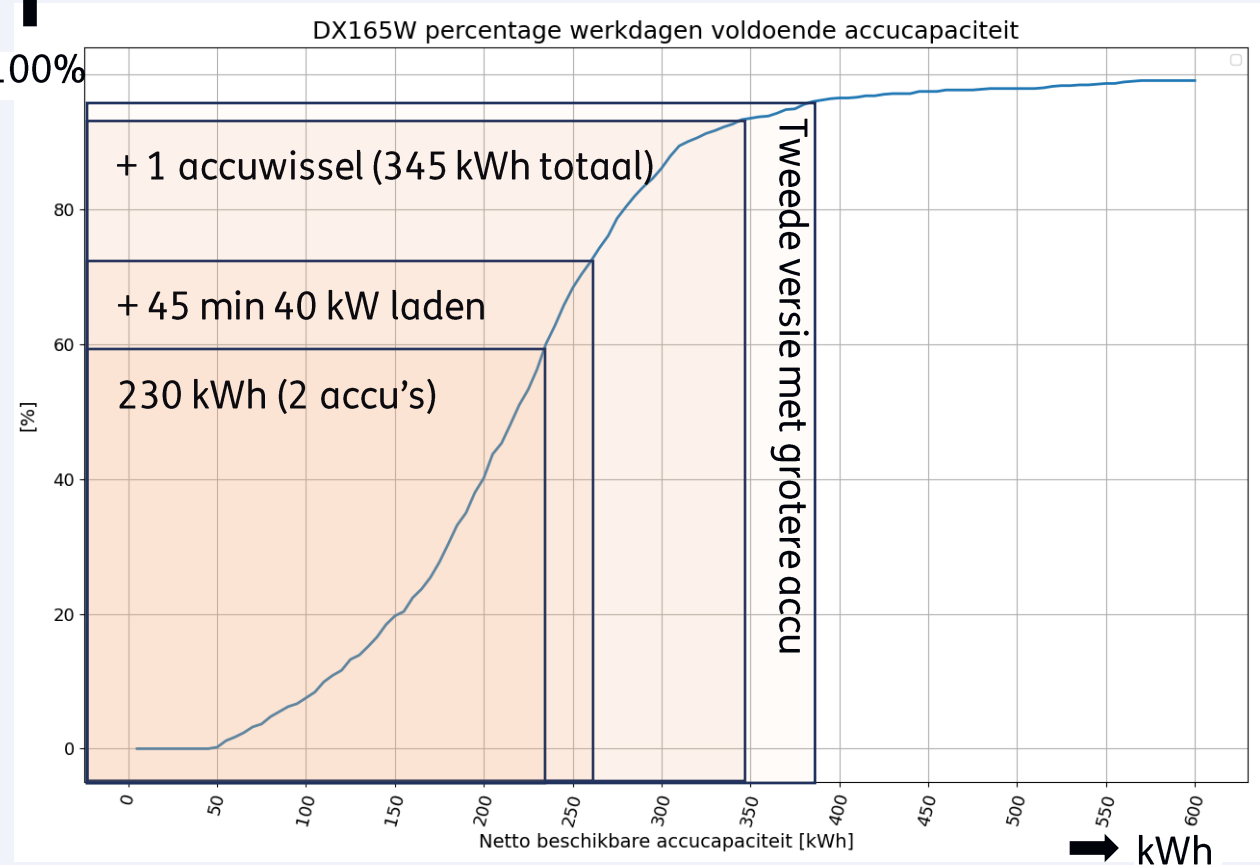
- Aanvankelijk hadden de DX165 machines 2 accu's aan boord, en werd vaak één of beide accu's gewisseld gedurende de werkdag.



% van de dagen



100%



Laden

- Aansluiting op de machines: 2 x 22 kW AC
- Aansluiting op de powerbox: 1 x 175 kW DC
- In dit project: mobiele DC-lader 40 kW
- >>> Wat betekent dat in de praktijk?

