



› **DKTI INVENTARISATIE 0-EMISSION INZAMELVUERTUIGEN
GELEERDE LESSEN EN VOORLOPIGE CONCLUSIES**

R. KOFFRIE, TNO

› INLEIDING

De reinigingsbranche is een van de branches waar de transitie naar Zero Emissie voertuigen hoog op de agenda staat. De ambitie van de branche is vastgelegd in een convenant wat getekend is door meerdere partijen, waaronder inzamelaars en gemeenten¹. Diverse publieke inzamelaars uit het convenant verduurzaming voertuigen en brandstoffen in de reinigingsbranche geven aan dat de impact van de inzet van BEV- en FCEV-voertuigen vragen oproept. Kennisdeling over lopende of net afgeronde initiatieven uit de praktijk is volgens de inzamelaars zelf een belangrijke stap. Dit onderzoek draagt bij aan de kennisdeling door DKTI projecten² in deze branche te analyseren.

› Doel

Inzicht en beschikbare informatie ophalen om vragen te beantwoorden over de inzet van BEV- en FCEV- voertuigen uit lopende (en onlangs afgeronde) DKTI projecten met Zero Emissie Vuilniswagens.

› Aanpak

Het onderzoek is opgezet aan de hand van de volgende stappen:

- › Opstellen van de te analyseren thema's
- › Informatieverzameling
- › Analyse en rapportage

› Scope

Er wordt gericht op zware vuilniswagens (categorie N3; GVW > 12 ton). Bij het inventariseren van de beschikbare informatie wordt de informatie ontsloten uit de volgende projecten: E-WASTE, H2GROW, Hy-4-EVER, H2RenT en H2-SHARE. Optimalisatie van het logistieke concept blijft buiten beschouwing.

¹ Klik [hier](#) voor meer informatie over het convenant

² Klik [hier](#) voor meer informatie over DKTI

› INHOUDSOPGAVE

- › [Overzicht DKTI projecten](#)
- › Thema's:
 1. [Operationele inzetbaarheid](#)
 2. [Huidige en verwachte beschikbaarheid en kosten](#)
 3. [Ervaringen met \(de realisatie van\) H2 tank- en laadinfrastructuur](#)
 4. [Invloed inzet 0-emissie voertuigen op planning en onderhoudsorganisatie](#)
- › Geleerde lessen en conclusies per DKTI project:
 - › [Status, tijdslijn en Resultaten DKTI E-WASTE](#)
 - › [Status, tijdslijn en Resultaten DKTI H2WasteCollect](#)
 - › [Status, tijdslijn en Resultaten DKTI H2GROW](#)
 - › [Status, tijdslijn en resultaten DKTI Hy-4-EVER](#)
 - › [Status, tijdslijn en Resultaten DKTI H2RenT](#)
 - › [Status en resultaten Interreg H2-SHARE](#)
- › [Samenvatting bevindingen genoemde DKTI projecten](#)
- › [Wat kan er nu al worden gedaan?](#)

› OVERZICHT: VERKORTE PROJECTBESCHRIJVINGEN

In deze presentatie wordt van een 5-tal DKTI-transport (Demonstratie klimaattechnologieën en -innovaties in transport) projecten op het gebied van 0-emissie afvalinzameling nagegaan welke lessen daaruit kunnen worden geleerd. Hieronder de omschrijvingen deze projecten zoals ingediend bij de subsidieaanvraag*:

- › **E-WASTE:** In pre-commerciële fase demonstreren van een e-afvalvoertuig waardoor eindgebruikers in staat worden gesteld een zo gunstig mogelijke TCO en milieuprestatie te bereiken. De inzichten zullen worden vastgelegd in een roadmap, welke de branche in staat stelt in 2030 volledig zero-emissie te zijn. (zie: [RVO: E-WASTE](#))
- › **H2WasteCollect:** Een kick-start geven aan de implementatie van zero-emissie (binnen)stad logistiek en hiervoor draagvlak creëren door de ontwikkeling en het testen van een zero-emissie afvalinzamelingssysteem op basis van hernieuwbare waterstof dat wordt gegenereerd met energie uit (het biogene deel van het) afval. (zie: [RVO: H2WasteCollect](#))
- › **H2GROw:** De keten van hernieuwbare H2-productie, distributie, aflevering en gebruik in H2-elektrische voertuigen in een realistische gebruiksomgeving (proeftuin) testen, door-ontwikkelen en demonstreren. Best-practice ontwikkeling en evaluatie door Hanzehogeschool Groningen. (zie: [RVO: H2GROw](#))
- › **H2RenT:** De ervaringen van deze demonstraties worden vertaald in een methodologie voor realistische TCO-berekeningen en in handleidingen op vlak van vergunningen, die gebruikt kunnen worden door regionale overheden die vuilniswagens op waterstof overwegen. Parallel aan de demonstraties wordt een landelijk gespreid net van onderhoudsbedrijven ingericht. Om alle kennis te borgen en efficiënt te communiceren wordt een opleidingscentrum ingericht, waar alle betrokken en nieuwe geïnteresseerde spelers gebruik kunnen maken van de in H2RenT opgebouwde kennis. (zie: [RVO: H2RenT](#))
- › **Hy-4-EVER:** Het ontwikkelen van een waterstof range-extender aandrijfsysteem en uitvoering van een pilot om te demonstreren dat een range van 250 km bij een vuilniswagen (achterlader, 3-assig, 26T) mogelijk is zonder CO2 uitstoot. (zie: [RVO: HY-4-EVER](#))

* Waar van toegevoegde waarde wordt informatie verrijkt met praktijkkennis van TNO

OVERZICHT: IMPRESSIE VOERTUIGEN UIT DKTI PROJECTEN

H2WasteCollect



H2GROw



E-WASTE



Veisen (HVC)



Rotterdam (stadsbeheer)

H2RenT



HY-4-EVER



Zwolle (ROVA)



Eindhoven (CURE)

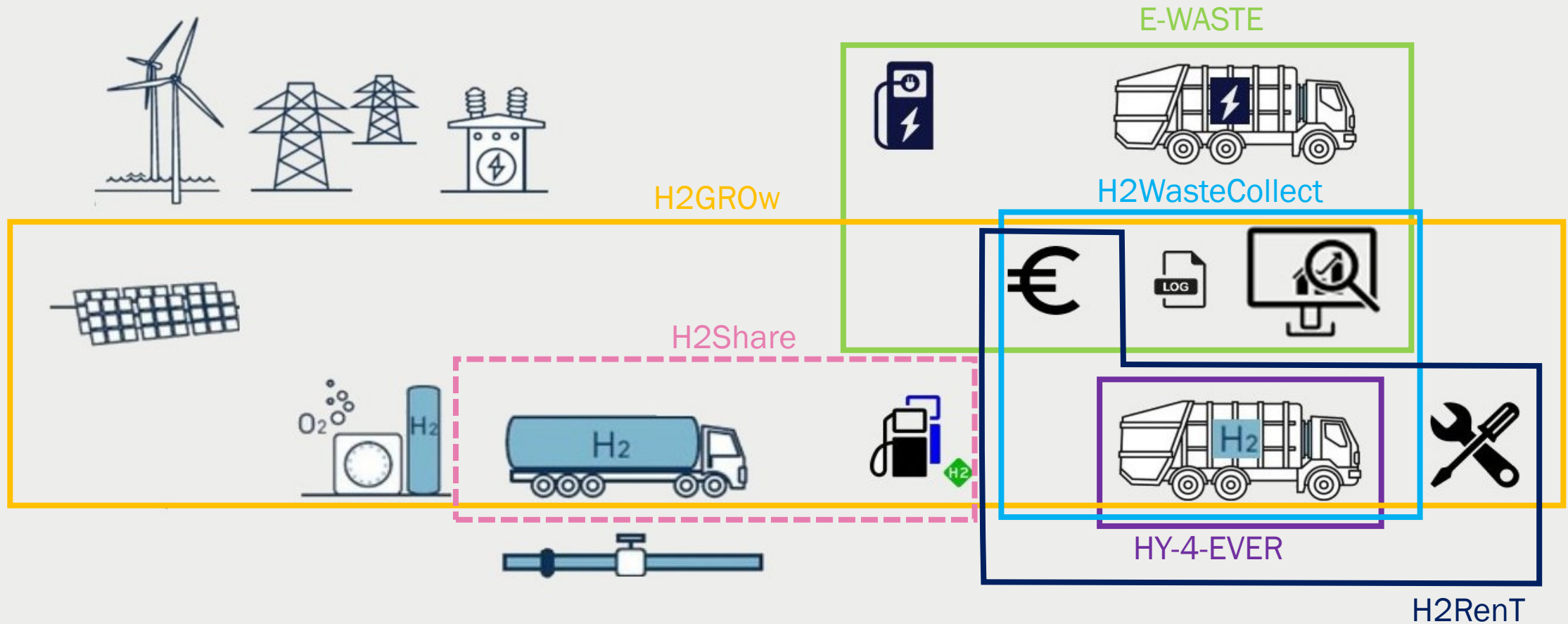
waterstof (4)



elektrisch (1)

