Actualisatie nota veren: duurzaamheid

Technische en ruimtelijke mogelijkheden voor verduurzaming IJ-veren

In opdracht van en in samenwerking met

Gemeente Amsterdam

Uitgevoerd door

Beekman Bildung

Versie	Datum	Kenmerk
1.0	1 september 2017	Definitieve versie
0.5	29 augustus 2017	Weergave van verwerking van commentaren op 95%-versie
0.4	11 augustus 2017	Aangepaste 95%-versie
0.3	11 augustus 2017	95%-versie
0.2	8 juli 2017	Conceptversie
0.1	26 mei 2017	Concept voor indeling, vragen & uitgangspunten

Samenvatting

In april 2015 hebben de gemeente Amsterdam en GVB een Duurzaamheidsconvenant ondertekend. Dit convenant, dat zich met name richt op het verbeteren van de luchtkwaliteit, bevat een sectie aangaande verschoning van de veren in Amsterdam. Hierin wordt overeengekomen dat er onderzoek gedaan zal worden naar de verschoning van de veren in Amsterdam.

"Artikel 3: uitstootvrije veerponten

De gemeente stelt, in overleg met het GVB, een Verenstrategie op over hoe de veerverbindingen in Amsterdam toekomstbestendig kunnen worden en over de verduurzaming en verschoning van de motoren van de veren. De Verenstrategie wordt de tweede helft 2015 aan de Gemeenteraad voorgelegd ter vaststelling. De gemeente geeft als eigenaar van de IJ-veren opdracht voor een onderzoek naar verschoningsmogelijkheden van alle veren (IJ-veren en NZ-kanaalveren), en besluit op basis daarvan over de kosten en het tempo van de verschoning. Voor het onderzoek naar verschoning worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

• Voor nieuwe veerponten (bij vervanging/uitbreiding) geldt de schoonst mogelijke techniek, bij voorkeur uitstootvrij, voor zover het gebruikersprofiel en de exploitatie dit toelaten.

• Voor de bestaande veerponten wordt inzichtelijk gemaakt met welke techniek maximaal verschoond kan worden. GVB levert haar kennis en capaciteit in die zij heeft vanuit haar rol en ervaring als exploitant van de veren ten behoeve van het onderzoek naar verschoning van de veren."

Naar aanleiding van dit artikel in het convenant heeft de gemeente Amsterdam een aantal onderzoeken laten uitvoeren naar de verduurzamingsmogelijkheden van de veren over het IJ; voor de veren over het Noordzeekanaal is een separaat proces in werking gezet. Deze rapportage gaat over de laadvoorzieningen voor de veren varend op het IJ, en bouwt voort op de eerdere onderzoeken naar de veren zelf[1].

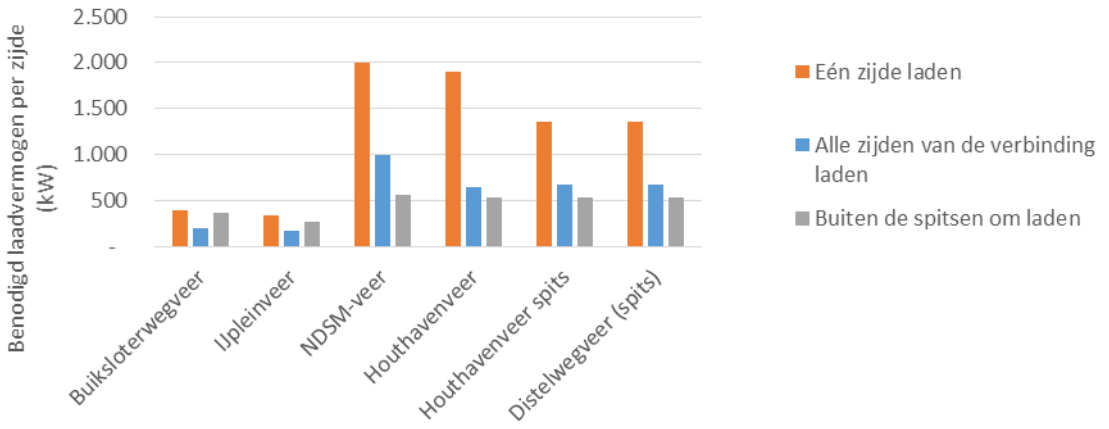
Benodigd laadvermogen

Er bestaan verschillende vormen van laadvoorzieningen voor hybride en elektrische veren. Op basis van een reeks uitgangspunten zijn er verschillende laadregimes op te stellen. De gebruikte uitgangspunten zijn:

- Het energieverbruik van de veerverbindingen zoals aangeleverd door GVB;
- De toekomstige veerverbindingen, waaronder het Houthavenveer die in V-vorm gevaren wordt;
- Een toekomstbestendige uniforme vloot bestaande type 60 veren (nieuwbouw ofwel omgebouwde type 50 veren);
- Het benodigde laadvermogen, dat op basis van een aantal factoren zoals beschikbare laadmomenten en hoeveelheid energie aan boord van de veren is vastgesteld.

Gezamenlijk leiden deze uitgangspunten tot een benodigd laadvermogen van enkele honderden kilowatts tot maximaal zo'n 2 megawatt. Het benodigde vermogen verschilt per verbinding en per laadregime (een schema met het aantal laadmomenten en –locaties) is onder meer afhankelijk van het type verbinding (hoog energieverbruik en korte waltijden vereist een hoger vermogen) en aan hoeveel zijden van de verbinding er geladen wordt. Zie onderstaande figuur (figuur 2 in het rapport) voor de benodigde vermogens bij de veerverbindingen bij drie voorbeelden van laadregimes.

[1] Uitgevoerd door TNO en C-Job:
- TNO: "Onderzoek verschoningsopties veerverbindingen van het GVB Amsterdam", TNO 2016 R10039v3. Datum: 14 maart 2016
- C-Job: "Vlootschouw IJveren", Project# 16.120, Document# 300-100, versie 5. Datum: 4 april 2017



Technische mogelijkheden

Hoewel de markt van hybride en elektrische veren nog relatief jong is, en er nog geen technische standaardaarden bestaan, zijn er zonder meer technische mogelijkheden om de Amsterdamse veerverbindingen te verschonen. Volledig elektrische veren inzetten op het merendeel van de verbindingen lijkt op dit moment niet realistisch. Hiervoor geven de batterijpakketten die fysiek in de veren passen te weinig speling als het gaat om het realiseren van de dienstregelingen onder alle omstandigheden. Ook zijn de benodigde vermogens gebaseerd op beperkte verbruikscijfers van de veren, die gevoelig zijn voor afwijkingen. Dit maakt het dat de benodigde vermogens en/of benodigde hoeveelheid energie aan boord van de veren in de praktijk mogelijk nog hoger liggen, en daarmee de grenzen van wat technisch mogelijk is gepasseerd worden. Toekomstige ontwikkelingen kunnen hier verandering in brengen, bijvoorbeeld wanneer er meer batterijcapaciteit aan boord van de veren ontstaat.

Voor het merendeel van de veren zijn (in vergelijking tot andere sectoren met laadvoorzieningen) relatief hoge laadvermogens benodigd. Dit is niet zozeer een probleem in termen van realiseerbaarheid van de stroomvoorzieningen, maar vereist mogelijk dure toepassingen. Daarbij geldt ook dat gegeven de beperkte ruimte voor het inpassen van batterijpakketten in de veren het de vraag is óf en zo ja tegen welke kosten dergelijke hoge laadvermogens losgelaten kunnen worden op de veren.

Alles in ogenschouw nemend lijkt plug-in hybride vanuit technisch oogpunt de meest voordehand liggende optie tot verschoning. Zowel aan stroomvoorziening zijde, op het gebied van de koppeling tussen wal en schip als ook voor wat betreft de benodigde batterijcapaciteiten aan boord van de veren. De aanwezige dieselgeneratoren bieden bij een hybride veer de zekerheid van het realiseren van de dienstregeling onder alle omstandigheden. Naar verwachting is het met laden aan twee zijden (drie in geval van het Houthavenveer) en in sommige gevallen zelfs aan één zijde mogelijk om de meeste veerdiensten volledig elektrisch te realiseren.

Toekomstige ontwikkelingen zullen de verschoning van de vloot verder ondersteunen. De voorziene ontwikkelingen binnen zowel de scheepvaart en verensector, als ook die binnen andere modaliteiten zoals busvervoer, zullen de komende jaren voor grotere kansen op volledig uitstootvrije veerverbindingen zorgen.

Ruimtelijke impact

Voor een plug-in hybride en een elektrisch systeem zijn op meerdere locaties laadvoorzieningen aan de wal vereist. De realiseerbaarheid van deze voorzieningen geldt als een implementatierisico. Een eerste inschatting van de mogelijkheden laat zien dat er meerdere locaties zijn waar er niet zonder significante ingrepen in de openbare ruimte laadinfrastructuur gerealiseerd kan worden. Het verdient de aanbeveling om in meer detail onderzoek te doen naar de ruimtelijke impact van laadvoorzieningen op de huidige aanlandingen. Te beantwoorden vragen daarbij zijn onder andere: Welke (on)mogelijkheden bieden reeds geplande of in uitvoering zijnde projecten? Welke mogelijkheden zijn er als alternatief voor infrastructuur op het maaiveld? Etc. Een mogelijk interessant alternatief voor laadvoorzieningen op de bestaande aanlandingen is het toepassen van een laadhub-concept. Dit vereist verdere analyse (inclusief aangepaste planning voor het laden) om de kansen en impacts te bepalen. Een eerste aanzet hiertoe is gedaan in laadalternatief 2 (zie verderop).

De doorlooptijd voor de realisatie van laadinfrastructuur is afhankelijk van de vigerende regelgeving. Indien de voorzieningen vergunningsvrij gebouwd kunnen worden kan de doorlooptijd beperkt blijven tot 6 maanden procedures. De bouwtijd zelf in combinatie met de aanbesteding bedraagt ongeveer een jaar, waarmee de totale realisatietijd van de infrastructuur op zo'n anderhalf jaar ligt. Eventuele bezwaren kunnen dit verlengen tot in totaal zo'n 3,5 jaar (aanbesteding

en realisatie). De toepassing van kleinere objecten (zoals een “mini-gelijkrichter”) kan de anderhalf jaar mogelijk verkort worden tot ongeveer een jaar, door het wegvallen van de noodzaak van een omgevingsvergunning. Dat zou betekenen dat het kritieke pad wordt gevormd door de levertijd dan wel ombouwtijd van de veren (1,5 jaar).

Onderzochte laadalternatieven

Op basis van de bevindingen omtrent technische en ruimtelijke mogelijkheden zijn drie laadalternatieven voor de veerverbindingen over het IJ uitgewerkt:

- Alternatief 1: het laden van hybride veren op bestaande aanlandingen. Dit kan één of meerdere aanlandingen per verbinding zijn, afhankelijk van de technische en ruimtelijke mogelijkheden.

- Alternatief 2: het laden van hybride veren vanaf laadhublocaties. Dit zijn centraal gelegen locaties waar laadvoorzieningen voor meerdere veren worden aangelegd. Veren varen gedurende de diensttijd naar de laadhub toe om daar van energie voorzien te worden, om daarna hun dienst weer te hervatten. Als gevolg van het moeten verlaten van de dienst om te laden, zijn er additionele vaarkilometers. Omdat de benodigde tijd voor deze additionele kilometers niet in de huidige dienstregeling zit, zullen er voor dit alternatief naar verwachting additionele schepen in omloop gebracht moeten worden.

- Alternatief 3: combinatie van alternatief 1 en 2, waarbij laadhubs gecombineerd worden met laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen. Een voordeel van deze configuratie is dat er mogelijk minder additionele schepen vereist zijn dan in het geval van enkel laadhubs (alternatief 2). Dit alternatief kan gezien worden als een optimalisatie van de twee eerdere alternatieven. De voordelen van zowel het gebruiken van bestaande aanlandingen (geen of in dit geval beperktere additionele kilometers) en laadhubs (minder laadvoorzieningen) kunnen mogelijk gecombineerd worden. In deze fase, waarin verkennend wordt gekeken naar de mogelijkheden en waarin alternatief twee beperkt uitgewerkt is, is het niet mogelijk noch realistisch om een gecombineerd alternatief uit te werken.

Advies met betrekking tot de aanleg van laadverbindingen

Op basis van het uitgevoerde onderzoek is het advies om te starten met de aanschaf van plug-in hybride veren en laadvoorzieningen op bestaande locaties. Dit is het minst complex wat betreft benodigde voorzieningen, heeft beperkte tot geen impact op de dienstregeling en vereist geen additionele planning en uitvoering voor het laadproces. Daarnaast biedt een plug-in hybride systeem meer zekerheid in het kunnen blijven realiseren van de dienstregeling over het Amsterdamse IJ onder alle omstandigheden en bij fluctuaties in verbruikscijfers (e.g. als gevolg van wisselende weers- en vaaromstandigheden).

Een eerste stap: Buiksloterweg en IJplein aan één zijde voorzien van laadinfrastructuur

Gegeven de wens om zo snel als mogelijk uitstootvrije veerdiensten te realiseren, wordt geadviseerd om te starten met het verder uitwerken van laadvoorzieningen op één van de twee korte verbindingen vanaf de Ruyterkade bij Centraal Station: het Buiksloterwegveer ofwel het IJpleinveer. Voor ieder van deze verbindingen vereist dit tevens het verduurzamen van vier schepen. Dit betekent een plug-in hybride configuratie voor om te bouwen 50’ers ofwel nieuwe 60’ers. Voor de laadvoorzieningen aan één zijde op één van deze verbindingen vereist dit een investering van orde grootte €900.000,- (uitgaande van stroomvoorzieningen van minder dan 1 MW). De aanleg van laadvoorzieningen en de aanschaf van veren kan op zijn snelst in anderhalf jaar na besluitvorming gerealiseerd zijn.

Een volgende vergelijkbare stap zou de realisatie van laadvoorzieningen voor het tweede van deze korte veren vanaf CS (Buiksloterweg of IJplein) kunnen zijn. Ook hier geldt dat, in combinatie met vier hybride veren er in een periode van minimaal 1,5 jaar na besluitvorming uitstootvrij gevaren kan worden op deze verbinding. De investeringen voor de laadvoorzieningen bedragen ongeveer €900.000,- en dient er geïnvesteerd te worden in vier hybride veren.

De benodigde laadvoorzieningen op Buiksloterweg en IJplein zijn relatief beperkt: zowel in aantal (twee fuiken voorzien van laadvoorzieningen) als benodigd vermogen; minder dan één megawatt aan stroomvoorzieningen. In combinatie met hybride veren die ook op de overige verbindingen inzetbaar zijn, zij het zonder laadvoorzieningen niet uitstootvrij, heeft deze toepassing beperkte tot geen invloed op verdere dienstvoering van de Amsterdamse veren.

De overige verbindingen: meerdere zijden met laadvoorzieningen wenselijk, op dit moment niet zonder meer mogelijk

Voor de overige veerverbindingen lijken er eveneens mogelijkheden voor het aanleggen van laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen. Voor het Houthavenveer en zijn spitsverbindingen lijkt het mogelijk om met de huidige stand der techniek onder de juiste omstandigheden uitstootvrij te varen wanneer er laadvoorzieningen op alle drie de aanlandingen gerealiseerd worden: Pontsteiger, Distelweg en NDSM.

Ook voor het NDSM-veer (die tussen NDSM en CS vaart), met zijn hoge verbruik en korte aanlandingstijden, is het technisch mogelijk uitstootvrij te varen met laadvoorzieningen aan beide zijde van de verbinding. Dit laatste wordt echter niet

kansrijk geacht, als gevolg van lopende en geplande projecten die beperkingen opleggen aan de aan te leggen voorzieningen in de openbare ruimte rondom Centraal Station. In combinatie met de hoge energieverbruiken en benodigde laadvermogens, als ook de eventuele fluctuaties hierin, is de aanbeveling om deze veerverbinding als laatste te verschonen. Met éénzijdig laden (gegeven mogelijke beperkingen bij Centraal Station) zal dit voor het NDSM-veer resulteren in ongeveer de helft van de tijd uitstootvrij varen.

De investeringskosten voor laadvoorzieningen op de Pontsteiger en Distelweg zijn ongeveer €800.000,- per aanlanding. Deze kosten zijn voor deze locaties lager dan die bij Buiksloterplein en het IJplein omdat hier slechts één fuik van laadvoorzieningen voorzien hoeft te worden, in plaats van twee per aanlanding. De investeringskosten voor laadvoorzieningen op NDSM worden in totaal op zo'n 1,1 miljoen euro geschat. Daarmee kunnen laadvoorzieningen voor zowel het NDSM-veer als het Houthavenveer worden gerealiseerd.

Het luistert bij de verbindingen met een hoog verbruik en hoge laadvermogens een stuk nauwer of het in de praktijk ook daadwerkelijk mogelijk gaat zijn om volledig uitstootvrij te varen dan bij het Buiksloterweg- en IJpleinveer. Een volledig elektrisch systeem is zeer gevoelig voor parameters zoals daadwerkelijk beschikbare waltijd, de buitentemperatuur, de ervarenheid van de schipper, factoren die het verbruik per overtocht sterk beïnvloeden zoals de hoeveelheid overig verkeer, de stroming op het IJ, de wind, et cetera. Om te voorkomen dat bij een kleine wijziging in de parameters er geen bediening van de verbindingen meer mogelijk is, verdient het de algemene aanbeveling om op dit moment nog niet voor volledig elektrische, maar voor plug-in hybride veren te kiezen. Verder onderstreept het de aanbeveling om eerst de verbindingen waar lagere laadvermogens vereist zijn te verschonen (Buiksloterweg en IJplein) en daarna pas de verbindingen waar hogere vermogens vereist zijn: Houthaven, Houthaven spits, Distelweg en NDSM.

Laadhub als secundaire optie
Met betrekking tot het realiseren van een laadhub wordt geadviseerd om dit als potentieel alternatief te houden indien er zich problemen voordoen met de realisatie van laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen. Vanuit operationeel oogpunt verdient het de voorkeur, zoals ook GVB aangeeft, om in de bestaande dienstregeling en op bestaande locaties te laden. Op die manier heeft de introductie van uitstootvrije veerverbindingen minimale impact op de bestaande organisatie van verbindingen en voorkomt de aanschaf van additionele schepen.

De introductie van een laadhub vereist verder het uitwerken van een gedetailleerd laadregime om een gedetailleerde inschatting van de totale kosten te kunnen maken. Het laadregime bepaalt namelijk hoeveel additionele schepen er vereist zijn. De kosten van een additionele plug-in hybride type 60 veer worden door TNO op zo'n 3,75 tot 4 miljoen euro geschat. Dit is significant hoger dan de kosten voor de laadvoorzieningen zelf in dit alternatief, veronderstellende dat er meerdere additionele veren benodigd zullen zijn. Uitgaande van twee centraal gelegen laadhubs voor het bedienen van de vijf veerverbindingen, komen de investeringskosten voor laadvoorzieningen voor dit alternatief in totaal op zo'n 3 tot 4 miljoen euro: 1,5 tot 2 miljoen euro per laadhub.

Indien er op termijn besloten wordt een laadhub te introduceren, is het een vereiste dat een gedetailleerd laadregime uitgewerkt wordt, op basis van een exacte locatie en vaarschema naar de locatie toe. Op die manier kan een completer beeld van de impact van dit alternatief geschetst worden; met name het benodigde aantal additionele veren en de benodigde tijd voor het aan- en afvaren van en naar de laadhub.

Ontwikkelingen in komende jaren bieden wellicht additionele mogelijkheden
Tevens wordt geadviseerd om bij iedere bestelling van veren en/of aanschaf van laadinfrastructuur, in meer detail naar de exacte verbruiken over de voorbije gebruiksperiode en de dan geldende stand van de techniek te kijken alvorens over te gaan tot bestellingen. Dit om zeker te zijn van de exacte parameters van het verensysteem. De verwachting is dat er de komende jaren vooruitgang geboekt zal worden met de toepassing van hybride en elektrische veersystemen. Er worden steeds meer hybride (en elektrische) veren in dienst genomen, met name in de Scandinavische landen. De ervaringen die hier opgedaan gaan worden zullen bijdragen aan de betrouwbaarheid van deze systemen. Ook de ontwikkelingen in andere modaliteiten, zoals auto's en bussen, zullen bijdragen aan de mogelijkheden in de scheepvaart. Met name op het gebied van batterijen zullen er zich naar verwachting verdere ontwikkelingen voordoen die de kansen op uitstootvrije veerverbindingen in Amsterdam vergroten. Het verdient de aanbeveling om, gezien de relatief snel op elkaar volgende ontwikkelingen op het gebied van hybride en elektrische veren, de komende jaren bij besluit tot de uitbreiding en/of verschoning van de vloot de dan geldende stand van de technieken mee te nemen ter overweging. Zo is het nu niet zonder meer realiseerbaar om de nieuwste veren (de 60'ers) van afdoende batterijen te voorzien voor een onder alle omstandigheden gegarandeerde volledige elektrische exploitatie. Wanneer de batterijtechnologie zich echter ontwikkelt zoals door sommige experts wordt voorspeld, kan het zijn dat binnen enkele jaren dit een realistische en prijstechnisch interessante optie wordt.