Benodigde aansluiting op de bouwplaats of depot:

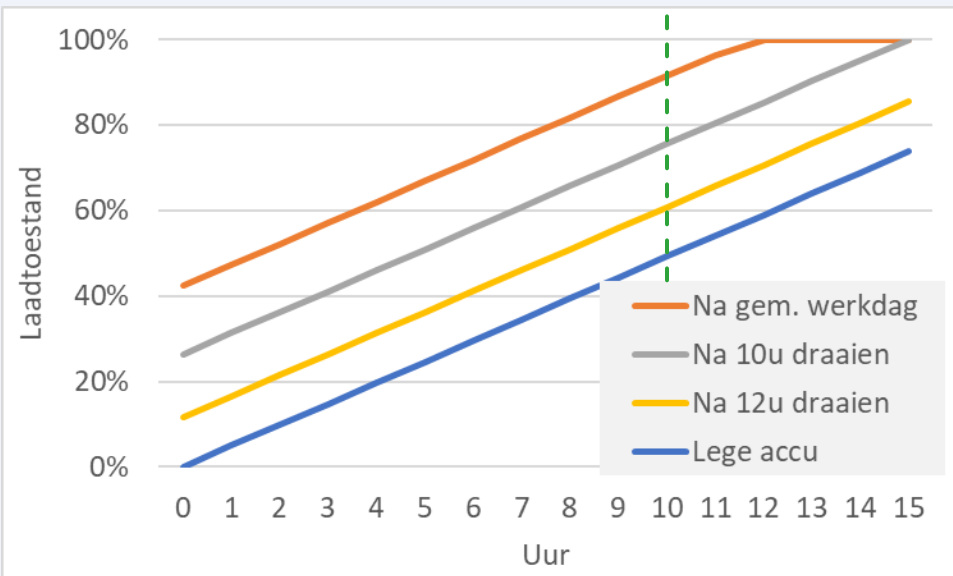
1 x 22 kW AC = 3-fasen 32A

2 x 22 kW AC = 3-fasen 64A

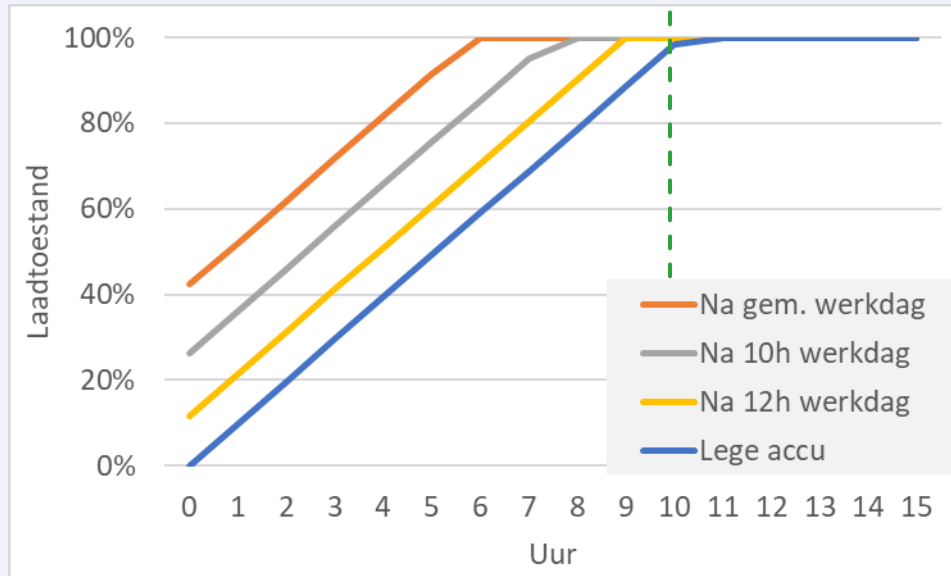
Benodigde aansluiting:

3-fasen 63A

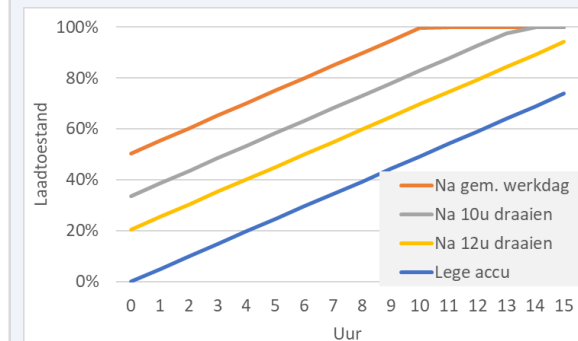
DX165 laden met 1 x 22 kW



DX165 laden met 2 x 22 kW of 40 kW DC



DX355 laden met 2 x 22 kW of 40 kW DC



Opzet vergelijkende meting diesel - elektrisch

2x2 machines:

- Mobile kraan 16t, elektrisch vs. diesel
- Rupskraan 30t, elektrisch vs. diesel

| | |
|--------|--|
| Tests: | Koud stationair laten lopen |
| | Dumper volladen en klokken |
| | Sloot graven en dichtgooien 25m |
| | Vak nivelleren 25x25m |
| | Rond rijden in tweede versnelling (alleen mobiele) |
| | Stationair laten lopen |



SEMS CAN / sensor datalogger



Draagbaar NOx-emissiemeetsysteem van TNO "BOEM-kit"



Draagbaar fijnstofemissiemeetsysteem



Resultaten vergelijking diesel-elektrisch

- Energiegebruik:

| | Diesel (liter) | Elektriciteit uit net (kWh) |
|-----------------------|----------------|-----------------------------|
| 16 tons mobiele kraan | 1 | 4,09 |
| 30/35 tons rupskraan | 1 | 4,14 |

- Variatie vermogensvraag bij activiteiten:

| | 16 tons mobiele kraan DX165 | 30/35 tons rupskraan DX300 |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Dumper volladen en klokken | 38 | 59 |
| Sloot graven en dichtgooien | 40 | 70 |
| Vak nivelleren | 41 | 70 |
| Rondrijden in 2e versnelling | 38 | |
| Stationair draaien (warm) | 2,2 | 1,2 |

- Uitstoot:

| | NOx (mg/kWh)* | Fijnstof (aantal deeltjes per cm ³) |
|-----------------------|---------------|---|
| 16 tons mobiele kraan | 527 | 2,4 miljoen |
| 30/35 tons rupskraan | 1505 | 3 miljoen |

*NB dit wordt beïnvloed door de duur van de test.

Resultaten: besparing emissies

Deze cijfers zijn voor:

- Stage V
- 8 x 216 ~ 1700 draaiuren/jaar
- Motorlastprofiel uit monitoring

Mobiele kraan 16t

| | Bespaard met elektrisch |
|---|--|
| CO ₂ -uitstoot per draaiuur | 10 kg/uur (mix) of 17 kg/uur (hernieuwbare el.) |
| CO ₂ -uitstoot op jaarbasis (werkweek van 40 uur) | 21 ton (mix) of 35 ton (hernieuwbare el.) |
| NO _x -uitstoot op jaarbasis | 114 kg NO _x |

Vergelijkbaar
met 300.000
km wegverkeer.

Rupskraan 35t

| | Bespaard met elektrisch |
|---|--|
| CO ₂ -uitstoot per draaiuur | 17 kg/uur (mix) of 28 kg/uur (hernieuwbare el.) |
| CO ₂ -uitstoot op jaarbasis (werkweek van 40 uur) | 34 ton (mix) of 56 ton (hernieuwbare el.) |
| NO _x -uitstoot op jaarbasis | 202 kg NO _x |

Vergelijkbaar
met 500.000
km wegverkeer.



