EVCONSULT
experts in sustainable mobility

Verduurzaming veren over het IJ

Voorbereiding aanbesteding 100% uitstootvrije veren
Gemeente Amsterdam

Rapportage fase 1

- Haalbaarheid: markt- en techniekverkenning
- Definitie varianten
- Kostenraming

DEFINITIEF
12 december 2019



Verduurzaming veren over het IJ

Voorbereiding aanbesteding 100% uitstootvrije veren
Gemeente Amsterdam

Rapportage fase 1

- haalbaarheid: markt- en techniekverkenning (hoofdstuk 1)
- definitie varianten (hoofdstuk 2)
- kostenraming (hoofdstuk 3)

Documentgegevens:
Versie 1.0
12 december 2019

Uitgevoerd in opdracht van:
De gemeente Amsterdam, programma veren

Uitgevoerd door:

EVConsult b.v.
Tim van Beek
Laurens van Mourik
Michiel Aldenkamp

&

Beekman Bildung
Rutger Beekman

Samenvatting

In februari 2018 is een update van de Nota Veren aangenomen door de Amsterdamse gemeenteraad. Twee onderwerpen stonden hierin centraal: de reizigersgroei en de verduurzaming van de veerverbindingen over het IJ.

Voorliggende rapportage dient als een eerste stap in de voorbereiding van de aanbesteding, en betreft de verduurzaming van de IJveren. De reizigersgroei en daaruit volgende capaciteitsvraag gelden als input voor de in deze fase verrichte werkzaamheden. Het rapport beslaat fase 1 van de voorbereidingen van de aanbestedingen, en bestaat uit:

- Een inschatting van de haalbaarheid van verduurzaming op basis van een markt- en techniekverkenning (zie hoofdstuk 1);
- Het definiëren van een aantal mogelijk varianten voor verduurzaming (zie hoofdstuk 2);
- Een kostenraming van deze varianten (zie hoofdstuk 3).

Additioneel aan de kostenramingen zijn er elementaire berekeningen gedaan voor de maatschappelijke baten voortkomend uit het uitstootvrij zijn van de veren: een belangrijke reden om tot verduurzaming over te gaan.

Conclusies fase 1

Op basis van fase 1 van de voorbereidingen van de aanbesteding wordt geconcludeerd dat het mogelijk is de veren over het IJ te verduurzamen, met behoud van de huidige dienstregeling. Dit kan op verschillende manieren afhankelijk van technische en bestuurlijke keuzes. In de markt is zichtbaar dat de volledig elektrische type veren (vaak onder de noemer plug-in hybride) dominant zijn, waar waterstof nog in de pilot fase is en vliegwiel experimenteel te noemen is. Batterij-elektrische veren worden dan ook het meest kansrijk geacht voor de verduurzaming van de IJveren vanuit techniek oogpunt, uitgaande van onder meer het behoud van de dienstregeling en te verwachten betrouwbaarheid.

Er zijn verschillende varianten mogelijk voor het verduurzamen met elektrische veren. Om tot het vaststellen van de varianten en bijbehorende kosten te komen zijn een reeks parameters gekozen en vastgesteld. Met name het moment waarop de volledige vloot uitstootvrij is, is een bepalende factor voor de totale kosten van het systeem. Zo zijn er verschillende manieren van laden beschikbaar, waarbij laden op de aanlandingen c.q. de fuiken van de bestaande aanlandingen het meest voordelig is. Laden vanaf een centrale hublocatie is met de huidige stand van de (laad)technieken niet economisch aantrekkelijk.

Op basis van kosten voor de gehele vloot over de levensduur van het systeem (tot aan 2050) is de volledig elektrische veer de meest voordelige duurzame veer: ~€129 mln., ten opzichte van ~€109 mln. voor het doorzetten van de inzet van hybride veren (de *business-as-usual* variant). Onderstaande tabel, Tabel 3 in hoofdstuk 3, toont alle kostenposten voor ieder van de varianten, als ook de totale kosten over de levensduur van het systeem.

Tabel 1 uit hoofdstuk 3: Totaalkosten voor de verschillende varianten tot en met 2050. Door afronding tellen de getallen niet exact op; voor de totaalbedragen is zonder tussentijdse afronding gerekend.

	Business-as-usual (BaU)	Verduurzaamd in 2025	Verduurzaamd in 2023	Zo snel mogelijk verduurzamen
Investeringskosten veren[1]	~€ 36 mln.	~€ 51 mln.	~€ 56 mln.	~€ 87 mln.
Investeringskosten laadinfrastructuur	~€ 0 mln.	~€ 7,5 mln.	~€ 7,5 mln.	~€ 7,5 mln.
Totale investeringskosten	**~€ 36 mln.**	**~€ 58 mln.**	**~€ 63 mln.**	**~€ 94 mln.**
Energiekosten	~€ 29 mln.	~€ 18 mln.	~€ 17 mln.	~€ 17 mln.
Overige operationele kosten	~€ 44 mln.	~€ 46 mln.	~€ 46 mln.	~€ 46 mln.
Operationele kosten laadinfrastructuur	~€ 0 mln.	~€ 8 mln.	~€ 8,5 mln.	~€ 9 mln.
Totale operationele kosten	**~€ 73 mln.**	**~€ 71 mln.**	**~€ 71 mln.**	**~€ 71 mln.**
Totale kosten over levensduur	**~€ 109 mln.**	**~€ 129 mln.**	**~€ 134 mln.**	**~€ 165 mln.**
Meerkosten t.o.v. BaU		**~€ 20 mln.**	**~€ 27 mln.**	**~€ 58 mln.**

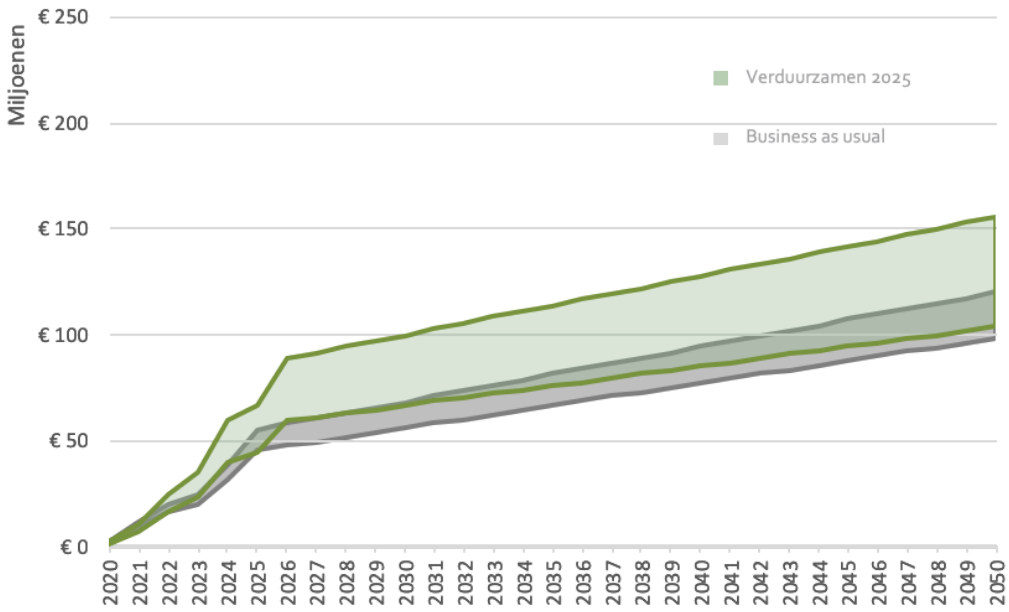
Onzekerheden
De hier getoonde bedragen zijn onderhevig aan onzekerheden, om twee redenen. Ten eerste kent het systeem unieke kenmerken zoals het aantal veren, de tijd van oversteken, de tijd aan de wal et cetera. Het verduurzamen van het systeem kent hierdoor geen kant en klare oplossing maar vereist maatwerk om tot een passende samenhang van parameters te komen. Concreet betekent dit, dat wanneer een marktpartij andere parameters introduceert, zoals een nieuw (romp)ontwerp, een ander type of formaat batterijen of een ander laadvermogen, het systeem als geheel verandert. Daarmee kunnen de kosten afwijken van de hier getoonde kosten.

Ten tweede is het verduurzamen van de veren in uitstootvrije varianten onderhevig aan verschillende ontwikkelingen, zoals techniek- en prijsontwikkelingen. Dit heeft tot gevolg dat de vereiste investeringskosten (e.g. accuprijs, aandrijflijn) en gebruikskosten (verbruik, onderhoud, etc.) onzeker zijn.

Hoe de hiervoor genoemde onzekerheden zich exact vertalen naar (additionele of verminderde) kosten is lastig te bepalen, en zal verschillen per onderdeel. Op basis van gesprekken met partijen betrokken bij de uitvoering van vergelijkbare projecten in Scandinavië en kennis van andere modaliteiten is een onderbouwde inschatting gemaakt van de onzekerheden. In overleg met de

[1] Zoals vermeld in het tekstblok in hoofdstuk 3 is er kort voor het definitief maken van deze rapportage een budgettaire reservering gemaakt voor (nog) een type 60 veer (#66). Dat betekent dat van de hier geschetste investeringen voor iedere variant, ~€4,3mln afgetrokken dient te worden voor wat betreft de benodigde financiering/budgettering.

gemeente is ervoor gekozen om voor deze fase uit te gaan van marges van +/- 10% voor de *business-as-usual* variant en +/-20% voor de uitstootvrij varianten over de totale kosten. Om de impact van de genoemde parameters te toetsen zijn er enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Onderstaande figuur, Figuur 14 uit hoofdstuk 3, toont deze onzekerheden voor de 'verduurzaamd in 2025' ten opzichte van de *business-as-usual* variant, in aanvulling op de berekende kosten.



Figuur 14 uit hoofdstuk 3: De totale kosten inclusief onzekerheidsmarge voor de gehele vloot van veren over het IJ voor de 'verduurzaamd in 2023' variant en de 'BaU' variant.

Naast het inschatten van de (economische) impact van de onzekerheden, zijn er tevens diverse gevoeligheidsanalyses uitgevoerd; zie het laatste deel van hoofdstuk 3. De hieruit voortkomende impacts vallen binnen de gekozen marges. Geadviseerd wordt om, gezien de significante impact van een aantal parameters in het verduurzamen van de IJveren, in de volgende fasen oog te houden voor mogelijke ontwikkelingen en indien nodig de berekening aan te passen.

Maatschappelijke baten

Naast de kosten zijn er significante maatschappelijke baten bij de introductie van uitstootvrije veren Deze komen voort uit het wegvallen van het gebruik van diesel en de bijbehorende uitstoot van lokale en klimaatemissies. Om een inschatting te maken van de maatschappelijke baten, is een berekening gemaakt voor de waarde van het besparen van de uitstoot van koolstofdioxide (CO_2), stikstof (NO_x) en fijnstof (PM). De maatschappelijke baten liggen voor de verduurzamingsvarianten, op basis van elementaire berekeningen behorende bij deze fase, in de orde grootte van 100 miljoen euro over 30 jaar voor de verduurzamingsvarianten.

Nader te bepalen parameters

Verschillende parameters moeten in de volgende fasen nader worden uitgewerkt. Twee voorbeelden van essentiele keuzes op systeemniveau zijn de optimalisatie door marktpartijen (1) en proceskeuzes in de aanbesteding (2).