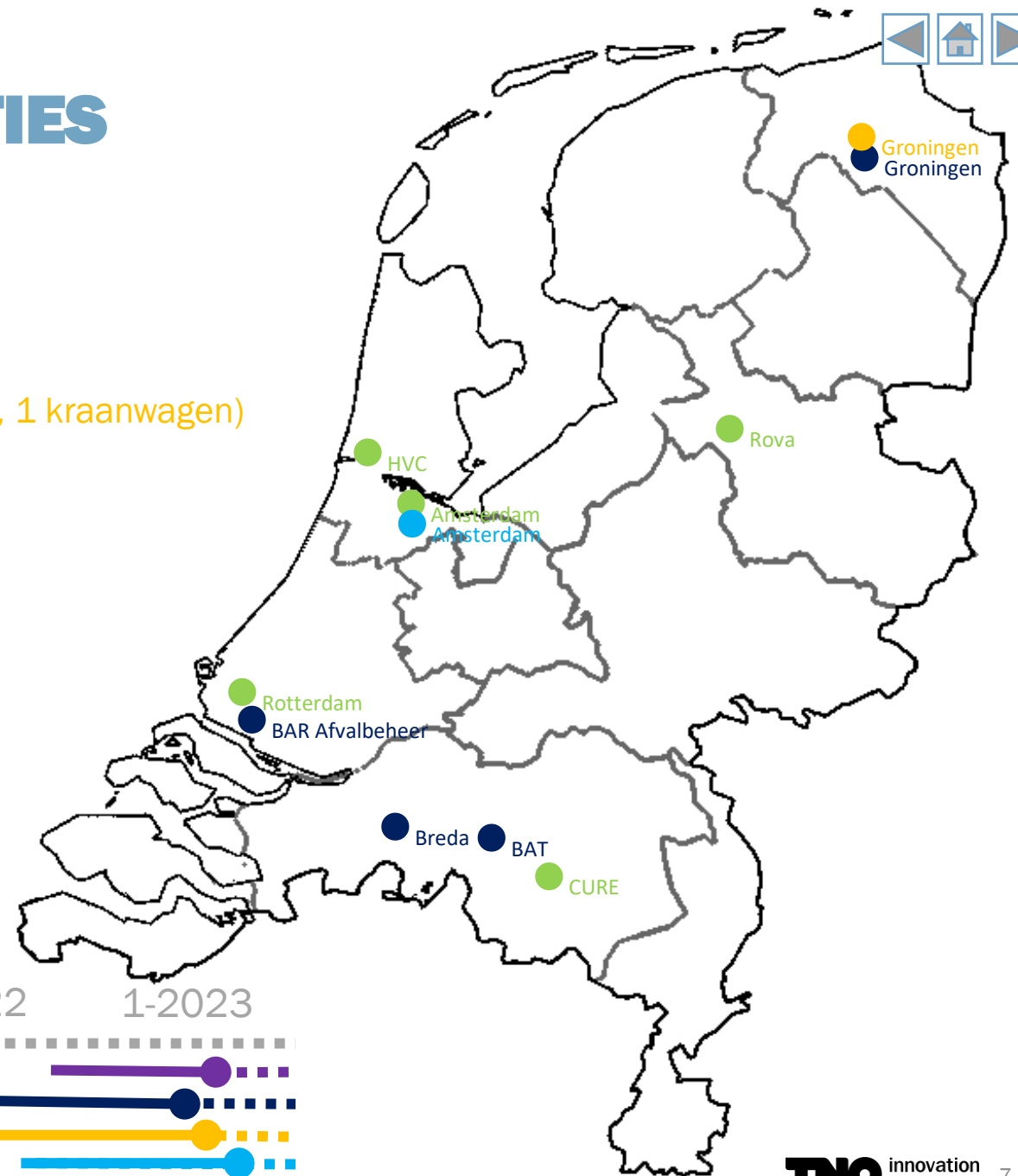
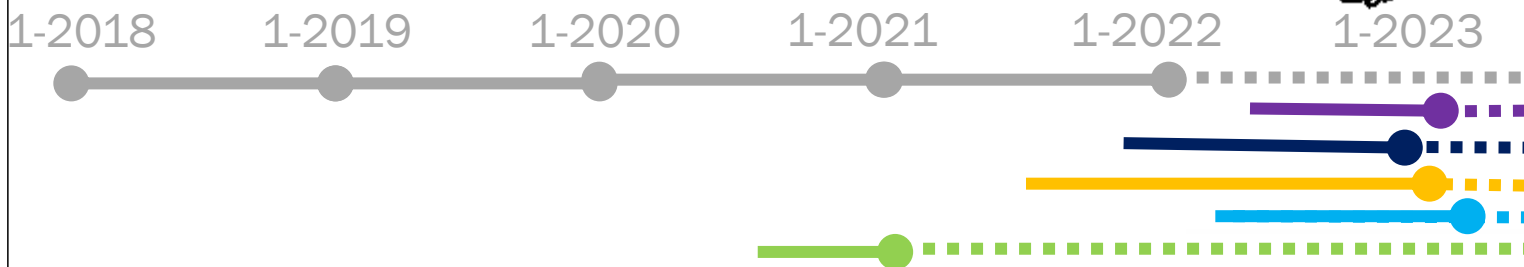
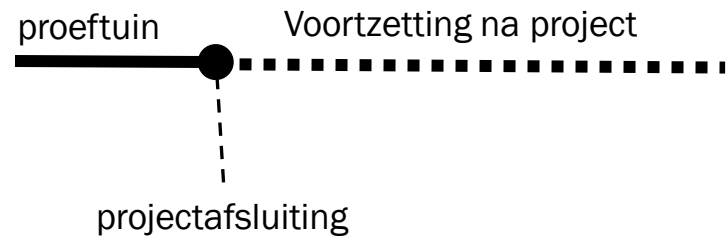
OVERZICHT: FOCUSGEBIEDEN DKTI PROJECTEN

De verschillende projecten focussen op verschillende delen van de waardeketen. Het voertuig zelf maakt in alle DKTI projecten onderdeel van de waardeketen uit.



OVERZICHT: TIJDLIJN EN LOCATIES

- Hy-4-EVER (1 achterlader)
- H2RenT (6 achterladers, zijlader en bovenlader)
- H2GR0w (1 kolkenzuiger, 1 achterlader (KCA), 1 waterwagen, 1 kraanwagen)
- H2WasteCollect (4 achterladers)
- E-WASTE (2 zijladers, 2 kraanwagens)



OVERZICHT: TOEGEPASTE VOERTUIGTECHNOLOGIE

**DISCLAIMER: INZICHTEN KOMEN UIT DE LOPENDE DKTI PROJECTEN;
VOLGENDE GENERATIES KUNNEN/ZULLEN DOOR DE GELEERDE LESSEN ANDERS WORDEN INGEVULD!**

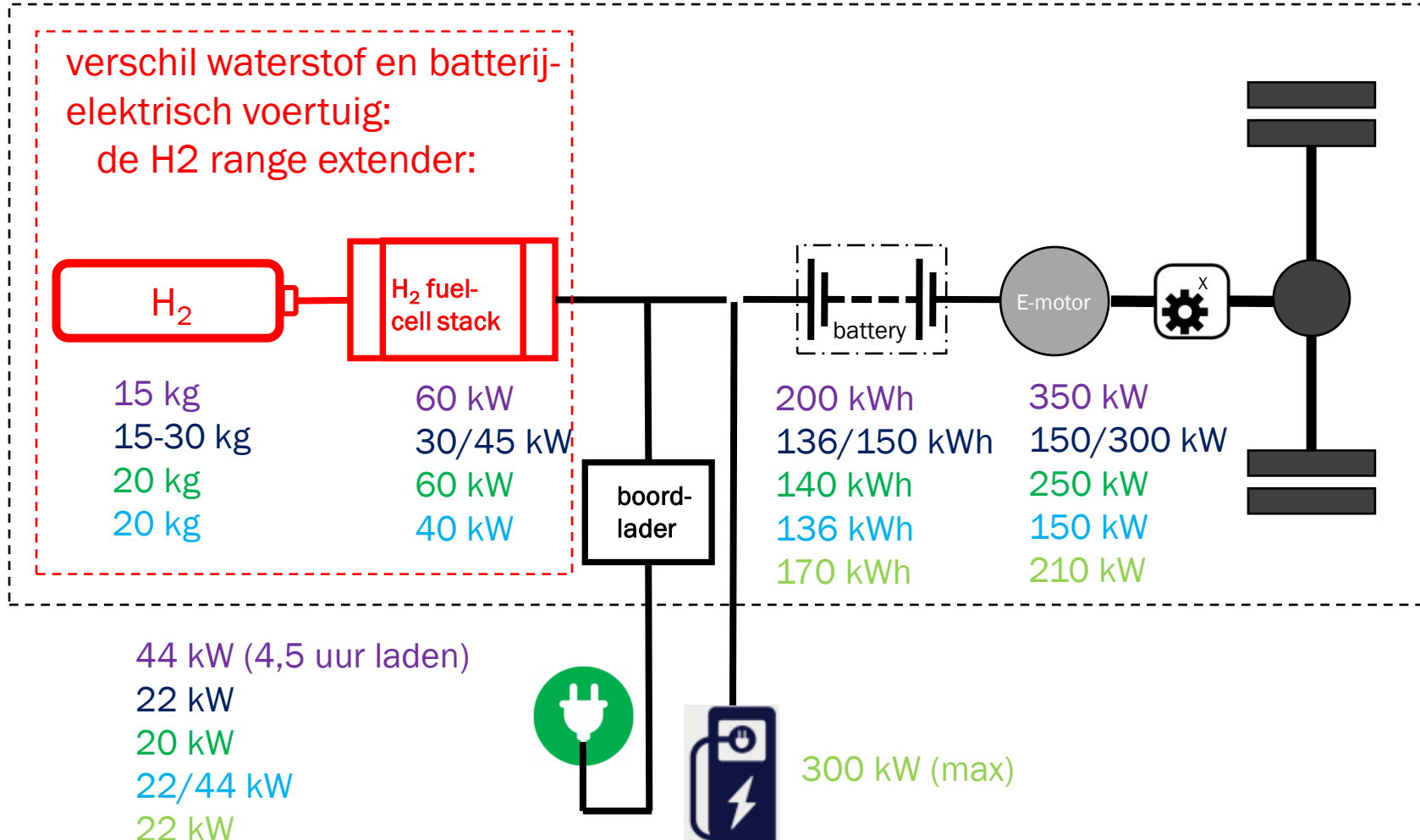
GVW:

- 26 t
- 29 t
- 26,5 t
- 26,5 t
- 28 t

minimum

actieradius:

- 100+150/300 km
- 70+150 km
- 60+250 km
- 70+200 km
- 85 km



- HY-4-EVER
- H2RenT
- H2GROw
- H2WasteCollect
- E-WASTE

OVERZICHT: TOEGEPASTE VOERTUIGTECHNOLOGIE

**DISCLAIMER: INZICHTEN KOMEN UIT DE LOPENDE DKTI PROJECTEN;
VOLGENDE GENERATIES KUNNEN/ZULLEN DOOR DE GELEERDE LESSEN ANDERS WORDEN INGEVULD!**

GVW De in de genoemde DKTI projecten gerealiseerde waterstof-elektrische vrachtwagens zijn in feite batterij-elektrische vrachtwagens, echter met typisch (maar niet altijd) een iets kleiner batterij pakket en als extra componenten de brandstofcellen-stack en de daarbij horende appendages en H2 tank(s).