Begrippenlijst

Begrip	**Betekenis**
Aanlanding	De ruimte op een kade waar een veer passagiers op en af laat stappen
Batterij	Opslagsysteem voor elektrische energie
C-factor (van een batterij)	De C-factor van een batterij bepaalt met hoeveel vermogen een totale set batterijen geladen kan worden. Deze wordt bepaald door de chemische samenstelling van de batterij, en dient gerespecteerd te worden om de levensduur van de batterij te garanderen. De eenheid van de C-factor is 1 per uur, wat betekent dat de grootte van een batterijpakket vermenigvuldigd kan worden met de C-factor om tot het maximaal overdraagbare laadvermogen te komen. Bijvoorbeeld: een 250 kilowattuur batterijpakket met C-factor van 2 mag maximaal met 500 kilowatt geladen worden (250 kilowattuur * 2 / uur = 500 kilowatt).
Kilowatt	Eenheid voor een hoeveelheid elektrisch vermogen. Een kilowatt is een vermogen van duizend watt. Ter illustratie: een stofzuiger heeft meestal een vermogen van 1.000 watt = één kilowatt.
Kilowattuur	Eenheid voor een hoeveelheid elektrische energie, ook wel geduid als verbruik. Een kilowattuur is een verbruik van duizend watt in één uur. Ter illustratie: een stofzuiger van een vermogen met één kilowatt één uur gebruiken resulteert in een verbruik van één kilowattuur.
Laadregime	Planning van het laden van een veer, weergegeven in tijden, locaties en laadvermogens. Bijvoorbeeld: tweemaal per etmaal één uur laden aan één zijde van de verbinding met 500 kilowatt vermogen.
Laadvermogen	Het vermogen waarmee een elektrisch voertuig van elektrische energie wordt voorzien. Meestal uitgedrukt in een wattage: het aantal watt, veelal in duizendtallen (kilowatt) of miljoenen (megawatt).
Lithium-ion batterij	Batterij met lithium als één van de componenten, meestal in combinatie met één of meerdere andere chemische componenten. Veel gebruikte batterijen voor diverse toepassingen, als gevolg van de relatief hoge energiedichtheid.
LFP / Lithium IJzer Fosfaat	Een specifiek type lithium-ion batterij, waar naast lithium tevens ijzerfosfaat in voorkomt.
Pantograaf	Koppelingsstuk tussen een voertuig en de stroomvoorziening. Veel toegepast in de tram- en treinwereld, de laatste jaren ook bij elektrische bussen.
Waltijd	De tijd die een veer aan de wal besteed. Het betreft effectieve tijd: de tijd dat de veer daadwerkelijk aan de wal stil ligt. De tijd die benodigd is om aan te landen valt hier niet onder.

Inhoudsopgave

Samenvatting 3

Begrippenlijst 7

1 Inleiding 9

1.1 Uitganspunten voorafgaand aan uitgevoerde onderzoek 9

1.2 Leeswijzer 10

2 Laadinfrastructuur voor plug-in hybride & elektrische veren 11

2.1 Verschillende vormen van laadinfrastructuur 11

2.2 Uitgangspunten voor laadvoorzieningen 12

2.3 Verschillende laadregimes en bijbehorende laadvermogens 17

2.4 Kosten van aanleg, beheer & onderhoud 19

2.5 Kansen en risico's hybride en elektrische veren 24

2.6 Conclusies omtrent laadvoorzieningen vanuit technisch oogpunt 26

3 Ruimtelijke inpasbaarheid 27

3.1 Benodigde laadvoorzieningen in ruimtelijke zin 27

3.2 Planning: te doorlopen procedures en lengte van bouwperioden 29

3.3 Conclusies met betrekking tot ruimtelijke impact 30

4 Laadalternatieven voor de Amsterdamse veren 31

4.1 Alternatief 1: laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen 31

4.2 Alternatief 2: laadhubs 35

4.3 Alternatief 3: laadhubs in combinatie met laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen 37

5 Advies met betrekking tot aan te leggen laadvoorzieningen 38

Bijlage A: Gebruikscijfers type 60 veer (aangeleverd door GVB) 40

Bijlage B: Gevoeligheidsanalyses 46

Bijlage C: Gesproken partijen / personen 49

Bijlage D: Voorbeeldprojecten hybride en elektrische veren 50

1 Inleiding

In april 2015 hebben de gemeente Amsterdam en GVB een Duurzaamheidsconvenant ondertekend. Dit convenant, dat zich met name richt op het verbeteren van de luchtkwaliteit, bevat een sectie aangaande verschoning van de veren in Amsterdam:

> "Artikel 3: uitstootvrije veerponten
>
> De gemeente stelt, in overleg met het GVB, een Verenstrategie op over hoe de veerverbindingen in Amsterdam toekomstbestendig kunnen worden en over de verduurzaming en verschoning van de motoren van de veren. De Verenstrategie wordt de tweede helft 2015 aan de Gemeenteraad voorgelegd ter vaststelling. De gemeente geeft als eigenaar van de IJ-veren opdracht voor een onderzoek naar verschoningsmogelijkheden van alle veren (IJ-veren en NZ-kanaalveren), en besluit op basis daarvan over de kosten en het tempo van de verschoning. Voor het onderzoek naar verschoning worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:
>
> • Voor nieuwe veerponten (bij vervanging/uitbreiding) geldt de schoonst mogelijke techniek, bij voorkeur uitstootvrij, voor zover het gebruikersprofiel en de exploitatie dit toelaten.
>
> • Voor de bestaande veerponten wordt inzichtelijk gemaakt met welke techniek maximaal verschoond kan worden. GVB levert haar kennis en capaciteit in die zij heeft vanuit haar rol en ervaring als exploitant van de veren ten behoeve van het onderzoek naar verschoning van de veren."

Naar aanleiding van dit artikel in het convenant heeft de gemeente Amsterdam een aantal onderzoeken laten uitvoeren naar de verduurzamingsmogelijkheden van de veren over het IJ; voor de veren over het Noordzeekanaal is een separaat proces in werking gezet. Deze rapportage gaat enkel over de veren varend op het IJ.

Er zijn twee onderzoeken naar de verschoningsmogelijkheden van de vloot uitgevoerd, gericht op het verduurzamen van de aandrijflijnen van de veren. De onderzoeken maken inzichtelijk wat de mogelijkheden en kosten zijn van het reduceren en het (lokaal) volledig wegnemen van de uitstoot van de veervloot. Het betreft onderzoeken uitgevoerd door TNO[2] naar de mogelijkheden omtrent nieuwe veren, en door C-Job[3] naar de mogelijkheden met betrekking tot ombouw van bestaande schepen. Voorliggend rapport bouwt voort op deze eerder uitgevoerde onderzoeken en geeft een uitwerking van de technische en ruimtelijke mogelijkheden van laadvoorzieningen voor hybride en elektrische veren op het IJ in Amsterdam. Naast de mogelijkheden wordt een inschatting gegeven van de benodigde investeringen en de kosten voor beheer en onderhoud van laadvoorzieningen. Het rapport rondt af met een advies omtrent de verschoning van de vloot, waarbij de uitkomsten van de eerdere onderzoeken zijn meegenomen.

Hierbij is zo goed als mogelijk rekening gehouden met eventuele toekomstige ontwikkelingen. De gemeente Amsterdam en GVB zitten in een proces van verduurzaming, waarbij verschillende factoren een rol spelen. Zo is de gevraagde passagierscapaciteit groeiende, als gevolg van een toenemend bewonersaantal en de groei van het aantal arbeidsplaatsen aan de noordzijde van het IJ. Deze ontwikkelingen op het gebied van ruimtelijke ordening spelen een belangrijke rol in de (on)mogelijkheden voor het plaatsen van voorzieningen: aanlandingen, maar ook eventuele laadvoorzieningen. Daarnaast zijn er externe factoren die het verduurzamingsproces beïnvloeden, zoals technologische ontwikkelingen. Aan ieder van deze onderwerpen wordt aandacht besteed in het voorliggende rapport.

1.1 Uitganspunten voorafgaand aan uitgevoerde onderzoek

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij het uitvoeren van het onderzoek dat ten grondslag ligt aan deze rapportage:

1. Het onderzoek betreft de vloot varend op de IJ-verbindingen. De veren over het Noordzeekanaal vallen buiten beschouwing;
2. Zoveel mogelijk een uniforme vloot, ten behoeve van een maximale inzetbaarheid van de individuele veren en een eenduidig onderhouds- en reserveonderdelen regime;
3. Behoud van huidige dienstregeling, wat beperkte aanland- en oplaadtijden betekent;
4. Ruimtelijke inpasbaarheid op huidige Amsterdamse ondergrond;

[2] TNO: "Onderzoek verschoningsopties veerverbindingen van het GVB Amsterdam", TNO 2016 R10039v3. Datum: 14 maart 2016

[3] C-Job: "Vlootschouw IJveren", Project# 16.120, Document# 300-100, versie 5. Datum: 4 april 2017

5. Onderzoeksresultaten uit de eerder genoemde TNO en C-Job rapporten gelden, gecombineerd met gebruikscijfers van GVB van het nieuwe type 60 veer, als vertrekpunt voor de benodigde laadvoorzieningen voor de veren. Het betreft de hybride varianten (serie en plug-in) en de volledig elektrische variant.

Specifieke uitgangspunten omtrent de laadinfrastructuur (e.g. vaartijden, batterijcapaciteit veerponten, etc.) staan vermeld in hoofdstuk 2. Gedurende het uitgevoerde onderzoek zijn er nog andere uitgangspunten naar voren gekomen; deze worden in voorliggende rapportage specifiek benoemd indien van belang.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 omschrijft resultaten van het onderzoek naar laadinfrastructuur, inclusief verwachte ontwikkelingen rondom de laadvoorzieningen. Hoofdstuk 3 gaat in op de ruimtelijke impact van de laadvoorzieningen. Hoofdstuk 4 omschrijft een aantal verschillende varianten van laadvoorzieningen. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies van de voorgaande hoofdstukken en geeft een advies voor verduurzaming van de vloot op basis van de laadvoorzieningen voor de realisatie van uitstootvrije veerverbindingen.

In de bijlagen enkele toelichtingen op bevindingen, waaronder berekeningen en gevoeligheidsanalyses van de parameters van laadinfrastructuur en partijen en personen die hebben bijgedragen aan het uitgevoerde onderzoek.

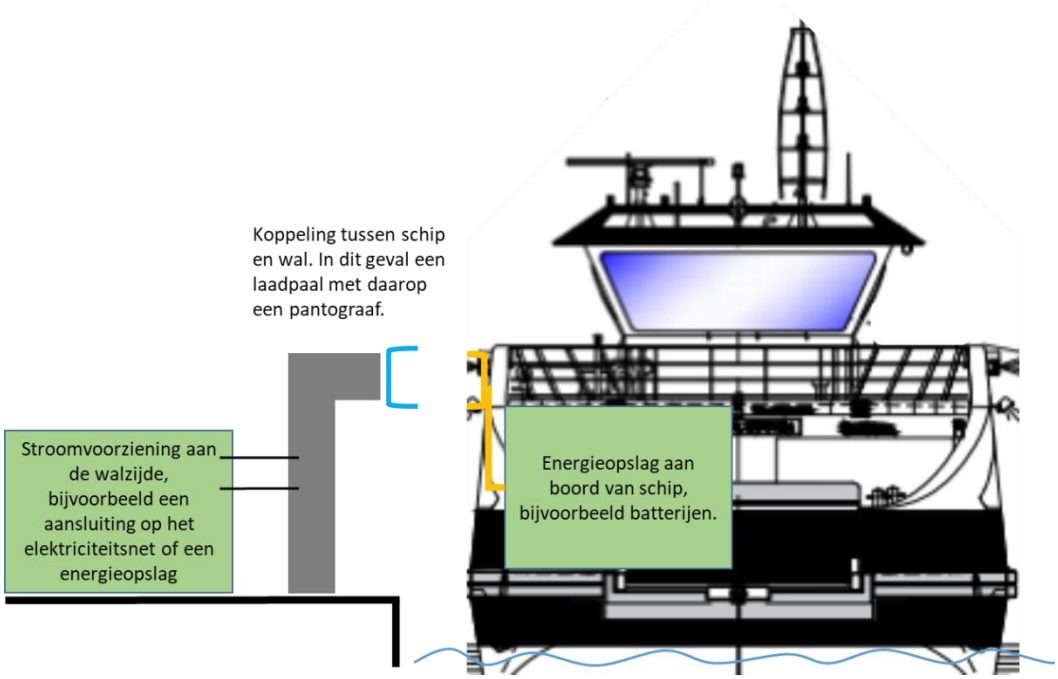
2 Laadinfrastructuur voor plug-in hybride & elektrische veren

In het geval van plug-in hybride veren en elektrische veren is er laadinfrastructuur vereist[4]. Beide aandrijfsystemen maken gebruik van batterijen als energieopslag om de elektromotoren van stroom te voorzien tijdens het varen. Bij een plug-in hybride zijn er tevens één of meerdere generatoren aanwezig om de batterijen tijdens het varen bij te laden indien deze leeg dreigen te raken alvorens er weer via een walzijdige voorziening bijgeladen kan worden. Voor meer detail over deze aandrijfsystemen wordt verwezen naar het TNO rapport; hierin staat gedetailleerd omschreven wat de kenmerken zijn van beide systemen[5].

2.1 Verschillende vormen van laadinfrastructuur

De laadinfrastructuur van plug-in hybride en volledig elektrische veren ziet er in principe hetzelfde uit. De laadvoorzieningen bestaan op hoofdlijnen uit drie onderdelen schematisch weergegeven in onderstaand figuur:

- Een walzijdige stroomvoorziening, bijvoorbeeld in de vorm van een netwerkaansluiting op het stroomnet, of een energieopslag (e.g. een container met batterijen).
- Energieopslag aan boord van het vaartuig, in het geval van plug-in hybride en elektrische veren zijn dit in de meeste gevallen batterijen.
- Een koppeling tussen het vaartuig en de walzijdige stroomvoorziening, om de elektrische energie aan boord van het vaartuig te krijgen.



Figuur 1: Schematische weergave van de verschillende onderdelen van laadvoorzieningen voor een hybride of elektrische veer

De koppeling tussen vaartuig en stroomvoorziening kan op verschillende manieren. In de praktijk zijn er drie verschijningsvormen van laadinfrastructuur (zowel binnen de scheepvaart als binnen andere modaliteiten):

- Middels een laadstekker. In essentie hetzelfde zoals toegepast bij elektrische auto's, waarbij er middels een laadstekker een kabelverbinding gemaakt wordt tussen de stroomvoorziening en het voertuig.

[4] In de praktijk worden er ook voor serie-hybride veren laadvoorzieningen gebruikt, zoals nu ook het geval is bij de huidige type 60 veren. Dit betreft echter laadvoorzieningen ten behoeve van het behoud van de levensduur van de batterijen (middels balanceren; het langzaam laden van de batterijen tot de maximale capaciteit). Dit zijn geen laadvoorzieningen bedoeld om gedurende de diensten een veer continue van additionele stroom te voorzien, zoals het geval is bij plug-in hybride veren.

[5] Zie onder andere: hoofdstuk 3 en 4, als ook in bijlage C en H van het TNO-rapport

- Middels een pantograaf. Dit wordt bijvoorbeeld toegepast bij trams en elektrische bussen, en kenmerkt zich door een vast constructie waarop een pantograaf (zoals bekend van tram en trein) uitgeklapt wordt om contact te maken tussen de stroomvoeding en het vaartuig. De pantograaf kan zich zowel op de wal als op het vaartuig bevinden: dit maakt voor de verbinding geen verschil.
- Middels inductie. Dit systeem is bekend van de elektrische tandenborstel en wordt (nog) beperkt toegepast bij elektrische auto's, bussen en schepen.

In essentie zijn het vrijwel altijd metaal-op-metaal verbindingen (meestal koper omdat dit stroom goed geleid) om stroom over te dragen van de stroomvoeding naar de batterijen in het schip. Alleen bij inductie laden gebeurt dit niet via direct contact maar wordt de stroom via twee spoelen overgedragen die geen direct contact hoeven te maken, maar wel dicht bij elkaar gehouden dienen te worden om efficiëntieverliezen te voorkomen. In de praktijk wordt deze vorm van laden beperkt toegepast, vanwege de relatief hoge kosten en beperkte efficiëntie ten opzichte van directe koper-op-koper verbindingen: 10% overdrachtsverlies doet zich al snel voor[6].

Op basis van gesprekken met marktpartijen is gebleken dat er nog geen standaarden bestaan in de scheepvaart als het om de koppeling tussen wal en schip gaat. Gegeven de korte koppeltijden bij de Amsterdamse IJveren, gecombineerd met de noodzaak voor de schipper om in zijn stuurhut te blijven gedurende de het laden en lossen van passagiers, lijkt het voor de hand liggend om een systeem te introduceren waar geen fysieke handelingen bij vereist zijn zoals het handmatig moeten aankoppelen van verbindingen. Voorbeelden van dergelijke systemen zijn bijvoorbeeld inductiesystemen en systemen met een pantograaf als koppeling. Beide bieden tevens de benodigde flexibiliteit als het gaat om bewegingen van de veren in verschillende richtingen gedurende de waltijd, bijvoorbeeld als gevolg van stromingen en verschillende waterstanden.

Er is op dit moment geen voorkeur te definiëren voor één specifiek systeem. In het geval van een uitvraag naar of aanbesteding van laadvoorzieningen kunnen randvoorwaarden worden opgesteld om duiding te geven van de hiervoor omschreven Amsterdamse omstandigheden. Voor het uitgevoerde onderzoek naar laadvoorzieningen is rekening gehouden met de mogelijkheid van verschillende laadsystemen.

2.2 Uitgangspunten voor laadvoorzieningen

Met betrekking tot de benodigde laadvoorzieningen zijn een viertal uitgangspunten gedefinieerd, die hierna ieder worden toegelicht:

1. Energiebehoefte en beschikbare laadtijd
2. Toekomstige veerverbindingen
3. Type 60 veer
4. Het benodigde laadvermogen.

Na het bespreken van deze uitgangspunten in onderstaande subparagrafen wordt in paragraaf 2.3 gekeken naar de mogelijke laadregimes op basis van deze uitgangspunten.

2.2.1 Energiebehoefte en beschikbare laadtijden

Het benodigde laadvermogen van de laadinfrastructuur aan de wal (hoeveel energie in hoeveel tijd overgedragen kan worden) wordt bepaald door twee factoren: de gevraagde hoeveelheid energie en de beschikbare tijd voor energieoverdracht. TNO heeft in haar onderzoek voor elke overtocht berekend wat er aan energie verbruikt wordt, en hoeveel tijd er beschikbaar is aan de wal. Op basis daarvan is voor zowel hybride als elektrische veren bepaald hoe groot de benodigde energievoorraad aan boord van de veren dient te zijn, en welk vermogen voor de laadvoorzieningen vereist is. De benodigde hoeveelheid energie aan boord van het schip is een derde factor van belang. Dit legt namelijk grenzen op aan het over te dragen vermogen en kan een ondersteunende rol spelen indien er te weinig tijd beschikbaar is om de verbruikte energie tussen twee laadmomenten volledig aan te vullen.

[6] Voor meer informatie omtrent de verschillende vormen van laden is te vinden in de rapportage die C-Job in opdracht van GVB heeft uitgevoerd naar de verschillende laadsystemen voor de NZK-veren. C-Job: "Plug-in Hybride Noordzeekanaal Veerpont, GVB, Wal-laadsystemen", Project# 16.047, Document# 000-006, Datum: 15 maart 2017. Dit is een niet openbaar document in het bezit van GVB en inzichtelijk geweest voor het opstellen van de voorliggend rapportage.

Onderstaande tabel toont gegevens zoals door TNO berekend voor de toen (2016) aanwezige verbindingen. Het betreft een verkorte weergave van de oorspronkelijke gegevens: voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar bijlage A van het TNO rapport.

	Oostveer	Buiksloterwegveer	IJpleinveer	NDSM-veer	Houthavenveer
Tijdsduur retour incl. laden en lossen (minuten)	20 minuten	12 minuten	15 minuten	30 minuten	20 minuten
Waarvan aan wal beide zijden opgeteld (minuten)	40% = 8 minuten	66% = 7,9 minuten	54% = 8,1 minuten	20% = 6 minuten	35% = 7 minuten
Gemiddeld verbruik retour (kWh)	30 kWh	15 kWh	20 kWh	105 kWh	60 kWh

Tabel 1: Gebruiksprofielen zoals bepaald door TNO in 2016

2.2.2 Toekomstige veerverbindingen

De gegevens in bovenstaande Tabel 1 betreffen gegevens van de bestaande veerverbindingen in 2016. Voor het bepalen van de benodigde toekomstige laadvoorzieningen zijn een aantal aannames gedaan om tot bruikbare gebruiksprofielen te komen.

Zo zal in de nabije toekomst het Houthavenveer een andere route gaan varen vanaf een andere locatie. Het toekomstige vertrekpunt van het Houthavenveer (naar verwachting vanaf 2018) zal zijn vanaf Pontsteiger, gelegen in het Houthavengebied aan de zuidzijde van het IJ. Hiervandaan wordt een V-vormige verbinding gevaren buiten de spitsen: vanaf de Pontsteiger naar de NDSM-werf en terug, om daarna naar het Distelwegveer te varen en weer terug naar de Pontsteiger. Daarna wordt deze vorm herhaalt. In de spitsen wordt een tweede veerpont toegevoegd, en worden er twee separate verbindingen gevormd die beide één zijde van de V bedienen: Pontsteiger ←→ NDSM en Pontsteiger ←→ Distelweg. Voor deze verbindingen zijn de volgende aannames gedaan met betrekking tot het energieverbruik, die tevens verkort staan weergegeven in onderstaande Tabel 2:

- Het Houthavenveer buiten de spits (die in V-vorm vaart) zal een verbruik ongeveer gelijk kennen als de NDSM-verbinding. De verbinding kent eenzelfde omlooptijd, maar met iets langere waltijden: 30 minuten in totaal per omloop en 9 minuten waltijd in plaats van 6 minuten. Als gevolg van deze langere waltijd en omdat het NDSM-veer meer met het overige verkeer meevaart is het totaal verbruik per omloop van het Houthavenveer wat lager dan bij de NDSM-verbinding: een geschatte 5% minder verbruik, waarmee het verbruik op de verbinding op ongeveer 100kWh per omloop uitkomt.
- De spitsverbindingen tussen Pontsteiger en NDSM (Houthavenveer spits) en tussen Pontsteiger en Distelweg (Distelwegveer) varen ieder de helft van het Houthavenveer spits. Verondersteld wordt dat het gebruikersprofiel van deze veren de halve waardes van het Houthavenveer omvat: zowel voor de vaar- en waltijden als voor het energieverbruik. Het schip dat buiten de spitsen het Houthaven verbinding bedient vaart gedurende de spitsen één van de twee spitsverbindingen. Dit betekent dat voor de drie Houthaven verbindingen (één buiten de spitsen, twee gedurende de spitsen) er twee schepen benodigd zijn.

Deze aannames leiden tot de volgende tabel voor de veerverbindingen vanaf de Pontsteiger vanaf 2018:

	Houthavenveer	Houthavenveer spits	Distelwegveer
Tijdsduur retour incl. laden en lossen (minuten)	30 minuten	15 minuten	15 minuten
Waarvan aan wal (minuten)	9 minuten	4,5 minuten	4,5 minuten
Gemiddeld verbruik retour (kWh)	100 kWh	50 kWh	50 kWh

Tabel 2: Gebruiksprofiel veerverbindingen vanaf Houthaven (vanaf 2018)

2.2.3 Type 60 veer: toekomstbestendig en een uniforme vloot

Naast het gebruikersprofiel van de verbinding is het type veer bepalend voor het energieverbruik. Op het moment dat TNO de metingen verrichtte (2016) waren er type 30 en type 50 veren in gebruik. Type 30 werd (en wordt) enkel ingezet op de Oostveer en een spitsverbinding. De Oostveerverbinding komt op termijn te vervallen, en de type 30 veren zullen in de komende jaren uit de vaart worden genomen. Zowel de Oostveerverbinding als het type 30 veer is verder niet meegenomen in de analyses.