De exacte invulling van het systeem voor wat betreft het laden kan naar verwachting verder geoptimaliseerd worden door marktpartijen (ad 1). Hierbij valt te denken aan de exacte fysieke

invulling van de laadinstallaties (e.g. gebruik van type koppeling en/of het gebruik van laadpontons) als ook aan het benodigde aantal laadlocaties en –installaties. Verdere optimalisatie is er mogelijk ook voor het ontwerp van de veren; met name voor de nieuw te bouwen 70'ers. Deze, en mogelijke andere optimalisaties kunnen significante wijzigingen in de totale als ook investeringskosten met zich meebrengen; naar verwachting binnen de genoemde bandbreedte.

In een volgende fase moet inzicht komen in de gevolgen van het faseren en/of opknippen van de aanbesteding in een enkele of meerdere aanbestedingen (ad 2). Het faseren zou kunnen betekenen dat in eerste instantie technisch makkelijker te realiseren of minder druk bevaren verbindingen kunnen worden aanbesteed. Hierdoor opgedane kennis bij de exploitatie van deze lijnen worden meegenomen in de daaropvolgende aanbestedingen. Ook kan er voor iedere aanbesteding een nieuw prijspeil worden bepaald waar de laatste ontwikkelingen zijn meegenomen.
Daarentegen kan het ervoor zorgen dat er meer tijd en geld in het proces gaat zitten, waardoor eventueel het duurzaamheidsdoel van 2025 niet wordt gehaald. Door het los aanbesteden kan de uniformiteit en standaardisatie van de veren en het systeem verkleind worden. De markt zou minder ruimte kunnen hebben voor optimalisatie voor het systeem, hetgeen kan tot kostenverhoging kan leiden.

Deze en andere afwegingen die de risico's en baten bepalen moeten in de verdere fasen van de voorbereiding van de aanbesteding worden meegenomen.

Adviezen op basis van fase 1

Op basis van de genomen stappen in fase 1 van de voorbereidingen van de aanbesteding van uitstootvrije veren over het IJ, wordt het volgende geadviseerd.

1. Op basis van beschikbaarheid, betrouwbaarheid en kosten van de techniek adviseren wij om voor **batterij-elektrische veren** te kiezen met laadvoorzieningen bij de bestaande aanlandingen.
2. Geadviseerd wordt om te kiezen voor de **'*verduurzaamd in 2025*' variant als uitgangspunt voor de (verdere voorbereiding van de) aanbesteding**. Ten eerste kennen de varianten waarin sneller wordt verduurzaamd aanzienlijk hogere kosten: orde grootte (enkele) tientallen miljoenen euro's over de levensduur van het systeem als geheel. Ten tweede betekent eerder verduurzamen dat er niet optimaal gebruik gemaakt wordt van de bestaande vloot – met name de huidige type 50 veren. Enkele hiervan zullen vroegtijdig uit de vaart worden genomen, in plaats van deze te benutten voor ombouw naar duurzame veren. Ten slotte vraagt het veel van de gemeente, GVB en de markt om eind 2025 alle veren uitstootvrij te hebben. Nog sneller willen verduurzamen kent een zeer groot haalbaarheidsrisico; zowel aan de zijde van de gemeente en GVB, als ook van de markt.
3. Op basis van de hoeveelheid aan parameters binnen het verduurzamen van de IJveren, in combinatie met de aanwezige onzekerheden in realisatie en kosten, wordt geadviseerd om **minimaal een uitgebreide marktconsultatie te doen** in het vervolg van de voorbereidingen. Nog wenselijker lijkt het om de **markt enige vrijheid te laten** bij het bieden van oplossingen. Dit kan bijvoorbeeld middels een vorm van innovatief aanbesteden, zoals de concurrentiegerichte dialoog. Op die manier is er ruimte voor overleg tussen de gemeente en GVB en marktpartijen, om tot een optimale invulling van een duurzaam IJveren systeem te komen. Tevens biedt dit de ruimte om technologische ontwikkelingen, die zich in aanloop naar en gedurende de aanbesteding voordoen, eventueel mee te nemen in het verduurzamen van de IJveren.

Inhoudsopgave

Samenvatting **3**
Inleiding: voorbereidende werkzaamheden ter verduurzaming van de veren over het IJ **8**
1. Haalbaarheid van de verduurzaming van de IJveren **11**
2. Mogelijke varianten voor verduurzaming **13**
3. Kostenramingen van de varianten **19**
4. Conclusies en adviezen voor het verdere proces **36**
Bijlage A: Gebruikte aannames in de TCO **38**
Bijlage B: Gebruikte laadstrategie **44**
Bijlage C: Ingroei op basis van de update verenstrategie **46**
Bijlage D: Projecten overzicht **50**
Bijlage E: Literatuuroverzicht & interviewoverzicht **53**

Inleiding en proces

Inleiding
In februari 2018 is een update van de Nota Veren aangenomen door de Amsterdamse gemeenteraad[2]. Twee onderwerpen stonden hierin centraal: de reizigersgroei en de verduurzaming van de veerverbindingen over het IJ.

In navolging van deze nota laat de gemeente Amsterdam een onderzoek uitvoeren naar de mogelijkheden voor verduurzaming. Dit onderzoek dient ter voorbereiding van een te houden aanbesteding die voorziet in zowel de capaciteitsgroei als de verduurzaming van de veren. De capaciteitsbehoefte is reeds vastgesteld in de genoemde nota, de manier waarop de verduurzaming wordt verwezenlijkt, vereist nader onderzoek. De te houden aanbesteding ter verduurzaming betreft de aanschaf van uitstootvrije veren en bijbehorende componenten. De scope omvat niet de aanbesteding van de veerdiensten.

Proces en fasering
Het onderzoek bestaat uit de eerste twee fasen van de voorbereiding van de aanbesteding van de veren: een kostenraming voor de verduurzaming (fase 1) en een beslisnotitie voor het vervolg van de voorbereidingen (fase 2). Deze twee fasen vormen daarmee een belangrijke eerste stap richting de aanbesteding van materieel. Fase 1 geldt als de inhoudelijke voorbereiding van de aanbesteding, en bestaat uit de volgende onderdelen[3]:

- Een inschatting van de haalbaarheid van verduurzaming op basis van een markt- en techniekverkenning (zie hoofdstuk 1);
- Het definiëren van een aantal mogelijk varianten voor verduurzaming (zie hoofdstuk 2);
- Een kostenraming van deze varianten (zie hoofdstuk 3)..

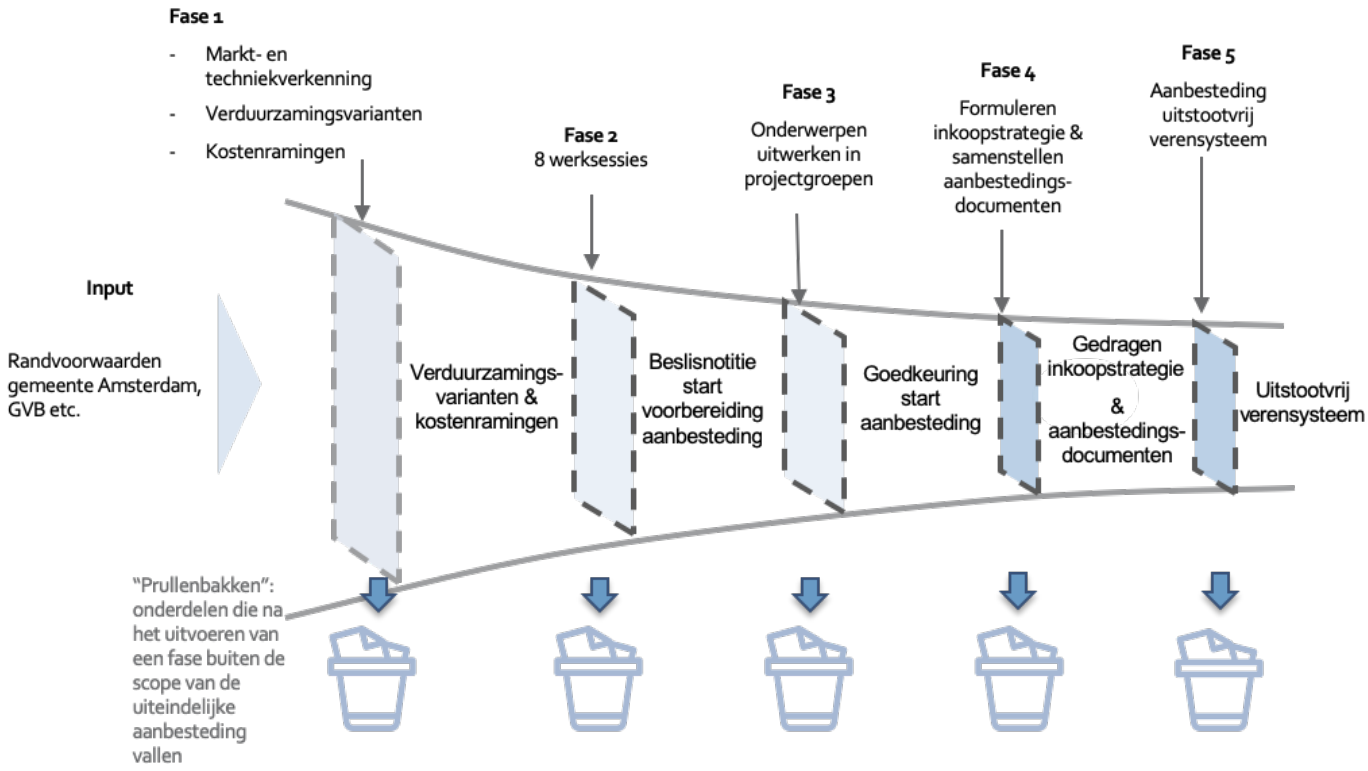
Fase 2, die op dit moment (eind 2019) nog in uitvoering is, bestaat uit een reeks werksessies met de gemeente, GVB en diverse andere stakeholders. De sessies dienen als input voor de op te stellen beslisnotitie over het vervolg van de voorbereidingen van de aanbesteding. Onderwerp van de werksessies zijn onder andere de scope van te houden aanbesteding, een marktbenaderingsstrategie en risico's van de aanbesteding.

Na deze twee eerste fasen volgen er nog een drietal fasen alvorens de aanbesteding doorlopen is, te weten:

- Fase 3: detailuitwerking van de verschillende onderdelen uit fase 2. Deze fase resulteert in een goedkeuring van de formele start van de aanbesteding.
- Fase 4: het samenstellen van een gedragen inkoopstrategie en aanbestedingsdocumenten
- Fase 5: de aanbesteding zelf, eindigend in een gunning.

[2] Update Nota Veren, Gemeente Amsterdam, versie 22 december 2017, vastgesteld door de gemeenteraad van Amsterdam op 14 februari 2018.
[3] Initieel zat in deze fase tevens een verkenning van de ruimtelijke mogelijkheden voor de installatie van infrastructuur. Na een eerste werksessie is er, omwille van de grote hoeveelheid vervolgvragen, voor gekozen om dit thema te verplaatsen naar fase 2 en verder.

Onderstaande figuur toont de verschillende fasen en te behalen doel per fase. De figuur geeft symbolisch de werking van elke fase weer als een trechter. Met elke zeef in de trechter worden keuzes gemaakt op weg naar een 100% uitstootvrij verensysteem.



Figuur 1: Weergave van de verschillende fasen tot aanbesteding van een uitstootvrij verensysteem

Fase 1: haalbaarheid, verduurzamingsvarianten & kostenramingen
Voorliggende rapportage heeft betrekking op fase 1. Het onderwerp van deze fase is de verduurzaming van de veren over het IJ. Het doel van deze fase is drieledig:

1. De haalbaarheid van het verduurzamen van de veren over het IJ inzichtelijk maken.
2. Mogelijke varianten ter verduurzaming definiëren.
3. Kostenramingen per variant in kaart brengen.