26 t
29 t
26,5
26,5 Bij de brandstofcel-elektrische vrachtwagen laadt gedurende het rijden de batterij steeds bij met het vermogen dat typisch gemiddeld tijdens de beoogde inzet wordt verbruikt; Je zou dus kunnen zeggen dat de waterstof vrachtwagens in feite elektrische vrachtwagens zijn met een mobiele lader aan boord.

28 t

mini Deze configuratie voor de brandstofcel-elektrische voertuigen komt voort uit het gegeven dat:

actie

100 (1) brandstofcellen stacks heel duur zijn/waren, in combinatie met het gegeven dat...

70+ (2) bij inzamelvoertuigen het gemiddelde vermogen over een inzet typisch een factor 5 tot 10 kleiner is dan het maximaal benodigde vermogen, waardoor de in de projecten toegepaste zware inzamelvoertuigen een brandstofcellenpakket hebben met een nominaal vermogen van 30-60 kW. Het batterijpakket wordt dan gebruikt om de piekvermogens te kunnen leveren, om remenergie weer te kunnen terugwinnen en om ook elektrisch te rijden.

60+
70+
85 k

Trend is dat bij de brandstofcel-elektrische voertuigen de brandstofcel groter gaat worden (door lagere prijzen) en de batterij kleiner. Hierdoor zal de payload van het voertuig groter worden.

Trend bij batterij-elektrische voertuigen is juist naar grotere batterijsystemen, waarbij de massa (door lichtere batterijen) min of meer constant blijft. Dat geldt typisch ook voor de aanschafprijs (dus meer kWh voor hetzelfde geld).

HY-4-EVER

H2RenT

H2GROW

H2WasteCollect

E-WASTE

› THEMA'S

- › De informatie uit de verschillende DKTI projecten is hierna volgens de volgende thema's geclusterd*:
1. Operationele inzetbaarheid;
 2. Huidige en verwachte beschikbaarheid en kosten;
 3. Ervaringen met (de realisatie van) H₂ tank- en laadinfrastructuur;
 4. Invloed inzet 0-emissie voertuigen op planning en onderhoudsorganisatie.

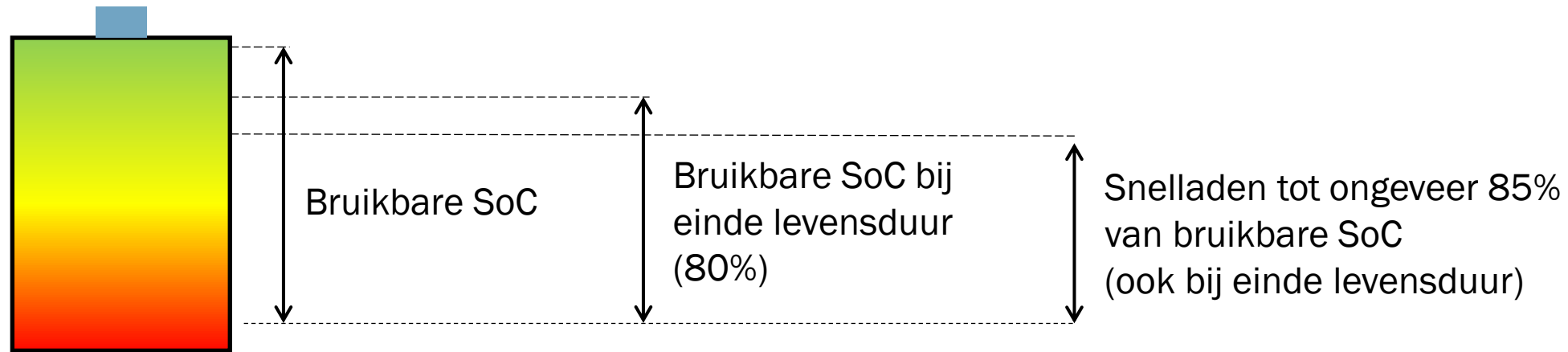
(*) voor de volledigheid is een clustering van bevindingen per DKTI project eveneens toegevoegd

› THEMA 1

Operationele inzetbaarheid batterij-elektrisch vs. waterstof-elektrisch

THEMA 1: OPERATIONELE INZETBAARHEID

BATTERIJ-ELEKTRISCH VUISTREGELS VOOR GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN BATTERIJPAKKET



Hieruit volgen enkele **vuistregels**¹⁾:

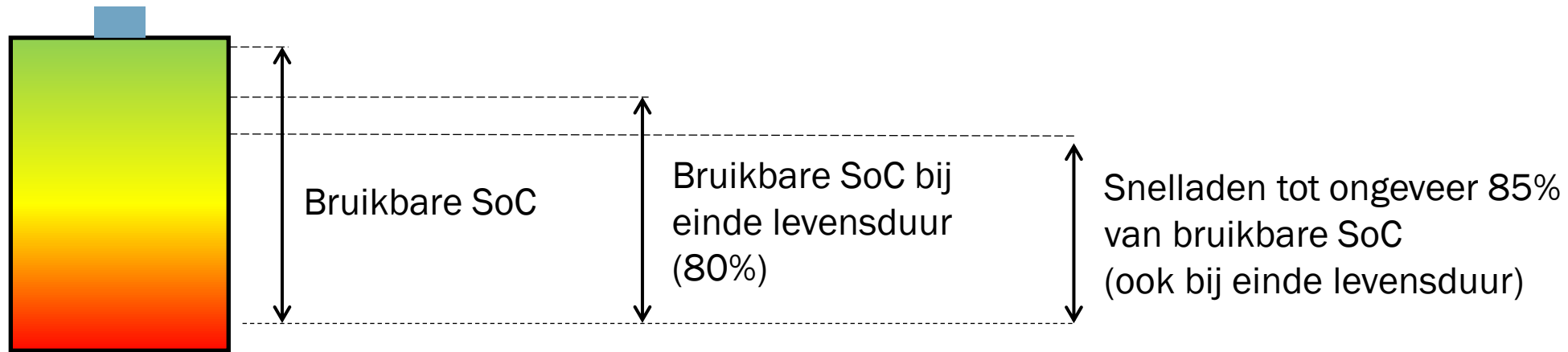
benodigde batterijgrootte ('s nachts laden) \approx verbruik elektrisch (hele dag, in kWh) * 5,25

benodigde batterijgrootte (snelladen) \approx verbruik elektrisch (zwaarste rit, in kWh) * 6,18

1) disclaimer: genoemde getallen geven grove indicaties en dienen bij voorkeur te worden gemeten onder worst case condities. In deze gegevens is verwerkt dat het elektrisch verbruik (in kWh) typisch een factor 4,2 hoger is dan het dieselverbruik (in liters). Het gemiddeld elektrisch verbruik per kilometer in DKTI E-WASTE bedroeg 1,8 kWh/km en zal door innovaties wat omlaag gaan.

THEMA 1: OPERATIONELE INZETBAARHEID

BATTERIJ-ELEKTRISCH VUISTREGELS VOOR GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN BATTERIJPAKKET



Hier Nabij einde levensduur van het batterijpakket (na x jaar/cycli of kWh) moet de beoogde operatie (ritten/routes) nog steeds kunnen worden gereden. Einde levensduur van een batterij wordt meestal gedefinieerd als 20% capaciteitsverlies ten opzichte van wat was gespecificeerd. Om dit capaciteitsverlies te compenseren, is het noodzakelijk om de capaciteit 25% groter ($1/0,8$) te kiezen dan berekend.

Om werkelijk te kunnen snel-laden kan maar tot ongeveer 85% (van de dan geldende) SoC worden bijgeladen. In combinatie met het in te calculeren verlies van 20% bij einde batterijleven, zal de batterij in totaal ongeveer 47% groter ($1/0,68$) moeten worden gekozen dan de maximale energiebehoefte per rit/route.