Voor de overige verbindingen zijn de getoonde gegevens van toepassing op het type 50 veer. Kort na publicatie van het TNO-rapport, zijn in de winter van 2016/2017 de eerste twee veren van het type 60 in gebruik genomen. De veronderstelling is dat het type 60'er voor de nabije toekomst volstaat in termen van passagierscapaciteit. Gecombineerd met de wens van de gemeente om een uniforme vloot te hebben, is het type 60'er als uitgangspunt genomen voor het bepalen van toekomstige energiebehoeften. Dit kunnen naar 60'ers omgebouwde 50'ers zijn of nieuw gebouwde 60'ers: dit is één type schip.

GVB heeft voor het onderzoek verbruiksgegevens aangeleverd van de 60 en 61 veren: zie bijlage A. Op basis van dit verbruik en de per 2018 in gebruik zijnde veerverbindingen is een toekomstig gebruikersprofiel en verbruik van de veerverbindingen geschat. Onderstaande Tabel 3 geeft de cijfers weer die als uitgangspunt zijn gebruikt zijn voor het bepalen van het benodigde laadvermogen en batterijcapaciteiten.

	Buiksloterweg-veer	**IJpleinveer**	**NDSM-veer**	**Houthaven-veer**	**Houthavenveer spits**	**Distelwegveer**
Tijdsduur retour incl. laden en lossen (minuten)	12 minuten	15 minuten	30 minuten	30 minuten	15 minuten	15 minuten
Waarvan aan wal, beide zijden opgeteld (minuten)	7,9 minuten	8,1 minuten	6 minuten	9 minuten	4,5 minuten	4,5 minuten
Gemiddeld verbruik retour (kWh)	22 kWh	20 kWh	83 kWh	79 kWh	39 kWh	39 kWh

Tabel 3: Gebruiksprofielen en geschatte energieverbruiken IJ-veren Amsterdam per 2018 voor type 60 veren.

Hoewel deze cijfers zijn gebaseerd op metingen, en daarmee een weergave zijn van de werkelijkheid, betreft het hier momentopnamen. In de realiteit zullen de tijdsduren van een retour, de waltijden en de verbruikscijfers afwijken van de hier getoonde cijfers. Hier zijn vele factoren van invloed op, zoals de stroming in het IJ, de hoeveelheid en type overig scheepvaart verkeer, de belasting van de veren, de buitentemperatuur, et cetera. Om hier rekenschap van te nemen zijn voor de berekeningen van de benodigde laadvermogens gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Zie Bijlage B voor een verkorte weergave hiervan.

2.2.4 Benodigd laadvermogen

Om te komen tot het benodigde laadvermogen, zijn er vijf factoren van belang:

1. Het energieverbruik van de veerverbinding. Zowel per omloop, zoals weergegeven in Tabel 3, als ook de totale energiebehoefte over een volledige dag;
2. Beschikbare laadmomenten en laadtijden;
3. De hoeveelheid energie aan boord van de veren; de batterijgrootte aan boord van een veer. Dit bepaalt niet alleen hoe vaak een veer bijgeladen dient te worden, maar stelt (in combinatie met het type batterij) tevens beperkingen aan het maximaal overdraagbaar vermogen. Ook de beschikbare ruimte in het schip speelt een rol;
4. Het beschikbare vermogen aan de walzijde. Het beschikbare vermogen zal in de praktijk niet snel een beperkende factor zijn: in Amsterdam zijn alom stroomvoorzieningen voorhanden (in termen van het middenspanningsnet: 10 kilovolt voorzieningen).
5. De beschikbare ruimte voor het installeren van laadvoorzieningen. Hoewel er naar verwachting op de meeste locaties afdoende stroom geleverd kan worden, dient er afdoende ruimte beschikbaar te zijn voor de benodigde voorzieningen. Ook het installeren van stroomvoorzieningen aan de waterkant kan in sommige situaties tot praktische problemen leiden.

De vijfde factor van belang voor de benodigde laadvoorzieningen, beschikbare ruimte, wordt apart behandeld in het volgende hoofdstuk. Uitgaande van afdoende beschikbaar vermogen vanuit het stroomnetwerk (de vierde factor; waarvan de kosten in de volgende paragraaf behandeld worden) resteren factor 1, 2 en 3.

Factor 1: energieverbruik, per omloop en dienst
De in Tabel 3 getoonde verbruiken per veerverbinding zijn het vertrekpunt voor het bepalen van de benodigde laadvoorzieningen. Om een totaalbeeld te krijgen van het energieverbruik, is het totale energieverbruik gedurende een dienst uitgerekend. Gezamenlijk met de beschikbare laadmomenten en tijden (factor 2) dienen deze als input voor het bepalen van de benodigde energievoorzieningen aan boord van de veren (factor 3). Onderstaande Tabel 4 toont de dienstlengtes per verbinding en de energieverbruiken gedurende die dienstperiode. Uitgangspunt is hierbij de langstdurende inzet op de verbinding. Dit betekent in het geval van het Buiksloterwegveer, waar door één veer een 24-uursdienst gevaren wordt, deze leidend is voor de maximale energiebehoefte. Dit is een vorm van redundantie, waar middels wisselschema's een kortere inzetperiode over de vloot gerealiseerd kan worden. Dit is niet beschouwd in dit onderzoek; de hier getoonde cijfers tonen als het ware een maximaal verbruik benadering waarmee, indien de veren hieraan voldoen, alle verbindingen zonder voorbehoud gevaren kunnen worden door elke veer. Wel wordt er in de volgende paragraaf gekeken naar verschillende laadregimes om aan de gevraagde energiebehoefte te voldoen. Net als het Buiksloterwegveer is voor het Houthavenveer een 24-uursdienst aangenomen. De getallen zijn voor de leesbaarheid naar boven afgerond op honderdtallen kWh's; in verdere berekeningen worden de exacte getallen gebruikt.

	Buiksloterweg-veer	**IJpleinveer**	**NDSM-veer**	**Houthaven-veer**	**Houthavenveer spits**	**Distelwegveer**
Tijdsduur retour incl. laden en lossen (minuten)	12 minuten	15 minuten	30 minuten	30 minuten	15 minuten	15 minuten
Gemiddeld verbruik retour (kWh)	22 kWh	20 kWh	83 kWh	79 kWh	39 kWh	39 kWh
Maximale dienstlengte op verbinding	24 uur	19 uur	20 uur	24 uur	6 uur	6 uur
Maximaal verbruik gedurende dienst (kWh)	2.600 kWh	1.500 kWh	3.300 kWh	3.200 kWh	1.000 kWh	1.000 kWh

Tabel 4: Energieverbruiken per veerverbinding: per retour (zie ook Tabel 3) en per dienst. Weergegeven in kilowatturen, afgerond op honderdtallen.

Factor 2: beschikbare laadmomenten en laadtijden
Naast de benodigde energie spelen de beschikbare laadmomenten (frequentie) en beschikbare laadtijden per sessie een belangrijke rol in het treffen van laadvoorzieningen. Gezamenlijk vormen zij randvoorwaarden voor een zogenaamd laadregime voor het bijladen van elektrische energie. De dienstregeling van de veren is hierin leidend: deze bepaalt met welke frequenties er op welke verbinding gevaren wordt en hoe lang de veren per overtocht aan de wal liggen. Het vaarschema van de veren kan ook aangepast worden aan gewenste laadtijden van hybride of elektrische veren. Het uitgangspunt voor deze studie is echter dat de huidige c.q. toekomstige vaarschema's op de hier geschetste verbindingen leidend zijn: zie bovenstaande Tabel 4.

Binnen de vaarschema's van de veren bestaan er verschillende mogelijkheden voor het opstellen van een laadregime. Zo kan er geladen worden na elke omloop, of zelfs elke oversteek, maar ook laden buiten de spitsen om of alleen buiten diensttijden (indien beschikbaar). Dergelijke laadregimes zijn onder andere afhankelijk van de in veren aanwezige batterijen en de beschikbare/benodigde laadvermogens. Deze factoren worden in de volgende paragrafen behandeld waarna er verschillende laadregimes opgesteld worden. Het betreft hier illustraties van de benodigde laadvermogens: in hoofdstuk 4 worden verschillende alternatieven voor het realiseren van laadvoorzieningen in meer detail uitgewerkt.

Factor 3: de hoeveelheid energie aan boord van de veren (batterijgrootte)
De benodigde batterijgrootte is in eerste instantie afhankelijk van het gewenste vrije bereik van de veren: het vaarbereik zonder bijladen. Vertrekpunt hiervoor is volledig elektrisch varen. Indien dit mogelijk is, is dit conform het convenant verkiesbaar boven plug-in hybride vanwege het volledig ontbreken van (lokale) emissies. In principe kan ook een plug-in hybride uitstootvrij varen, zolang de (diesel)generatoren niet ingezet hoeven te worden. De veer vaart dan volledig op de batterijen die bijgeladen worden via laadvoorzieningen aan de wal. Voor het vaststellen van de beschikbare hoeveelheid

energie aan boord van de veren, is gebruik gemaakt van de uitgangspunten en berekeningen van TNO hieromtrent, aangevuld met inzichten van GVB aangaande de type 60 veer.

Dit betreft onder andere de volgende uitgangspunten, waarvoor verwezen wordt naar Bijlage H van het eerdere genoemde TNO-rapport:

- Gebruik maken van lithium-ion batterijen; lithium-ijzerfosfaat (LFP). Er bestaan verschillende batterijen met verschillende chemische samenstellingen. De belangrijkste verschillen die hierdoor ontstaan zitten in de hoeveelheid energie per inhouds- en gewichtseenheid (i.e. kWh per liter en kilogram), de C-factor (zie hierna), het aantal laadcycli met behoud van capaciteit, hoever de batterij ontladen mag (%) worden en de kosten (per kWh). Er is niet één specifieke chemische samenstelling die op alle onderdelen het beste scoort, waardoor er bij elke toepassing gekeken zal moeten worden wat de meest wenselijke batterijsoort is. Veel voorkomende batterijsoorten zijn lood-zwavelzuur batterijen, nikkelmetaalhydride (Ni-MH) en lithium-ion batterijen. Lood-zwavelzuur accu's zijn niet praktisch voor de gevraagde prestaties van vaak met hoge vermogens laden. In combinatie met een gevraagde hoge hoeveelheid energie gedurende diensten (zie ook de volgende paragraaf) zijn ook nikkelmetaalhydride batterijen niet voor de hand liggend: zij kennen een relatief lage capaciteit per gewichtseenheid. Lithium-ion batterijen bestaan er in verschillende varianten, die ieder hun eigen kenmerken hebben. Per saldo geldt dat ze een relatief hoge energiedichtheid hebben per gewichts- en volume-eenheid, relatief hoge laadvermogens aan kunnen en redelijk stabiel zijn qua prestaties. TNO adviseert het gebruik van lithium-ijzerfosfaat batterijen; LFP. Dit zijn veel toegepaste batterijen, als gevolg van hun relatief hoge energiedichtheid, veiligheid, lange levensduur en in verhouding tot andere lithium-ion batterijen de relatief lage prijs.
- Maximaal laden met 2C. De C-factor van een batterij bepaalt met hoeveel vermogen de totale set batterijen geladen kan worden. Deze wordt bepaald door de chemische samenstelling van de batterij, en dient gerespecteerd te worden om de levensduur van de batterij te garanderen. De eenheid van de C-factor is 1 per uur, wat betekent dat de grootte van een batterijpakket vermenigvuldigd kan worden met de C-factor om tot het maximaal overdraagbare laadvermogen te komen. Bijvoorbeeld: een 250 kilowattuur batterijpakket met C-factor van 2 mag maximaal met 500 kilowatt geladen worden (250 kilowattuur * 2 / uur = 500 kilowatt).

Tevens dient er bij de vertaling van de benodigde hoeveelheid energie naar de benodigde batterijgrootte rekening gehouden te worden met enkele randvoorwaarden die het gebruik van batterijen stelt. Dit betreft met name hoe ver de batterijen ontladen mogen worden (de *depth-of-discharge:* het is niet goed voor een batterij om volledig leeg te raken) en de capaciteit die na enige jaren gebruik nog beschikbaar is (de *end-of-life* capaciteit). Beide zijn van belang voor een realistische inschatting van het bruikbare deel van de batterijen gedurende de gebruiksjaren. Deze waardes verschillen per batterijtechniek. Voor de LFP batterijen zijn waardes van maximaal 75% ontladen en een einde leven capaciteit van 80% gekozen. Dit is naar verwachting aan de veilige kant; indien tot aanschaf van een veer wordt over gegaan zal de leverancier waarden meegeven ten behoeve van de garantie. Hiermee dient rekening gehouden te worden bij de definitieve vaststelling van het benodigde batterijpakket.

> Ter illustratie: de benodigde hoeveelheid energie voor het IJpleinveer van 1.500 kWh voor een gehele dienstperiode (zoals vermeld in Tabel 4) resulteert als gevolg van de randvoorwaarden voor batterijgebruik in een benodigd batterijpakket van 1.500 * (1/75%) * (1/80%) = afgerond 2.100 kWh. Een dergelijk pakket is benodigd om voor de levensduur van de batterijen de benodigde 1.500 kWh voor een dienstdeel te waarborgen.
>
> Let wel: dit zou afdoende zijn om een volledig dienstdeel van 19 uur te overbruggen zonder bijladen. Dit is een mogelijk laadregime, waarbij in het resterende deel van de dag (5 uur in dit voorbeeld) de verbruikte energie (1.500 kWh in het geval van het IJpleinveer) weer bijgeladen moet worden. Verschillende laadregimes en de bijbehorende benodigde vermogens worden in de volgende paragraaf behandeld.

Een belangrijke laatste punt van aandacht is de fysieke ruimte in de veren voor het plaatsen van batterijen. Momenteel bevindt zich in de type 60 veer een batterijpakket (LFP) van een kleine 140 kilowattuur. De verwachting van GVB is dat een dubbele hoeveelheid zonder problemen zal passen, waarmee er ongeveer 280 kWh aan batterijen meegenomen wordt. Een verdere toename is mogelijk, maar zal enig maatwerk vereisen om ingepast te worden; niet alleen voor het plaatsen van de batterijen zelf maar ook voor de benodigde regelkasten. Vermoedelijk past nogmaals 140 kWh, waarmee er in totaal ruim 400 kWh aan batterijen in een type 60 veer zou passen. Als gevolg van enige ontwikkelingen op het gebied van de laadregelingen en toenemende energiedichtheid van de batterijen zal er minder ruimte benodigd zijn voor deze hoeveelheid batterijcapaciteit. Gecombineerd met enig maatwerk bij het inbouwen van de batterijen, wordt als

uitgangspunt genomen dat bij volgende series type 60 veren er ruimte aanwezig is voor 500 kilowattuur aan batterijen. Uitgaande van de omschreven parameters van toepassing op de batterijen (de diepte van ontlading en de einde leven capaciteit) resulteert dit in een netto beschikbare capaciteit van ongeveer 300 kilowattuur. Ter illustratie (zie Tabel 3 voor de energieverbruiken per omloop): dit betekent voor het NDSM-veer afdoende energie voor drie keer een retour en voor het Buiksloterwegveer ongeveer dertien keer heen en weer varen. Deze netto beschikbare capaciteit is een belangrijke beperking voor te kiezen laadregimes.

2.3 Verschillende laadregimes en bijbehorende laadvermogens

Er bestaan verschillende manieren om het laadproces invulling te geven. Zo kan er voor gekozen worden om alleen 's nachts te laden, na elke overtocht, na elke retour, et cetera. In principe bestaan er oneindig veel mogelijkheden. Echter, de hiervoor besproken factoren leggen beperkingen op. Zo geeft een 24-uurs dienst zoals bij het Buiksloterwegveer geen ruimte voor 's nachts enkele uren laden. Ook de beschikbare ruimte voor batterijen aan boord van de veren legt beperkingen op: een pakket van 500 kWh, met een netto bruikbare capaciteit van 300 kWh maakt voor sommige veren slechts enkele overtochten mogelijk zonder dat er bijgeladen hoeft te worden.

Op basis van de omschreven uitgangspunten is het benodigde vermogen bij drie laadregimes bepaald:

1) Plug-in hybride of elektrische veren die aan één zijde van de verbinding geladen worden.
2) Plug-in hybride of elektrische veren die aan alle zijden van de verbinding geladen worden.
3) Plug-in hybride of elektrische veren die buiten de spitsen om laden, als voorbeeld van een mogelijk laadregime waarbij buiten de reguliere vaarbewegingen om geladen wordt.

Onderstaande Tabel 5 en Tabel 6 tonen de benodigde laadvermogens op iedere fuik van de veerverbindingen voor de eerste twee laadregimes. Deze vermogensvraag is gebaseerd op de benodigde hoeveelheid energie per laadsessie overeenkomstig met Tabel 4 en de beschikbare tijden per overtocht overeenkomstig Tabel 1. Additioneel aan de beschikbare waltijd is er rekening gehouden met aan-en afkoppeltijd van de infrastructuur en enige tijd voor het opbouwen van vermogen: in totaal is hier een halve minuut voor gerekend. Deze is afgetrokken van de beschikbare waltijden, wat resulteert in een netto laadtijd. Voor het Houthavenveer (die drie aanlandingen aandoet buiten de spits) is uitgegaan van laadvoorzieningen en een verdeling van de waltijd over drie zijdes.

Bijlage B toont een gevoeligheidsanalyse voor deze berekeningen. Hieruit blijkt dat het benodigde vermogen zeer gevoelig is voor de duur van het aan- en afkoppelen. Dit is het gevolg van de beperkte waltijden van de veren; meestal enkele minuten per zijde. Een halve minuut meer of minder beschikbare tijd is dan in verhouding veel.

	Eén zijde van de verbinding laden		
Veerverbinding	Energiebehoefte per laadsessie (kWh)	Netto beschikbare laadtijd per zijde (minuten) bij halve minuut aan- en afkoppeltijd	Benodigd laadvermogen (kW), afgerond op tientallen
Buiksloterwegveer	22	3,5	390
IJpleinveer	20	3,6	340
NDSM-veer	83	2,5	2.000
Houthavenveer	79	2,5	1.900
Houthavenveer spits	39	1,8	1.360
Distelwegveer	39	1,8	1.360

Tabel 5: Benodigde laadvermogens bij laadregime 1: één zijde van de verbinding laden

	Alle zijden van de verbinding laden		
Veerverbinding	Energiebehoefte per laadsessie (kWh)	Netto beschikbare laadtijd per zijde (minuten) bij halve minuut aan- en afkoppeltijd	Benodigd laadvermogen per zijde (kW), afgerond op tientallen
Buiksloterwegveer	11	3,5	200
IJpleinveer	10	3,6	170
NDSM-veer	42	2,5	1.000
Houthavenveer (3 zijden)	26	2,5	640
Houthavenveer spits	20	1,8	680
Distelwegveer	20	1,8	680

Tabel 6: Benodigde laadvermogens bij laadregime 2: alle zijden van de verbinding laden (twee zijden voor alle verbindingen, uitgezonder voor het Houthavenveer buiten de spits met drie zijden).

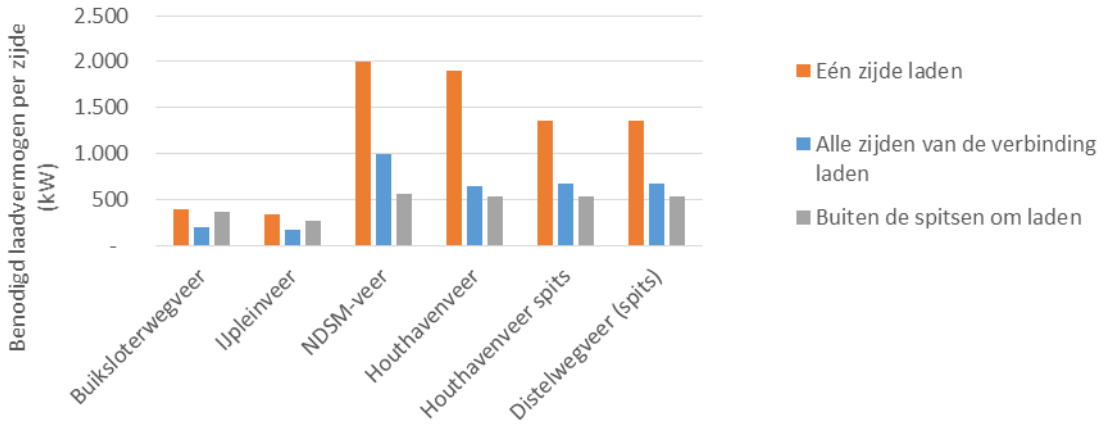
Onderstaande tabel toont de benodigde laadvermogens voor laadregime drie. Hiervoor zijn op aangeven van de gemeente Amsterdam spitsperioden van twee keer drie uur aangenomen, en een beschikbare laadtijd van een uur buiten de spitsen om verondersteld. Gemakshalve is de aan- en afkoppeltijd in deze variant buiten beschouwing gelaten; bij een laadtijd van een uur speelt dit geen rol van betekenis. Voor de volledigheid: het betreft hier een fictief laadregime ter illustratie van de benodigde laadvermogens bij een afwijkend regime ten opzichte van laden binnen de huidige dienstregeling.

	Buiten de spitsen om laden (2 x 3 uur spits, één uur laadtijd)		
Veerverbinding	Energiebehoefte per laadsessie (kWh)	Netto beschikbare laadtijd per zijde (minuten)	Benodigd vermogen per zijde (kW), afgerond op tientallen
Buiksloterwegveer	550	90	370
IJpleinveer	400	90	270
NDSM-veer	830	90	560
Houthavenveer	789	90	530
Houthavenveer spits	789	90	530
Distelwegveer spits	789	90	530

Tabel 7: Benodigde laadvermogens bij laadregime 3: buiten de spitsen (2 x 3 uur) om laden

In de praktijk zal een laadregime van buiten de spitsen om laden uitwisseling van veren op de lijnen vereisen. Hiervoor zal een planning opgesteld moeten worden, waarbij mogelijk gedurende de daluren uitgewisseld moeten worden. Voor nu is aangenomen dat hier invulling aan gegeven kan worden. Bijlage B bevat een gevoeligheidsanalyse voor de beschikbare laadtijd. Voor een verdere uitwerking van mogelijke laadalternatieven voor toepassing in Amsterdam: zie hoofdstuk 4.