Additioneel aan de kostenramingen worden er elementaire berekeningen gedaan voor de maatschappelijke baten voortkomend uit het uitstootvrij zijn van de veren: een belangrijke reden om tot verduurzaming over te gaan.

Een second opinion is uitgevoerd op het voorliggende rapport. Deze second opinion is uitgevoerd door Twynstra Gudde en RHDHV. De rapportage is gekeurd op beschikbaarheid, juistheid en volledigheid alsmede de betrouwbaarheid van het opgestelde rekenmodel. Opmerkingen zoals

benoemd in een schriftelijke reactie, inclusief opmerkingen geplaatst in twee mondelinge gesprekken zijn (deels) verwerkt in voorliggende rapportage. Voor de punten die niet (volledig) zijn overgenomen geldt dat dit is gedaan in overleg met de gemeente.

1. Haalbaarheid van de verduurzaming van de IJveren

Voor het inzichtelijk maken van de haalbaarheid van de verduurzaming (het eerste doel van deze fase) is een markt- en techniekverkenning uitgevoerd. Eerdere door de gemeente uitgevraagde onderzoeken golden als belangrijke input voor deze verkenning. Techniek is echter bij uitstek een onderwerp dat zich ontwikkelt in de tijd. Derhalve is een verkenning gedaan van een aantal recent geïmplementeerde en in voorbereiding zijnde (deels) vergelijkbare projecten elders in de wereld. Een overzicht van een aantal recente projecten ter verduurzaming van veerverbindingen is bijgevoegd in Bijlage D: Projecten overzicht.

Hieruit komt het beeld naar voren van een zich snel ontwikkelende markt voor de verduurzaming van veersystemen. Hoewel vrijwel alle projecten op enige manier uniek zijn in hun soort, geldt in het algemeen dat verduurzaming van veerverbindingen meer en meer gemeengoed aan het worden is. Er zijn dan ook diverse marktpartijen en consortia die op meerdere plekken in de wereld uitstootvrije veren en bijbehorende technieken zoals laadinfrastructuur geleverd hebben en/of aan het leveren zijn. Onderstaande bevindingen geven een beeld op hoofdlijnen van de huidige markt van de verduurzaming van veerverbindingen.

- In de markt zijn verschillende projecten op het gebied van duurzame veren gerealiseerd en in uitvoering sinds de vorige door de gemeente Amsterdam uitgevoerde onderzoeken in de periode 2014-2017.
- Een concentratie van projecten is te vinden in de Scandinavische landen. In Nederland worden er verschillende projecten opgestart op het gebied van duurzame veren, waaronder de Amsterdamse Noordzeekanaal veren.
- Vrijwel elk verensysteem, en daarmee elke verduurzaming, kent unieke elementen. Bijvoorbeeld het type veer (van wandel- tot vrachtwagenveer), het type verbinding (van korte tot lange afstanden, van laag- tot hoogfrequent) en de lokale meteorologische en nautische omstandigheden. Hierdoor bestaan er nog weinig standaardproducten als het gaat om volledige verensystemen, en kent ieder verduurzamingsproject enig maatwerk, bijvoorbeeld voor (een deel van) het ontwerp van de veren.
- Een groot deel van de projecten betreft de inzet van plug-in hybride veren, waarmee in de praktijk, ondanks de aanwezigheid van een (diesel)generator, grotendeels volledig elektrisch wordt gevaren.
- Mogelijke duurzame technieken in de verenmarkt zijn batterij-elektrisch, waterstof-elektrisch en veren met een vliegwiel.
- De waterstof-elektrische variant bevindt zich in een pilotfase, en kenmerkt zich door hoge investeringen en gebruikerskosten t.o.v. de batterij-elektrische variant. Daarnaast geldt voor Amsterdam dat deze variant een nieuw op te zetten waterstofketen vereist.
- De vliegwieltechnologie is een energetisch interessante toepassing, maar vertoont beperkingen in het voorzien in de volledige energievraag: de techniek volstaat enkel voor de Amsterdamse piekvraag. De technologie kenmerkt zich verder door een groot ruimtegebruik. Daarbij is het vliegwiel een technologie die voor veren in de conceptfase zit: er zijn geen ervaringen met een inzet in een dienstregeling.

Op basis van de markt- en techniekverkenning wordt geconcludeerd dat een uitstootvrij verensysteem haalbaar is voor het verensysteem over het IJ. Belangrijk aandachtspunt in het vervolg van de voorbereidingen is het genoemde gebrek aan standaardisatie in uitstootvrije verensystemen. Dit is in het bijzonder van toepassing voor het relatief veeleisende Amsterdamse

verensysteem, met haar grote aantallen overtochten, beperkte aanlandingstijden en beperkte fysieke ruimte op de kades voor bijvoorbeeld laadinfrastructuur.

2. Mogelijke varianten voor verduurzaming

Om tot een uitstootvrij verensysteem over het IJ te komen moet een kostenraming gemaakt worden. Los van de marge die deze kostenraming kent door de fase waarin de voorbereidingen zich bevinden, is de kostenraming afhankelijk van een groot aantal kenmerken ofwel parameters van het systeem. Grofweg zijn die parameters te verdelen in:

- *Technische parameters van de veren,* zoals het type uitstootvrije aandrijflijn, bijvoorbeeld batterij-elektrisch of waterstof-elektrisch;
- *Technische parameters van de laadinfrastructuur,* zoals het beschikbare vermogen op het middenspanningsnet in de buurt van de aanlandingen, waardoor er mogelijk grenzen gesteld worden aan het maximale laadvermogen op een locatie;
- *Bestuurlijke wensen*, zoals de snelheid van verduurzaming (e.g. in 2025), wat zich vertaalt in een instroomschema van uitstootvrije veren (hoeveel om te bouwen en nieuwe veren in welk jaar);
- *Overige systeemkenmerken*, zoals de te varen dienstregeling en de hiervoor benodigde hoeveelheid veren. Deze categorie van kenmerken is voor dit onderzoek als gegeven beschouwd; de verduurzaming betreft hier enkel de techniek van de veren.

Deze parameters hangen nauw met elkaar samen, ook als het gaat om de kostenbepaling van verschillende varianten van een uitstootvrij verensysteem. Ter illustratie: stel dat de bestuurlijke wens is om zo snel mogelijk te verduurzamen. Gegeven de huidige dienstregeling, en het vervangingsschema van de veren op basis van de huidige technische staat van de vloot, zullen er veren zijn die nu varen die versneld worden afgeschreven c.q. vroegtijdig uit de vaart worden genomen in plaats van dat ze worden omgebouwd naar uitstootvrije vaartuigen. In de plaats van het ombouwen van veren uit de huidige vloot, komen er meer nieuwe uitstootvrije veren in de dienstregeling, die meer kosten dan omgebouwde uitstootvrije veren. Dit heeft tot gevolg dat er meer kosten gemaakt worden dan varianten waarbij het uitstroomschema van de huidige vloot behouden blijft. Ook wordt de huidige vloot niet maximaal benut in termen van het ombouwen van vaartuigen die nu al onderdeel zijn van de vloot (de type 50 en 60 veren).

Om tot varianten van een uitstootvrij verensysteem te komen zijn een viertal parametercombinaties vastgesteld in overleg met de gemeente. Daarbij is een aantal uitgangspunten ofwel randvoorwaarden van het verensysteem als geheel gehanteerd, welke in onderstaande tabel staan weergegeven.

Tabel 2: randvoorwaarden veersysteem over het IJ

Randvoorwaarde	Toelichting
Capaciteitsvraag	De voorziene toekomstige capaciteitsvraag zoals vastgesteld in 2019 dient als uitgangspunt voor de benodigde hoeveelheid veren in de verschillende toekomstige jaren.
Lijnvoering (exploitatie) en dienstregeling.	De huidige lijnvoering, inclusief genoemde toekomstige wijzigingen zoals omschreven in de update nota veren, wordt in stand gehouden. Hetzelfde geldt voor de huidige dienstregeling: de reiziger dient niets te merken van de verduurzaming in termen van dienstverlening, hoogstens een verbetering (e.g. geluid of comfort).
Kostenoptimalisatie	Voor de verschillende technische parameters van een variant wordt geoptimaliseerd op basis van kosten over de levensduur van de veren.
Bewezen betrouwbaar en veilige technologie	Voor de uitvoering van de veerdiensten volstaan enkel bewezen technieken: Amsterdam wil geen pilots op het IJ houden met de veren. Het veilig en betrouwbaar uitvoeren van de diensten staat centraal; duurzaamheid is volgend.
Uitstootvrije vloot	Er wordt uitgegaan van een volledig uitstootvrije vloot veren in het gewenste jaartal. Uitstootvrij betekent hier dat de veren zelf tijdens het varen geen uitstoot kennen (*tank-to-propeller)*. Aan te voeren elektrische energie valt binnen het groene contract van de gemeente/GVB.
Maatvoering type 60 veer is uitgangspunt	Een nieuw ontwerp, binnen o.a. de kaders zoals gesteld door de aanlandingen en de lengtebeperking voor de veren, is voor toekomstige veren niet op voorhand uit te sluiten. Om tot een invulling van varianten te komen is er uit praktische overwegingen gekozen om het ontwerp van de huidige type 60 veer als uitgangspunt te nemen. Hier kan in latere fasen vanaf worden gezien, bijvoorbeeld omwille van de wens om de markt enige vrijheid te geven om een energiezuinig (romp)ontwerp te laten maken voor de nieuw te bouwen veren.
Uitwisselbaarheid van vaartuigen is wenselijk, evenals homogeen onderhoud	De verschillende veren kunnen ingezet worden op elk van de nu geldende verbindingen, en kunnen homogeen onderhouden worden. Ook dit is, net als de maatvoering van de veer (zie vorige parameter) om het uitvoeren van de diensten centraal te stellen. Praktisch betekent dit de keuze voor één aandrijftechniek per variant, en geen combinatie van bijvoorbeeld waterstof-elektrisch en batterij-elektrisch.
Maximaal in te passen accucapaciteit	In het ontwerp van de type 60 veren past een maximale accucapaciteit van 600 kWh accucapaciteit, o.b.v. de huidige stand van de batterijtechnologie (inclusief verwachtte ontwikkelingen in de komende paar jaar) en de maximaal beschikbare ruimte in een type 60 veer.
Instroom van veren en restwaarde	Voor de varianten zijn verschillende instroommomenten van de veren vastgesteld: zie hierna. Voor veren die nog niet volledig zijn afgeschreven in 2050 is een (beperkte) restwaarde gerekend.

Op basis van de markt- en techniekverkenning, aangevuld met de hiervoor genoemde randvoorwaarden, is een viertal varianten opgesteld om tot kostenramingen te komen. Het belangrijkste onderscheid in de varianten is de snelheid van verduurzaming: uitstootvrij in 2025, in 2023 of zo snel mogelijk. Als vierde variant is toegevoegd de zogenaamde *business-as-usual* variant. Deze variant dient ter bepaling van de additionele kosten van verduurzaming, ten opzichte van doorvaren met de huidige veren (serie-hybride type 60). Voor alle varianten geldt dat het aantal veren dat uiteindelijk in de vaart dient te zijn vast is gesteld aan de hand van de meest recente capaciteitsinschattingen (het aantal over te varen passagiers) zoals bekend bij de gemeente Amsterdam gebaseerd op de nota varen 2017[4], weergegeven in Figuur 20 in Bijlage C: Ingroei op basis van de update verenstrategie .