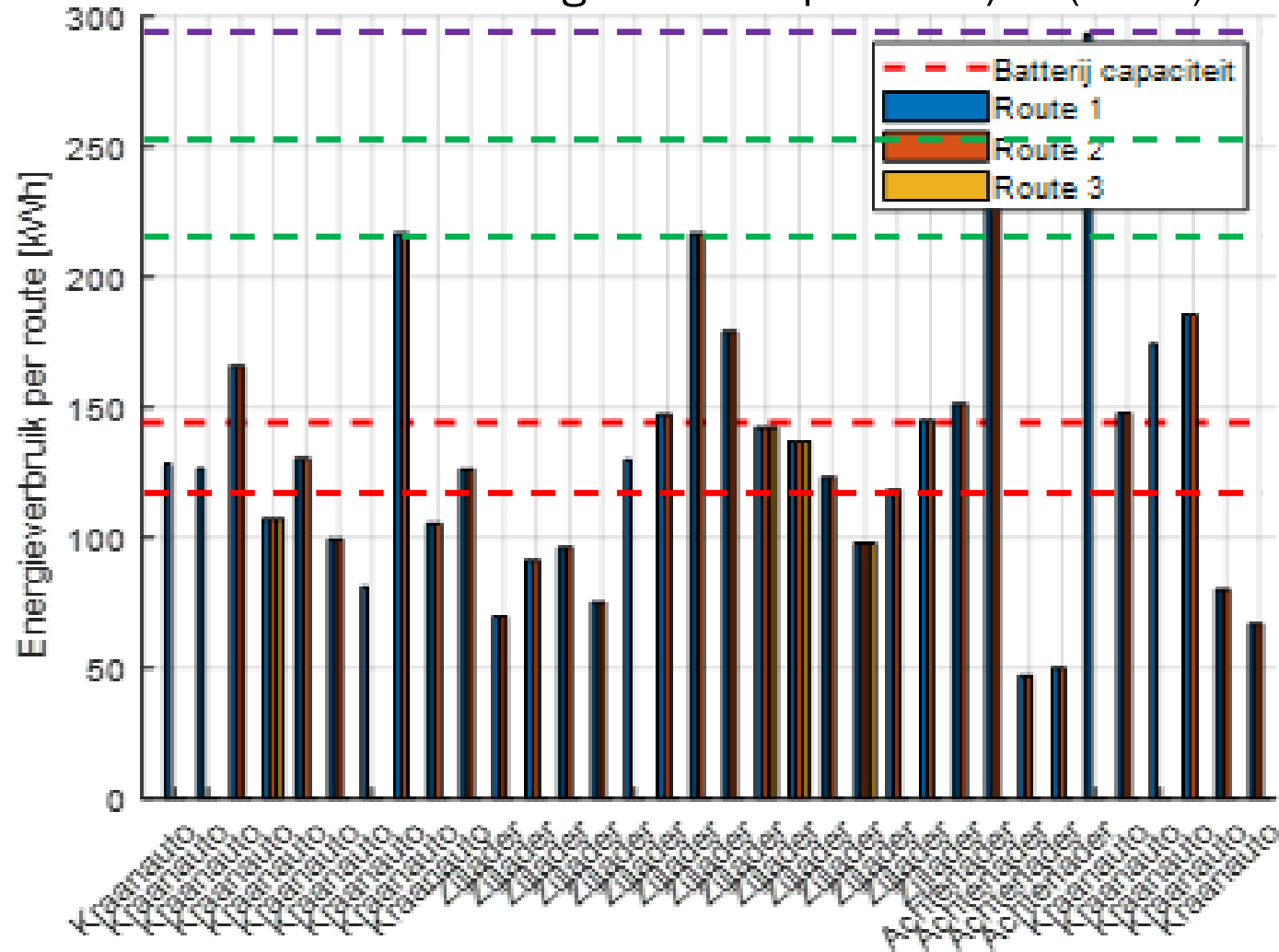
Uitgangspunt bij de berekeningen moet het worst-case verbruik zijn, bij voorkeur nog met een kleine extra marge om te voorkomen dat het voertuig onder worst case condities helemaal leeg wordt gereden.

1) dit elektrisch verbruik (in kWh) typisch een factor 4,2 hoger is dan het dieselverbruik (in liters). Het gemiddeld elektrisch verbruik per kilometer in DKTI E-WASTE bedroeg 1,8 kWh/km en zal door innovaties wat omlaag gaan.

THEMA 1: OPERATIONELE INZETBAARHEID

BATTERIJ-ELEKTRISCH

Voorbeelden energieverbruik per route/rit (ROVA)



Mercedes eActros (420 kWh, 2021)

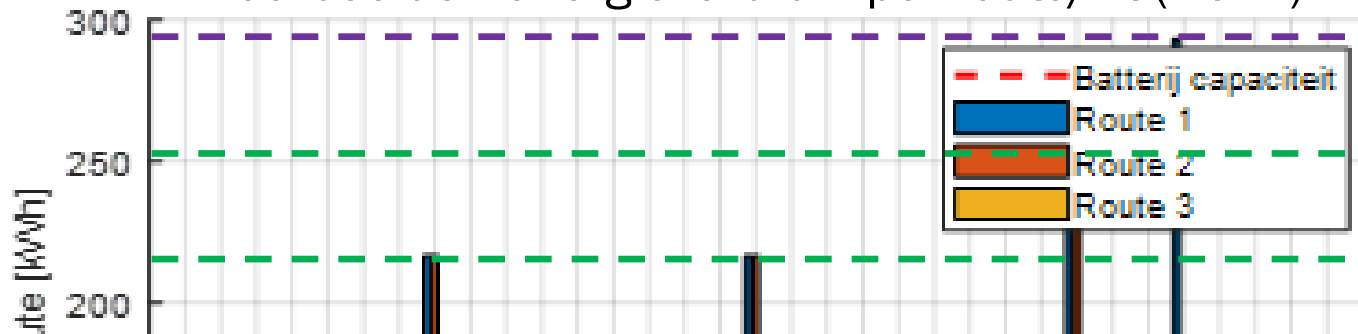
DAF CF Electric gen 2 (315 kWh, 2020)

DAF CF Electric gen 1 (170 kWh, 2017)

THEMA 1: OPERATIONELE INZETBAARHEID

BATTERIJ-ELEKTRISCH

Voorbeelden energieverbruik per route/rit (ROVA)



Mercedes eActros (420 kWh, 2021)

DAF CF Electric gen 2 (315 kWh, 2020)

In DKTI E-WASTE was de eerste generatie (2017) DAF CF Electric ingezet; deze had een effectieve batterijcapaciteit van 170 kWh (rode stip) op 68% en 80% (slide 11) van batterij capaciteit). Hiermee was al het grootste deel van de routes (getoonde inzet van ROVA) volledig elektrisch te rijden. Om meerdere routes achter elkaar te kunnen rijden is tussentijds laden voor de meeste dagelijkse operaties nodig.

Als de 2^e generatie DAF CF Electric (2020) wordt beschouwd (met 315 kWh inzetbare batterijcapaciteit; groene stippellijnen in grafiek op 68% en 80%, dan zien we dat op twee ritten na alle ritten van ROVA zouden kunnen worden gereden (met tussentijds snel laden).

Met de Mercedes eActros met 420 kWh (paarse lijn; alleen de 68% lijn is getoond!) zouden alle routes van ROVA nu al kunnen worden gereden. Door een veel energie vragende route als eerste route van de dag te kiezen, kan er met 100% state of charge worden gestart. De batterij kan daardoor kleiner worden gekozen (een vrachtwagen met 375 kWh zou voor de getoonde routes van ROVA voldoen).

Naast grotere batterij capaciteiten kan er natuurlijk ook bespaard worden op energie. In het nieuwe DKTI RELOAD project zal VDL-Translift gaan werken aan een energiezuinige elektrische opbouw, waardoor er – met een zelfde batterij- een grotere actieradius kan worden gerealiseerd.

THEMA 1: OPERATIONELE INZETBAARHEID

BATTERIJ-ELEKTRISCH

- Inzet van een zwaar elektrisch inzamelvoertuig is met de huidige beschikbare elektrische vrachtwagens al vaak mogelijk. Een eenvoudige één op één vervanging van een dieservoertuig door een elektrisch voertuig is echter maar op beperkte schaal mogelijk, omdat er meestal tijdens de operatie nog moet worden bijgeladen. Dit vereist bijvoorbeeld aanpassingen in de planning van de ritten. **Tussentijds opladen** zal een **belangrijk** instrument blijven om in de **dagelijkse** energiebehoefte van de meeste afval-inzamelvoertuigen te kunnen voldoen.
- Behalve het (in het begin) soms nog moeten wennen aan een beperkte actieradius, zijn **nauwelijks issues** rondom het gebruik van het elektrische voertuig; minder geluid, souplesse en geen uitlaatgassen worden zeer gewaardeerd.
- **Verdere energie optimalisaties aan de voertuigkant zijn nog mogelijk.** VDL Translift en DAF gaat zich richten op het verhogen van de efficiency, zodat de **actieradius verder kan worden vergroot.**
- De belasting op het (lokale) elektriciteitsnetwerk door het opladen zal (bij opschaling) aanzienlijk worden. **Tijdig bespreken wat de planning, energiebehoefte en pieken in energievraag zijn is erg belangrijk.** De netwerkbeheerder kan dan aangeven **wat de (on)mogelijkheden zijn!** Bij de netbeheerders kan een niet bindende offerte worden aangevraagd voor een gewenste aansluiting; de netbeheerder zal dan met antwoorden moeten komen.

THEMA 1: OPERATIONELE INZETBAARHEID

WATERSTOF-ELEKTRISCH

- Eén op één vervanging van een dieservoertuig is goed mogelijk;
- H2 truck moet nog wel **regelmatig worden geconditioneerd/opgeladen**. Binnen de genoemde DKTI projecten is een minimum van één keer per maand “aan de stekker” te noemen. Normaal gesproken (lees: bij de range-extender varianten uit de beschouwde DKTI projecten) wordt de batterij wel helemaal opgeladen om daarmee energiekosten te besparen en de actieradius te vergroten (als bij een plug-in voertuig)!
- Er zijn **nauwelijks issues** met wennen aan het voertuig; eigenlijk alleen maar positief (minder geluid).
- **Verbruik** per dag is afhankelijk van route **tussen 8 tot 12 kg**, waarbij daarnaast ook elektriciteit uit de batterij kan worden onttrokken, waarmee tot 100 km puur elektrisch extra kan worden gereden. Er kan met de gekozen oplossingen in de verschillende waterstof DKTI's minstens één hele dag (meerdere ritten) afval worden ingezameld. Variatie in actieradius komt met name van de door de PTO verbruikte energie, welke afhangt van het type en in intensiteit van gebruik en de efficiency.
- Een **waterstof tankstation in de buurt is wel een voorwaarde**. Soms kan dat soepel lopen, soms ook niet.
- Een vuistregel voor de benodigde waterstof tankcapaciteit¹⁾:
$$\text{benodigde H2 tank (kg)} \approx \text{max. verbruik diesel over één of enkele dagen (liter)} / 4,2$$
- Indicatie: gemiddeld verbruik waterstof $\approx 0,10$ kg/km

1) disclaimer: genoemde getallen geven grove indicaties en dienen bij voorkeur te worden gemeten onder worst case condities (rit/dag(en)). In de factor 4,2 zit een reservering van 5% restcapaciteit om de tankinhoud niet helemaal leeg te rijden. Voor een vergelijking in verbruik wordt de deelfactor 4,0.