Ter verduidelijking van de verschillen tussen de drie laadregimes toont onderstaande grafiek de benodigde vermogens voor ieder van de laadregimes in grafiekvorm.



Figuur 2: Benodigde laadvermogens per fuik per aanlanding per laadregime.

De tabellen 5 tot en met 7 en de grafiek in Figuur 2**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** laten zien dat er in veel gevallen laadvermogens van enkele honderden kilowatten tot enkele megawatten benodigd zijn. Met name de veerverbindingen die een hoog energieverbruik per overtocht kennen in combinatie met korte waltijden, zoals het NDSM en Houthavenveer, vereisen bij laden aan één zijde significant meer dan een megawatt aan laadvermogen. Gegeven het uitgangspunt van maximaal laden met één megawatt worden die laadregimes niet realiseerbaar geacht: hoewel het gevraagde laadvermogen zelf realiseerbaar zal zijn, zullen de batterijen aan boord van de veren deze vermogens niet (langdurig en/of continue) aankunnen.

Daarmee vallen de laadregimes van éénzijdig laden bij het NDSM-veer, de Houthavenveren en het Distelwegveer af. Enkel voor het Buikslotweg en IJpleinveer is een laadregime met éénzijdig laden mogelijk. Om tot een exacte invulling per veerverbinding te komen wordt in de volgende paragrafen ingegaan op de kansen & risico's en de kosten van laadvoorzieningen. Na een beschouwing van de ruimtelijke mogelijkheden in hoofdstuk 3 wordt in hoofdstuk 4 (in meer detail) invulling gegeven aan mogelijke laadregimes voor de verschillende Amsterdamse veerverbindingen.

2.4 Kosten van aanleg, beheer & onderhoud

Er is met meerdere marktpartijen gesproken om een beeld te krijgen van de kosten van laadvoorzieningen. Hoewel het geen volledig unieke voorzieningen betreft voor de scheepvaart, is dit wel het geval voor de koppeling tussen het schip en de wal. Hier bestaan alleen geen standaardproducten; er zijn slechts een handjevol voorbeelden beschikbaar van in werking zijnde systemen. Enkele voorbeelden zijn (zie bijlage C voor bronnen over deze projecten):

Project	**Korte omschrijving**
MF Ampere van Fjord 1, Noorwegen: 1 veer, sinds maart 2015 in de vaart. Een tweede soortgelijk schip is besteld	's Wereld eerste elektrische auto ferry. Overtocht van 6 kilometer. 1.000kWh batterijpakket, welke wordt geladen middels batterijstations op de kade die gevoed worden van het energienetwerk om zodoende de netwerkaansluiting niet te hoeven verzwaren.
Hybride veren voor Fjord 1, Noorwegen: 3 veren, vanaf 2018 in dienst.	Middelgrote auto en vrachtwagen geschikte veren. Ook hier wordt batterijopslag als buffer gebruikt om de benodigde laadvermogens (onbekend hoeveel) niet direct van het energienetwerk af te hoeven halen.
Elektra, Finland Finn Ferries: 1 veer vanaf de zomer van 2017 in de vaart.	Auto en vrachtwagen geschikte plug-in hybride veer met een overtocht van ongeveer 1,6km. 1 MWh batterijpakket aan boord, batterijbuffer voor het laden aan de wal. Automatisch koppelen voor laden.
HH Ferries, Denemarken/Zweden; 2 veren sinds juli 2017 in de vaart (Tycho Brahe en Aurora)	Grootste auto en vrachtwagen geschikte hybride veren met een overtocht van 1,6km. 4.000 kWh (4MWh) batterijpakket, 10 MW laadvermogen (direct op 10kV-netwerk). Maken gebruik van robotarm om koppeling te maken tijdens aanlanding.
Vision of the fjords, Noorwegen; 2 veren sinds zomer 2017 in de vaart	Hybride personenveer door UNESCO werelderfgoed fjord. 576kWh batterijpakket. Handmatige aankoppeling laadsysteem.

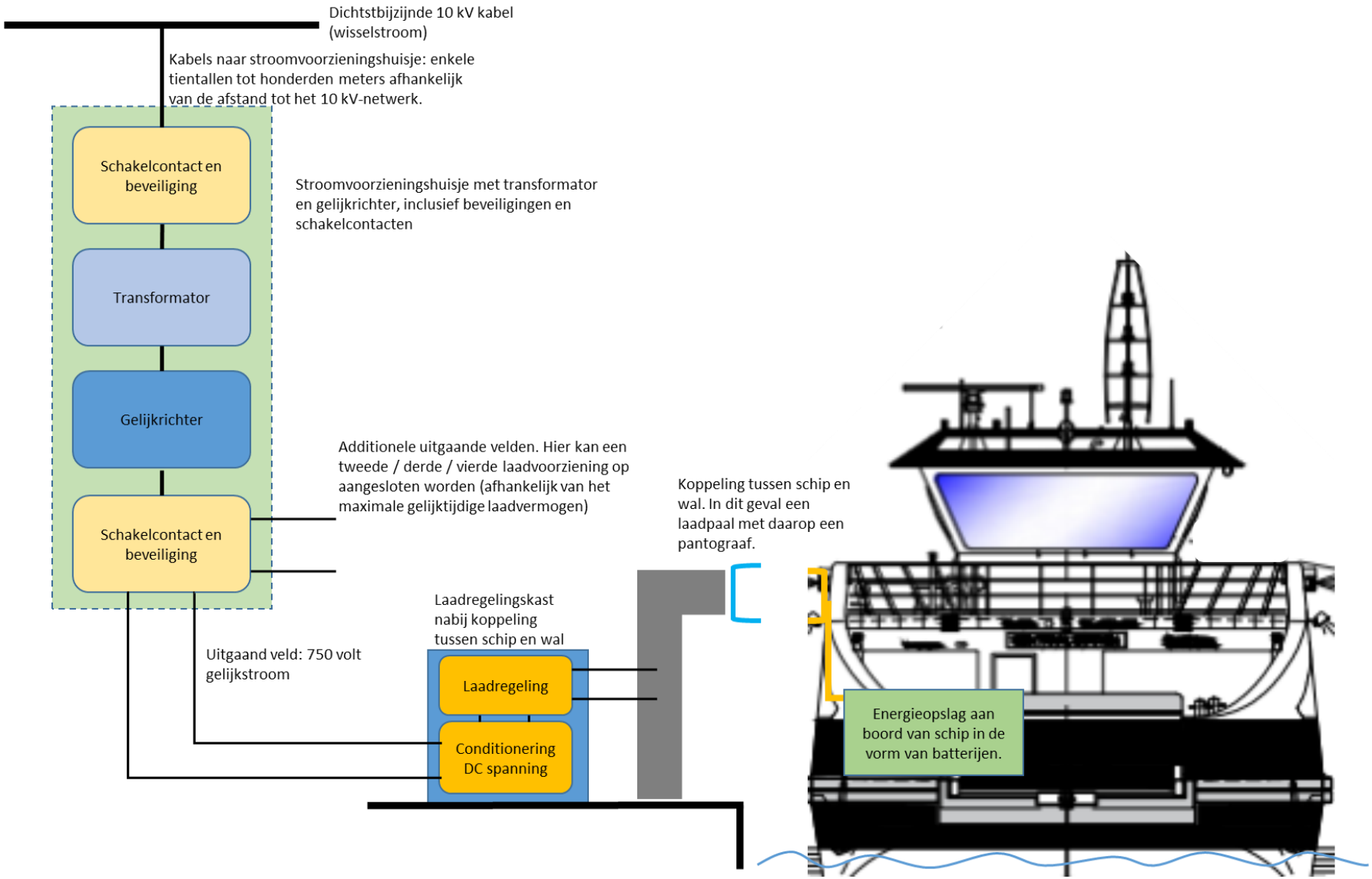
Tabel 8: Enkele voorbeelden van hybride en volledig elektrische veerverbindingen

Van deze systemen is gepoogd de kosten te achterhalen, wat voor enkele is gelukt. Zie Bijlage D voor een overzicht van de gesproken bedrijven en personen. Uit de achterhaalde informatie komt een beeld naar voren van relatief hoge kosten, als gevolg van de project specifieke omstandigheden en de uniekheid van ieder van deze oplossingen. Zo heeft het laadsysteem van HH ferries in totaal zo'n 28 tot 30 miljoen euro gekost. Dit zijn de kosten voor de batterijen (2 x 4MWh), het batterijmanagementsysteem van de twee veren en vier robotarmen.

Hoewel de kosten van dit specifieke project uitzonderlijk hoog zijn, komt uit gesprekken met leveranciers van laadvoorzieningen een algemeen beeld van hoge kosten naar voren. Wel zijn de kosten het sterk afhankelijk van de gevraagde vermogens en het toegepaste koppelingssysteem. Er zijn bijvoorbeeld wel meer standaardproducten beschikbaar uit andere sectoren die eveneens toepasbaar kunnen zijn voor de koppeling tussen wal en schip. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van een pantograaf zoals toegepast in zowel de tram- als buswereld. Dergelijke oplossingen bieden

aanzienlijk lagere kosten, zij het met beperkte vermogens: maximaal zo'n 500 kW. Ter illustratie: een geïnstalleerde pantograaf kost ongeveer 30.000 euro. Daarbij komen de kosten voor de stroomvoorziening en de fysieke voorzieningen op de wal om de pantograaf te positioneren en het laden te faciliteren.

Figuur 3 toont de verschillende benodigde onderdelen voor het laden van batterijen aan boord van een veer. De verschillende componenten en hun kosten komen in de volgende sub paragrafen aan bod.



Figuur 3: Schematische weergave van de verschillende onderdelen van de benodigde laadvoorzieningen voor het laden van batterijen van een veer.

2.4.1 Kosten voor aanleg van laadvoorzieningen

De kosten voor de aanleg van laadvoorzieningen zijn onder te verdelen in drie componenten (zie ook Figuur 3):

- Kosten voor de stroomvoorzieningen;
- Kosten voor de fysieke koppeling tussen wal en schip;
- Additionele kosten.

Deze worden ieder apart toegelicht in onderstaande sub paragrafen.

Stroomvoorziening

De kosten voor de stroomvoorziening zijn afhankelijk van het gevraagde vermogen. Op een locatie met meerdere fuiken met ieder een lader, kunnen deze op één stroomvoorziening aangesloten worden. Hiertoe moeten de vermogens van de individuele laders bij elkaar opgeteld worden om tot het benodigde aansluitvermogen te komen.

Onderstaande tabel toont de kosten voor verschillende aansluitingen op het stroomnet. Deze kosten zijn afkomstig van Liander: de netbeheerder in Amsterdam.

Type aansluiting	**Aansluitvermogen**	**Eénmalige aansluitkosten**
AC5a	160kVA – 630kVA	€17.880
AC5b	630kVA – 1MVA	€24.570
AC5	1 MVA – 2 MVA	€35.470
AC6	2 MVA – 5MVA	€223.980

Tabel 9: Aansluitkosten voor aansluiting op 10kV-net. Bron: website Liander

Naast een aansluiting op het energienetwerk dient de stroom gereed gemaakt te worden om van het net in de batterijen te komen. Dit behoeft drie stappen:

1) De stroom moet naar een lager spanningsniveau gebracht worden middels een transformator.
2) De stroom dient gelijk gericht te worden middels een gelijkrichter. Deze is benodigd omdat de stroom op het net wisselstroom is, waar batterijen gelijkstroom vereisen.
3) Als laatste dient er aan laadregeling gedaan te worden. Dit omdat de stroom gestabiliseerd moet te worden, en er gecommuniceerd dient te worden met de batterijen over het gevraagde en maximaal te leveren vermogen. Het vermogen dient tevens opgebouwd te worden: in één keer het volle vermogen is niet wenselijk voor de levensduur van de batterijen.

Voor alle drie de stappen dienen de genoemde componenten (een transformator, een gelijkrichter en een laadregeling) aangeschaft te worden bij een commerciële partij / commerciële partijen. Naast deze componenten zijn er kosten voor het aanleggen van de behuizing, bekabeling en benodigde veiligheidscomponenten. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende componenten en bijbehorende kosten. Deze tabel is grotendeels gebaseerd op Tabel 44 in het TNO rapport, aangevuld met bedragen uit recente projecten. Het betreft hier een inschatting van de kosten voor een AC5 aansluiting en bijbehorende componenten waarmee maximaal 2 megawatt aan vermogen geleverd kan worden. Ter toelichting: hiermee kunnen twee laadvoorzieningen van ieder 1 MW gelijktijdig van vermogen worden voorzien.

Kostencomponent stroomvoorziening	**Geschatte investeringsbedrag bij een maximaal vermogen van 2 MW**
AC5 aansluiting (afgerond: zie Tabel 9)	€ 35.000
Bekabeling	€ 100.000
Civiele werken	€ 150.000
Transformator (2.000 kVA)	€ 60.000
Gelijkrichter (2.000 kVA)	€ 300.000
Randapparatuur	€ 125.000
Projectmanagement	€ 30.000
Geschatte totale kosten stroomvoorziening (excl. BTW en eventuele additionele opslagen)	**~ € 800.000**

Tabel 10: Inschatting van de totale kosten voor stroomvoorzieningen van 2MW.

De kosten voor stroomvoorziening zijn afhankelijk van het te leveren vermogen. Onderstaande tabel toont inschattingen van de totale investeringskosten van verschillende aansluitvermogens. Naarmate het aansluitvermogen groter wordt, is er meer maatwerk vereist. Zo zijn de kosten van aansluitingen op het energienetwerk van Liander boven de 10 MW alleen inzichtelijk op aanvraag. Ook voor de verschillende componenten, zoals de transformator en gelijkrichter, zijn geen openbare cijfers bekend voor dergelijke grote vermogens. De tabel toont bedragen voor aansluitingen tussen de 850 kW (0,85 MW) en 5 MW: het ligt niet in de lijn der verwachting dat voor het laden van elektrische of hybride veren in Amsterdam grotere aansluitvermogens benodigd zijn.

Vermogen van de stroomvoorziening	**Geschatte investeringsbedrag voor de aansluiting en voorzieningen**
Tot 850 kilowatt	~ € 600.000
Tot 1,6 MW	~ € 700.000
Tot 2 MW (zie Tabel 10)	~ € 800.000
Tot 5 MW	~ € 1,2 – 1,4M

Tabel 11: Inschatting van de totale kosten voor stroomvoorzieningen bij verschillende aansluitvermogens.

Naast deze aansluitkosten zijn er periodieke en gebruikskosten voor de aansluiting en transportkosten. Kosten gedurende het gebruik van het systeem bedragen verder de kosten voor de stroom zelf. Deze zijn afhankelijk van afspraken tussen leverancier en afnemer, grotendeels gebaseerd op de totale hoeveelheid afgenomen energie. Periodieke en gebruikskosten bedragen zijn niet meegenomen in de hier getoonde benodigde investeringen, maar kunnen een significante bijdrage leveren aan de totale kosten van het laadsysteem[7]. Deze kosten dienen in overleg met stroomleveranciers vastgesteld te worden wanneer exacte locaties en aansluitvermogens bekend zijn van laadvoorzieningen. Het is in deze fase niet opportuun om een inschatting te maken van deze kosten.

Fysieke koppeling tussen wal en schip

Voor het koppelen van de laadvoorzieningen en het schip is een installatie nodig: een constructie op de wal (of een ponton) inclusief laadregelingen om het laadproces te faciliteren. Hiervoor bestaan nog geen standaarden, en de kosten zullen afhankelijk zijn van het te leveren vermogen en het gevraagde ontwerp (e.g. een laadpaal). Uitgaande van de laadvoorzieningen voor bussen die tot zo'n 500kW aan vermogen kunnen leveren worden deze kosten op €150.000 per laadvoorziening geschat, inclusief laadregeling (tot maximaal 500 kW). Voor laadvoorzieningen tot een megawatt worden de kosten op zo'n €200.000 geschat in verband met duurdere componenten voor het regelen van de hogere vermogens. Zie ook onderstaande tabel. De onzekerheid omtrent dit deel van de laadvoorzieningen is echter groter dan die voor de stroomaansluiting, als gevolg van het gebrek aan standaardproducten. Onderstaande kosten zijn gebaseerd op een koppeling middels een pantograaf. Gegeven de beperkte koppeltijd per laadmoment en de beperkte beschikbare ruimte lijkt dit een realistische oplossing voor de veerverbindingen over het IJ.

Laadvermogen per koppeling	**Geschatte investeringskosten per koppeling (walzijde)**
Tot 500 kW	€150.000
Tot 1.000kW / 1 MW	€200.000

Tabel 12: Inschatting van de investeringskosten voor de koppeling tussen wal en schip bij verschillende laadvermogens.

Ook aan de zijde van het schip zijn er enige kosten: een contactoppervlak voor bijvoorbeeld de pantograaf (in de vorm van enkele koperen strips) en een laadregeling c.q. batterijmanagementsysteem. Deze kosten worden door TNO en C-Job op 12.000 euro geschat (exclusief batterijen). Deze kosten aan de zijde van het schip worden in deze rapportage verder niet meegenomen maar worden verondersteld meegenomen te worden in de kosten voor aanschaf van de schepen.

Additionele kosten

Alle hier getoonde bedragen zijn exclusief BTW en exclusief eventuele additionele opslagen. Eventuele additionele opslagen kunnen voortkomen uit bijvoorbeeld risico-inschattingen, toezicht tijdens de installatie, onvoorziene posten, et cetera en zijn afhankelijk van de fase waarin een project zich bevindt (bijvoorbeeld een voorontwerp of realisatie). Bij publieke

[7] Voor meer informatie over deze periodieke kosten wordt verwezen naar de website van Liander: https://www.liander.nl/grootzakelijk/aansluitingen/tarieven2017/?ref=13591. Door de netbeheerder wordt een bedrag in rekening gebracht voor het aansluiten (éénmalig) en het transporteren van stroom. Deze laatste post betreft een vast maandelijks bedrag (uitgaande van meer dan 2MW bedraagt dit €230,-) en een bedrag per kWh. De totale kosten kunnen, afhankelijk van het aansluitvermogen en het verbruik, significant bijdragen aan de totale kosten van het systeem.

werken in Amsterdam is het te doen gebruikelijk voor dergelijke investeringen gebruik te maken van de Standaardsystematiek Kostenramingen (SSK-raming) van het CROW[8]. Deze opslagen bedragen al snel enkele tientallen procenten van de directe bouwkosten. Indien over wordt gegaan tot uitwerken van laadvoorzieningen, en er locaties en aansluitvermogens bekend zijn, dienen deze kosten inzichtelijk gemaakt te worden. Het is in deze preliminaire fase niet opportuun om een inschatting te maken van deze kosten.

Tevens zijn er nog de kosten voor de veren zelf. Hierover is meer te vinden in het genoemde TNO rapport. Een nieuw te bouwen hybride schip zal tussen de 3,75 en 4 miljoen euro liggen[9]. De exacte prijs is afhankelijk van de specificaties, waaronder de grootte van het batterijpakket. Het ombouwen van een type 60 serie-hybride veer (zoals de 60 en 61 veer zijn) naar een plug-in hybride kost volgens TNO en C-Job[10] naar verwachting zo'n 100.000 tot 200.000 euro. Ook dit is afhankelijk van de exacte specificaties, waaronder de grootte van het batterijpakket en de benodigde laadvoorzieningen aan boord van het schip.

2.4.2 Beheer- & onderhoudskosten

Naast investeringskosten voor de aanleg, zijn er tevens beheer- en onderhoudskosten voor laadvoorzieningen. Gegeven de beperkte en korte ervaring in de veerwereld met het laden van hybride en elektrische veren zijn er geen (openbare) exacte cijfers van onderhoudskosten. Op aangeven van marktpartijen en ervaringen met andere stroomvoorzieningen en laadvoorzieningen bij andere modaliteiten, worden de onderhoudskosten op zo'n 5 tot 10% van de investeringskosten per jaar geschat. Sommige leveranciers van laadvoorzieningen bieden zogenaamde *turn key* concepten aan, waarbij naast de aanschaf ook het onderhoud van de producten inbegrepen is. Hiermee biedt de markt grotere zekerheid van functioneren aan, waar vanzelfsprekend een prijs voor betaald wordt. De benaderde marktpartijen gaven aan dat de kosten voor dergelijke constructies per project bepaald worden, waardoor er geen uniform cijfer aan te koppelen is.

2.4.3 Conclusies met betrekking tot kosten voor aanleg en onderhoud

Geconcludeerd kan worden dat er nog weinig standaard producten beschikbaar zijn, waardoor er ook zeer beperkt prijzen beschikbaar zijn van een laadsysteem voor veren als geheel. Toepassingen van laadvoorzieningen voor hybride en elektrische veren zijn op dit moment maatwerk, waar een bijbehorend prijskaartje aan zit. Een aantal componenten zijn wel standaardproducten; hier zijn dan ook vrij gedetailleerd cijfers te geven. De kosten zijn sterk afhankelijk van het te leveren vermogen: één laadlocatie met meerdere fuiken is per fuik goedkoper dan hetzelfde aantal fuiken op een groter aantal locaties. Dit komt met name door de kosten voor de stroomvoorzieningen: een belangrijke kostendrijver in de aanleg van laadvoorzieningen. Meer concrete kosten worden gegeven in hoofdstuk 4, waar specifieke laadvoorzieningen besproken worden.

Verder dient er rekening gehouden te worden met opslagen bij het daadwerkelijk gaan realiseren van voorzieningen, als ook van periodieke en gebruikskosten: deze kunnen een significante impact hebben op de totale kosten van het veersysteem.

De aanschafkosten van hybride veren worden door TNO geschat op zo'n 3,75 tot 4 miljoen euro. De ombouwkosten (serie-hybride 60'er naar plug-in hybride) liggen naar de verwachting van TNO en C-Job op zo'n 100.000 tot 200.000 euro.

Op aangeven van marktpartijen en ervaringen met andere stroomvoorzieningen en laadvoorzieningen bij andere modaliteiten, worden de jaarlijkse onderhoudskosten op zo'n 5 tot 10% van de investeringskosten geschat.