Total cost of ownership

Analyse door FIER Automotive

Aanpak

Waarom TCO

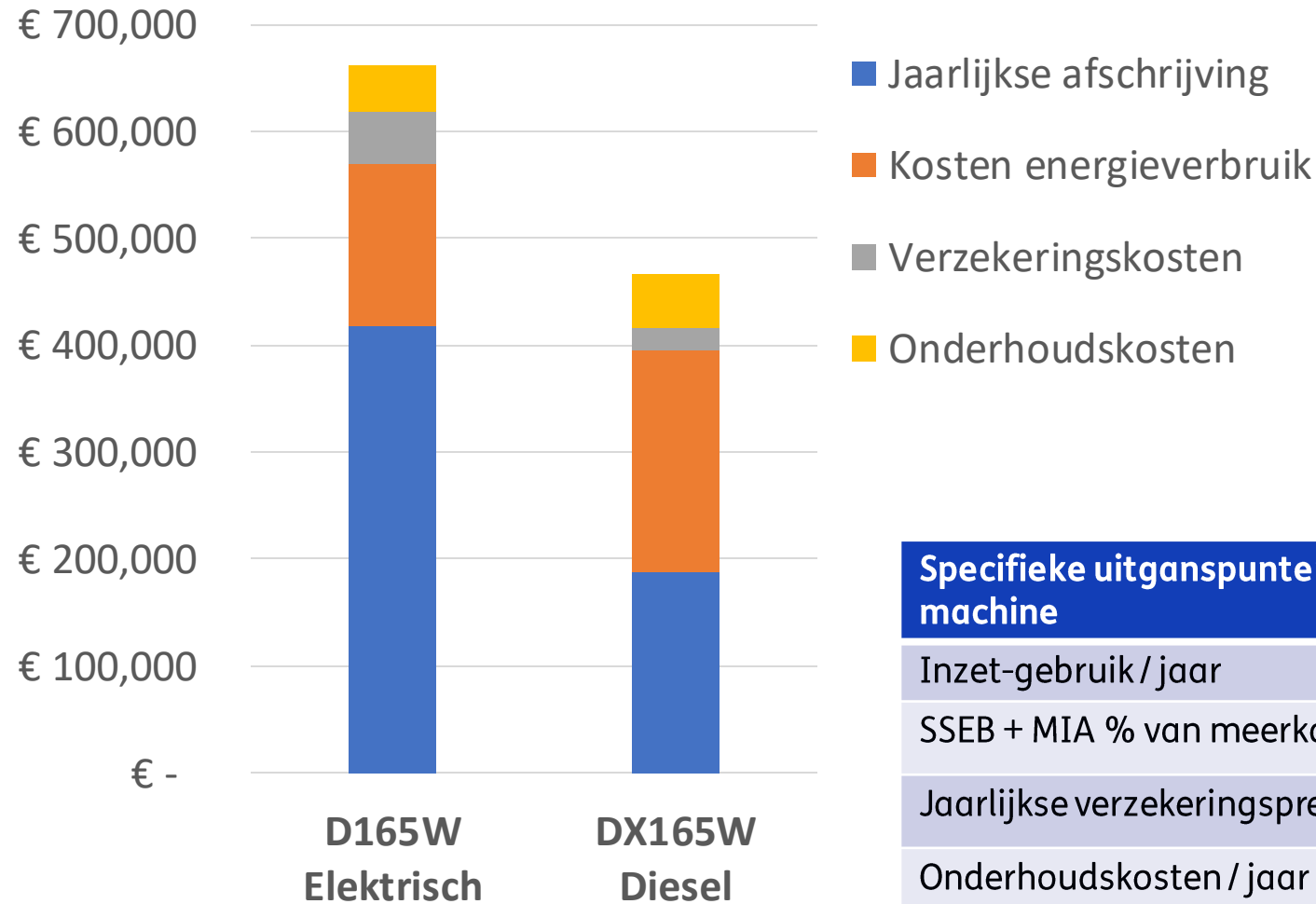
- Cruciaal voor het begrijpen van de financiële gevolgen van de investering
- Inzicht in keuze diesel vs elektrisch