Op basis van de randvoorwaarde van kostenoptimalisatie, in combinatie met de voorwaarde voor bewezen technologieën, geldt voor ieder van de varianten dat er uitgegaan is van batterij-elektrische vaartuigen. Voor de laadvoorzieningen is gekozen voor pantograafverbindingen vanaf de wal bij bestaande aanlandingen: dit is enkel voor de kostenberekeningen, en betreft nog geen definitieve keuze. Waterstof-elektrische veren zijn wel verkend, inclusief initiële kostenberekeningen; zie onder meer de investeringskosten per veer in het volgende hoofdstuk. De techniek is echter niet meegenomen in de varianten, om twee redenen. Ten eerste bevindt deze techniek zich in voor veren in een pilot-fase; iets wat de gemeente niet wenst voor de toepassing op het IJ. Daarnaast kent de techniek significant hogere kosten dan bijvoorbeeld batterij-elektrische veren: zowel de investeringen als de gebruikskosten. Eerste berekeningen laten zien dat de totale kosten van een individuele verbinding al snel een factor 1,5 duurder is dan een vergelijkbare inzet van batterij-elektrische veren: verduurzaming middels kostenoptimalisatie is daarmee niet mogelijk met waterstof. Ook de toepassing van batterijwissels is niet meegenomen als variant, gegeven dat dit voor zover bekend op dit moment niet wordt toegepast bij veren, en ook in andere sectoren geen kostenaantrekkelijke toepassingen kent.

Wel meegenomen in de varianten zijn generatoren als back-up. Dit is een overweging voor bijvoorbeeld extreme weersomstandigheden, stroomuitval of een eventuele tocht naar een werf buiten het inzetgebied van de veren. In dat soort gevallen is de benodigde batterijcapaciteit groter dan onder gebruikelijke omstandigheden; een generator kan dan uitkomst bieden[5]. De kosten van een generator zijn niet van significante impact op de totale investering van een veer. Separate berekeningen zijn gemaakt voor de eventuele toevoeging van de vliegwieltechnologie ter ondersteuning van de piekvraag. Voor deze beide onderdelen (generator en vliegwiel) kan in latere fasen gekozen worden om ze binnen of buiten de scope van de aanbesteding te laten vallen.

Hetzelfde geldt voor de keuze voor diverse grootten batterijpakket. Niet voor elke individuele ververbinding is een batterijpakket ter grootte van 600 kWh benodigd of optimaal. Echter, omwille van de operationele wens van GVB om alle veren uitwisselbaar tussen alle verbindingen te maken, is er voor één formaat batterijpakket gekozen. Daarnaast heeft het grotere batterijpakket, ondanks hogere investeringskosten op het niveau van de veren, lagere infrastructuurkosten tot gevolg en draagt het zodoende bij aan de kostenoptimalisatie. Of en in hoeverre deze kostenoptimalisatie zich voordoet voor het Amsterdamse verensysteem als geheel is afhankelijk van de gekozen indeling, bijvoorbeeld hoe vaak en op hoeveel locaties laden. Om tot kostenberekeningen te komen is er voor al deze parameters een bepaalde keuze gemaakt, maar deze keuze ligt daarmee niet vast. Dit geldt

[4] Update Nota Veren, Gemeente Amsterdam, versie 22 december 2017, vastgesteld door de gemeenteraad van Amsterdam op 14 februari 2018.

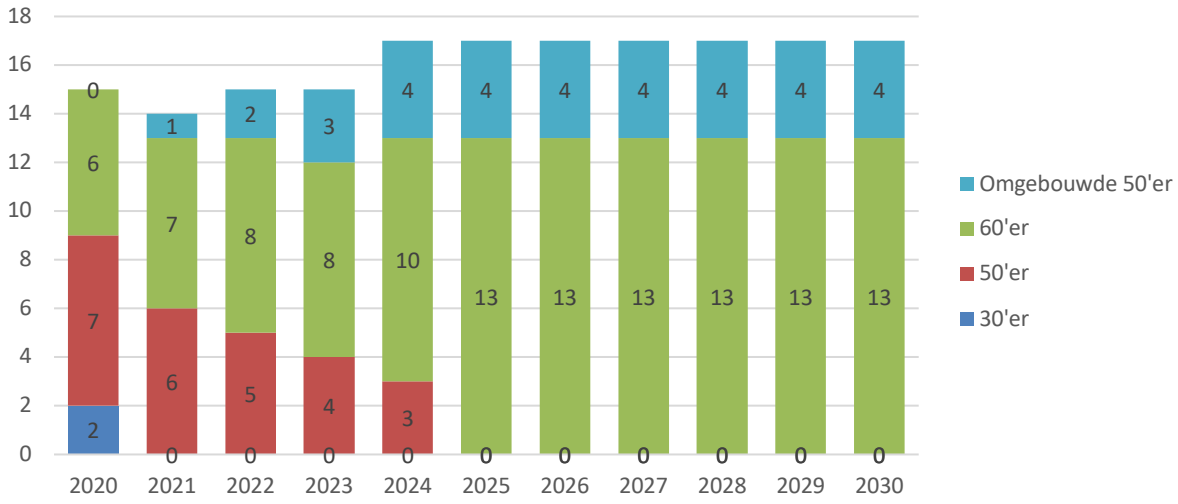
[5] Een alternatief voor een generator is een gedetailleerde inschatting maken van het aantal dagen extreem weer waarbij de veren niet kunnen varen. De kosten behorende bij die kans kan afgezet worden tegen de kosten van generatoren, inclusief de maatschappelijke kosten van de inzet van diesel. Tevens kunnen sleepdiensten overwogen worden voor de eventuele lange tochten naar een werf.

dan ook voor de keuze om één of meerdere formaten batterijpakketten uit te vragen aan de markt: deze keuze zal later in het aanbestedingsproces genomen moeten worden.

Tevens is er een eerste inschatting gedaan van de kosten van één centrale laadlocatie; een zogenaamde hub. Deze initiële berekeningen, waarbij enkel gekeken is naar de additioneel benodigde veren voor het laten functioneren van een hub, laten een beeld zien van significant hogere kosten: ~€20 mln. aan additionele investeringen in veren. Hier zijn de kosten voor de aanleg van een hub zelf niet meegerekend, evenmin als de additionele personele kosten voor het heen en weer varen naar een hublocatie. Vanuit kostenoptimalisatie is de hub-variant niet verder meegenomen in de kostenramingen.

Concreet zijn naast voortzetting van de huidige situatie met serie-hybride veren (*business as usual)* drie batterij-elektrische varianten opgesteld voor een kostenraming. Een korte omschrijving van de in totaal vier varianten:

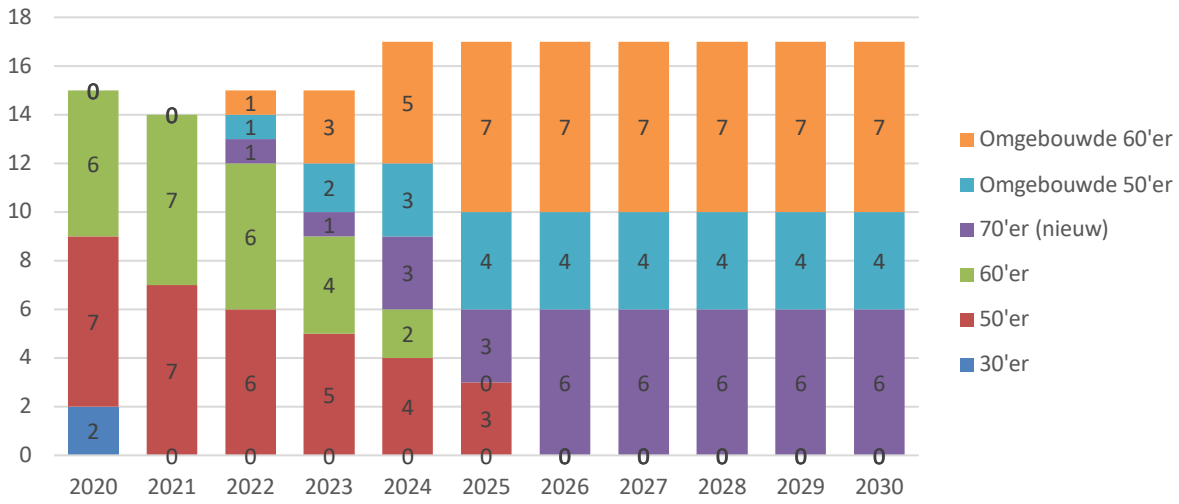
1) **Business-as-usual**. Deze variant dient als vertrekpunt voor de berekeningen van de kosten van verduurzaming. De variant houdt wel rekening met de benodigde groei in het aantal veren om aan de capaciteitsvraag te voldoen: van 15 stuks in 2019 naar 17 veren in 2024. Deze variant houdt geen rekening met verdere verduurzaming: in deze variant wordt de vloot uitgebreid met additionele serie-hybride type 60 veren. Onderstaande Figuur 2 geeft het benodigde aantallen veren per jaar weer, voor deze variant. Deze figuur staat tevens in bijlage C weergegeven (Figuur 21). Figuur 22 (eveneens in bijlage C) geeft een overzicht van de aantallen nieuwkoop en ombouw per jaar.



Figuur 2: Vlootsamenstelling voor de BAU variant

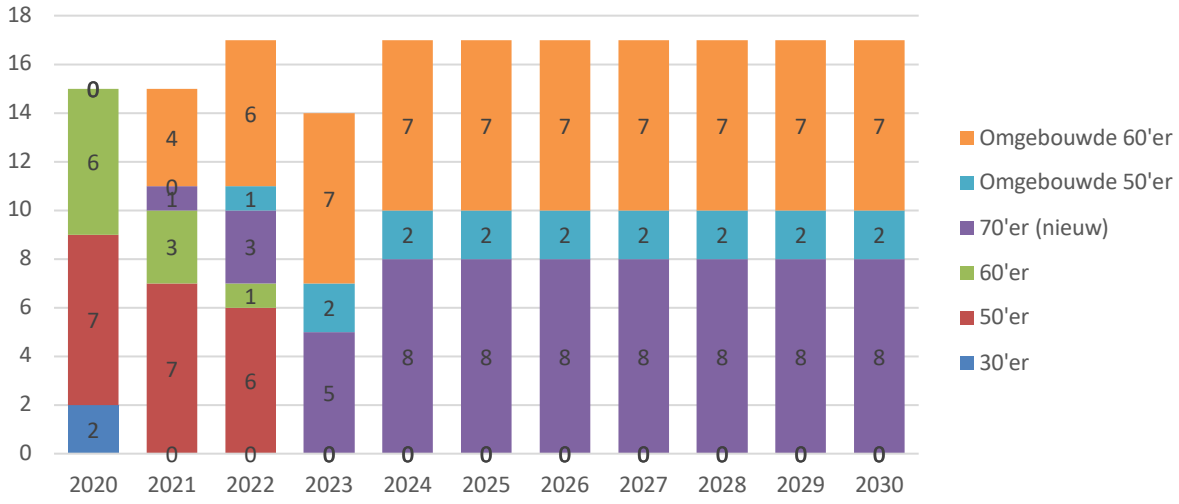
2) **Verduurzaamd in 2025**. Deze variant komt voort uit het verduurzamingsconvenant tussen GVB en de gemeente Amsterdam, en resulteert in een volledige vloot uitstootvrije veren in 2025. Ook in deze variant zal rekening worden gehouden met de groei in het aantal veren, zoals benodigd voor de capaciteitsvraag. De instroom verschilt echter van de BaU-variant, door een snellere instroom van nieuwe veren, om in 2025 een volledig verduurzaamde vloot te kunnen hebben. Onderstaand Figuur 3(tevens weergegeven als Figuur 23 in bijlage C) geeft een overzicht van de vlootsamenstelling tot en met 2030 Een overzicht van de

aantallen nieuwkoop en ombouw per jaar staat weergegeven in Figuur 24 in Bijlage C: Ingroei op basis van de update verenstrategie.