2.5 Kansen en risico's hybride en elektrische veren

Naast de hiervoor gegeven omschrijvingen en getrokken conclusies omtrent laadvoorzieningen voor veren zijn er enkele kansen en risico's bij het realiseren van veerverbindingen met hybride en elektrische veren. In deze paragraaf worden de voornaamste besproken, aan de hand van drie onderwerpen:

- benodigde laadvermogens;
- technische complexiteit;
- toekomstige ontwikkelingen.

Deze drie onderwerpen worden ieder in de volgende sub paragrafen toegelicht.

[8] Voor meer informatie: https://www.crow.nl/getmedia/16019e76-62b8-480c-b38a-94288f88efb3/SSK-in-kort-bestek-v-1-0-dd-23-5-2011.aspx
[9] Zie TNO-rapport, pp 26 – 31
[10] TNO: pp32, als ook het C-Job rapport: pp 10-12 (verschilprijs serie versus plug-in)

2.5.1 Benodigde laadvermogens

Op basis van de benodigde laadvermogens bij de verschillende laadregimes (zie Figuur 2) kan geconcludeerd worden dat er in veel gevallen laadvermogens van enkele honderden kilowatten tot enkele megawatten benodigd zijn. Met name de veerverbindingen die een hoog energieverbruik per overtocht kennen in combinatie met korte waltijden, zoals het NDSM en Houthavenveer, vereisen bij laden aan één zijde meer dan een megawatt aan laadvermogen. Hoewel er in sommige sectoren, en ook bij veerverbindingen tussen bijvoorbeeld Denemarken en Zweden aanzienlijk hogere vermogens toegepast worden (tot wel 10 megawatt) kunnen de hier berekende vermogens voor de Amsterdamse IJ-veren als hoog bestempeld worden. Ter vergelijking: in de auto-industrie wordt sinds kort getest met 150 kilowatt laden wat een unicum is gegeven de huidige vermogens tot maximaal 50 kilowatt. En ook in de buswereld is het maximaal toegepaste vermogen nog geen 500 kilowatt. Een vermogen van 1.000 kilowatt (wat gelijk staat aan één megawatt) is dan ook niet gering; zeker niet wanneer dit zoals bij Centraal Station voor 2 of zelfs 4 fuiken benodigd zou zijn.

De genoemde laadvermogens gelden bij een volledig elektrische inzet: de vermogens zijn toereikend om volledig op elektrische energie de huidige dienstregelingen te realiseren. Twee kanttekeningen zijn hierbij op hun plaats. Ten eerste dat de parameters die bepalend zijn voor het volledig uitstootvrij varen op batterijen zeer gevoelig voor afwijkingen. Zo kan het verbruik tijdens een overtocht enkele procenten toenemen als gevolg van overig verkeer of een minder ervaren schipper. Bij een lage buitentemperatuur kunnen de prestaties van de batterijen significant dalen; enkele tientallen procenten is niet ongebruikelijk zoals toepassingen in andere modaliteiten laten zien. En in geval van vertraging gedurende een overtocht, is er al snel significant minder tijd beschikbaar om te laden. Deze en andere parameters maken een volledig elektrisch systeem vooralsnog minder betrouwbaar. Wanneer één van de hier geschetste situaties zich voordoet, is het niet ondenkbaar dat de dienstregeling niet gerealiseerd kan worden.

Ten tweede is er met plug-in hybrides de mogelijkheid om niet volledig elektrisch te varen. Met een plug-in hybride veer bestaat immers de mogelijkheid om ook op de (diesel)generatoren te varen. Met een vloot van plug-in hybride type 60 veren bestaat de mogelijkheid om enkele van de veerverbindingen volledig elektrisch te varen bij een beperkt laadvermogen (minder dan 500 kilowatt): het Buiksloterwegveer en het IJpleinveer. Dit kan zelfs bij het aan één zijde laden. De overige verbindingen vereisen aanzienlijk hogere vermogens, zeker wanneer er slechts aan één zijde geladen wordt. Wanneer één van de parameters door omstandigheden (tijdelijk) wijzigt en er als gevolg bijvoorbeeld te weinig laadtijd beschikbaar is of er meer energie benodigd is dan waar de batterijen op berekend zijn, dan kunnen de verbindingen met een plug-in hybride deels op elektrische energie en deels op diesel gevaren worden. In het geval van volledig elektrische veren kan de dienstregeling niet gerealiseerd worden.

Ondanks deze kanttekeningen laten de benodigde vermogens duidelijk zien dat laadvoorzieningen voor hybride of elektrische schepen mogelijk is op basis van de benodigde vermogens. Wel zijn de vermogens op sommige verbindingen dusdanig hoog dat de grenzen van wat de batterijen aankunnen opgezocht wordt, gegeven de geduide uitgangspunten.

2.5.2. Technische complexiteit

Hoewel het technisch mogelijk is om elk gevraagd vermogen voor elk type veerverbinding te leveren, is er op dit moment weinig ervaring in de scheepvaart met plug-in hybride en elektrische veren. Zeker een toepassing zoals in Amsterdam (relatief kleine veren met een korte overtocht in hoge frequentie en met korte waltijden) is voor zover bekend nog niet gerealiseerd in plug-in hybride of elektrische variant. Er is dan ook geen sprake van standaardproducten, met name voor de koppeling tussen wal en schip.

Gecombineerd met de hoge frequentie waarmee de laadinfrastructuur in Amsterdam ingezet zal worden (hoger dan waar vooralsnog ook toegepast), betekent het niet bestaan van een bewezen configuratie een risico in termen van betrouwbaarheid van het functioneren van een dergelijk systeem. Gegeven het uitgangspunt van behoud van de huidige dienstregeling, is het niet beschikbaar zijn van standaard producten een belangrijke reden om op dit moment af te zien van de aanbeveling voor volledig elektrische veren, waar het systeem te allen tijde afhankelijk is van de laadvoorzieningen. Dit argument gaat ten delen ook op voor plug-in hybride, waar soortgelijke laadvoorzieningen vereist zijn, maar hier kan het systeem ook nog gebruik maken van de secundaire dieselaandrijving. Dit zou betekenen dat met plug-in hybride schepen er minder risico is op het niet kunnen garanderen van de dienstregeling; de overtochten zullen (in het geval van niet toereikende of falende laadvoorzieningen) echter niet volledig uitstootvrij zijn.

2.5.3 Verwachtte ontwikkelingen: de komende 5 tot 10 jaar

De huidige technieken van hybride en elektrische veren zijn betrekkelijk nieuw: er bestaan pas sinds enkele jaren commerciële toepassingen van dergelijke systemen. Dit is eveneens te zien aan het ontbreken van laadstandaarden: zowel op het gebied van hardware als software (interfaces/communicatie-protocollen). Daar staat tegenover dat de beweging van fossiele brandstoffen naar uitstootvrije systemen in andere modaliteiten volop in ontwikkeling zijn. Gegeven de gedeelde componenten ligt het dan ook in de lijn der verwachting dat voor de verensector de ontwikkelingen in de komende paar

jaar hard kunnen gaan. Zowel door een groeiend aantal toepassingen in de sector zelf als ook door ontwikkelingen in andere modaliteiten.

Ontwikkelingen die zich de komende vijf tot 10 jaar voor gaan doen zullen o.a. zijn op het gebied van:

- Prijs; de huidige prijzen zullen dalen door volume in productie. Dit geldt zowel voor de installaties in de veren (met name de batterijen) als de laadvoorzieningen.
- Batterijcapaciteit; hetzelfde formaat/ gewicht aan batterijen zal meer energie bij zich kunnen dragen. Hoeveel hier exact van te verwachten valt is onduidelijk. De wetenschap is het er over eens dat er nog verbeteringen binnen de bestaande technieken mogelijk zijn. Naar verwachting zullen dit met de bestaande technieken niet meer de grote sprongen zijn die de afgelopen jaren te zien zijn geweest. Naar verwachting groeit de energiedichtheid met enkele procenten per jaar Daarmee is uiteraard niet gezegd dat een grote sprong vooruit niet van een nieuwe techniek kan komen.
- Laadsnelheid; door middel van o.a. hogere laadvermogens zullen batterijen sneller geladen kunnen worden. Deze ontwikkeling zit eveneens meer aan de zijde van de batterijen. De laadvoorzieningen zelf kennen relatief weinig beperkingen als het gaat om het over te brengen vermogen: de batterijen zijn hier echter de beperkende factor.
- Energiebesparing; door efficiëntere aandrijflijnen en lichtere schepen zal het energieverbruik van veren dalen.

Zeker wanneer de dieselprijzen stijgen zullen de hier genoemde ontwikkelingen zorgen voor een versnelling van de verschoning van zowel de verensector als andere modaliteiten. Gegeven dat deze ontwikkelingen zich continue voordoen, verdient het de aanbeveling om ten tijde van de aanschaf of ombouw van schepen altijd rekenschap te nemen van de dan geldende stand van de technieken. Ook wanneer batterijpakketten aan vervanging toe zijn (wat zonder meer het geval gaat zijn voordat de veren zelf afgeschreven zijn) kunnen de genoemde ontwikkelingen een positieve bijdrage leveren aan de uitstootvrije mogelijkheden op de veerverbindingen.

2.6 Conclusies omtrent laadvoorzieningen vanuit technisch oogpunt

Hoewel de markt van hybride en elektrische veren nog relatief jong is, en er nog geen technische standaardaarden bestaan, zijn er zonder meer technische mogelijkheden om de Amsterdamse veerverbindingen te verschonen. Volledig elektrische veren inzetten op het merendeel van de verbindingen lijkt op dit moment niet realistisch. Hiervoor geven de batterijpakketten die fysiek in de veren passen te weinig speling als het gaat om het realiseren van de dienstregelingen onder alle omstandigheden. Ook zijn de benodigde vermogens gebaseerd van de verbruikscijfers van de veren, die gevoelig zijn voor afwijkingen. Dit maakt het dat de benodigde vermogens en/of benodigde hoeveelheid energie aan boord van de veren in de praktijk mogelijk nog hoger liggen, en daarmee de grenzen van wat mogelijk is gepasseerd worden. Toekomstige ontwikkelingen kunnen hier verandering in brengen, bijvoorbeeld wanneer er meer batterijcapaciteit aan boord van de veren ontstaat.

Voor het merendeel van de veren zijn (in vergelijking tot andere sectoren met laadvoorzieningen) relatief hoge laadvermogens benodigd. Dit is niet zozeer een probleem in termen van realiseerbaarheid van de stroomvoorzieningen, maar vereist mogelijk dure toepassingen. Daarbij geldt ook dat gegeven de beperkte ruimte voor het inpassen van batterijpakketten in de veren het de vraag is óf en zo ja tegen welke kosten dergelijke hoge laadvermogens losgelaten kunnen worden op de veren.

Alles in ogenschouw nemend lijkt plug-in hybride vanuit technisch oogpunt de meest voordehand liggende optie tot verschoning. Zowel aan stroomvoorziening zijde, op het gebied van de koppeling tussen wal en schip als ook voor wat betreft de benodigde batterijcapaciteiten aan boord van de veren. De aanwezige dieselgeneratoren bieden de zekerheid van het realiseren van de dienstregeling onder alle omstandigheden. Naar verwachting is het met laden aan twee zijden en in sommige gevallen zelfs aan één zijde mogelijk om de meeste veerdiensten volledig elektrisch te realiseren.

Toekomstige ontwikkelingen zullen de verschoning van de vloot verder ondersteunen. De voorziene ontwikkelingen binnen zowel de scheepvaart en verensector, als ook die binnen andere modaliteiten, zullen de komende jaren voor grotere kansen op volledig uitstootvrije veerverbindingen zorgen.

3 Ruimtelijke inpasbaarheid

Om een beeld te vormen van de (on)mogelijkheden rondom de implementatie van laadvoorzieningen is er gesproken met gebiedsmanagers van alle aanlandingen als eerste verkenning van ruimtelijke inpasbaarheid. Deze gesprekken laten een uniforme uitkomst zien: laadvoorzieningen niet zonder meer inpasbaar. Lopende of geplande projecten en (lokale) vereisten omtrent voorzieningen in de openbare ruimte maken het dat nieuw aan te leggen voorzieningen niet direct inpasbaar zijn. Hoewel er oplossingen bestaan, bijvoorbeeld door (een deel van) de laadinfrastructuur inpandig aan te leggen, zijn er geen Amsterdam-brede oplossingen beschikbaar voor de benodigde laadvoorzieningen. Zie Bijlage D voor de gesproken personen binnen de gemeente Amsterdam.

3.1 Benodigde laadvoorzieningen in ruimtelijke zin

Laadinfrastructuur bestaat uit verschillende onderdelen; zie ook Figuur 3. Aan de wal betreft het een deel voor de stroomvoorziening en een deel voor koppeling tussen de stroomvoorziening en het schip.

3.1.1 Stroomvoorzieningen

De stroomvoorzieningen bestaan (meestal) uit een aansluiting op het elektrische energienetwerk, een transformatorhuisje (om de stroom naar een lagere spanning te transformeren) en in sommige gevallen een gelijkrichter om de stroom gelijk te richten. Dit laatste is soms onderdeel van de laadvoorzieningen van het schip zelf, die altijd bestaat uit laadregelingskasten en koppeling met veer. Het is onder meer afhankelijk van de productleverancier van de voorzieningen welke onderdelen exact benodigd zijn en waar deze geplaatst dienen te worden. Zo zijn er systemen waarbij het gelijkrichten van de stroom aan boord van het schip plaatsvindt, maar ook waar dit direct na het transformeren van de stroom plaatsvindt aan de walzijde. Gelijkrichten aan boord van het schip lijkt op dit moment geen logische toepassing op het type 60 veer, gezien de beperkt beschikbare ruimte. De nog beschikbare ruimte is benodigd om de gewenste groei in batterijcapaciteit te realiseren, wat betekent dat het gelijkrichten aan de walzijde zal moeten plaatsvinden.

Dit alles is van belang voor de ruimtelijke impact van de laadvoorzieningen. Een transformatorhuisje is al snel enkele vierkante meters groot. Wanneer hier eveneens een gelijkrichter bij voorzien is aan de walzijde wordt dit navenant groter, tot enkele tientallen vierkante meters en meerdere meters hoog. Zie onderstaand figuur voor een weergave van een gecombineerd transformator- en gelijkrichterstation. De exacte afmetingen zijn afhankelijk van de benodigde laadvermogens.



Figuur 4: Een gecombineerd transformator- en gelijkrichterstation in het centrum van Amsterdam (Rokin) Bron: www.wijnemenjemee.nl

Een mogelijk alternatief in geval van beperktere benodigde vermogens is de toepassing van een “mini-gelijkrichter”. Er zijn enkele marktpartijen die een dergelijk product aanbieden: een gelijkrichterstation met een beperkter vermogen (850kVA) dat binnen een oppervlakte van 15 m² past. Daarmee zou dit object vergunningsvrij gebouwd kunnen worden, waarmee niet alleen de ruimtelijke impact kleiner is maar ook de realisatietijd verkort zou kunnen worden; zie volgende paragraaf.

3.1.2 Koppeling tussen wal en schip

De ruimtelijke impact is op twee manieren afhankelijk van het aantal fuiken op een aanlanding. Ten eerste omdat hoe meer fuiken er voorzien moeten worden van laadvoorzieningen, hoe meer apparatuur er in de openbare ruimte staat. Ten tweede omdat met een toenemend aantal fuiken met laadvoorzieningen, neemt ook het totaal benodigde vermogen op de betreffende locatie toe. Hoe groter het benodigde vermogen, hoe groter de ruimtelijke impact van de benodigde onderdelen voor stroomvoorzieningen.

Onderstaande tabel toont het aantal fuiken per aanlanding, in de situatie van de genoemde verbindingen: na 2018. Afhankelijk van de invulling van het laadregime zullen niet op alle fuiken van laadvoorzieningen geïnstalleerd hoeven te worden. Hierover meer in hoofdstuk 4.

Aanlanding	**Aantal fuiken (na 2018)**	**Toelichting**
Pontsteiger / Houthavens	2	Wordt nog aangelegd, icm nieuwbouw; medio 2018 gereed.
De Ruyterkade West	4	Huidige situatie blijft bestaan. 4 fuiken direct naast elkaar
De Ruyterkade Oost	2	Wordt verplaatst naar verlengde van Oosterdokskade.
IJplein	2	Huidige situatie blijft bestaan.
Buiksloterweg	2-3	Blijft zelfde, maar krijgt bebouwing in omgeving. 2 fuiken met v-vormige pier ertussen. Mogelijk dat er drie fuiken vereist zijn.
Distelweg	1	Blijft zelfde, maar krijgt gebouwen in omgeving. 2 fuiken met v-vormige pier ertussen, tweede fuik is buiten gebruik.
NDSM	3	Blijft zelfde, maar krijgt wel woningbouw rondom. 3 fuiken met tussenruimte

Tabel 13: Aantallen fuiken per aanlanding voor de veerverbindingen zoals geldend vanaf na 2018

Er bestaan manieren om de ruimtelijke impact van de laadvoorzieningen te beperken. Een daarvan is al kort aangestipt bij de stroomvoorzieningen: het benodigd vermogen beperken indien mogelijk. Dit is echter niet vrijelijk te kiezen, en afhankelijk van het benodigde vermogen ter plaatse. Er bestaan echter twee mogelijkheden om de ruimtelijke impact te beperken. Hier volgt een korte omschrijving van deze twee mogelijkheden: meer hierover in hoofdstuk 4.

- Mogelijk ruimtebesparing 1: laadvoorzieningen op pontons naast bestaande fuiken (indien mogelijk). Dit heeft een beperkte impact op openbare ruimte, door een deel van de koppeling tussen wal en schip op een ponton te plaatsen. De stroomvoorzieningen zullen wel in bestaande openbare ruimte geplaatst moeten worden: deze kunnen niet op het water geplaatst worden. Naast een ruimtelijk voordeel heeft deze oplossing een technisch voordeel als gevolg van het gezamenlijk bewegen van de laadvoorzieningen: het systeem wordt minder gevoelig voor storingen als gevolg van bewegingen door fluctuaties in waterhoogtes.

- Mogelijk ruimtebesparing 2: een laadhub, zoals ook toegepast in de buswereld. Dit betreft een vaste locatie om schepen van meerdere verbindingen te laten laden. Dit vereist pendelen tussen aanlandingen en laadhub. Naar verwachting resulteert dit in additionele veren. Het voordeel van deze oplossing is dat er op één (of meerdere) centrale locatie(s) laadvoorzieningen getroffen hoeven te worden, waardoor er op de aanlandingen zelf geen voorzieningen getroffen hoeven te worden. Dit scheelt daarmee, naast de ruimtelijke impact, mogelijk ook in de aanlegkosten. Wel zijn er bijkomende kosten als gevolg van additionele vaarkilometers, en mogelijk door de noodzaak voor extra veren.

3.2 Planning: te doorlopen procedures en lengte van bouwperioden

Naar verwachting dient er, gegeven de hoogte van de investeringskosten van de voorzieningen, een aanbesteding doorlopen te worden voor de aanschaf van de benodigde laadvoorzieningen. Hiervoor staat een termijn van ongeveer 6 maanden vanaf de start aanbesteding (zonder de engineerings- en voorbereidingstijd) voor een EU aanbesteding. Na gunning dient de leverancier de materialen te leveren (eventueel eerst te produceren) en installeren. De duur hiervan zal verschillen per producent, en of de leverancier de materialen op voorraad heeft. Indien dit laatste het geval is wordt door de markt aangegeven dat het leveren en installeren van de laadvoorzieningen binnen een half jaar gerealiseerd kan zijn: in sommige gevallen (afhankelijk van de complexiteit van het te plaatsen laadsysteem) zelfs binnen enkele maanden. De benodigde materialen voor de stroomvoorzieningen kennen naar verwachting eenzelfde doorlooptijd: ongeveer een half jaar. Het totaal voor aanbesteden en realiseren komt daarmee op ongeveer een jaar tijd.

Naast de aanbesteding en realisatie dient er rekening gehouden te worden met ruimtelijke procedures. De te volgen ruimtelijke procedures, bijbehorende termijnen en vergunningen voor het plaatsen van laadinfrastructuur zijn afhankelijk van de plaats en het gekozen laadsysteem. Zodra er in de aanbesteding bekend is welk product er besteld gaat worden en waar deze geplaatst gaat worden kan met deze informatie het te doorlopen traject omtrent bouwen doorlopen worden. Relevant daarbij is de omvang van benodigde onderdelen: laadvoorziening en aanvullende objecten als een transformatorhuis en gelijkrichterstation en de eventuele ruimte die het bestemmingsplan biedt.

Vergunningsvrij

De onderdelen voor het laadsysteem kunnen vergunningsvrij zijn, indien deze aan bepaalde voorwaarden voldoen. In dat geval hoeft geen vergunning afgegeven te worden voor de bouw van deze objecten. De voorwaarden zijn opgenomen in de zogenaamde ‘kruimellijst’, opgenomen in Bijlage II, artikel 2 Besluit omgevingsrecht (Bor). Dit geldt voor bouwwerken ten behoeve van een infrastructurele of openbare voorziening, waaronder bouwwerken ten behoeve van nutvoorziening en het opladen van accu’s van elektrische voertuigen. Denk aan de laadvoorziening, een transformatorhuis en een gelijkrichterstation, maar ook bovenleidingen met bijbehorende draagconstructies.

Afwijkingsmogelijkheden

Indien de benodigde bouwwerken niet binnen de randvoorwaarden van kruimellijst vallen, dient er een andere procedure gevolgd te worden.

- Dat kan een reguliere procedure zijn, indien het bouwwerk middels een binnenplanse afwijkingsprocedure gerealiseerd kan worden. Voor het afgeven van de vergunning staat een termijn van 8 weken.

- Als bovenstaande procedure niet mogelijk is vanwege beperkingen in het betreffende bestemmingsplan, moet een buitenplanse afwijkingsprocedure gevolgd worden. Deze kan regulier (8 weken) en uitgebreid (26 weken) zijn.

Bezwaar- en beroepsprocedures kunnen leiden tot een langer proces totdat een vergunning onherroepelijk is. Gezien de praktijk in Amsterdam, moet daarom rekening worden gehouden met een bandbreedte van de totaalduur van 6 maanden tot 2,5 jaar.