Aanpak

- Geactualiseerd naar 2024 (SSEB subsidie)
- Vergelijk diesel met elektrisch
- Beide typen machines
- Periode van 8 jaar
- Kosten van het laden 0,35 eur/kWh
- Opgesteld in dialoog met partners

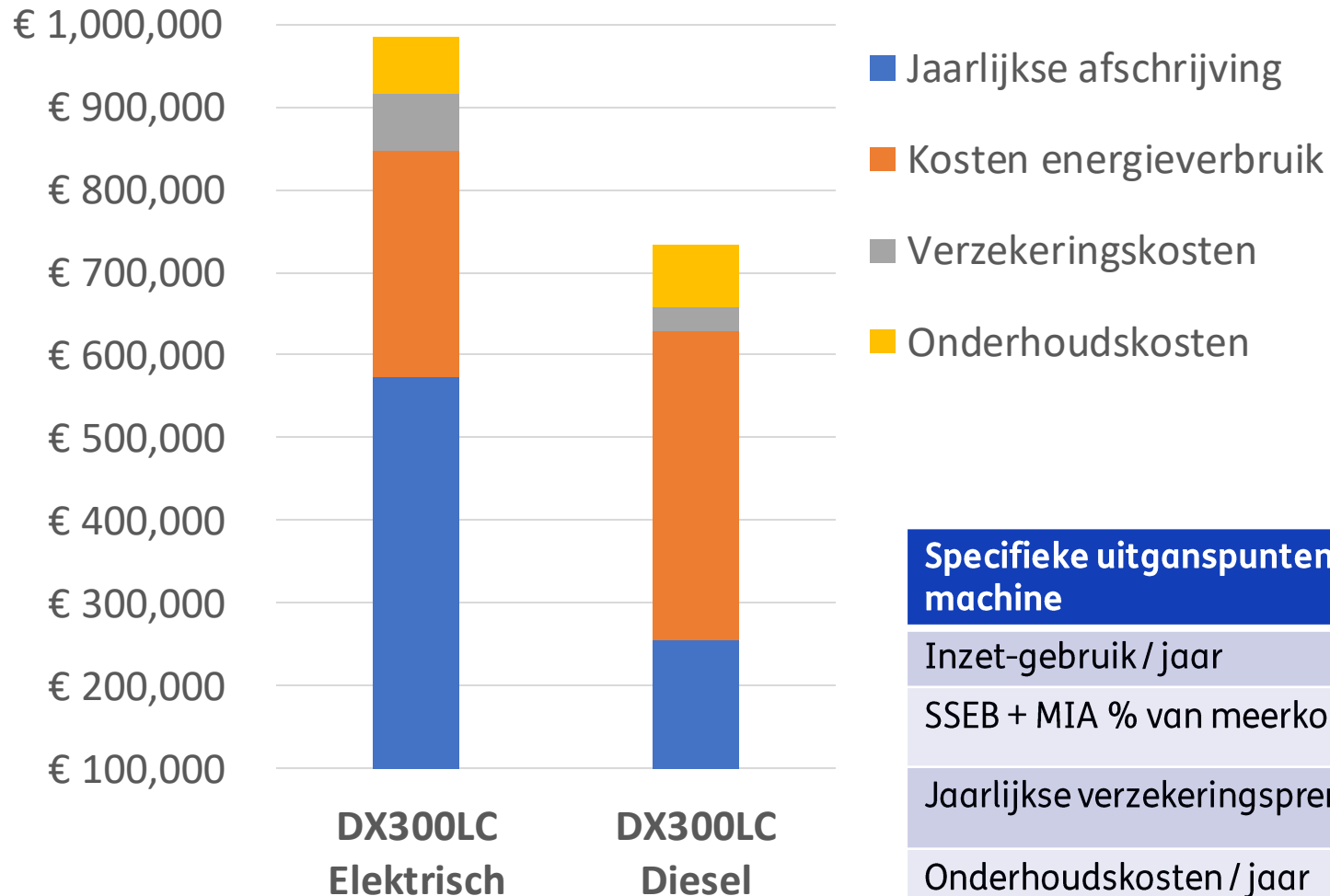


TCO vergelijk – Mobiele graafmachine



| Specifieke uitgangspunten voor machine | DX165W Elekt. | DX165W Diesel |
|--|-----------------|---------------|
| Inzet-gebruik / jaar | 50.000 kWh | 13.158 L. |
| SSEB + MIA % van meerkosten (MKB) | 30% / € 126,000 | n.v.t. |
| Jaarlijkse verzekeringspremie / jaar | € 5.774 | € 2.500 |
| Onderhoudskosten / jaar | € 5.151 | € 6.447 |