Figuur 3: Vlootsamenstelling voor de verduurzaamd in de 2025 variant

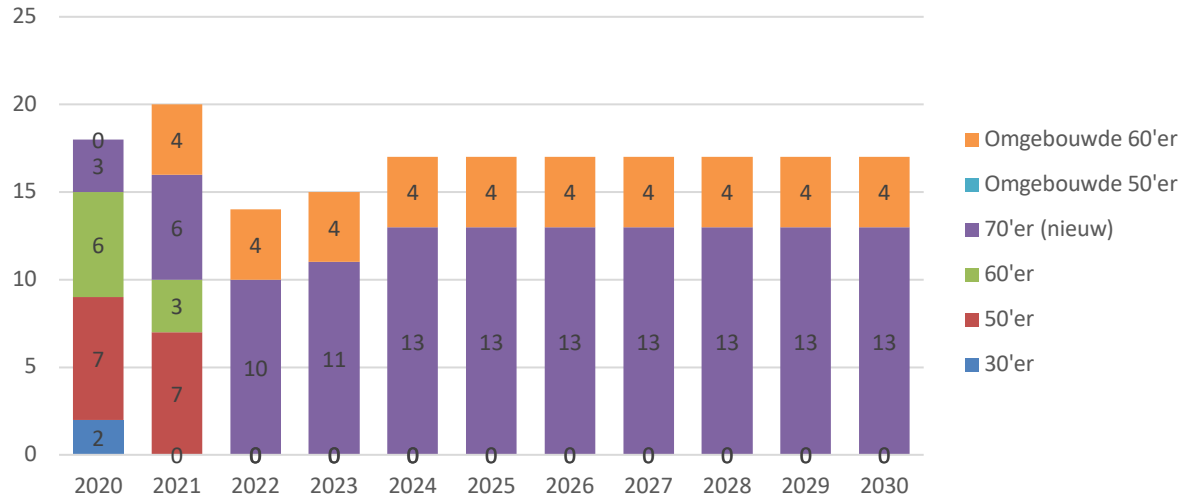
3) **Verduurzaamd in 2023**. Wethouder Dijksma heeft aangegeven te willen weten of er sneller dan 2025 verduurzaamd kan worden. Dit resulteert o.a. in deze variant: verduurzaamd in 2023, waarbij zoveel mogelijk optimaal gebruik gemaakt wordt van het vervangingsschema van de huidige vloot. Onderstaand Figuur 4 (tevens weergegeven als Figuur 25 in bijlage C) geeft een overzicht van de vlootsamenstelling tot en met 2030. Een overzicht van de aantallen nieuwkoop en ombouw per jaar staat weergegeven in Figuur 26 in bijlage C.



Figuur 4: Vlootsamenstelling voor de verduurzaamd in de 2023 variant

4) **Zo snel als mogelijk verduurzamen**. Deze variant houdt minimaal rekening met het verloop van de nu aanwezige veren, en kijkt naar de mogelijkheden van het zo snel als mogelijk aanschaffen van uitstootvrije veren. In de praktijk betekent dit dat er in 2022 een uitstootvrije vloot zal zijn, als gevolg van de benodigde voorbereidingstijd van de aanbesteding en de (naar verwachting) beschikbare capaciteit van de markt om nieuwe

veren te leveren. Onderstaand Figuur 5 (tevens weergegeven als Figuur 27 in bijlage C) geeft een overzicht van de vlootsamenstelling tot en met 2030. Een overzicht van de aantallen nieuwkoop en ombouw per jaar staat weergegeven in Figuur 28 in bijlage C.



Figuur 5: Vlootsamenstelling voor de verduurzaamd in de zo snel mogelijk variant

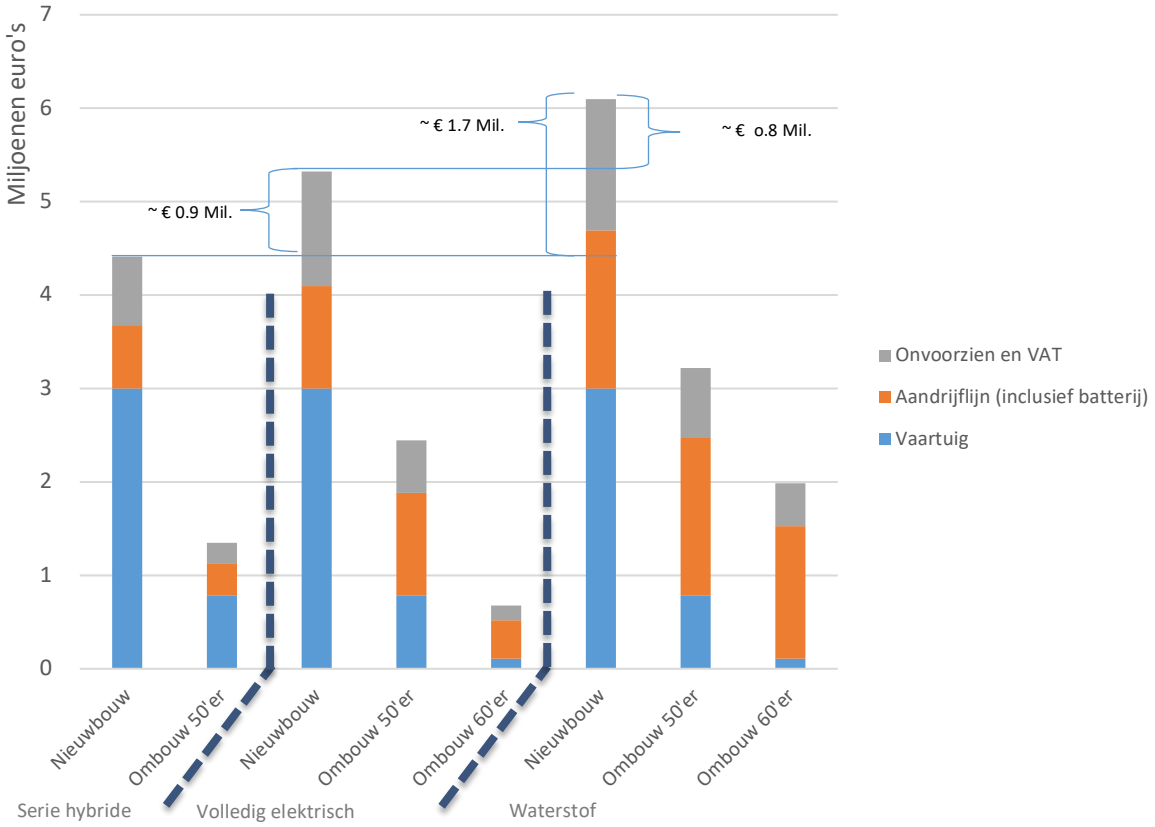
3. Kostenramingen van de varianten

Van ieder van de vier varianten is een kostenraming gemaakt. Daarbij is een berekening gemaakt van de totale kosten van het verduurzamen van de vloot over de levensduur: de zogenaamde *total cost of ownership* (TCO). Voor de levensduur is een periode van 30 jaar gekozen: de verwachtte levensduur van een uitstootvrije veer. Hierbij wordt wel gerekend met groot- en levensverlengend onderhoud. In bijlage A is een korte omschrijving gegeven van het opgestelde en gebruikte model, inclusief de belangrijkste uitgangspunten. Samengevat worden de volgende kosten meegerekend:

- Investeringskosten veer: (om)bouw, aandrijflijn, batterij, generator, etc.;
- Investeringskosten laadinfrastructuur: Investering aansluiting en laadvoorziening
- Operationele kosten veer: onderhoudskosten, vervanging batterij, brandstofkosten
- Operationele kosten laadinfrastructuur: transportkosten, periodieke aansluitingsvergoeding en onderhoud.

Hierbij is rekening gehouden met de huidige vloot en de benodigde capaciteitsuitbreiding volgens de verenstrategie zoals weergegeven in het vorige hoofdstuk en in Bijlage C: Ingroei op basis van de update verenstrategie. De genoemde type kosten worden nu ieder behandelend, opbouwend naar een totaalkostenoverzicht aan het einde van dit hoofdstuk. Hierbij wordt steeds onderscheid gemaakt tussen de belangrijkste elementen per kostenpost, en de verschillen tussen de technieken en/of de verschillende varianten.

Investeringskosten per veertype
Een investeringskostenoverzicht (de aanschafkosten voor één veer) voor de verschillende type veren is te zien in onderstaand Figuur 6.

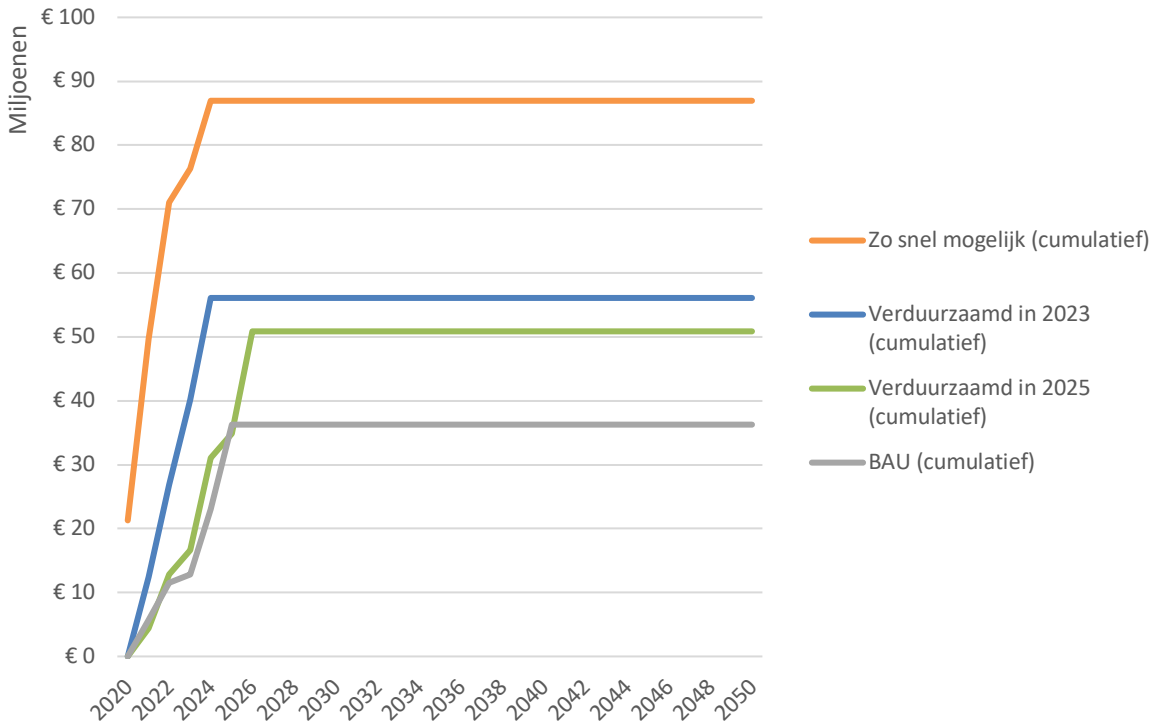


Figuur 6: Investeringskosten voor 1 veer voor drie type veren. De kosten zijn voor de nieuwbouw, ombouw van een 50'er of een 60'er. Serie hybride is niet uitstootvrij, maar wordt gebruikt voor de business-as-usual (BaU) variant. De huidige type 60-veren zijn serie hybride. Voor dat type veer is er in de BaU variant dan ook geen ombouw; enkel in de verduurzamingsvarianten, van serie hybride naar een uitstootvrije variant.