Het bovenstaande is gebaseerd op de huidige wetgeving. Zoals het er nu naar uitziet treedt halverwege 2019 de omgevingswet in werking. Er zullen dan andere procedures van toepassing zijn. Naar alle waarschijnlijkheid veranderd de regelgeving over vergunningsvrij bouwen ook. Welke impact dit heeft op de doorlooptijd voor de realisatie van laadinfrastructuur is op het moment van schrijven nog onduidelijk.

3.3 Conclusies met betrekking tot ruimtelijke impact

Voor een plug-in hybride en een elektrisch systeem zijn op meerdere locaties laadvoorzieningen aan de wal vereist. De realiseerbaarheid van deze voorzieningen geldt als een implementatierisico. Een eerste inschatting van de mogelijkheden laat zien dat er meerdere locaties zijn waar er niet zonder significante ingrepen in de openbare ruimte laadinfrastructuur gerealiseerd kan worden. Het verdient de aanbeveling om in meer detail onderzoek te doen naar de ruimtelijke impact van laadvoorzieningen op de huidige aanlandingen. Te beantwoorden vragen daarbij zijn onder andere: Welke (on)mogelijkheden bieden reeds geplande of in uitvoering zijnde projecten? Welke mogelijkheden zijn er als alternatief voor infrastructuur op het maaiveld? Etc. Een mogelijk interessant alternatief voor laadvoorzieningen op de bestaande aanlandingen is het toepassen van een laadhub-concept. Dit vereist verdere analyse (inclusief aangepaste planning voor het laden) om de kansen en impacts te bepalen. Zie voor een eerste aanzet hiertoe paragraaf 0.

De doorlooptijd voor de realisatie van laadinfrastructuur is afhankelijk van de vigerende regelgeving. Indien de voorzieningen vergunningsvrij gebouwd kunnen worden kan de doorlooptijd beperkt blijven tot 6 maanden procedures. De bouwtijd zelf, in combinatie met de aanbesteding bedraagt ongeveer een jaar, waarmee de totale realisatietijd van de infrastructuur op zo'n anderhalf jaar ligt. Eventuele bezwaren kunnen dit verlengen tot in totaal zo'n 3,5 jaar (aanbesteding en realisatie). De toepassing van kleinere objecten (zoals een "mini-gelijkrichter") kan de anderhalf jaar mogelijk verkort worden tot ongeveer een jaar, door het wegvallen van de noodzaak van een omgevingsvergunning. Dat zou betekenen dat het kritieke pad wordt gevormd door de levertijd dan wel ombouwtijd van de veren (1,5 jaar).

4 Laadalternatieven voor de Amsterdamse veren

Op basis van de technische en ruimtelijke mogelijkheden zijn drie alternatieven samengesteld om de laadvoorzieningen voor hybride veren in Amsterdam invulling te geven. De belangrijkste conclusies voor het bepalen van laadalternatieven volgend uit voorgaande zijn:

- Uit technisch oogpunt (inpasbaarheid van benodigde batterijpakket) als ook vanuit het oogpunt van uniformiteit is de inzet van hybride veren te verkiezen boven de inzet van volledig elektrische schepen in te zetten. Elektrische veren (met de maximale batterijcapaciteit) zouden niet op andere verbindingen ingezet kunnen worden zonder additionele laadtijd in te moeten plannen. Met hybride veren is op enkele van de verbindingen volledig uitstootvrij te varen. Hierover meer bij alternatief in 1.
- De benodigde laadvermogens betekenen dat op sommige verbindingen er met laadvoorzieningen aan één zijde volstaan kan worden, en op andere op twee (of meer, in geval van het Houthavenveer). Zie alternatief 1.
- Gegeven de ruimtelijke beperkingen op sommige aanlandingen om laadvoorzieningen te treffen, het interessant om naar alternatieven te kijken voor laadvoorzieningen op de bestaande aanlandingen.

Dit resulteert in de volgende drie alternatieven die in onderstaande sub paragrafen worden behandeld:

- Alternatief 1: het laden van hybride veren op bestaande aanlandingen.
- Alternatief 2: het laden van hybride veren vanaf laadhublocaties
- Alternatief 3: combinatie van alternatief 1 en 2

4.1 Alternatief 1: laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen

Wanneer er laadvoorzieningen aangelegd gaan worden om hybride schepen van elektrische energie te voorzien, gebeurt dit idealiter op locaties waar de schepen nu ook al komen en binnen het tijdsbestek dat er binnen de huidige dienstregeling beschikbaar is. Op die manier heeft het introduceren van schone schepen het minste impact op de dienstregeling. Met het oog met een minimale ruimtelijke impact gebeurt dit verder op zo min mogelijk locaties: laadvoorzieningen aan één bestaande aanlanding. Gecombineerd met de wens om zo snel mogelijk uitstootvrij te varen is het voordehand liggend om hybride veren (met een accupakket van maximaal 500 kWh) in te zetten op de verbindingen waar volledig uitstootvrij gevaren kan worden. Met laadvoorzieningen (met een maximaal laadvermogen van 1.000kW ofwel 1 MW) aan één zijde van de verbinding is dit realiseerbaar op de volgende verbindingen met de getoonde vermogens (zie ook de eerder getoonde Tabel 6):

Veerverbinding	Benodigd vermogen per zijde (kW), afgerond op tientallen
Buiksloterwegveer	390
IJpleinveer	340

Tabel 14: Voorziene uitstootvrije veerverbindingen voor éénzijdig laden (met maximaal 1MW) bij alternatief 1

Met het oog op de ruimtelijke beperkingen aan de Centraal Station-zijde van het IJ, is het voordehand liggend om voor deze beide verbindingen de laadvoorzieningen aan de noordzijde te realiseren. Daarnaast bieden de ontwikkelingen rond Buiksloterweg kansen voor de realisatie van nieuwe structuren zoals stroomvoorzieningen. Onderstaande tabel toont het aantal fuiken per verbinding (zie Tabel 13), die allen van het in Tabel 14 getoonde vermogens voorzien dienen te worden, wat resulteert in een totaal benodigd vermogen voor de stroomvoorzieningen:

Aanlanding	**Maximaal gelijktijdig in gebruik zijnde fuiken**[11]	**Vermogen per fuik** (in kW; zie Tabel 14)	**Totaal benodigd vermogen** (in kW afgerond op honderdtallen)
Buiksloterweg	2	390 kW	~800 kW
IJplein	2	340 kW	~700 kW

Tabel 15: aantal fuiken en benodigd vermogen bij uitstootvrije verbindingen bij éénzijdig laden

Het totaal aan laadvoorzieningen (zoals omschreven in 0) bestaande uit stroomvoorziening en een koppeling tussen de stroomvoorziening en het schip, bijvoorbeeld in de vorm van een pantograaf, is schematisch weer gegeven in onderstaande figuur. Hierbij is voor de stroomvoorzieningen een willekeurige locatie gekozen ter illustratie van de ruimtelijke impact, waarbij de eerder genoemde afmetingen van ongeveer 10 meter bij 4 meter zijn aangehouden. Een exacte locatie zal in overleg met betrokken instanties gekozen moeten worden. Indien er besloten wordt gebruik te maken van lagere aansluit- en laadvermogens neemt de ruimtelijke impact af met enkele vierkante meters (zie ook hoofdstuk 3). De hier weergegeven situatie geldt is een *worst case* inschatting van de ruimtelijke impact.

Voor de koppeling tussen de stroomvoorziening en de veren is schematisch een ponton met daarop een pantograaf weergegeven: de groene rechthoeken. Ook hiervoor zal met betrokken instanties, als ook met de markt gekeken moeten worden naar realiseerbare oplossingen. Voor de afmetingen is ongeveer 8 meter bij 5 meter ingetekend. Dit zou afdoende ruimte moeten bieden voor de benodigde constructie als ook enige ruimte voor het plegen van onderhoud; voor exacte afmetingen zal bij de aanleg van de voorzieningen in overleg getreden moeten worden met leveranciers.



Figuur 5: Schematische weergave van de benodigde laadvoorzieningen voor alternatief 1 bij de Buiksloterweg aanlanding, uitgaande van een situatie met twee fuiken. In het groen de benodigde laadvoorzieningen (tweemaal), wanneer geplaatst op een ponton (~8 x 5 meter). In het geel de benodigde stroomvoorzieningen (~10 x 4 meter).

Eenzelfde situatie doet zich voor bij de IJplein aanlanding. Onderstaand figuur toont wederom een schematische weergave van de benodigde laadvoorzieningen: stroomvoorzieningen (in het geel, op een willekeurige plaats) en de koppeling met de schepen (in de vorm van een pantograaf op een ponton; in het groen).

[11] Hoewel sommige aanlandingen drie fuiken beschikbaar hebben, is in overleg met de gemeente Amsterdam de aanname gedaan dat er nooit meer dan twee fuiken gelijktijdig bezet zullen zijn. Hiermee blijft het maximale aansluitvermogen voor alle verbindingen binnen de eerder getoonde maximale aansluitwaarde van 2 MW. Indien in de toekomst er mogelijk toch drie (of meer) fuiken gelijktijdig bezet zijn om schepen te laden dient er rekening gehouden te worden met significante kostenstijgingen als gevolg van een grotere aansluiting en dito stroomvoorzieningen (i.e. transformator en gelijkrichter).



Figuur 6: Schematische weergave van de benodigde laadvoorzieningen voor alternatief 1 bij de IJplein aanlanding. In het groen de benodigde laadvoorzieningen (tweemaal), wanneer geplaatst op een ponton (~8 x 5 meter). In het geel de benodigde stroomvoorzieningen (~10 x 4 meter).

Laadvoorzieningen op overige verbindingen

Voor het overige deel van de verbindingen kan eenzelfde strategie worden gehandhaafd: hybride veren met laadvoorzieningen aan één of twee zijdes van de verbinding. De keuze voor één- of tweezijdig laden hangt af van twee factoren: de ruimtelijke mogelijkheden bij de verschillende aanlandingen en de technische beperkingen met betrekking tot laadvermogen. Ruimtelijk lijken er vooral beperkingen bij de aanlandingen bij Centraal Station. Technisch speelt met name het maximale laadvermogen dat de batterijen aankunnen: meer dan 1.000 kW (= 1 megawatt/MW) laden is niet wenselijk met de gegeven batterijcapaciteit (500 kWh). Met laadvoorzieningen aan één zijde kan er op alle verbindingen deels uitstootvrij gevaren worden. Met laadvoorzieningen aan beide zijden van de verbindingen kan er met het maximale laadvermogen in theorie op alle spitsverbindingen uitstootvrij gevaren worden.

Indien er volledig uitstootvrij gevaren wordt op de overige verbindingen wordt het maximale laadvermogen (1 MW) overschreden indien er aan één zijde geladen wordt. Zie Figuur 2**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**: dit geldt voor het NDSM, het Houthavenveer en zijn spitsverbindingen. Wanneer er aan twee zijdes geladen wordt, komt alleen het benodigd laadvermogen van het NDSM-veer op de grens van 1 megawatt laden indien er volledig uitstoot vrij gevaren dient te worden. Uitgaande van hybride veren die eveneens gebruik kunnen maken van de dieselgeneratoren kan er voor een deel van de tijd uitstootvrij gevaren worden op ieder van deze verbindingen.

Veronderstellende dat er op de aanlandingen bij Centraal Station geen voorzieningen getroffen kunnen worden (in verband met voorziene ontwikkelingen en bezwaren), zou er derhalve éénzijdig geladen wordt op de NDSM-aanlanding. Dit resulteert voor dit alternatief in de aanschaf van twee hybride veren en laadvoorzieningen op minimaal één fuik op de NDSM-aanlanding. Met éénzijdig laden (gegeven mogelijke beperkingen bij Centraal Station) zal dit voor het NDSM-veer resulteren in ongeveer de helft van de tijd uitstootvrij varen[12].

Voor het Houthavenveer en de bijbehorende spitsverbindingen (Pontsteiger – NDSM en Pontsteiger – Distelweg) is het interessant om te kijken naar laadvoorzieningen aan (minimaal) twee zijden van de verbindingen. Met laadvoorzieningen aan alle zijden zijn deze verbindingen namelijk volledig uitstoot te varen. Voor het Houthavenveer geldt dat deze op alle drie de aanlandingen laadvoorzieningen nodig heeft om uitstootvrij te varen. Ook voor deze aanlandingen wordt uitgegaan van een gelijktijdigheid van maximaal twee veren die geladen worden. Dit zou voor de overige veren (naast Buiksloterweg en IJplein) per aanlanding in de volgende laadvoorzieningen resulteren:

[12] Uitgaande van lineaire verhoudingen tussen het benodigde laadvermogen en het energieverbruik bij gecombineerde aandrijving. Voor volledig uitstootvrij varen met éénzijdig laden op het NDSM-veer is ongeveer 2 megawatt aan laadvermogen vereist. Wanneer er één megawatt beschikbaar is zou er, uitgaande van een lineaire verhouding tussen laadvermogen en energieverbruik, de helft van de tijd uitstootvrij gevaren kunnen worden. Zie Figuur 2.

Aanlanding	**Aantal fuiken met laadvoorzieningen**	**Benodigd laadvermogen per fuik**	**Totaal benodigd vermogen** (in kW afgerond op honderdtallen)
Pontsteiger / Houthavens	1	600 kW	600 kW
Distelweg	1	600 kW	600 kW
NDSM	2	1 x 1 MW + 1 x 600 kW	1.600 kW / 1,6MW

Tabel 16: Benodigd aantal fuiken met laadvoorzieningen voor het NDSM-veer, Houthavenveer en de Houthaven spitsveerverbindingen voor alternatief 1.

Impact van alternatief 1: vlootomvang, planning en kosten

De implementatie alternatief 1 heeft verschillende impacts. Zo hebben de laadvoorzieningen gevolgen voor de openbare ruimte en dragen de hybride schepen bij aan de luchtkwaliteit. Ten einde de impact voor de gemeente te bepalen worden hier de kosten van dit alternatief en de impact op de veervloot beschouwd.

Gegeven de minimale doorlooptijd van in totaal anderhalf jaar voor de realisatie van infrastructuur, als ook de aanschaf- dan wel ombouwtijd tijd van de veren van minimaal 1,5 jaar liggen zowel veren als de infrastructuur op het kritieke pad van realisatie. Eventuele bezwaren bij de aanleg van de infrastructuur maken het risico dat de infrastructuur de bepalende factor voor de doorlooptijd gaat zijn aanzienlijk. Bij besluitvorming in het voorjaar van 2018 zou dit betekenen dat er op zijn vroegst eind 2019/begin 2020 infrastructuur gereed is. Het aanbesteden van nieuwe schepen, dan wel ombouwen van bestaande schepen dient in dat geval eveneens medio 2018 te starten. Met deze tijdslijn zou, indien alles meezit, de inzet van hybride veren op de eerste verbindingen medio 2020 te realiseren zijn.

Voor het Buiksloterwegveer zijn op termijn 4 schepen vereist voor de spitsinzet[13]. Dit betekent dat er 4 hybride schepen beschikbaar dienen te zijn wanneer deze verbinding uitstootvrij gevaren wordt, alsmede dat de laadvoorzieningen gereed dienen te zijn. Ditzelfde geldt voor het IJpleinveer (vanaf 2020/21): ook hier zijn 4 hybride schepen en laadinfrastructuur benodigd om uitstootvrij te kunnen varen.

Voor de overige veerverbindingen gelden dezelfde doorlooptijden voor zowel infrastructuur als de aanschaf/ombouw van schepen. Dit betekent dat er voor de verschoning rekening gehouden dient te worden met een doorlooptijd van ongeveer anderhalf jaar, met uitloop naar 2,5 jaar.

Onderstaande tabel toont het aantal in te zetten veren per verbinding en de aanlandingen waar laadvoorzieningen gerealiseerd dienen te worden binnen dit alternatief. Let wel: het betreft het benodigde aantal schepen per verbinding. Omdat deze verbindingen niet allemaal gelijktijdig in dienst zijn, is de totale benodigde vlootomvang kleiner dan de som van het aantal hier getoonde schepen. Het schip dat op het Houthaven- en Distelwegveer vaart, vaart gedurende de spits namelijk de Distelweg spitsverbinding. De totale vloot komt daarmee op 13 schepen (in plaats van de cumulatieve 14 schepen op de getoonde verbindingen).

Veerverbinding	Aantal veren (na 2018)	Aanlanding(en) met laadvoorzieningen binnen alternatief 1
Buiksloterwegveer	4	Buiksloterweg
IJpleinveer	4	IJplein
NDSM-veer	3	NDSM
Houthavenveer (buiten spits)	1	Pontsteiger + NDSM + Distelweg
Houthavenveer spits	1	Pontsteiger + NDSM
Distelwegveer spits	1	Distelweg + Pontsteiger

Tabel 17: Benodigd aantal veren per verbinding uitgaande van type 60 veren en de voorspelde reizigersgroei in de nabije toekomst (na 2018).

De kosten voor de aanleg van de laadvoorzieningen betreffen voor de veerverbindingen éénmaal de stroomvoorzieningskosten (zie ook paragraaf 0) en de kosten per laadvoorziening per fuik. De kosten voor de verschillende verbindingen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

[13] Bron: Update Nota Veren (2017)

Aanlanding	**Aantal fuiken en laadvermogen per fuik** (zie Tabel 13)	**Kosten laadvoorziening per fuik** (in euro's: zie paragraaf 0)	**Kosten stroomaansluiting** (in euro's: zie paragraaf 0)	**Totale kosten laadvoorzieningen** (in euro's)
Buiksloterweg	2 x 400kW	€ 150.000	€ 600.000[14]	€ 900.000
IJplein	2 x 350 kW	€ 150.000	€ 600.000[15]	€ 900.000
Pontsteiger / Houthavens	1 x 600kW	€ 200.000	€ 600.000[16]	€ 800.000
Distelweg	1 x 600 kW	€ 200.000	€ 600.000[17]	€ 800.000
NDSM	1 x 1 MW + 1 x 600 kW	€ 200.000	€ 700.000	€ 1.100.000

Tabel 18: Investeringskosten voor laadinfrastructuur voor alternatief 1

De totale kosten voor dit laadalternatief komen daarmee op een geschat bedrag van ongeveer 4,5 miljoen euro (exclusief BTW en eventuele bijkomende opslagen) voor in totaal 9 laadvoorzieningen op 5 locaties. In combinatie met een (nu voorziene) vloot van 13 hybride veren (met bijbehorende kosten voor ombouw dan wel aanschaf) kunnen het Buiksloterwegveer, het IJpleinveer, het Houthavenveer, het Houthaven spitsveer en het Distelwegveer volledig uitstootvrij worden gevaren. Het NDSM-veer zal met laadvoorzieningen enkel op het NDSM-werf naar verwachting voor ongeveer de helft van de tijd uitstootvrij kunnen varen.

Een additionele optie is om niet elke omloop te laden, maar om minder vaak maar met een hoger laadvermogen te laden. Dit heeft tot gevolg dat er minder vaak aan- en afgekoppeld hoeft te worden. Wel betekent dit een hoger aansluitvermogen en daarmee hogere kosten. Voor Buiksloterweg en IJpleinveer ieder zo'n €100.000 euro voor de koppelingen tussen wal en schip, en zo'n €200.000 voor een groter aansluitvermogen: €300.000 per verbinding. In totaal zouden de hier getoonde investeringen daarmee toenemen met zo'n €600.000. Deze investering resulteert in een beperkte kostenbesparingen als gevolg minder onderhoudskosten voor de laadinfrastructuur als gevolg van minder gebruik. Verder vermindert het risico op het falen van de laadinfrastructuur als gevolg van minder vaak aan- en afkoppelen.

4.2 Alternatief 2: laadhubs

Laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen heeft de voorkeur, gezien het niet hoeven wijzigen van de vaarroutes en/of de dienstregeling van de veren. Een alternatief aan het gebruik van bestaande aanlandingen is het gebruik van één of meerdere centrale laadlocaties: zogenaamde laadhubs. Een laadhub is een mogelijk interessant alternatief indien er een reden is om op bestaande aanlandingen geen laadvoorzieningen te treffen, bijvoorbeeld door ruimtegebrek. Een laadhub betekent minder laadlocaties dan de situatie waarbij elke veerverbinding of aanlanding laadvoorzieningen heeft. Veren varen gedurende de diensttijd naar de laadhub toe om daar van energie voorzien te worden, om daarna hun dienst weer te hervatten. Als gevolg van het moeten verlaten van de dienst om te laden, zijn er additionele vaarkilometers. Omdat de benodigde tijd voor deze additionele kilometers niet in de huidige dienstregeling zit, zullen er voor dit alternatief naar verwachting additionele schepen in omloop gebracht moeten worden. Door deze additionele schepen wordt er tijd gecreëerd waarin de additionele kilometers benodigd om bij de laadvoorzieningen te komen, gerealiseerd kunnen worden. Dit laadproces vereist een uitgewerkt laadregime, om het laadhub-concept zo efficiënt mogelijk te laten verlopen, en derhalve zo min mogelijk kosten te maken. Een dergelijk laadregime is binnen het uitgevoerde onderzoek niet uitgewerkt.

De locatie van een laadhub is alles bepalend voor de effectiviteit (introduceren van uitstootvrije veren) en efficiëntie (minimale kosten) van dit alternatief. Hoe dichterbij de hub bij bestaande verbindingen ligt, hoe minder additionele vaarkilometers er gemaakt hoeven te worden. Hoe minder additionele kilometers buiten de dienstroute, hoe minder tijd er benodigd is voor het laadregime. Minder additionele tijd betekent minder additionele schepen en daarmee minder additionele kosten.

Op het oog handige locaties lijken bijvoorbeeld (in de buurt van) de NDSM-werf en (in de buurt van) het IJplein. Met deze twee locaties zijn in de buurt respectievelijk de westelijke verbindingen (Houthaven veren en NDSM-veer) en de centrale verbindingen (Buiksloterwegveer en IJpleinveer). Distelweg is eveneens een goede optie, zij het dat deze relatief ver weg ligt van het Buiksloterwegveer en het IJpleinveer: voor die verbindingen daalt de efficiëntie van het alternatief. Om de daadwerkelijke effectiviteit en efficiëntie van een alternatief met laadhubs te bepalen, dient een gedetailleerde uitwerking plaats te vinden, waarin de additionele kilometers en bijbehorende laadregime in kaart worden gebracht. Voor een korte

[14] Uitgaande van een gelijkrichterstation met een aansluitvermogen van maximaal 850 kilowatt. Indien een groter aansluitvermogen vereist is neemt deze post toe zoals weergegeven in paragraaf 2.4.
[15] Zie vorige voetnoot.
[16] Zie vorige voetnoot.
[17] Zie vorige voetnoot.

initiële uitwerking van dit alternatief wordt gekeken naar een locatie in de buurt van de NDSM-werf en één in de buurt van het IJplein. Ter illustratie een schematische weergave van een potentiële laadhub nabij de zuidelijke kop van de Ms. Van Riemsdijkweg, ten oosten van de NDSM-werf.