THEMA 1: OPERATIONELE INZETBAARHEID

CONCLUSIES / AANDACHTSPUNTEN

Aspect	Diesel	Batterij-elektrisch	Waterstof-elektrisch
Operationele inzetbaarheid (actieradius, flexibiliteit)			
Laadvermogen (payload)			

Elektrisch:

- Beschikbare elektrische vrachtwagens zijn typisch (nog) **niet in staat** om de **dagelijks benodigde energievoorraad** in de batterij mee te voeren, waardoor enkel 's nachts laden meestal niet haalbaar is (daardoor geen groen duimpje voor elektrisch);
- Er komen wel steeds meer batterij-elektrische vrachtwagens op de markt die al **wel in staat zijn om** (bijna) **alle routes te kunnen rijden** (typisch worden 2 a 3 routes per dag met één zwaar inzamelvoertuig gereden). Dan zal er echter wel **tussentijds moeten worden bijgeladen**. Met het groter worden van de batterij wordt vanzelfsprekend ook de **uitdaging groter** om deze binnen –zeg- 30 minuten weer voor **85% vol te krijgen**. In sommige gevallen kan de netbeheerder er niet tijdig voor zorgen dat er een voldoende sterke aansluiting komt, of is deze simpelweg te kostbaar (in het laatste geval een rood duimpje naar beneden).

Waterstof:

- Er zijn nog maar een **beperkt aantal tankstations**; als er (te) ver moet worden gereden voor een tankbeurt, dan is dat niet haalbaar. Voordeel bij waterstof is dat er (tijdelijk) ook met mobile tankstations kan worden gewerkt.

› **THEMA 2**

Huidige en verwachte beschikbaarheid en kosten

THEMA 2: HUIDIGE /VERWACHTE BESCHIKBAARHEID/KOSTEN BESCHIKBAARHEID EN KOSTEN BATTERIJ-ELEKTRISCH

- **Aanschafprijs** van een **batterij-elektrische truck** (inclusief batterij) ligt momenteel tussen **300 en 350 k€**.
- **Aanleg** van een **snel-laad infrastructuur is kostbaar** (indicatie: 500 tot 1500 €/kW geïnstalleerd vermogen), maar kan wel over meerdere (typisch 4-6) voertuigen en over een langere periode (indicatie: 10 jaar) worden afgeschreven. Per kWh moet er voor snelladen rekening worden gehouden met een **opslag van ongeveer 0,09 €/kWh**. Voor langzaam ('s nachts) laden ligt deze opslag typisch aanzienlijk lager.
- kWh prijs hangt af van verbruiksstatus, maar moet met enkele trucks op 0,10 € per kWh uit kunnen komen (grote vloot lager). Anno januari 2022 liggen de prijzen voor een kWh op de APX Power Spot Exchange overigens al rond 0,20 € per kWh. Daar komen nog belastingen en marges bij. Het is niet duidelijk wat er met de elektrische energieprijzen gaat gebeuren, maar dergelijke prijsschommelingen hebben wel significant impact op de totale kosten voor zowel batterij-elektrisch als ook waterstof-elektrisch rijden.
- **Batterijgrootte zal** (ook in de toekomst) in sterke mate **de meerprijs ten opzichte van een dieselveertuig blijven bepalen**. De verwachting is dat een elektrische truck **ZONDER BATTERIJ** vergelijkbaar in aanschafprijs wordt met diens conventionele evenbeeld.
- Daarnaast speelt ook het gegeven dat **batterijen de payload en het transport volume reduceren**.
- De huidige batterij-elektrische voertuigen zijn (inclusief batterij) typisch nog (net) niet TCO neutraal (met diesel) te maken (maar dat kan voor sommige operaties toch al wel zo zijn), en dat komt vooral door de aanschafprijs. Met name schaalvergroting zal voor kostenverlagingen moeten gaan zorgen.

THEMA 2: HUIDIGE /VERWACHTE BESCHIKBAARHEID/KOSTEN BESCHIKBAARHEID EN KOSTEN WATERSTOF-ELEKTRISCH

- Voor een waterstoftruck liggen de prijzen (aanschaf conventioneel + ombouw) nu nog een factor/factoren hoger dan voor elektrische vrachtwagens. Een TCO neutrale inzet vergeleken met diesel is (heden ten dage) niet haalbaar.
- Er is bij waterstof vrachtwagens nog wel veel ruimte voor kostenverlagingen door innovaties en schaalvergroting.
- Hoewel trucks met een verbrandingsmotor op waterstof in geen van de beschouwde DKTI projecten is meegenomen, kan deze mogelijk wel helpen om (1) waterstofvoertuigen aanzienlijk voordeliger in aanschaf te maken en (2) een boost te geven aan het aantal waterstof tankstations (door kip-ei cyclus te doorbreken).
- Waterstof kosten nu: 10+ €/kg. Er is wel potentieel om voordeliger te worden, maar gegeven de significant lagere well-to-wheel efficiëntie van waterstof (23% ten opzichte van 69% voor elektrisch) bij gelijke bron (duurzaam opgewekte elektriciteit) ligt een blijvend verschil met elektrisch (voor zover deze direct beschikbaar is) voor de hand.

THEMA 2: HUIDIGE /VERWACHTE BESCHIKBAARHEID/KOSTEN

CONCLUSIES / AANDACHTSPUNTEN

Aspect	Diesel	Batterij-elektrisch	Waterstof-elektrisch
Beschikbaarheid voertuigen (2021)			
Beschikbaarheid voertuigen lange termijn			
Beschikbaarheid openbare tank/laadinfra (2021)			
Beschikbaarheid openbare tank/laadinfra lange termijn			
Aanschafkosten voertuig (2021)			
Aanschafkosten voertuig lange termijn			
Operationele kosten (brandstof, onderhoud, anno 2021)			
Operationele kosten („) lange termijn			

› **THEMA 3**

Ervaringen met (de realisatie van) H2 tank- en laadinfrastructuur

THEMA 3: ERVARINGEN H₂ TANK- EN LAADINFRASTRUCTUUR

REALISATIE (EN KOSTEN) H₂ TANKINFRASTRUCTUUR

- **Verbruik** per dag is afhankelijk van route **tussen 8 tot 12 kg**. Tank heeft typische capaciteit tussen 15 en 30 kg. Dit impliceert **1x per dag of 1x in twee dagen tanken**;
- Realisatie en exploitatie H₂ tankstation is kostbaar, maar kan (in principe) over een groot aantal tankbeurten worden verrekend (afschrijving tankstation zit dan in brandstofprijs verrekend).
- **Waterstof tanken is (in de realisatie) schaalbaar:**
 - Een mobiele installatie (trailer/container met tanks) in de opstartfase;
 - Een vast tankstation met bevoorrading middels tank-trailers voor gering aantal gebruikers;
 - Een vast tankstation met een eigen lokale productie (b.v. uit groene stroom) voor intensief verbruik;
 - Een vast tankstation aangesloten op een waterstof pijplijn (wanneer mogelijk; alleen nog in Rhoon)
- **Tanken op waterstof kost tijd en kan significant lang duren** (b.v. 20 minuten). Er zijn 2 verschillende standaarden rondom druk: 350 bar en 700 bar. Daarnaast is er een fast-fill standaard (in 6 minuten 20kg H₂ tanken). H₂ tanken kan dus significant langer duren dan diesel tanken, maar het verschil in tijd kan met de juiste infrastructuur wel worden gereduceerd.

THEMA 3: ERVARINGEN H₂ TANK- EN LAADINFRASTRUCTUUR REALISATIE (EN KOSTEN) LAADINFRASTRUCTUUR

- Momenteel zijn er snel-laad-systemen van rond **300 kW beschikbaar**. Er wordt druk gewerkt aan een Megawatt Charging Standard (MCS). Met een 300 kW laadsysteem kan (bij een gemiddeld verbruik van 1,8 kWh/km) dus ongeveer **2,8 km per minuut** aan actieradius worden bijladen.
- **Snel bijladen** brengt een **flinke investering** in de laadinfrastructuur met zich mee (indicatie: 750 €/kW aan geïnstalleerd vermogen)
- **Doorlooptijd** om een voldoende krachtige elektriciteitsaansluiting te krijgen kan **tot 10 jaar (!)** oplopen. De kosten voor zo'n zware aansluiting kunnen eveneens flink oplopen (indicatie: tot 1,75 MW: 25k€, tot 6 MW: 185k€, tot 10 MW: 912k€, meer-lengte: 65-160 €/m)

THEMA 3: ERVARINGEN H₂ TANK- EN LAADINFRASTRUCTUUR

CONCLUSIES / AANDACHTSPUNTEN

Aspect	Diesel	Batterij-elektrisch	Waterstof-elektrisch
Realiseerbaarheid openbare/eigen tank/laadinfra			
Kosten tank-/laad-infrastructuur			

› **THEMA 4**

Invloed inzet 0-emissie voertuigen op planning en onderhoudsorganisatie

THEMA 4: INVLOED INZET OP PLANNING/ONDERHOUD BATTERIJ-ELEKTRISCH

- Bij het specificeren van elektrische voertuigen en bijbehorende laadinfrastructuur kan er op verschillende manieren worden geoptimaliseerd: (1) voertuiginvesteringskosten => kleinste batterij, (2) laadinfra investeringskosten => minimum aantal laders/beperken piekvermogen, (3) flexibiliteit inbouwen om later van fluctuaties in elektriciteitsprijs te kunnen profiteren.
- Het werkelijke optimum (TCO) volgt uit een combinatie van bovenstaande aspecten en kan daarmee tot een complexe analyse leiden. Het specificeren/inrichten van een elektrische vloot met een passende laadinfra is daarmee dus niet triviaal. Een daarbij **ondersteunend proces en analyse gereedschappen kunnen uitkomst bieden.**
- Ook voor het **integraal en efficiënt inplannen van** (tussentijdse) laadsessies zijn **nog geen hulpmiddelen beschikbaar**, dit staat een brede acceptatie door de branche in de weg. Dit speelt met name bij operaties met veel voertuigen (complexe planning);
- Voor **onderhoud** aan elektrische voertuigen zijn uiteraard **andere competenties nodig** dan voor onderhoud aan verbrandingsmotoren. Dit vraagt aanpassingen van het onderhoudspersoneel. Belangrijk is om er voor te zorgen dat er een VP-er (Vakbekwaam Persoon) met een elektrotechnische achtergrond de organisatie versterkt. Deze persoon kan dan weer VOP-ers (Voldoende Onderricht Persoon) opleiden/aanwijzen. **De NEN 9140 norm is relevant; er zijn verschillende opleidingen op dit gebied.**
- Opslag van losse batterijpakketten vraagt aandacht (i.v.m. brandverzekering). Soms geldt dat ook voor het binnen stallen van elektrische voertuigen. Leg dit voor bij de verzekeraar.