De serie-hybride is het type veer met de laagste investeringskosten per veer: ~€ 4.4 mln. De investeringskosten voor een volledig elektrische veer zijn ~€ 5.3 mln: meerkosten van ~€ 0.9 mln, ten opzichte van een serie-hybride veer. Meerkosten voor de investering van een waterstofveer ten opzichte van een serie hybride veer zijn ~€ 1.7 mln, waarmee de investeringskosten per waterstofveer uitkomen op ~€ 6.1 mln. Zoals vermeld in het vorige hoofdstuk is de waterstoftechniek verder niet meegenomen in de varianten; de kosten worden hier voor de volledigheid illustratief getoond.

Totale investeringen voor veren per variant

Op basis van de hiervoor genoemde kosten per veer, en het instroomschema van nieuwe en ombouwveren (zoals getoond in het hoofdstuk "varianten" en bijlage C) zijn de totale investeringen voor veren per variant berekend. Deze totale investeringen voor veren staan weergegeven in onderstaande Figuur 7. De investeringskosten voor de '*BaU*' variant (~€ 36 mln.) zijn aanzienlijk lager dan de investeringskosten van de '*verduurzaamd in 2025*' variant (~€ 51 mln.), '*verduurzaamd in 2023*' variant (~€ 56 mln.) en de '*zo snel mogelijk*' variant (~€ 87 mln.).



Figuur 7: Cumulatieve investeringskosten veren tot en met 2050 voor de verschillende varianten

De meerkosten van de uitstootvrije varianten kennen twee redenen. Ten eerste de meerkosten, zoals weergegeven in Figuur 6, voor een duurzame type veer ten opzichte van (een huidige) serie-hybride veer. Ten tweede zullen er voor twee van de drie verduurzamingsvarianten een aantal veren vroegtijdig worden afgeschreven (verduurzaamd in 2023 en de zo snel mogelijk variant): dit in tegenstelling tot de '*BaU*' en verduurzaamd in 2025 varianten waar alle veren blijven varen tot het einde van hun levensduur. In de '*zo snel mogelijk*' variant zullen bijna alle veren direct nieuw moeten

worden gekocht omdat er geen tijd beschikbaar is voor het ombouwen van de reeds aanwezige veren. Daarentegen kunnen in de '*verduurzaamd in 2025*' en de *BaU*-variant nagenoeg alle daarvoor geschikte veren worden omgebouwd.

Naast de additionele kosten van de nieuw aan te schaffen veren ten opzichte van het ombouwen van bestaande veren, zijn er ook milieuoverwegingen. Meer gebruik maken van de huidige vloot betekent minder productie van nieuwe veren en een verhoogde circulariteit van de huidige vloot.

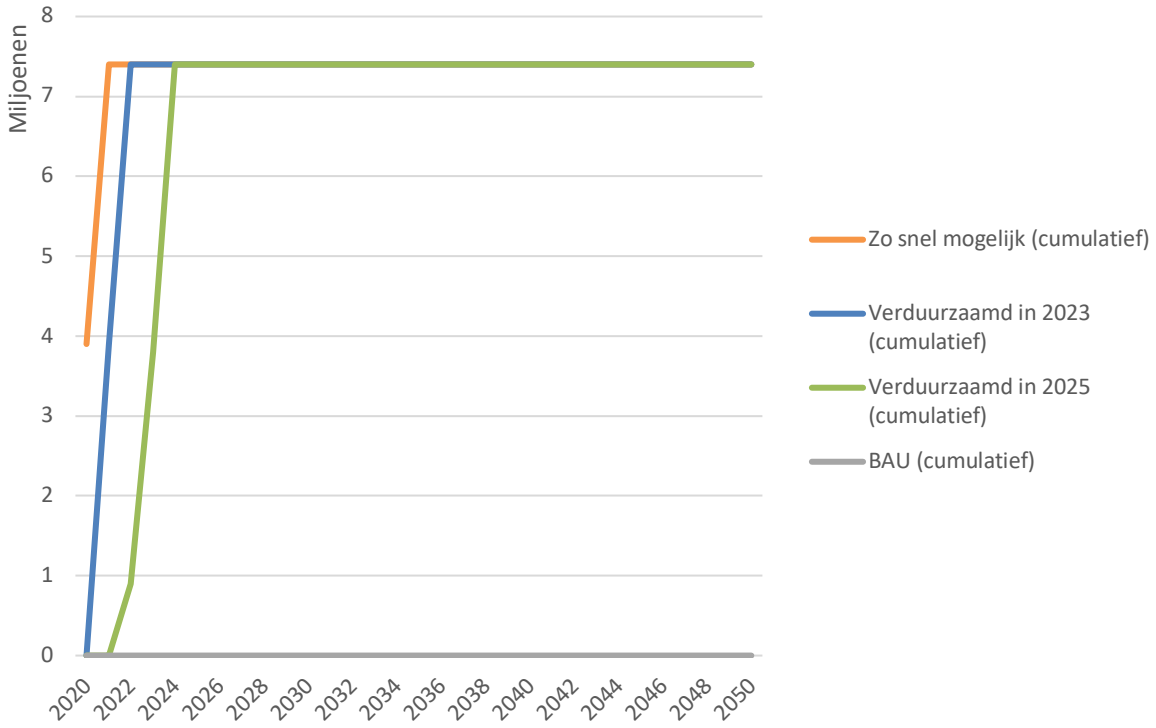
17 veren in de vloot; nog 16 te financieren

Gedurende het uitvoeren van voorliggende studie is het aantal benodigde veren enkele keren gewijzigd, als gevolg van voortschrijdend inzicht in de capaciteitsbehoefte. Tevens is er, vlak voor het definitief maken van de rapportage, de keuze gemaakt om de zevende type 60 veer, (nummer 66) te bestellen. Doordat deze keuze gemaakt is, verandert weliswaar het aantal veren in de toekomst niet, maar is er wel reeds een reservering gemaakt voor een extra veer binnen de gemeentelijke begroting.

Dit betekent dat van de hier getoonde benodigde investeringen voor iedere variant, de kosten voor één type 60 veer afgetrokken kunnen worden: ~€4,3mln. Om de opleverdatum van deze rapportage niet verder vooruit te schuiven, is er voor gekozen deze aanpassing niet door te voeren in de tabellen, grafieken en teksten. Naast deze tekstboks is er tevens een voetnoot bij het totaalkostenoverzicht geplaatst.

Investeringskosten laadinfrastructuur

In Figuur 8 zijn de investeringen voor de laadinfrastructuur weergegeven voor de verschillende varianten tot en met 2050.



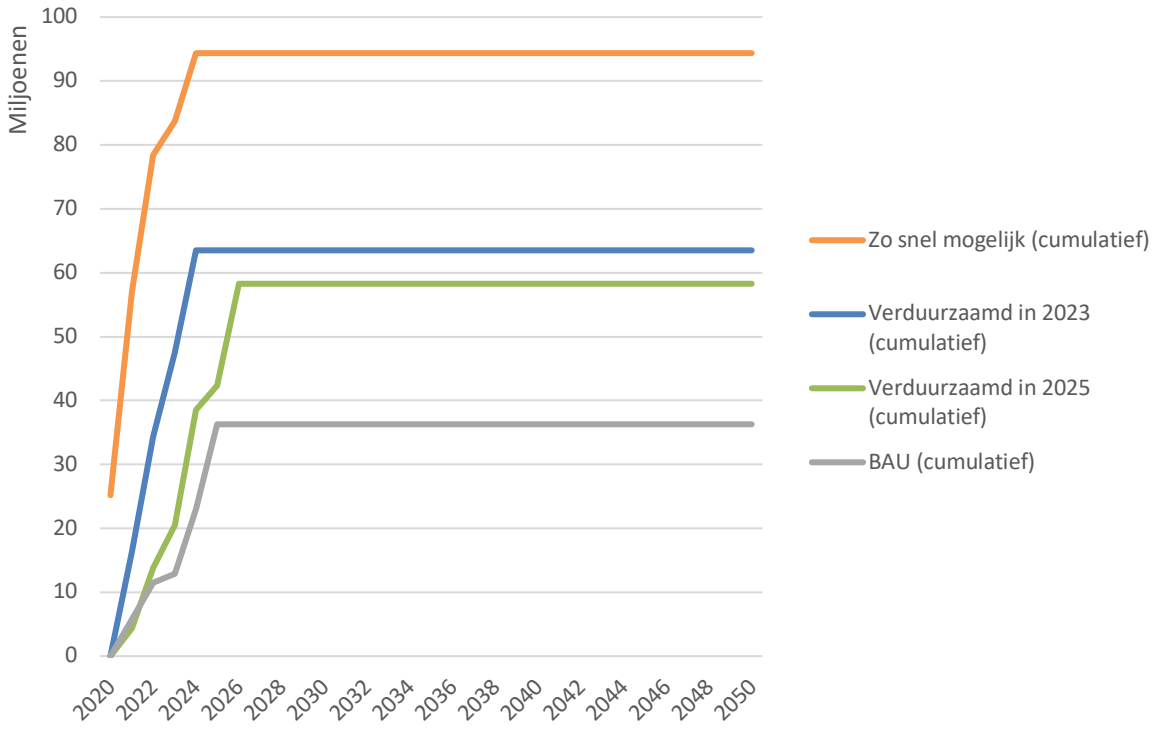
Figuur 8: Cumulatieve investeringskosten laadinfrastructuur tot en met 2050 voor de verschillende varianten

Investeringskosten voor de laadinfrastructuur bestaan uit de eenmalige kosten voor de aansluiting op het energienetwerk en de kosten voor de laadvoorziening zelf (laadregelkast, koppeling wal en schip, etc.). Zoals te zien in Figuur 8 verschillen de cumulatieve kosten tussen de uitstootvrije varianten niet. Dit komt doordat voor ieder van deze varianten dezelfde laadvoorzieningen benodigd zijn: de energiebehoefte over het systeem verschilt niet tussen de varianten, doordat dezelfde diensten worden gevaren met dezelfde laadvoorzieningen. Ten opzichte van de '*BaU*' betekent dit voor ieder van de varianten additionele investeringen van ~€ 7,5 mln.

Zoals te zien in Figuur 8 is verschilt het moment van de investeringen tussen de uitstootvrije varianten wel. Dit heeft invloed op benodigde tijd voor bijvoorbeeld realisatie van aansluitingen op het net en productie en levering van de infrastructuur.

Totale investeringskosten per variant

In Figuur 9 zijn de totale investeringen van de verschillende varianten weergegeven tot en met 2050.