Figuur 7: Schematische weergave van een fictieve laadhub bij de NDSM-werf. De weergave dient ter illustratie van het concept van een laadhub; het betreft geen concrete plannen. Drie 60'ers zijn weergegeven (in het lichtgroen), inclusief laadvoorzieningen (in het donkergroen) en stroomvoorzieningen (in het geel).

Deze locatie biedt voor de westelijke veerverbindingen (NDSM en de Houthaven veren) een relatief efficiënte invulling van het laadhub-alternatief: er zijn beperkte additionele vaarkilometers benodigd om de locatie te bereiken. Een soortgelijke situatie zou zich voordoen bij een laadhub nabij het IJplein voor de centrale veren: het Buiksloterwegveer en het IJpleinveer. Met deze twee laadhubs, nabij NDSM en nabij IJplein, zouden alle veerverbindingen bediend kunnen worden met relatief korte vaarafstanden: maximaal enkele honderden meters vanaf een aanlanding. Wat de exacte vaartijden, en daarmee het aantal benodigde additionele schepen zou zijn voor dit alternatief, zijn in dit onderzoek niet in detail bekeken. Gegeven de korte vaartijden is verondersteld dat met één additioneel schip per verbinding er afdoende additionele vaartijd gecreëerd kan worden om te laden op de hublocaties.

Impact laadalternatief 2: vlootomvang, planning en kosten

Uitgaande van één additioneel schip per veerverbinding, komt de totale vloot daarmee op 13 schepen plus 5 schepen: 18 schepen. Naast de kosten voor additionele veren (circa 4 mln. euro per stuk, uitgaande van nieuwbouw met een maximaal batterijpakket), zijn er additionele kosten voor de te varen kilometers van en naar de hublocaties. Om een inschatting te kunnen maken van het aantal kilometers en de bijbehorende kosten dient er een laadschema opgesteld te worden. In deze verkennende fase is deze stap niet gemaakt.

Naast additionele schepen dienen er laadvoorzieningen aangelegd te worden. In vergelijking tot laadvoorzieningen per verbinding op bestaande aanlandingen, betreft het hier minder maar krachtigere stroomaansluitingen. Dit om de schepen van verschillende verbindingen op een centrale locatie van stroom te kunnen voorzien. Hoeveel vermogen er exact benodigd is, is afhankelijk van het gelijktijdig aantal te laden veren. Dit aantal exacte aantal zal naar voren moeten komen uit een eventuele simulatie van het laadregime. In deze fase is te duiden dat het aansluitingen van meer dan 2 megawatt zal betreffen: voldoende om minimaal 3 veren gelijktijdig te laden met maximaal één megawatt. Gegeven het aantal schepen per verbinding zal dit aantal naar verwachting maximaal 3 gelijktijdig te laden schepen zijn per laadhub. Uitgaande van

maximaal 3 gelijktijdig te laden schepen per hub, resulteert dit in de volgende investeringskosten voor de laadvoorzieningen (zie paragraaf 2.4 voor de getoonde bedragen).

Laadhub	**Aantal fuiken en laadvermogen per fuik** (zie Tabel 13)	**Kosten laadvoorziening per fuik** (in euro's: zie paragraaf 0)	**Kosten stroomaansluiting 2 - 5 MW** (in euro's: zie paragraaf 0)	**Totale kosten laadvoorzieningen** (in euro's)
Nabij NDSM	3 x 1.000kW / 1 MW	€ 200.000	€ 1,2 – 1,4 M	~ €1,5 – 2M
Nabij IJplein	3 x 1.000 kW / 1 MW	€ 200.000	€ 1,2 – 1,4 M	~ €1,5 – 2M

Daarnaast zullen de kosten voor dit alternatief significant hoger zijn dan alternatief 1 als gevolg van de additionele schepen: 5 veren resulteert in een additionele investering van zo'n 20 miljoen euro. Daar vallen de additionele kosten voor de laadvoorzieningen vrijwel bij in het niet.

De planning voor realisatie van de laadvoorzieningen op de laadhubs zal naar verwachting eenzelfde verloop kennen als de laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen: minimaal 1,5 jaar. Het betreft voor dit alternatief echter minder laadlocatie dan voor alternatief 1, waardoor er in theorie minder risico is op uitloop. Tevens kennen deze locaties minder huidige andere inwoners / bedrijven, wat de kans op bezwaarprocedures en daarmee uitloopt verkleint.

4.3 Alternatief 3: laadhubs in combinatie met laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen

Een derde alternatief voor het realiseren van laadvoorzieningen voor hybride veren is een combinatie van alternatief 1 en 2: laadhubs in combinatie met laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen. Een voordeel van deze configuratie is dat er mogelijk minder additionele schepen vereist zijn. Dit kan het geval zijn indien er optimaal gebruik gemaakt wordt van de reeds aanwezige tijd dat veren niet in de dienstregeling varen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de veren die enkel de spitsverbindingen bedienen.

Evenals alternatief 2, waarbij er een planning gemaakt dient te worden om het aan- en afvaren van de schepen in combinatie met het laden te realiseren, dient er voor dit alternatief een planning gemaakt te worden. Een dergelijke planning op veerniveau is benodigd om de haalbaarheid, effectiviteit en efficiëntie van dit alternatief te bepalen.

Dit alternatief kan gezien worden als een optimalisatie van de twee eerdere alternatieven. De voordelen van zowel het gebruiken van bestaande aanlandingen (geen of in dit geval beperktere additionele kilometers) en laadhubs (minder laadvoorzieningen) kunnen mogelijk gecombineerd worden. In deze fase, waarin verkennend wordt gekeken naar de mogelijkheden en waarin alternatief twee beperkt uitgewerkt is, is het niet mogelijk noch realistisch om een gecombineerd alternatief uit te werken.

5 Advies met betrekking tot aan te leggen laadvoorzieningen

Op basis van het uitgevoerde onderzoek is het advies om te starten met de aanschaf van plug-in hybride veren en laadvoorzieningen op bestaande locaties. Dit is het minst complex wat betreft benodigde voorzieningen, heeft beperkte tot geen impact op de dienstregeling en vereist geen additionele planning en uitvoering voor het laadproces. Daarnaast biedt een plug-in hybride systeem meer zekerheid in het kunnen blijven realiseren van de dienstregeling over het Amsterdamse IJ onder alle omstandigheden en bij fluctuaties in verbruikscijfers (e.g. als gevolg van wisselende weers- en vaaromstandigheden).

Een eerste stap: Buiksloterweg en IJplein aan één zijde voorzien van laadinfrastructuur

Gegeven de wens om zo snel als mogelijk uitstootvrije veerdiensten te realiseren, wordt geadviseerd om te starten met het verder uitwerken van laadvoorzieningen aan één zijde op één van de twee korte verbindingen vanaf de Ruyterkade bij Centraal Station: het Buiksloterwegveer ofwel het IJpleinveer. Voor ieder van deze verbindingen vereist dit tevens het verduurzamen van vier schepen. Dit betekent een plug-in hybride configuratie voor om te bouwen 50'ers ofwel nieuwe 60'ers. Voor de laadvoorzieningen aan één zijde op één van deze verbindingen vereist dit een investering van orde grootte €900.000,- (uitgaande van stroomvoorzieningen van minder dan 1 MW). De aanleg van laadvoorzieningen en de aanschaf van veren kan op zijn snelst in anderhalf jaar na besluitvorming gerealiseerd zijn.

Een volgende vergelijkbare stap zou de realisatie van laadvoorzieningen voor het tweede van deze korte veren vanaf CS (Buiksloterweg of IJplein) kunnen zijn. Ook hier geldt dat, in combinatie met vier hybride veren er in een periode van minimaal 1,5 jaar na besluitvorming uitstootvrij gevaren kan worden op deze verbinding. De investeringen voor de laadvoorzieningen bedragen ongeveer €900.000,- en dient er geïnvesteerd te worden in vier hybride veren.

De benodigde laadvoorzieningen op Buiksloterweg en IJplein zijn relatief beperkt: zowel in aantal (twee fuiken voorzien van laadvoorzieningen) als benodigd vermogen; minder dan één megawatt aan stroomvoorzieningen. In combinatie met hybride veren die ook op de overige verbindingen inzetbaar zijn, zij het zonder laadvoorzieningen niet uitstootvrij, heeft deze toepassing beperkte tot geen invloed op verdere dienstvoering van de Amsterdamse veren.

De overige verbindingen: meerdere zijden met laadvoorzieningen wenselijk, op dit moment niet zonder meer mogelijk

Voor de overige veerverbindingen lijken er eveneens mogelijkheden voor het aanleggen van laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen. Voor het Houthavenveer en zijn spitsverbindingen lijkt het mogelijk om met de huidige stand der techniek onder de juiste omstandigheden uitstootvrij te varen wanneer er laadvoorzieningen op alle drie de aanlandingen gerealiseerd worden: Pontsteiger, Distelweg en NDSM.

Ook voor het NDSM-veer (die tussen NDSM en CS vaart), met zijn hoge verbruik en korte aanlandingstijden, is het technisch mogelijk uitstootvrij te varen met laadvoorzieningen aan beide zijde van de verbinding. Dit laatste wordt echter niet kansrijk geacht, als gevolg van lopende en geplande projecten die beperkingen opleggen aan de aan te leggen voorzieningen in de openbare ruimte rondom Centraal Station. In combinatie met de hoge energieverbruiken en benodigde laadvermogens, als ook de eventuele fluctuaties hierin, is de aanbeveling om deze veerverbinding als laatste te verschonen. Met éénzijdig laden (gegeven mogelijke beperkingen bij Centraal Station) zal dit voor het NDSM-veer resulteren in ongeveer de helft van de tijd uitstootvrij varen.

De investeringskosten voor laadvoorzieningen op de Pontsteiger en Distelweg zijn ongeveer €800.000,- per aanlanding. Deze kosten zijn voor deze locaties lager dan die bij Buiksloterplein en het IJplein omdat hier slechts één fuik van laadvoorzieningen voorzien hoeft te worden, in plaats van twee per aanlanding. De investeringskosten voor laadvoorzieningen op NDSM worden in totaal op zo'n 1,1 miljoen euro geschat. Daarmee kunnen laadvoorzieningen voor zowel het NDSM-veer als het Houthavenveer worden gerealiseerd.

Het luistert bij de verbindingen met een hoog verbruik en hoge laadvermogens een stuk nauwer of het in de praktijk ook daadwerkelijk mogelijk gaat zijn om volledig uitstootvrij te varen dan bij het Buiksloterweg- en IJpleinveer. Een volledig elektrisch systeem is zeer gevoelig voor parameters zoals daadwerkelijk beschikbare waltijd, de buitentemperatuur, de ervarenheid van de schipper, factoren die het verbruik per overtocht sterk beïnvloeden zoals de hoeveelheid overig verkeer, de stroming op het IJ, de wind, et cetera. Om te voorkomen dat bij een kleine wijziging in de parameters er geen bediening van de verbindingen meer mogelijk is, verdient het de algemene aanbeveling om op dit moment nog niet voor volledig elektrische, maar voor plug-in hybride veren te kiezen. Verder onderstreept het de aanbeveling om eerst de verbindingen waar lagere laadvermogens vereist zijn te verschonen (Buiksloterweg en IJplein) en daarna pas de verbindingen waar hogere vermogens vereist zijn: Houthaven, Houthaven spits, Distelweg en NDSM.

Laadhub als secundaire optie
Met betrekking tot het realiseren van een laadhub wordt geadviseerd om dit als potentieel alternatief te houden indien er

zich problemen voordoen met de realisatie van laadvoorzieningen op bestaande aanlandingen. Vanuit operationeel oogpunt verdient het de voorkeur, zoals ook GVB aangeeft, om in de bestaande dienstregeling en op bestaande locaties te laden. Op die manier heeft de introductie van uitstootvrije veerverbindingen minimale impact op de bestaande organisatie van verbindingen en voorkomt de aanschaf van additionele schepen.

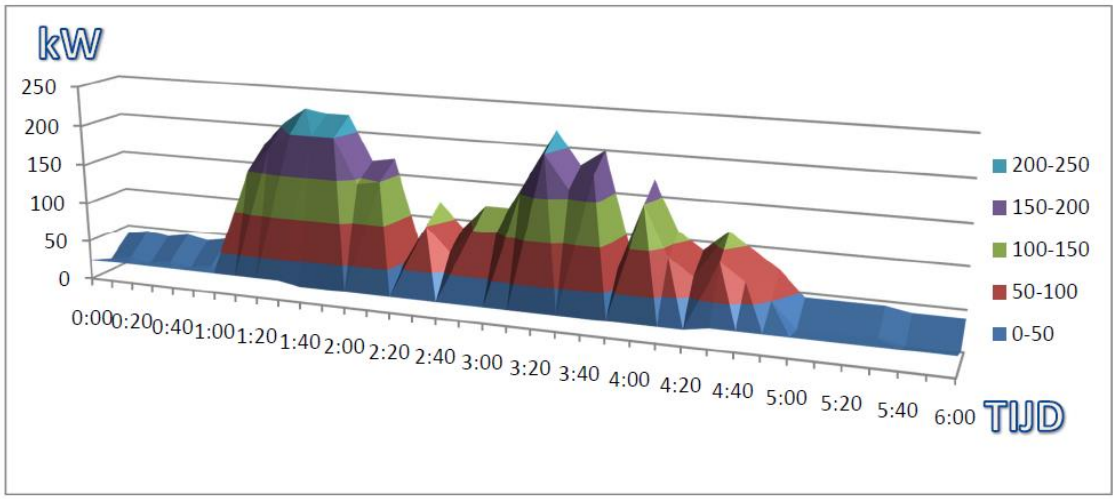
De introductie van een laadhub vereist verder het uitwerken van een gedetailleerd laadregime om een gedetailleerde inschatting van de totale kosten te kunnen maken. Het laadregime bepaalt namelijk hoeveel additionele schepen er vereist zijn. De kosten van een additionele plug-in hybride type 60 veer worden door TNO op zo'n 3,75 tot 4 miljoen euro geschat. Dit is significant hoger dan de kosten voor de laadvoorzieningen zelf in dit alternatief, veronderstellende dat er meerdere additionele veren benodigd zullen zijn. Uitgaande van twee centraal gelegen laadhubs voor het bedienen van de vijf veerverbindingen, komen de investeringskosten voor laadvoorzieningen voor dit alternatief in totaal op zo'n 3 tot 4 miljoen euro: 1,5 tot 2 miljoen euro per laadhub.

Indien er op termijn besloten wordt een laadhub te introduceren, is het een vereiste dat een gedetailleerd laadregime uitgewerkt wordt, op basis van een exacte locatie en vaarschema naar de locatie toe. Op die manier kan een completer beeld van de impact van dit alternatief geschetst worden; met name het benodigde aantal additionele veren en de benodigde tijd voor het aan- en afvaren van en naar de laadhub.

Ontwikkelingen in komende jaren bieden wellicht additionele mogelijkheden

Tevens wordt geadviseerd om bij iedere bestelling van veren en/of aanschaf van laadinfrastructuur, in meer detail naar de exacte verbruiken over de voorbije gebruiksperiode en de dan geldende stand van de techniek te kijken alvorens over te gaan tot bestellingen. Dit om zeker te zijn van de exacte parameters van het verensysteem. De verwachting is dat er de komende jaren vooruitgang geboekt zal worden met de toepassing van hybride en elektrische veersystemen. Er worden steeds meer hybride (en elektrische) veren in dienst genomen, met name in de Scandinavische landen. De ervaringen die hier opgedaan gaan worden zullen bijdragen aan de betrouwbaarheid van deze systemen. Ook de ontwikkelingen in andere modaliteiten, zoals auto's en bussen, zullen bijdragen aan de mogelijkheden in de scheepvaart. Met name op het gebied van batterijen zullen er zich naar verwachting verdere ontwikkelingen voordoen die de kansen op uitstootvrije veerverbindingen in Amsterdam vergroten. Het verdient de aanbeveling om, gezien de relatief snel op elkaar volgende ontwikkelingen op het gebied van hybride en elektrische veren, de komende jaren bij besluit tot de uitbreiding en/of verschoning van de vloot de dan geldende stand van de technieken mee te nemen ter overweging. Zo is het nu niet zonder meer realiseerbaar om de nieuwste veren (de 60'ers) van afdoende batterijen te voorzien voor een onder alle omstandigheden gegarandeerde volledige elektrische exploitatie. Wanneer de batterijtechnologie zich echter ontwikkelt zoals door sommige experts wordt voorspeld, kan het zijn dat binnen enkele jaren dit een realistische en prijstechnisch interessante optie wordt.

Bijlage A: Gebruikscijfers type 60 veer (aangeleverd door GVB)



Het typische energie verbruik voor de gemiddelde overtocht van 6 minuten tussen Centraal Station en Buiksloterweg (actuele verbruik)

Traject CS / Buiksloterweg **1 generator en 1 accupakket per roerpropeller**

uren varen	18	uur per dag
accupakket	68	kWh

Overtochten	Tijd	kWh totaal	DOD	Laadtijd	Cycles/Dag	Cycles/ jaar	Cycles/ 5 jaar	Cycles/7 jaar	Cycles/10 jaar
1	6	1,91	3%	2	141	51303	256513	359118	513026
2	12	3,82	6%	3	70	25651	128256	179559	256513
3	18	5,73	8%	5	47	17101	85504	119706	171009
4	24	7,63	11%	7	35	12826	64128	89780	128256
5	30	9,54	14%	8	28	10261	51303	71824	102605
6	36	11,45	17%	10	23	8550	42752	59853	85504
7	42	13,36	20%	12	20	7329	36645	51303	73289
8	48	15,27	22%	13	18	6413	32064	44890	64128
9	54	17,18	25%	15	16	5700	28501	39902	57003
10	60	19,08	28%	17	14	5130	25651	35912	51303
11	66	20,99	31%	19	13	4664	23319	32647	46639
12	72	22,90	34%	20	12	4275	21376	29927	42752
13	78	24,81	36%	22	11	3946	19732	27624	39464
14	84	26,72	39%	24	10	3664	18322	25651	36645
15	90	28,63	42%	25	9	3420	17101	23941	34202
16	96	30,53	45%	27	9	3206	16032	22445	32064
17	102	32,44	48%	29	8	3018	15089	21125	30178
18	108	34,35	51%	30	8	2850	14251	19951	28501

Conclusie: In overleg met het GVB en na beoordeling van de praktische gegevens is kozen om na circa 28% te gaan laden met een levensduur van 7 jaar. Dit is het meest verstandige en optimaal economisch. Het advies is om 28% DOD aan te houden, dan loopt dit gelijk met de andere vaarroute namelijk CS-NDSM. Er hoeft dan geen keuze gemaakt te worden op welk traject er gevaren wordt.

Conclusie: op de B weg wordt altijd gevaren met 2 generatoren en de 2 accu pakketten.

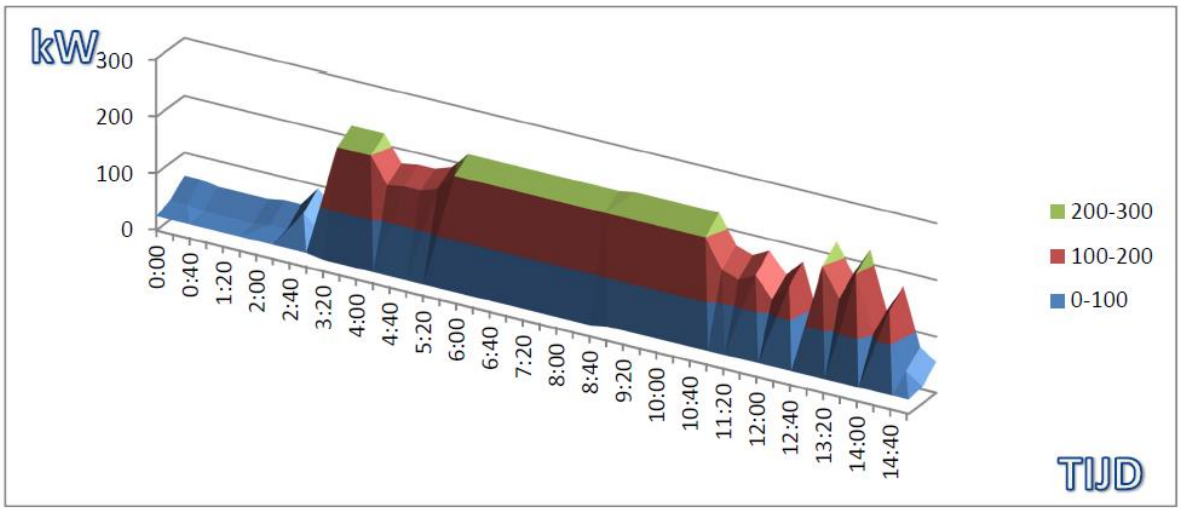
Vermogen's tabel ***1 Roerpropeller***

1x gen en 1x accupakket

CS - Buiksloterweg

Tijd	Microgrid	Voortstuwing	Totaal	vermogen uit 1 gen draait	nodig uit accu pakket	spanning	ampère uit accu pakket	kWh	C rating
				kW	**kW**	**VDC**	**ampère**	**kWh**	**C rating**
0:00	25	15	40	133	.	750	.	.	.
0:10	25	20	45	133	.	750	.	.	.
0:20	25	15	40	133	.	750	.	.	.
0:30	25	20	45	133	.	750	.	.	.
0:40	25	15	40	133	.	750	.	.	.
0:50	25	20	45	133	.	750	.	.	.
1:00	25	15	40	133	.	750	.	.	.
1:10	25	150	175	133	42	750	56	0,12	0,6
1:20	25	180	205	133	72	750	96	0,20	1,1
1:30	25	200	225	133	92	750	123	0,26	1,4
1:40	20	200	220	133	87	750	116	0,24	1,3
1:50	20	200	220	133	87	750	116	0,24	1,3
2:00	20	145	165	133	32	750	43	0,09	0,5
2:10	20	150	170	133	37	750	49	.	.
2:20	20	50	70	133	.	750	.	**1,14**	
2:30	20	100	120	133	.	750	(totaal verbruik uit accu's)		
2:40	20	70	90	133	.	750	.	.	.
2:50	20	100	120	133	.	750	.	.	.
3:00	20	100	120	133	.	750	.	.	.
3:10	20	150	170	133	37	750	49	0,10	0,5
3:20	20	200	220	133	87	750	116	0,24	1,3
3:30	20	160	180	133	47	750	63	0,13	0,7
3:40	20	180	200	133	67	750	89	0,19	0,7
3:50	20	70	90	133	.	750	.	.	.
4:00	20	150	170	133	37	750	49	0,10	0,5
4:10	20	90	110	133	.	750	.	**0,76**	
4:20	20	70	90	133	.	750	(totaal verbruik uit accu's)		
4:30	25	90	115	133	.	750	.	.	.
4:40	25	70	95	133	.	750	.	.	.
4:50	25	50	75	133	.	750	.	.	.
5:00	25	20	45	133	.	750	.	.	.
5:10	25	20	45	133	.	750	.	.	.
5:20	25	20	45	133	.	750	.	.	.
5:30	25	20	45	133	.	750	.	.	.
5:40	25	15	40	133	.	750	.	.	.
5:50	25	15	40	133	.	750	.	.	.
6:00	25	15	40	133	.	750	.	.	.