THEMA 4: INVLOED INZET OP PLANNING/ONDERHOUD WATERSTOF-ELEKTRISCH

- Werkplaats aanpassingen en kosten zijn binnen het H2GROw project in kaart gebracht; **werkplaats 40 x 100 meter, circa € 50.000,-** . Doorlooptijd was **3 maanden**; **80 %** van de monteurs (**30 stuks**) zijn bijgeschoold door MBO op gebied van veiligheid, systeemkennis, juiste gereedschap, voorzieningen, mogelijkheden. Kosten circa € 500,- pp; dit is in groepen gedaan, totale doorloop tijd circa 3 tot 6 maanden;
- Voor het geschikt maken van een service werkplaats voor onderhoud aan waterstofvoertuigen is binnen H2RenT een **stappenplan** gemaakt, waarin de geleerde lessen zijn opgenomen.

THEMA 4: INVLOED INZET OP PLANNING/ONDERHOUD

CONCLUSIES / AANDACHTSPUNTEN

Aspect	Diesel	Batterij-elektrisch	Waterstof-elektrisch
Onderhoud (aanpassingen werkwijze en werkplaats)			
Invloed energiemangement op planning			

› BEVINDINGEN, GELEERDE LESSEN EN CONCLUSIES

Geleerde lessen en conclusies per DKTI project

De hiernavolgende slides hebben enige overlap met de eerder behandelde slides, maar zijn in tegenstelling tot de eerdere slides per DKTI project gegroepeerd, waarmee inzichtelijker wordt welke geleerde les uit welk project is gekomen.

In de volgende subset wordt ook kort bericht over het project H2SHARE. Het gaat daarbij niet om een DKTI project, maar is wel relevant voor het snel kunnen realiseren van een tijdelijk waterstof tankstation.

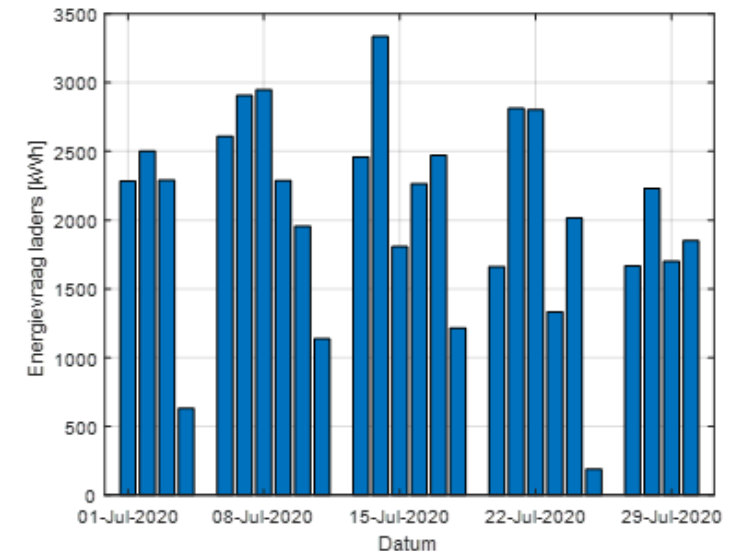
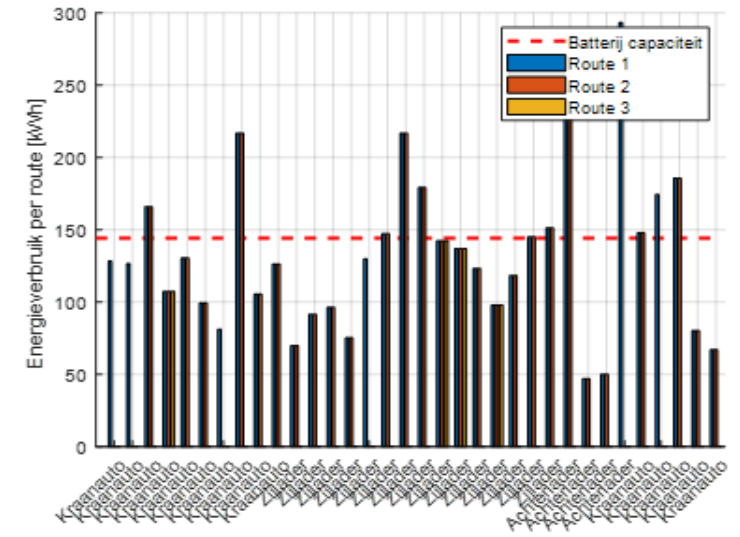


STATUS DKTI E-WASTE: TIJDSLIJN EN WAAR DE VOERTUIGEN RIJDEN



RESULTATEN DKTI E-WASTE

- › Bij ROVA kon met de eerste generatie DAF CF Electric (170 kWh) al 98% van de binnenstedelijke routes en 76% van de buiten stedelijke routes worden gereden. Met de tweede generatie DAF CF Electric (315 kWh effectieve batterijcapaciteit).... Dat zou al genoeg moeten zijn om alle ritten van ROVA te kunnen rijden.
- › Omdat er typisch 2 a 3 ritten per voertuig per dag worden gereden, zal tussentijds opladen een belangrijk instrument blijven om in de dagelijkse energiebehoefte van een afvalinzamelvoertuig te kunnen voldoen.
- › Tijdens deze proeftuin is naar voren gekomen dat er energie optimalisaties mogelijk zijn aan de voertuigkant (zowel tractie als opbouw). Zowel VDL-translift als ook DAF gaat zich verder richten op het verhogen van de efficiency, zodat de actieradius verder kan worden vergroot (te gunste van de meer landelijke inzet).
- › De in de DKTI ingezette batterij-elektrische voertuigen zijn door de te beperkte inzet nog niet TCO neutraal te maken, maar de verwachting is dat een break-even punt met diesel met de nieuwe elektrische vrachtwagens (met grotere batterijpakketten voor ongeveer dezelfde prijs) binnen de economische afschrijvingsperiode zal kunnen gaan vallen. Door verdere schaalvergroting en de daarmee gepaard gaande kostenverlagingen zal dat in gunstige zin verder veranderen.
- › De belasting op het (lokale) elektriciteitsnetwerk door het opladen van de batterij-elektrische inzamelvoertuigen kan/zal aanzienlijk zijn en is daarmee op z'n minst een punt van aandacht. Het is belangrijk dat de (on)mogelijkheden op de eigen locatie(s) (depot, stortplaats, ..) voor tussentijds en 's nachts laden tijdig samen met de netwerkbeheerder in kaart worden gebracht.



STATUS, TIJDSLIJN EN RESULTATEN DKTI H2WASTECOLLECT

- Eén voertuig gaat in Q1 2022 de weg op en de overige 3 voertuigen in Q4 2022.
- H2 truck moet nog wel regelmatig worden geconditioneerd/opgeladen. Normaal gesproken wordt de batterij 's nachts helemaal opgeladen om daarmee energiekosten te besparen en de actieradius te vergroten (als bij een plug-in voertuig)
- Er zijn nauwelijks issues met wennen aan het voertuig; eigenlijk alleen maar positief (minder geluid). Eerder geleverde voertuigen voldoen goed voor huidige inzet, dus de verwachting is dat dit voor de H2WasteCollect voertuigen niet anders zal zijn.
- Verbruik per dag is afhankelijk van route tussen 8 tot 12 kg, waarbij ook circa 100 kWh uit de batterij wordt getrokken. Er kan hiermee minstens 1 dag (zonder tussentijds bijladen/tanken) afval worden ingezameld. Actieradius is vooral afhankelijk van PTO uren.
- Voertuigen in DKTI zijn nog wel factoren duurder dan conventionele voertuigen; er komen echter steeds meer component leveranciers op de markt (denk aan batterijen, H2 tanks, etc.), waardoor de prijzen (op termijn) kunnen dalen.



STATUS, TIJDSLIJN EN RESULTATEN DKTI H2GROW



- Tot maart 2022 zullen er 4 waterstofvrachtwagens uit H2GROW voor de gemeente Groningen op de weg worden gezet. Hiervan rijdt een Hyzon Kolkenzuiger sinds 5 juli 2021 en een KCA bakwagen sinds 1 september 2021. De Hyzon Waterwagen zal vanaf februari, en de Hyzon kraanwagen vanaf maart, 2022 worden ingezet.
- H2 voertuigen kunnen vergelijkbaar worden ingezet als de conventionele voertuigen (één op één vervanging dus);
- H2 truck moet minimaal 1x per maand aan een lader (20 kW) worden gebalanceerd. Dit hoeft niet overdag. Vaker laden (b.v. elke nacht) kan ook, zodat het accupakket aan het begin van de dag vol is en waarmee dus waterstof (=duurder per kWh dan elektriciteit) kan worden bespaard.
- Vanaf 2017 heeft de gemeente Groningen waterstof getankt op de stortlocatie aan Woldjerspoor bij een besloten tankstation met tanken van groene waterstof uit zon (slow-fill 350 en 700 bar). In november 2021 heeft Holthausen Energy points aan de Bornholmstraat 42, mede dankzij DKTI, het volledig openbare vulpunt fast-fill (in 6 minuten 20kg H2 tanken) 350 en 700 bar geopend. Dit station wordt bevoorrad met groene waterstof van nog steeds Woltjerspoor en Hystock uit Veendam. Aanvoer vindt middels Tube-trailers plaats.
- Werkplaats aanpassingen en kosten zijn ook in kaart gebracht; werkplaats 40 x 100 meter, circa € 50.000,- en doorlooptijd van 3 maanden; 80 % van de monteurs (30 stuks) zijn bijgeschoold door MBO op gebied van veiligheid, systeemkennis, juiste gereedschap, voorzieningen, mogelijkheden. Kosten circa € 500,- pp; dit is in groepen gedaan, doorloop tijd circa 3 tot 6 maanden.
- Naast de afval-inzamelvoertuigen zijn/worden er in totaal binnen H2GROW ook een 5-tal bestelwagens omgebouwd naar waterstof.