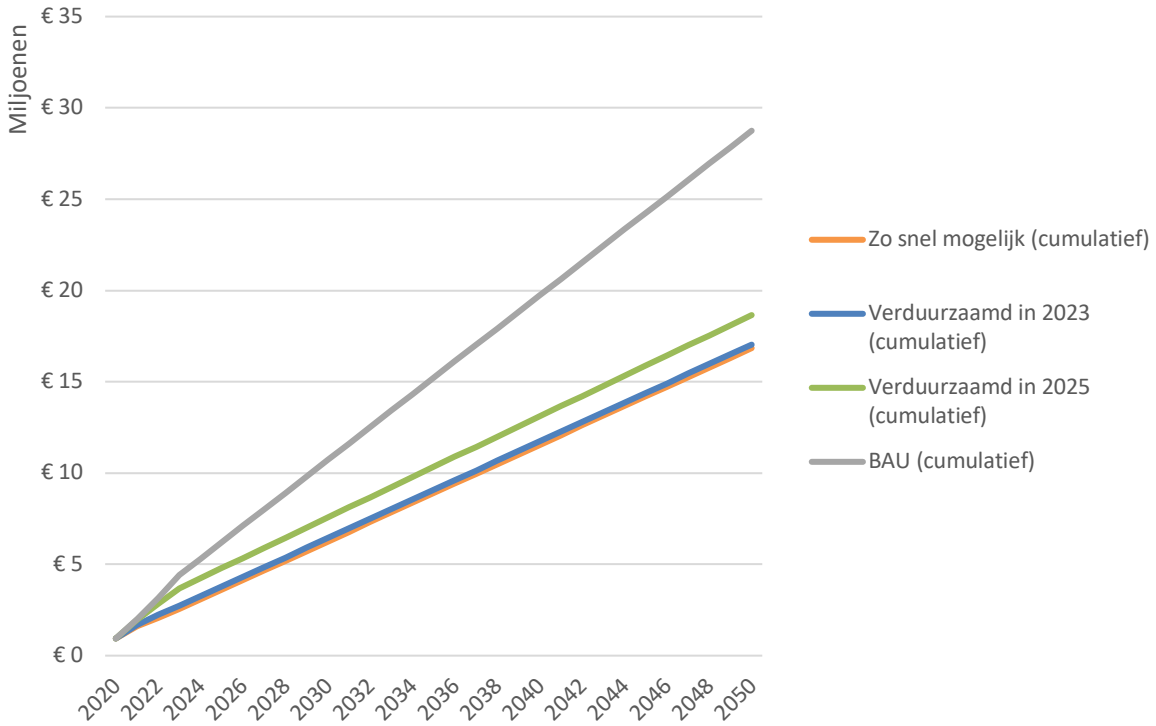
Figuur 9: Totale cumulatieve investeringskosten tot en met 2050 voor de verschillende varianten

De totale investeringskosten bestaan uit de hiervoor omschreven investeringskosten voor de veren en de investeringskosten voor de laadinfrastructuur. Zoals te zien in Figuur 9 zijn er significant hogere investeringskosten voor de '*verduurzaamd in 2025*' variant (~€ 58 mln.), '*verduurzaamd in 2023*' variant (~€ 63 mln.) en de '*zo snel mogelijk*' variant (~€ 94 mln.) dan in de '*BaU*' variant (~€ 36 mln.).

Naast de investeringskosten zijn er operationele kosten bestaande uit de energiekosten, overige operationele kosten veren en operationele kosten van de laadinfrastructuur. Deze worden één voor één in de volgende paragrafen behandeld. Daarna volgt een overzicht van de totale kosten per variant.

Energiekosten per variant

In Figuur 10 worden de energiekosten van de varianten tot en met 2050 weergegeven.



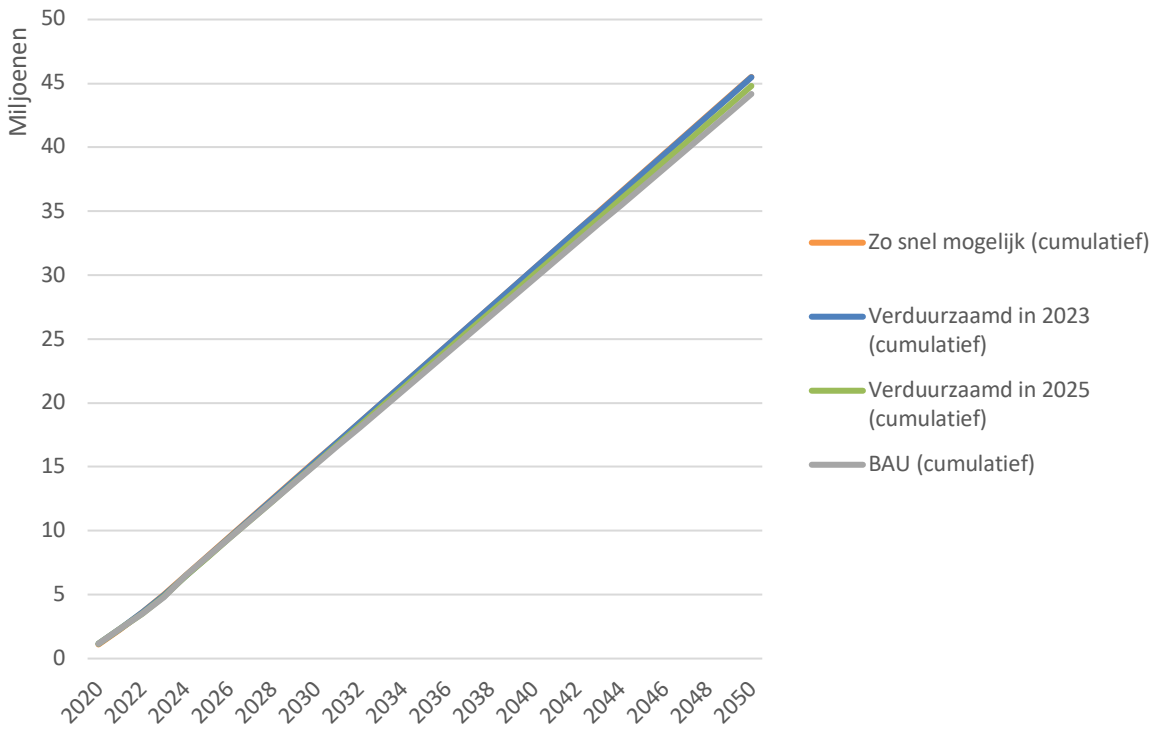
Figuur 10: Energiekosten (diesel en elektriciteit) van de varianten voor het systeem tot en met 2050

De energiekosten bestaan in de '*BaU*' variant uit de (verwachte) kosten voor de diesel[6] van de veren. De energiekosten voor de '*verduurzaamd in 2025*' variant bestaat uit de (verwachte) elektriciteitskosten[7] voor de veren. Daarnaast zitten er in de jaren tot 2025, 2023 en 2022 ook nog dieselkosten voor respectievelijk de varianten '*verduurzaamd in 2025*', '*verduurzaamd in 2023*' en '*zo snel mogelijk*', omdat er tot dan ook nog hybride veren varen: de huidige 60'ers. Zoals te zien in Figuur 10 zijn de veronderstelde energiekosten voor de '*verduurzaamd in 2025'* (~ € 18 mln.), '*verduurzaamd in 2023*' (~€ 17 mln.) en '*zo snel mogelijk*' (~€ 17 mln.) varianten aanzienlijk lager dan voor de '*BaU'* variant (~€ 29 mln.). Dit is in lijn met het kostenvoordeel van elektrificatie van andere modaliteiten zoals (toepassingen van) auto's en bussen.

[6] Deze kosten, gebaseerd op een toekomstige dieselprijs, zijn sterk afhankelijk van toekomstige mondiale ontwikkelingen. Voor deze berekeningen is uitgegaan van een vaste dieselprijs (conform de huidige prijs die GVB betaald voor een liter diesel) maar is er rekening gehouden met een devaluatie in de tijd van de euro.
[7] Ook de elektriciteitskosten zijn afhankelijk van externe factoren, zoals de groei van het aanbod van groene stroom. Voor elektrische energie geldt echter wel dat de prijs voor de komende jaren vastligt als gevolg van het recent met Nuon/Vattenfall afgesloten energiecontract voor de levering van groene stroom voor GVB, ofwel het evenzo groene stroomcontract tussen de gemeente Amsterdam en Greenchoice.

Overige operationele kosten veren

In onderstaand Figuur 11 worden de overige operationele kosten van de veren weergegeven tot en met 2050 voor de verschillende varianten.



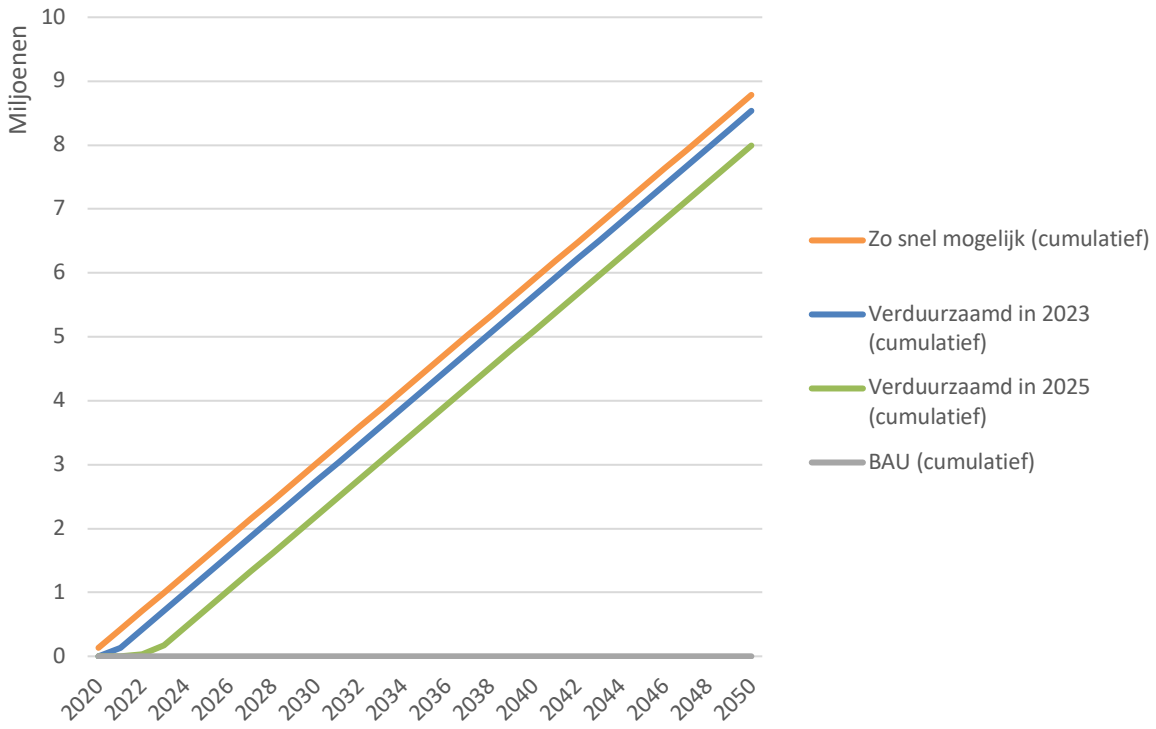
Figuur 11: Overige operationele kosten tot en met 2050 voor de BaU variant en de verduurzaamt 2025 variant.