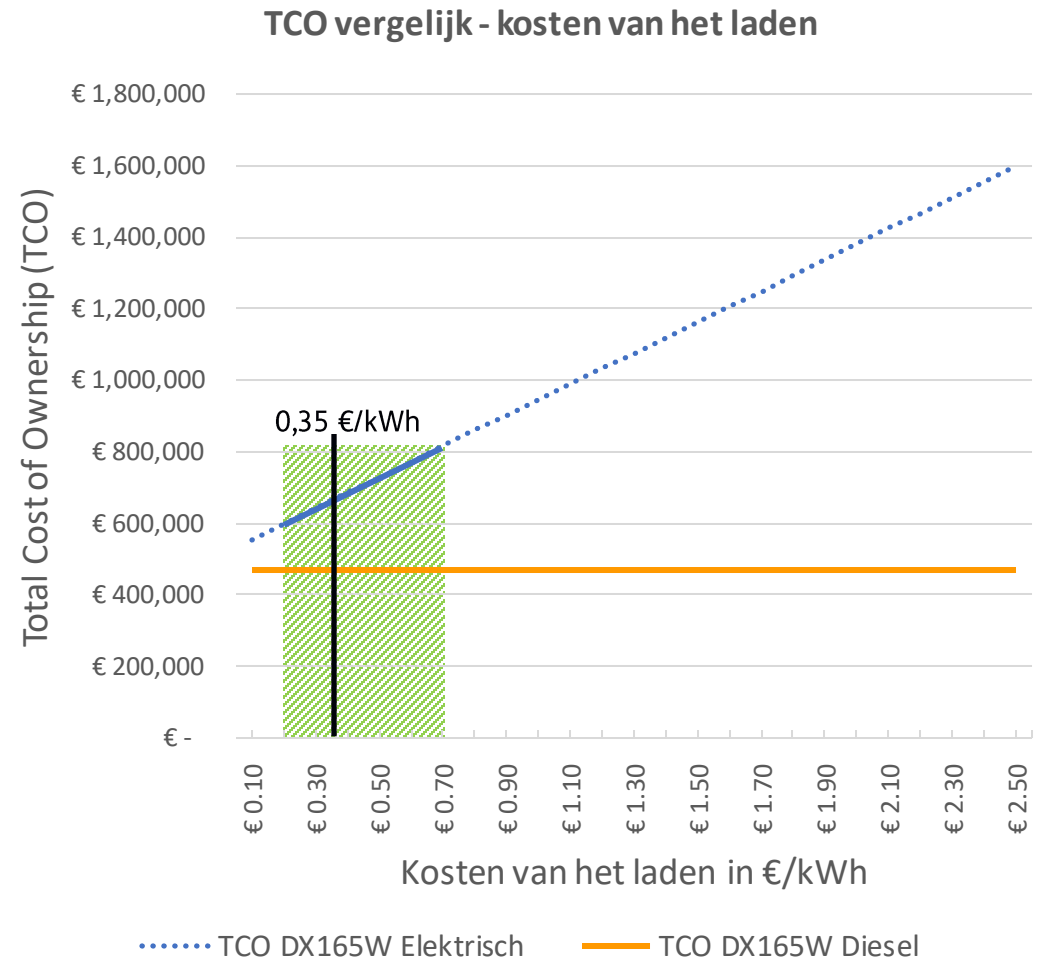
TCO vergelijk – Rupsgraafmachine



| Specifieke uitgangspunten voor machine | DX300LC Elekt. | DX300LC Diesel |
|--|-----------------|----------------|
| Inzet-gebruik / jaar | 90.000 kWh | 23.684 L. |
| SSEB + MIA % van meerkosten (MKB) | 30% / € 174,000 | n.v.t. |
| Jaarlijkse verzekeringspremie / jaar | € 7.939 | € 3.400 |
| Onderhoudskosten / jaar | € 8.341 | € 9.039 |

Invloed van kosten van het laden

- Kosten van het laden:
 - Elektriciteitskosten
 - Extra voorziening voor laden
 - Logistieke handelingen
- Laden op de bouwplaats en kosten van laden is een groot aandachtspunt!
- Grote verscheidenheid aan laadmethodes, grote variatie in kosten (gros tussen 0,20 en 0,70 €/kWh)
- De impact van de kosten van het laden op de TCO is aanzienlijk. Daarnaast is er zelfs bij een kostprijs van 0,20 €/kWh geen TCO-pariteit met diesel.