Het typische energie verbruik voor de gemiddelde overtocht van 15 minuten tussen het Centraal Station en het NDSM terrein



Traject CS / NDSM 1 generatoren en 1 accu's per roerpropeller

uren varen	18	uur per dag
Accupakket	68	kWh

Overtochten	Tijd	kWh totaal	DOD	Laadtijd	Cycles/Dag	Cycles/ jaar	Cycles/5 jaar	Cycles/ 7 jaar	Cycles/ 10 jaar
1	15	6,44	9%	6	52	19058	95292	190584	190584
2	30	12,88	19%	11	26	9529	47646	66704	95292
3	45	19,33	28%	17	17	6353	31764	44470	63528
4	60	25,77	38%	23	13	4765	23823	33352	47646
5	75	32,21	47%	28	10	3812	19058	26682	38117
6	90	38,65	57%	34	9	3176	15882	22235	31764
7	105	45,09	66%	40	7	2723	13613	19058	27226
8	120	51,53	76%	45	7	2382	11911	16676	23823
9	135	57,98	85%	51	6	2118	10588	14823	21176
10	150	64,42	95%	57	5	1906	9529	13341	19058

Conclusie: op het traject CS – NDSM is het vaarprofiel met 2 generatoren en de 2 accu pakketten voor 3 keer enkele reis en daarna bij de 4e vaart start er een derde generator op.
Het vullen van de accu's zal dan circa 45 minuten in beslag nemen.

Vermogen's tabel ***1 Roerpropeller***

1x gen en 1x accupakket

CS - NDSM

tijd	Microgrid	voortstuwing	Totaal
0:00	25	35	60
0:20	25	35	60
0:40	25	30	55
1:00	25	30	55
1:20	25	30	55
1:40	25	30	55
2:00	25	35	60
2:20	25	35	60
2:40	25	70	95
3:00	25	40	65
3:20	20	200	220
3:40	20	200	220
4:00	20	200	220
4:20	20	155	175
4:40	20	160	180
5:00	20	160	180
5:20	20	170	190
5:40	20	200	220
6:00	20	200	220
6:20	20	200	220
6:40	20	200	220
7:00	20	200	220
7:20	20	200	220
7:40	20	200	220
8:00	20	200	220
8:20	20	200	220
8:40	20	200	220
9:00	25	200	225
9:20	25	200	225
9:40	25	200	225
10:00	25	200	225
10:20	25	200	225
10:40	25	200	225
11:00	25	150	175
11:20	25	140	165
11:40	25	155	180
12:00	25	120	145
12:20	25	150	175
12:40	25	50	75
13:00	25	200	225
13:20	25	150	175
13:40	25	200	225
14:00	25	100	125
14:20	25	150	175
14:40	25	50	75
15:00	25	30	55

Vermogen uit 1 gen draait	nodig uit accu pakket	spanning	ampère uit accu pakket		
kW	**kW**	**VDC**	**ampère**	**kWh**	**C rating**
133	.	750	.	.	.
133	.	750	.	.	.
133	.	750	.	.	.
133	.	750	.	.	.
133	.	750	.	.	.
133	.	750	.	.	.
133	.	750	.	.	.
133	.	750	.	.	.
133	.	750	.	.	.
133	.	750	.	.	.
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	42	750	56	0,12	0,6
133	47	750	63	0,13	0,7
133	47	750	63	0,13	0,7
133	57	750	76	0,16	0,8
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	87	750	116	0,24	1,3
133	92	750	123	0,26	1,4
133	92	750	123	0,26	1,4
133	92	750	123	0,26	1,4
133	92	750	123	0,26	1,4
133	92	750	123	0,26	1,4
133	92	750	123	0,26	1,4
133	42	750	56	0,12	0,6
133	32	750	43	0,09	0,5
133	47	750	63	0,13	0,7
133	12	750	16	0,03	0,2
133	42	750	56	0,12	0,6
133	.	750	.	.	.
133	92	750	123	0,26	1,4
133	42	750	56	0,12	0,6
133	92	750	123	0,26	1,4
133	.	750	.	.	.
133	42	750	56	0,12	0,6
133	.	750	.	.	.
133	.	750	.		
				6,47 kWh	

Bovenstaande gegevens zijn verwerkt naar onderstaande tabellen met verbruiken voor het Buiksloterwegveer en het NDSM-veer. Dit is op twee manieren gedaan: door het piekverbruik over de genoemde periodes als gemiddelde te nemen (eerste gekleurde kolom), en door het gemiddelde vermogen over twee perioden te nemen (tweede gekleurde kolom). Deze getallen liggen zeer dicht bij elkaar. De gemiddelde verbruiken zijn vervolgens o.b.v. de verhoudingen tussen de verschillende verbindingen zoals geduid door TNO en in overleg met GVB vertaald naar de verbruiken van de overige verbindingen (zoals weergegeven in deze rapportage).

Buiksloterwegveer

Seconde	Piekverbruik	Verbruik obv piek	Gemiddeld vermogen	Verbruik obv gemiddelde
0	40	0,11		
10	45	0,13	42,5	0,12
20	40	0,11	42,5	0,12
30	45	0,13	42,5	0,12
40	40	0,11	42,5	0,12
50	45	0,13	42,5	0,12
60	40	0,11	42,5	0,12
70	175	0,49	107,5	0,30
80	205	0,57	190	0,53
90	225	0,63	215	0,60
100	220	0,61	222,5	0,62
110	220	0,61	220	0,61
120	165	0,46	192,5	0,53
130	170	0,47	167,5	0,47
140	70	0,19	120	0,33
150	120	0,33	95	0,26
160	90	0,25	105	0,29
170	120	0,33	105	0,29
180	120	0,33	120	0,33
190	170	0,47	145	0,40
200	220	0,61	195	0,54
210	180	0,50	200	0,56
220	200	0,56	190	0,53
230	90	0,25	145	0,40
240	170	0,47	130	0,36
250	110	0,31	140	0,39
260	90	0,25	100	0,28
270	115	0,32	102,5	0,28
280	95	0,26	105	0,29
290	75	0,21	85	0,24
300	45	0,13	60	0,17
310	45	0,13	45	0,13
320	45	0,13	45	0,13
330	45	0,13	45	0,13
340	40	0,11	42,5	0,12
350	40	0,11	40	0,11
360	40	0,11	40	0,11
370				

Totaal verbruik overtocht	11,14	kWh	11,03	kWh
Totaal verbruik retour	22,28	kWh	22,06	kWh

NDSM-veer				
Seconde	**Piekverbruik**	**Verbruik obv piek**	**Gemiddeld vermogen**	**Verbruik obv gemiddelde**
0	60	0,33		
20	60	0,33	60	0,33
40	55	0,31	57,5	0,32
60	55	0,31	55	0,31
80	55	0,31	55	0,31
100	55	0,31	55	0,31
120	60	0,33	57,5	0,32
140	60	0,33	60	0,33
160	95	0,53	77,5	0,43
180	65	0,36	80	0,44
200	220	1,22	142,5	0,79
220	220	1,22	220	1,22
240	220	1,22	220	1,22
260	175	0,97	197,5	1,10
280	180	1,00	177,5	0,99
300	180	1,00	180	1,00
320	190	1,06	185	1,03
340	220	1,22	205	1,14
360	220	1,22	220	1,22
380	220	1,22	220	1,22
400	220	1,22	220	1,22
420	220	1,22	220	1,22
440	220	1,22	220	1,22
460	220	1,22	220	1,22
480	220	1,22	220	1,22
500	220	1,22	220	1,22
520	220	1,22	220	1,22
540	225	1,25	222,5	1,24
560	225	1,25	225	1,25
580	225	1,25	225	1,25
600	225	1,25	225	1,25
620	225	1,25	225	1,25
640	225	1,25	225	1,25
660	175	0,97	200	1,11
680	165	0,92	170	0,94
700	180	1,00	172,5	0,96
720	145	0,81	162,5	0,90
740	175	0,97	160	0,89
760	75	0,42	125	0,69
780	225	1,25	150	0,83
800	175	0,97	200	1,11
820	225	1,25	200	1,11
840	125	0,69	175	0,97
860	175	0,97	150	0,83
880	75	0,42	125	0,69
900	55	0,31	65	0,36
920				

Totaal verbruik overtocht	41,81	kWh	41,49	kWh
Totaal verbruik retour	83,61	kWh	82,97	kWh

Bijlage B: Gevoeligheidsanalyses

Ter controle van de gevoeligheid van de berekende benodigde laadvermogens voor verschillende parameters zijn enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Dit is gedaan voor de volgende parameters, waarvan hieronder enkele weergaves staan ter illustratie van de gevoeligheid:

- Variatie in verbruik (bijvoorbeeld als gevolg van wisselend weer, de ervarenheid van de schipper, etc.)
- Aan- af koppeltijd van de laadinfrastructuur bij het aanlanden

Variatie in verbruik

Onderstaande tabel zijn twee kolommen uit Tabel 6 in het rapport, met daarin de gebruikte verbruikscijfers voor de verschillende verbindingen bij laden aan alle zijden, en de daaruit volgende vermogens.

	Alle zijden van de verbinding laden	
Veerverbinding	Energiebehoefte per laadsessie (kWh)	Benodigd laadvermogen per zijde (kW), afgerond op tientallen
Buiksloterwegveer	11	200
IJpleinveer	10	170
NDSM-veer	42	1.000
Houthavenveer (3 zijden)	26	640
Houthavenveer spits	20	680
Distelwegveer	20	680

Tabel 19: Tabel 6 uit het rapport, met de energiebehoefte en de benodigde vermogens per laadsessie bij laden aan alle zijden.

De relatie tussen verbruik en benodigd vermogen is lineair (ook wel rechtevenredig genoemd), wat betekent dat bijvoorbeeld een verdubbeling van het verbruik eveneens resulteert in een dubbel zo hoog benodigd laadvermogen. Evenzo betekent dit dat een toename in het verbruik van 20% (bijvoorbeeld als gevolg van andere windomstandigheden) eveneens resulteert in 20% hogere benodigde vermogens. Onderstaande tabel toont dit effect als toevoeging aan bovenstaande tabel (afwijkingen als gevolg van afronding).

	Alle zijden van de verbinding laden		
Veerverbinding	Energiebehoefte per laadsessie (kWh)	Benodigd laadvermogen (kW), afgerond op tientallen	Benodigd vermogen bij 20% toegenomen verbruik (= 20% toename in laadvermogen)
Buiksloterwegveer	11	200	230
IJpleinveer	10	170	210
NDSM-veer	42	1.000	1.200
Houthavenveer	26	640	760
Houthavenveer spits	20	680	820
Distelwegveer	20	680	820

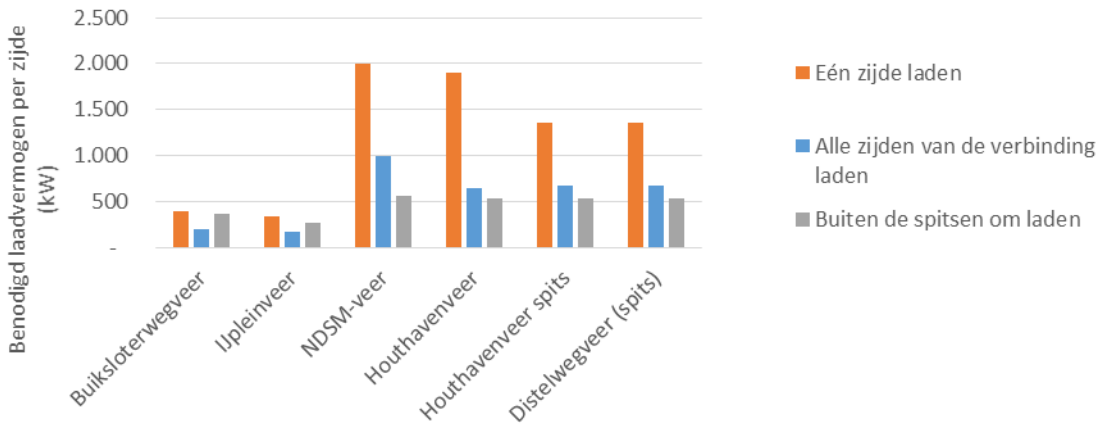
Tabel 20: Het effect van een toename van 20% inm verbruik op het benodigde vermogen (eveneens 20% toename).

De benodigde vermogens bij een toename van 20% in verbruik laten zien dat dit significante wijzigingen betekent voor sommige verbindingen. Zo passeert de NDSM-verbinding de 1.000 kW (1MW); de bovengrens voor de batterijen. Dit vermogen zou dan ook niet toegepast kunnen worden. De Houthavenveer spits en Distelwegveer komen boven de 800 kW, wat zou kunnen betekenen dat het toepassen van een zogenaamde “mini-gelijkrichter” niet meer mogelijk zou zijn. Een stap omhoog in vermogen is technisch geen enkel probleem, maar resulteert wel in significant hogere kosten voor de laadvoorzieningen.

Aan- en afkoppeltijd bij de aanlandingen

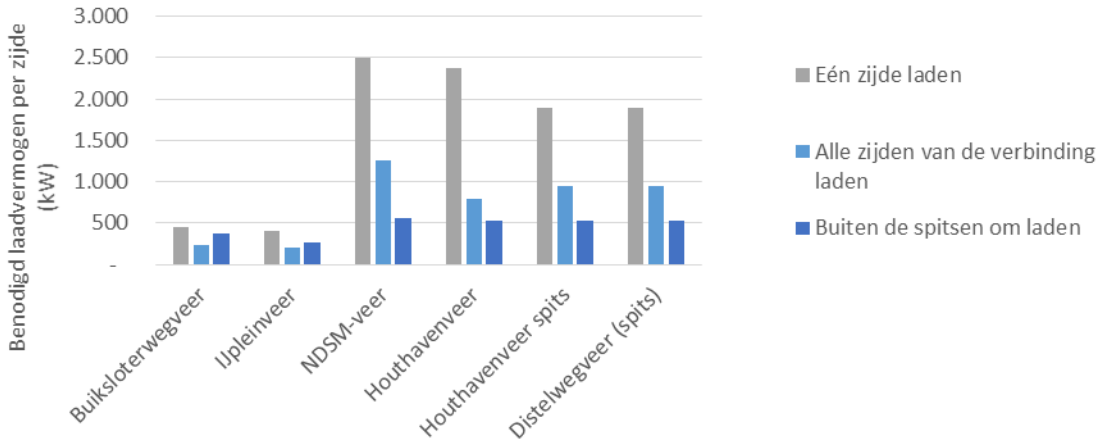
De aan- en afkoppeltijd van de laadinfrastructuur speelt een belangrijke rol in de mogelijkheden tot verschoning van de veren in Amsterdam. Dit omdat de waltijden van de veren over het IJ zeer kort zijn: maximaal enkele minuten. In combinatie met het veelal relatief hoge energieverbruik betekenen de korte waltijden dat er veel in energie in korte tijd overgedragen dient te worden. Elke seconde is dan ook kostbare tijd. Wanneer een laadsysteem lange tijd nodig heeft voor het aan- en afkoppelen gaat dit ten kosten van de tijd voor het daadwerkelijk laden van de batterijen aan boord van de veer. Aan- en afkoppeltijd wordt beschouwd inclusief de tijd voor eventuele communicatieprotocollen en tijd voor het op- en afbouwen van het vermogen: onderdelen die zich eveneens voordoen bij laadvoorzieningen van andere modaliteiten.

Onderstaande figuur is Figuur 2 uit het rapport en toont de benodigde laadvermogens per laadregime. Hierbij is gerekend met een aan- en afkoppeltijd van een halve minuut in totaal per laadsessie. Dit is naar verwachting de ondergrens van de benodigde tijd: er moeten immers fysieke delen bewegend naar elkaar toe, er moet vermogen op worden gebouwd, en dat alles twee keer (bij aan- en afkoppelen).



Figuur 8: Figuur 2 uit het rapport, met de benodigde laadvermogens per laadregime.

Wanneer de aan- en afkoppeltijd toeneemt tot een minuut heeft dit significante impact op de benodigde laadvermogens. Dit is logisch, gegeven dat dezelfde hoeveelheid energie dient aan boord van de veren dient te komen in een significant kortere periode (een halve minuut op enkele minuten is een significante afname van beschikbare tijd). Onderstaande figuur laat dit effect zien.



Figuur 9: Benodigde laadvermogens per laadregime bij een aan- en afkoppeltijd van één minuut (i.p.v. een halve minuut).

Figuur 9 laat zien dat de benodigde vermogens significant toenemen. Zo stijgt het benodigde vermogen voor éénzijdig laden op het NDSM-veer van 2MW tot 2,5MW en boven de 1MW komt bij laden aan beide zijden. Het benodigde vermogen bij alle zijden laden op de Houthaven spitsveer stijgt tot bijna 1 MW, waar dat ongeveer 550 kW was bij een aan- en afkoppeltijd van een halve minuut. Dit toont aan dat de gebruikte laadvermogens zeer gevoelig zijn voor de aan- en afkoppeltijd, die voor de basisberekeningen aan de lage kant is gekozen. Het verdient dan ook de aanbeveling om rekening

te houden met fluctuaties in de benodigde laadvermogens als gevolg van de aan- en afkoppeltijden. Wanneer er laadapparatuur aangeschaft wordt dient er nagegaan te worden hoeveel tijd het aan- en afkoppelen (inclusief benodigde tijd voor protocollen en het opbouwen van vermogen) exact bedraagt en welk effect dit heeft op het benodigde laadvermogen.

In het algemeen verdient het de aanbeveling om bij iedere bestelling van veren en/of aanschaf van laadinfrastructuur, in meer detail naar de exacte verbruiken over de voorbije gebruiksperiode en de dan geldende stand van de techniek te kijken alvorens over te gaan tot bestellingen. De rol van verschillende parameters van het systeem (verbruik, beschikbare laadtijd, etc.) zijn zeer bepalend voor de exacte vereisten van de laadvoorzieningen.

Bijlage C: Gesproken partijen / personen

- TNO: Jorrit Harms, Pim van Mensch en Ruud Verbeek
- GVB: Casper van der Werf
- C-Job: Wim Zindler en Pim Schulp
- ABB: Maurice Seijmens
- Stemmann: Jan-Willem Schoneveld
- HH Ferries: Jens-Ole Hansen
- RaskGreentech: Michael Rask
- New Electric: Anne Kloppenburg
- BlueBoat company: Ramon van de Storm
- Liander: Koos Hand
- Gemeente Amsterdam: gebiedsmanagers
    - Liselotte Djoefrie; CS
    - Janine van Arnhem: CS
    - Gijsbert-Jan Trouw: NDSM
    - Ingrid Hezemans: Buiksloterweg en IJplein
    - Maarten Hoeve: oever- en waterbeheer

Bijlage D: Voorbeeldprojecten hybride en elektrische veren

Project & bronnen	Korte omschrijving
MF Ampere van Fjord 1, Noorwegen: 1 veer, sinds maart 2015 in de vaart. Een tweede soortgelijk schip is besteld https://worldmaritimenews.com/archives/161297/worlds-first-electric-car-ferry-enters-service/ https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/mobility-and-motors/electromobility-electric-ferries.html http://www.shipandoffshore.net/news/shipbuilding/shipbuilding-article/id/fjord1-orders-electric-ferry-at-fjellstrand.html	's Wereld eerste elektrische auto ferry. Overtocht van 6 kilometer. 1.000kWh batterijpakket, welke wordt geladen middels batterijstations op de kade die gevoed worden van het energienetwerk om zodoende de netwerkaansluiting niet te hoeven verzwaren.
Hybride veren voor Fjord 1, Noorwegen: 3 veren, vanaf 2018 in dienst. http://worldmaritimenews.com/archives/212082/nec-hybrid-electric-systems-to-power-fjord1s-new-ferries/ http://www.norwegianelectric.com/news--media/nes-signs-yet-another-ferry-contract-/	Middelgrote auto en vrachtwagen geschikte veren. Ook hier wordt batterijopslag als buffer gebruikt om de benodigde laadvermogens (onbekend hoeveel) niet direct van het energienetwerk af te hoeven halen.
Elektra, Finland Finn Ferries: 1 veer vanaf de zomer van 2017 in de vaart. http://intelligentmobilityinsight.com/news/C2f/Finnish-ferry-to-go-electric http://www.finferries.fi/media/elektra-technical-data.pdf	Auto en vrachtwagen geschikte plug-in hybride veer met een overtocht van ongeveer 1,6km. 1 MWh batterijpakket aan boord, batterijbuffer voor het laden aan de wal. Automatisch koppelen voor laden.
HH Ferries, Denemarken/Zweden; 2 veren sinds juli 2017 in de vaart (Tycho Brahe en Aurora) http://sailwiththecurrent.com/ http://www.pbes.com/2016/09/06/hh-ferries/	Grootste auto en vrachtwagen geschikte hybride veren met een overtocht van 1,6km. 4.000 kWh (4MWh) batterijpakket, 10 MW laadvermogen (direct op 10kV-netwerk). Maken gebruik van robotarm om koppeling te maken tijdens aanlanding.
Vision of the fjords, Noorwegen; 2 veren sinds zomer 2017 in de vaart http://new.abb.com/marine/references/vision-of-the-fjords http://www.braa.no/visionofthefjords	Hybride personenveer door UNESCO werelderfgoed fjord. 576kWh batterijpakket. Handmatige aankoppeling laadsysteem.