SPIN-OFF DKTI H2GROW **(EXTRA: BUITEN DKTI PROJECT!)**

- Tot eind 2022 zullen er in totaal 9 H2 FCEV vrachtwagens van Hyzon gaan rijden in Groningen, waarvan 4 binnen DKTI H2GROW.
- Het H2GROW project heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan de ontwikkeling van de Holthausen/Hyzon productiefaciliteit in Winschoten, alwaar FCEV vrachtwagens gebouwd zullen gaan worden.
- Het gaat daarbij om een joint venture tussen Holthausen en Hyzon Motors inc. in de BV Hyzon Motors Europe voor informatie over de fabriek verwijzen wij naar hyzonmotors.com.
- Het is de bedoeling dat dit jaar (2022) de eerste 300 FCEV trucks van de band af rollen, in 2023 zouden dat er 800 moeten worden, waarna verdere opschaling zou volgen.



STATUS, TIJDSLIJN EN RESULTATEN DKTI HY-4-EVER



- Voertuig is in december 2021 goedgekeurd voor de openbare weg en is inzetbaar voor demo doeleinden.
- In Q1 2022 zal het voertuig verder worden afgesteld (fine-tuning), waarna de daadwerkelijke inzetbaarheid duidelijk zal worden.
- Ontwikkeling van een innovatieve vuilniswagen is gecompliceerder (en duurder) dan op voorhand ingeschat.
- Markt wil graag, maar wacht ook op iets dat ze kunnen zien. Het laten zien is belangrijk, maar de mogelijkheden daartoe zijn in de huidige economische situatie niet mogelijk in de vorm waarin de partners dat graag zouden zien.
- Samenwerking tussen verschillende partijen is niet altijd eenvoudig, vanwege mogelijkheid dat tussentijds de prioriteiten wat verschuiven. Qua inplannen van werkzaamheden is dat bewerklijker dan wanneer je de ontwikkeling volledig in eigen hand houdt. Dat laatste is echter vrijwel onmogelijk bij een innovatieve ontwikkeling zoals deze.
- Het kunnen tanken op een locatie in de buurt van waar de vuilniswagen gebruik zal worden, is een belangrijke voorwaarde voor het in de praktijk goed kunnen gebruiken van het voertuig.
- Door de vertraging is het momentum voor de introductie van een compleet nieuw type voertuig (waterstof aangedreven vuilniswagen) niet meer zo ideaal als ca. 1 jaar geleden. De ontwikkelingen in de markt gaan snel.
- Het is een punt van aandacht wat de mogelijke en gewenste introductieprijs van het voertuig op de markt zou moeten zijn. Prijzen in de markt gaan mogelijk sneller dan verwacht naar beneden.
- Dit ontwikkeling van de batterijen gaat snel, mogelijk kan dit een game changer zijn voor de toekomst.

› STATUS, TIJDSLIJN EN RESULTATEN DKTI H2RENT



- › Basis concept is dat E-trucks Europe vrachtwagens op waterstof aan partijen voor korte of voor lange tijd verhuurt, waardoor de afnemers grotendeels kunnen worden ontzorgd op het gebied van investering en onderhoud.
- › Het eerste voertuig uit H2RenT is gepresenteerd op de Ecomobiel beurs in oktober 2021.
- › Een aantal service werkplaatsen zijn geschikt gemaakt om onderhoud aan waterstof / elektrische HD voertuigen te kunnen doen. Voor het geschikt maken is een stappenplan gemaakt, waarin de geleerde lessen zijn opgenomen.
- › Praktijkervaringen mogen/kunnen op dit moment (nog) niet worden gedeeld.

STATUS EN RESULTATEN INTERREG H2-SHARE

DIT IS GEEN DKTI-PROJECT MAAR WEL RELEVANT!



- › Wystrach (Duitsland) heeft een H2 tank container gemaakt (WyRefueler)
- › September 2021: WyRefueler tankt simultaan twee waterstof afvalinzamelvoertuigen in Breda (REVIVE project)
- › Het mobiel tankstation kan snel worden ingericht;
- › Ook de tijdelijke vergunning voor de mobiele tankplaats was in 8 weken geregeld (een definitieve vergunning zal een langere doorlooptijd hebben);
- › Om te kunnen tanken is ook een minimale tankdruk vereist (veiligheid). Een lege tank kan dus niet zo maar worden volgetankt. Na b.v. onderhoud is dat niet handig. Hiervoor zal een handigere oplossing komen (nu moet met de exploitant van het tankstation worden gebeld, welke deze veiligheid tijdelijk kan uitschakelen).

SAMENVATTING BEVINDINGEN GENOEMDE DKTI PROJECTEN (1)

- De transitie van conventionele voertuigen naar 0-emissievoertuigen geeft de nodige uitdagingen, zoals het zorgen voor een tank- of laad-infrastructuur in de buurt, het omgaan met een beperkte(re) actieradius, een (mogelijk) beperkte(re) payload en het integreren van onderhoudsprocedures en veiligheidsvoorzieningen die afwijken van wat men gewend is. Daar staat wel tegenover dat de nieuwe wagens (lokaal) zero-emissie en minder luidruchtig zijn, en voorts niet stinken en gewoon ook fijn rijden.
- Om de introductie van voertuigen op andere energiedragers tot een succes te kunnen maken, is het belangrijk dat alle belanghebbenden daarin geloven en die transitie ondersteunen. Zeker wanneer voertuigen inleveren op specificaties ten opzichte van conventionele voertuigen (b.v. minder vermogen, minder actieradius) vraagt dat om acceptatie en adaptatie van de bestuurders, die daarom ook actief bij de invoering moeten worden betrokken. In de genoemde projecten is daar voldoende aandacht aan besteed!
- **BEV:**
- Voor de batterij-elektrische zware inzamelvoertuigen geldt dat de actieradius voor de meeste dagelijkse voertuigtaken tekort schiet. Voor de ritten/routes (waarvan per dag typisch 2 of 3 worden gereden) lijkt het er op dat de vrachtwagens die nu op de markt zijn, c.q. dit jaar op de markt komen, voldoende batterijcapaciteit aan boord kunnen krijgen om (ten minste) een aanzienlijk deel van de inzamelroutes te kunnen rijden. Het is dan typisch nog wel nodig om in de rittenplanning voldoende tijd vrij te maken om de batterij weer voldoende ver op te laden voor een volgende rit/route. Momenteel zijn daarbij snel-laad-systemen van rond 300 kW beschikbaar. Met een verbruik van gemiddeld 1,8 kWh/km komt dat neer op max. 167 km per uur bijladen. Als een volgende route dus 80 km lang is, dan is een klein half uur laden voldoende (en als de batterij na de vorige route niet grotendeels leeg was, dan hoeft er minder lang te worden bijgeladen). De trend is naar hoge laadvermogens (er wordt inmiddels gewerkt aan een Megawatt standaard en sommige OV bussen kunnen al met 650 kW laden). De mogelijkheden om de oplaadtijd te verkleinen worden daarmee dus groter.

SAMENVATTING BEVINDINGEN GENOEMDE DKTI PROJECTEN (2)

- Hier staat wel tegenover dat tussentijds snel bijladen typisch een flinke investering in snelladers verlangd (indicatie: 500 €/kW geïnstalleerd vermogen, exclusief installatiekosten) en ook dat de doorlooptijd om een voldoende krachtige elektriciteitsaansluiting te krijgen van enkele maanden tot zelfs 10 jaar (!) kan oplopen. De kosten voor zo'n zware aansluiting kunnen eveneens flink oplopen (indicatie: tot 1,75 MW 25k€, tot 6 MW: 185k €, tot 10 MW: 912k €, meer-lengte: 65-160 €/m)
- Groot voordeel van elektriciteit is (of was) dat de prijs er van laag is ten opzichte van de dieselprijs, waarmee een investering in een batterij kan worden terugverdiend. Voor de ideevorming: als wordt uitgegaan van een dieselprijs van 1,15 €/l, dan zou dat (met een omrekenfactor van ongeveer 4,2 kWh/l) overeen komen met 0,27 €/kWh. Voor elektriciteit wordt (werd) door grootverbruikers aanzienlijk minder betaald: 0,06 €/kWh. Daar zouden de kosten van de aansluiting en vooral ook de afschrijving op de laad infrastructuur (indicatie: samen ruim 0,09 €/kWh) nog bijkomen. Samen dus 0,15 €/kWh en de afschrijving van de voertuigbatterij (zo'n 0,08 €/kWh, waarvan de prijs natuurlijk in het voertuig verwerkt is) zal daar nog bij komen. Dat komt neer op 0,23 €/kWh. Dit resulteert in 0,04 €/kWh marge, waarmee de batterij dus in principe in een "half batterij leven" (in de praktijk ergens tussen de 5 en 15 jaar) zou kunnen worden terugverdiend.
- Er is op het moment van rapportage nog geen terugverdienpotentieel voor batterij-elektrisch. Tegenwoordig is de dieselprijs hoger (1,42 €/l => 0,34 €/kWh), maar de prijs van elektriciteit ook (APX prijs januari 2021: 4,8 cent, januari 2022: 20 cent !!!), zodat de totale elektriciteitsprijs minimaal uitkomt op 0,40 €/kWh (rekening houdend met slechts 0,03 €/kWh aan marge en belasting). Hopelijk is dat een tijdelijk verschijnsel.