Voorbeelden van laadmethodes

Netaansluiting



Geen netaansluiting



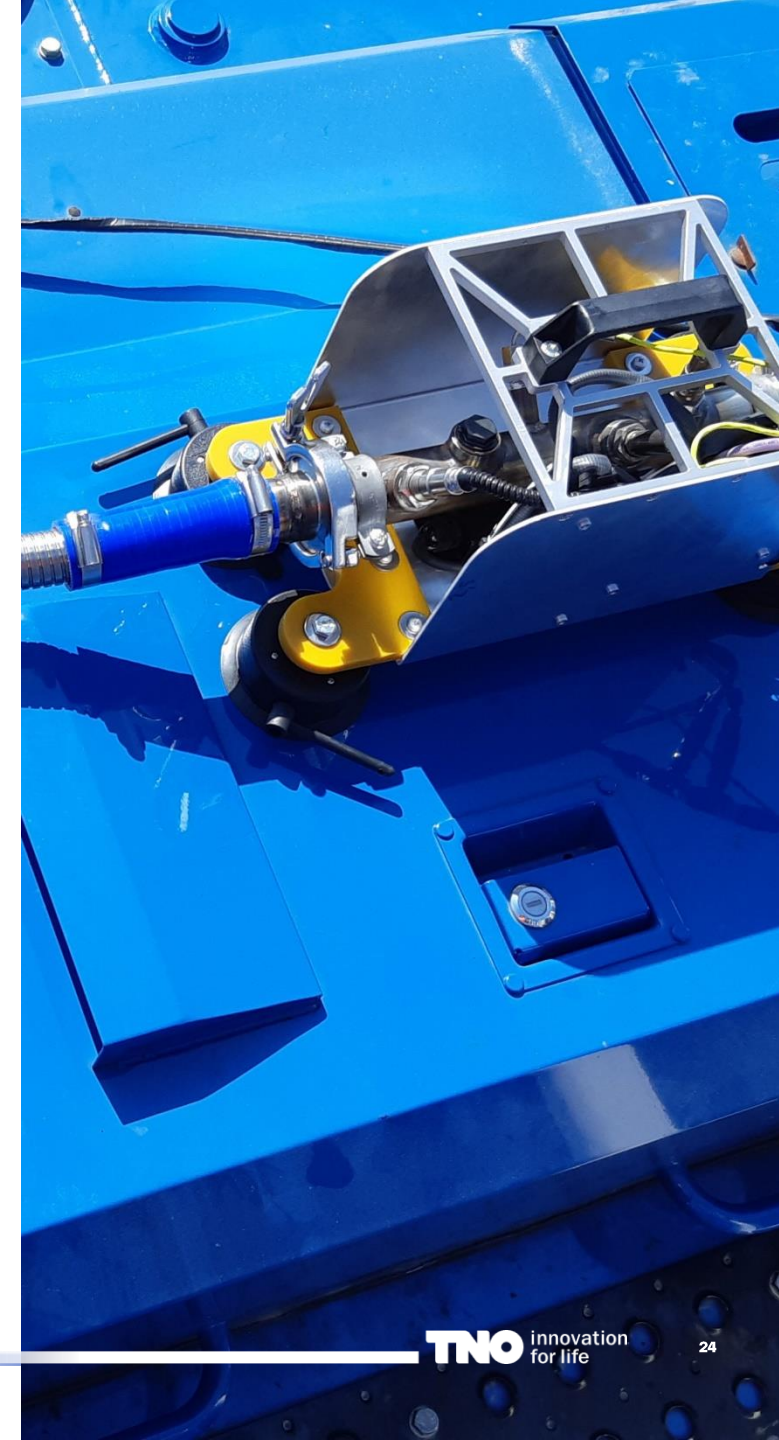
Businesscase van inzet graafmachine



- De TCO van de elektrische graafmachines is aanzienlijk (34 – 42%) hoger
- Marktarieven zijn echter aanzienlijk hoger
 - Hogere aanschafkosten
 - Onvolwassen markt voor inzet ZE bouwmaschinen
 - Grote variatie in kosten van het laden
 - Technologische volwassenheid

Algemene bevindingen (1)

- De elektrische machines zijn in “Bouwplaats van Morgen” succesvol ingezet.
- Het energiegebruik per uur is redelijk vergelijkbaar voor de verschillende use cases.
- Het aantal draaiuren per dag varieert sterk. Het is technisch mogelijk gebleken om, zelfs met bescheiden accucapaciteit en een wisselsysteem, dubbele diensten te draaien. Met de opgewaardeerde powerboxen is het nog eenvoudiger.
- De netaansluiting op de bouwplaats moet voldoende zwaar zijn om de machines ‘s nachts (en eventueel losse powerboxen overdag) op te laden. Bij lange werkdagen kan het zelfs bij 2x22 kW kritisch worden.