› SAMENVATTING BEVINDINGEN GENOEMDE DKTI PROJECTEN (3)

- FCEV-voertuigen:
- Gegeven dat groene waterstof oorsprong vindt in groene stroom en dat het efficiency pad tussen bron en batterij-elektrisch voertuig grofweg een factor 3 hoger is dan bij een waterstof elektrisch voertuig, zal dit betekenen dat als er groene stroom beschikbaar is, directe afname van deze stroom door een aangesloten elektrisch voertuig ook een factor 3 voordeliger zal zijn dan het tanken van de benodigde waterstof voor hetzelfde aantal kilometers. Hier staat tegenover dat wanneer de verdergaande transitie naar een duurzame energievoorziening de opslag van energie noodzakelijk maakt, dat waterstof dan een logische energiedrager is om dat te doen. Als een batterij-elektrisch voertuig vervolgens op de uit waterstof gegenereerde elektriciteit gaat rijden, dan zal het brandstofcel elektrische voertuig rijdend op dezelfde opgeslagen waterstof een (gering) voordeel hebben. Kortom: op de lange termijn zal op zonnige en winderige dagen de energiekosten voor een batterij-elektrisch voertuig aanzienlijk lager zijn dan op momenten dat (lokale) hernieuwbare energie niet in voldoende mate aanwezig is en de energie sowieso uit opgeslagen waterstof moet worden teruggewonnen.
- Op het moment van rapportage zijn batterij-elektrische voertuigen in “volwassenheid” verder dan voertuigen op waterstof, waardoor de beschikbaarheid groter is en de aanschafkosten lager zijn. Ook de energiekosten (per km inzet) zijn voor een batterij-elektrisch voertuig lager. Daar staat wel tegenover dat er laadinfrastructuur nodig is en dat er mogelijk/waarschijnlijk ook extra tijd in de operatie moet worden uitgetrokken om het voertuig tussentijds bij te laden. Dit kost tijd en dus geld. Daarbij komt dat de aanleg van de benodigde elektrische laadinfrastructuur niet altijd haalbaar zal zijn (in tijd en/of economisch). Voor rijden op waterstof is het in de buurt hebben/krijgen van een waterstof tankstation een belangrijke voorwaarde. Er zijn wel tussentijdse oplossingen mogelijk (mobiel station/trailer), maar deze werken kostenverhogend.

› SAMENVATTING BEVINDINGEN GENOEMDE DKTI PROJECTEN (4)

- Toekomst: Ook waterstofvoertuigen zullen volwassen worden. Aanschafkosten van waterstofvoertuigen zullen tevens omlaag gaan. Bij een grotere vraag zullen beide effecten sneller gaan (kip en ei probleem). De brandstofcellen zullen meer geschikt worden gemaakt voor de elektrische voertuigen, waardoor de (nu nog vaak grote) batterijsystemen kunnen worden verkleind tot het minimaal noodzakelijke. Reken er echter wel op dat een batterij nodig zal blijven om remenergie op te kunnen vangen (zeker voor stedelijke inzet geeft dit blijvend een aanzienlijke besparing ten opzichte van conventioneel).
- Een blijvende hogere prijs voor elektriciteit maakt niet alleen de exploitatie van batterij-elektrische voertuigen duurder maar vooral ook van waterstof-elektrische voertuigen, omdat daar per kilometer grofweg 3x zo veel van nodig is. Voor korte termijn prijsschommelingen kan dat anders liggen, omdat waterstof kan worden geproduceerd als de kWh prijs relatief laag is en vervolgens kan worden opgeslagen. De waterstof moet dan wel weer lang genoeg kunnen worden opgeslagen om van de prijsschommelingen gebruik te kunnen maken (opslag kost ook geld).

› SAMENVATTING BEVINDINGEN GENOEMDE DKTI PROJECTEN (5)

Uit het voorgaande volgen enkele tips rondom de inzet van batterij-elektrische en waterstof-elektrische voertuigen:

Zet een batterij-elektrisch inzamelvoertuig in waar dit qua planning, qua benodigde batterijgrootte en qua energievoorziening haalbaar is. Concreet betekent dit dat:

1. De dimensionering van het batterijsysteem niet tot een drastische reductie van de payload zal gaan leiden (waardoor meer voertuigen en personeel nodig zullen zijn), en;
2. Het tussentijds opladen niet significant veel meer tijd dan de functionele wachttijd (zoals pauzes) gaat kosten (,,), en;
3. De voor de punten 1. en 2. benodigde laadinfrastructuur zowel technisch als economisch en ook tijdig kan worden ingericht.

Een inzamelvoertuig op waterstof kan het best worden ingezet als:

1. Er niet aan de hiervoor genoemde voorwaarden voor inzet van een batterij-elektrisch inzamelvoertuig kan worden voldaan, of;
2. De waterstof dusdanig voordelig kan worden aangeschaft en geëxploiteerd, dat deze in TCO gunstiger uitkomt.
3. Een één op één vervanging van dieselveertuigen, zonder aanpassingen in de rittenplanning of zonder aanpassingen in de infrastructuur op eigen terrein, als voorwaarde wordt gesteld.

› WAT KAN ER NU AL WORDEN GEDAAN? (1)

- 1. Begin al meteen met het betrekken van partners in de waardeketen (klanten en toeleveranciers) bij de eigen ambities.** Hiermee kan een beeld worden verkregen wat de ambities van deze partijen zijn en ook hoe zij de mee kunnen/willen helpen om deze ambities waar te maken. Hier zou b.v. uit kunnen komen dat een brandstofleverancier ook ambities heeft om laadvoorzieningen of waterstof tankstations te gaan exploiteren. Mogelijk geven ook klanten aan premiumgroene afvalservices te willen introduceren, waarmee een hogere TCO geheel of gedeeltelijk kan worden gecompenseerd.
- 2. Karakteriseer het benodigde energieverbruik** van de huidige (conventionele) voertuigen door zo nauwkeurig mogelijk het brandstofverbruik per dag, en zo mogelijk ook per rit, te meten. De focus moet daarbij liggen op de ritten van een (bepaald type) voertuig, waarvoor de meeste brandstof/energie nodig zal zijn (de meest veeleisende inzet dus);
- 3. Ga na of inzet van een batterij-elektrische variant van het huidige voertuig haalbaar zou kunnen zijn.** Daarbij kan worden aangenomen dat het aantal verbruikte liters (voor een worst case dag, respectievelijk rit) met een factor 4,2 moet worden vermenigvuldigd om het aantal benodigde kWh-en te krijgen. Houd rekening met veroudering batterij, dus deel door 0,8 of 0,68 om de benodigde minimale batterijcapaciteit voor “overnight charging”, respectievelijk tussentijds laden, te verkrijgen. Zie ook [slide 11](#). De hoeveelheid te laden kWh-en en de beschikbare oplaadtijd bepalen het (snel)laadvermogen (kWh/oplaadtijd (uren)). De voertuigbatterij moet deze laadsnelheid uiteraard wel aankunnen.

› WAT KAN ER NU AL WORDEN GEDAAN? (2)

4. **Ga na of de batterij van het voertuig niet te groot moet worden**, want dit bepaalt in hoge mate de aanschafprijs en de payload van het batterij-elektrische voertuig. Als er onvoldoende payload resteert, dan zal er mogelijk een extra voertuig moeten worden aangeschaft, waardoor het gunstiger kan zijn om een voertuig op waterstof aan te schaffen. Een waterstof range-extender configuratie maakt het mogelijk om daarbij toch nog flink van een mogelijk lage elektriciteitsprijs te profiteren. Op de langere termijn (als brandstofcellen voordeliger zijn geworden) dan impliceert een grote batterij wel een extra investering en ook minder payload door de grotere massa van het ledig voertuig (waardoor het energieverbruik ook weer iets toe zal nemen).
5. **Ga na hoeveel laadvoorzieningen nodig zullen zijn**, door (1) naar (de gelijktijdigheid van) het snelladen te kijken en (2) naar het langzaam laden te kijken. Bij langzaam laden heeft elk voertuig een eigen lader. **Het laadvermogen moet voldoende zijn om een (bijna) lege voertuigbatterij volledig op te laden binnen de daarvoor beschikbare tijd**. De som van het afgenomen vermogen van het maximaal aantal parallel lopende laadsessies bepaalt de (minimale) aansluitwaarde op het elektriciteitsnetwerk. Vraag bij de netwerkbeheerder na of deze (extra) capaciteit beschikbaar kan worden gemaakt en wat de kosten daarvan zijn. Hiervoor kan een (niet bindende) offerte voor worden opgevraagd.
6. **Indien de netwerkbeheerder aangeeft dat de gevraagde aansluiting (1) niet, (2) veel te laat, of (3) uitsluitend tegen (te) hoge kosten kan worden gerealiseerd, dan ligt de keuze van een waterstof voertuig meer voor de hand**, waarbij het transport (van waterstof) naar een tankvoorziening op eigen terrein typisch eenvoudiger kan worden geregeld.

› WAT KAN ER NU AL WORDEN GEDAAN? (2)

7. Een openbaar waterstof tankstation in de buurt heeft veelal (door schaalgrootte, investeringsoverwegingen en subsidiemogelijkheden) de voorkeur. Wanneer er nog geen openbaar waterstof tankstation in de buurt aanwezig is, dan is het verstandig om in kaart te brengen hoeveel waterstof uw bedrijf zal gaan afnemen. Reken voor een zwaar inzamelvoertuig op ongeveer 10 kg waterstof per 100 km. Eventueel kan men ook zelf een initiatief nemen om bij ondernemers in de buurt naar de behoeften te polsen. Uiteraard kunnen tankstation exploitanten dat ook zelf doen, maar het helpt altijd als men bij het eerste contact al kan aangeven dat er al een potentiële doelgroep is. Belangrijk is ook te realiseren dat een H2 tankinfrastructuur schaalbaar is. Zie hiervoor [slide 23](#)
8. Omdat groene/duurzame waterstof oorsprong vindt in duurzaam opgewekte stroom lijkt het logisch om waterstof zo dicht mogelijk bij duurzame bronnen te maken. Denk daarbij b.v. aan realisatie van een electrolizer met H2 opslag en mogelijk ook meteen een H2 tankstation bij een zonne- of windmolenpark. Hiermee wordt congestie op het elektriciteitsnet door zowel productie als afname voorkomen. Zeker voor de buitengebieden is het aan te bevelen om kansen voor dergelijke combinaties te herkennen en (waar haalbaar) ook in te vullen.



› **CONTACTGEGEVENS:**
ROBERT.KOFFRIE@TNO.NL

TEL: +31 (0)888661196

TNO innovation
for life