- De vergelijkende metingen geven inzicht in de te verwachten emissiebesparingen van ca. 21 ton CO₂ en 114 kg NO_x per jaar (34 ton CO₂ en 202 kg NO_x voor de rupskraan). In het rapport (link op laatste slide) staat een formule waarmee de emissiereductie berekend kan worden voor een specifieke situatie.
- Bij vervanging kan men voor elke liter diesel ongeveer 4 kWh elektriciteit op de rekening verwachten.



Algemene bevindingen (2)

TCO

- Elektrische graafmachines aanzienlijk (34 – 42%) hoger dan diesel
- Opschaling en technologische ontwikkelingen zal op lange termijn een positieve impact hebben op TCO elektrische machine

Kosten van het laden

- Kosten van laden aanzienlijk lager met netaansluiting
- Indien geen netaansluiting; hogere kosten van laden door energieopslag en logistiek
- Vergt organisatorisch vermogen, aantrekkelijk voor langdurige projecten met inzet van meerdere machines.

Bevindingen relevant voor opdrachtgevers en verdere achtergrond is beschikbaar in rapport (zie link op de laatste slide).



Bedankt voor uw aandacht!

Analyserapport TNO beschikbaar op:

<https://repository.tno.nl>



TCO-rapport FIER beschikbaar op:

<https://www.fier.net/projects/>



TNO bedankt alle
projectpartners:



TNO innovation
for life