Deze overige operationele kosten bestaan uit het onderhoud van de veren: onderhoud van het vaartuig zelf en het onderhoud van de aandrijflijn. Voor een volledig elektrische veer bestaat het onderhoud van de aandrijflijn tevens uit het tweemaal vervangen van de accu's gedurende de levensduur. Dit resulteert in een relatief klein kostenvoordeel van ~€2 mln. over de levensduur van de gehele vloot, voor de *BaU*-variant (~44 mln.) ten opzichte van de verduurzamingsvarianten (~€46 mln.). De verduurzamingsvarianten kennen nagenoeg gelijke overige operationele kosten, doordat het een in omvang gelijke vloot betreft, waarbij enkel onderscheid is tussen de instroommomenten van de veren en het moment van de batterijvervangingen.

Evenals bij de energiekosten betreft het ook hier schattingen van toekomstige kosten, die afhankelijk zijn van diverse toekomstige ontwikkelingen, zoals batterijprijzen. Meer over deze onzekerheden in de paragraaf omtrent de gebruikte marges.

Operationele kosten laadinfrastructuur

De operationele kosten voor de laadinfrastructuur voor de verduurzamingsvarianten zijn additionele kosten ten opzichte van de *BaU*-variant, doordat de verduurzamingvarianten laadinfrastructuur vereisen die er nu niet is. De operationele kosten voor de laadinfrastructuur zijn weergegeven in onderstaande Figuur 12.



Figuur 12: Operationele kosten van de laadinfrastructuur voor de vloot van veren over het IJ tot en met 2050 voor de varianten

De operationele kosten voor de elektrische laadinfrastructuur bestaan uit de periodieke kosten voor de aansluitingen, de transportkosten van de elektriciteit en een periodieke aansluitvergoeding: kosten te betalen aan de netbeheerder[8].

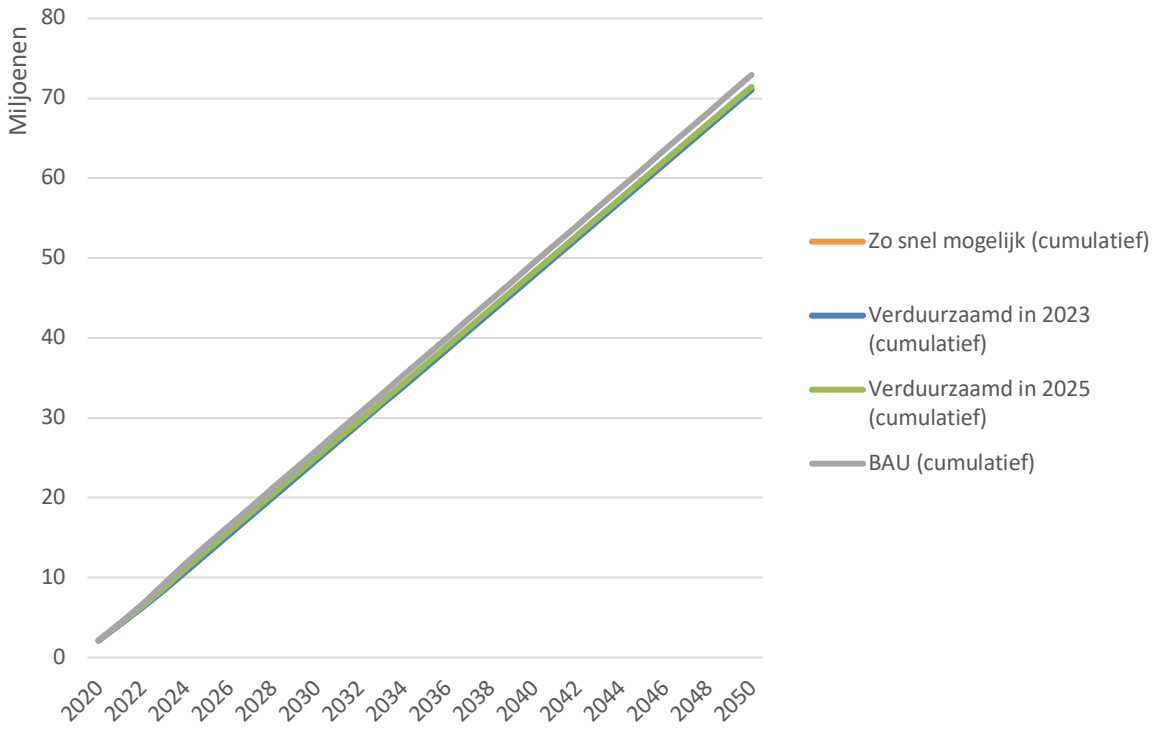
De investeringskosten en operationele kosten voor de laadinfrastructuur zijn afhankelijk van het ontwerp en de plaatsingslocatie van de laadinfrastructuur. Voor de kostenberekeningen is uitgegaan van pantograafladers op iedere fuik op elke benodigde locatie. Voor het bepalen van de locaties en de benodigde hoeveelheid vermogen per locatie, is gebruik gemaakt van de laadstrategie zoals getoond in Bijlage B: Gebruikte laadstrategie (Figuur 18). Deze strategie is tot stand gekomen op basis van een kostenoptimalisatie van een aantal van de eerder genoemde parameters[9]. Dit is dan ook niet de enig mogelijke laadstrategie, noch gelden de hier gebruikte laadlocaties als definitief. In de volgende fasen zal aandacht besteed (moeten) worden aan een verdere specificatie van de laadlocaties en de daarbij behorende laadstrategie. Bijvoorbeeld op basis van de beschikbare openbare ruimte, en/of de inpassing van de aanleg van laadvoorzieningen binnen reeds geplande of lopende projecten.

[8] In het geval van Amsterdam is dat Liander.
[9] De voor de laadstrategie gebruikte parameters staan weergegeven in Bijlage B: Gebruikte laadstrategie.

Figuur 12 toont de totale operationele kosten voor de benodigde laadinfrastructuur voor ieder van de varianten. Deze variëren tussen de ~€ 8 mln. (‘*verduurzaamd in 2025*’) en de ~€ 9 mln. (‘*zo snel mogelijk*’). Zoals benoemd kent de business-as-usual variant geen (operationele) infrastructuurkosten: er is sprake van een dieseltank in de haven die de schepen van de benodigde diesel voorziet, buiten de dienstregeling om.

Totale operationele kosten per variant

De totale operationele kosten (voor veren en laadinfrastructuur) tot en met 2050 voor de varianten zijn weergegeven in Figuur 13. De verduurzamingsvarianten hebben een relatief klein kostenvoordeel (~€ 2 mln.) tot en met 2050 ten opzichte van de *BaU*-variant. Het kostenvoordeel van de energiekosten zoals te zien was in Figuur 10 wordt vrijwel volledig gecompenseerd door de periodieke kosten voor de laadinfrastructuur.



Figuur 13: Operationele kosten voor de gehele vloot van veren over het IJ voor de verduurzamen 2025 variant en de BaU variant tot en met 2050.

In deze kostenraming wordt uitgegaan van een set parameters (zie Bijlage A: Gebruikte aannames in de TCO) welke zorgen voor een laadstrategie (zie Bijlage B: Gebruikte laadstrategie). Deze set parameters heeft invloed op de hoeveelheid en de grootte van de aansluitingen en dus de kosten voor de laadinfrastructuur. Innovatieve oplossingen (e.g. batterij opslag op de kades/pontons) of marktontwikkelingen (verhoogd laadvermogen accu) kunnen de hoeveelheid en de grootte van de aansluiting verkleinen. Het is dan ook van belang om de markt de ruimte te geven voor dergelijke oplossingen in de aanbesteding, omwille van het optimaal benutten van zich nog ontwikkelende technieken, en (mogelijk) omwille van kostenbesparingen.

Totaalkosten per variant

Onderstaande Tabel 3 geeft de verschillende kosten per variant weer: de totale kosten voor de gehele vloot, inclusief alle bijbehorende onderdelen zoals laadinfrastructuur en onderhoudskosten, over de gehele voorziene levensduur van 30 jaar.

Tabel 3: Totaalkosten voor de verschillende varianten tot en met 2050. Door afronding tellen de getallen niet exact op; voor de totaalbedragen is zonder tussentijdse afronding gerekend.

	BAU	Verduurzaamd in 2025	Verduurzaamd in 2023	Zo snel mogelijk verduurzamen
Investeringskosten veren[10]	~€ 36 mln.	~€ 51 mln.	~€ 56 mln.	~€ 87 mln.
Investeringskosten laadinfrastructuur	~€ 0 mln.	~€ 7,5 mln.	~€ 7,5 mln.	~€ 7,5 mln.
Totale investeringskosten	**~€ 36 mln.**	**~€ 58 mln.**	**~€ 63 mln.**	**~€ 94 mln.**
Energiekosten	~€ 29 mln.	~€ 18 mln.	~€ 17 mln.	~€ 17 mln.
Overige operationele kosten	~€ 44 mln.	~€ 46 mln.	~€ 46 mln.	~€ 46 mln.
Operationele kosten laadinfrastructuur	~€ 0 mln.	~€ 8 mln.	~€ 8,5 mln.	~€ 9 mln.
Totale operationele kosten	**~€ 73 mln.**	**~€ 71 mln.**	**~€ 71 mln.**	**~€ 71 mln.**
Totale kosten over levensduur	**~€ 109 mln.**	**~€ 129 mln.**	**~€ 134 mln.**	**~€ 165 mln.**
Meerkosten t.o.v. BaU		**~€ 20 mln.**	**~€ 27 mln.**	**~€ 58 mln.**

De meerkosten voor verduurzamen ten opzichte van het voortzetten van de huidige situatie bedragen minimaal ~€20 mln. bij de variant '*verduurzaamd in 2025*' en maximaal ~€ 58 mln. bij de variant zo snel mogelijk verduurzamen. Het verschil in de meerkosten tussen de verduurzamingsvarianten komt voornamelijk voort uit het verschil in de hoeveelheid nieuwe veren die moeten worden gekocht (17 nieuwe veren in de zo snel mogelijk variant) ten opzichte van de hoeveelheid die kan worden omgebouwd (12 veren worden omgebouwd in de '*verduurzaamd in 2025*' variant). Nieuwe veren kennen hogere investeringen ten opzichte van het ombouwen van veren.

[10] Zoals vermeld in de tekstboks in hoofdstuk 3, is er kort voor het definitief maken van deze rapportage een budgettaire reservering gemaakt voor (nog) een type 60 veer (#66). Dat betekent dat van de hier geschetste investeringen voor iedere variant, ~€4,3mln afgetrokken dient te worden voor wat betreft de benodigde financiering.

Onzekerheden en marges

De verschillende onderdelen zoals gepresenteerd in bovenstaande tabel 2 zijn onderhevig aan onzekerheden. Deze onzekerheden kennen twee oorzaken.

Ten eerste kent het systeem unieke kenmerken zoals het aantal veren, de tijd van oversteken, de tijd aan de wal et cetera. Het verduurzamen van het systeem kent hierdoor geen kant en klare oplossing maar vereist maatwerk om tot een passende samenhang van parameters te komen. Belangrijke parameters zijn bijvoorbeeld de dienstregeling (die voor de hier uitgevoerde berekeningen is vastgezet op de huidige dienstregeling), de samenstelling van de aandrijflijn (vermogen en batterijcapaciteit), het laadvermogen en de laadlocaties. Afhankelijk van de keuze voor deze parameters wijzigen de kosten van het systeem. Voor de getoonde berekeningen is een samenhangend geheel van parameters gekozen, maar dit is niet de enige combinatie van parameters die mogelijk is om het verensysteem uitstootvrij te laten varen. Concreet betekent dit, dat wanneer een marktpartij andere parameters introduceert, zoals een nieuw (romp)ontwerp, ander type of formaat batterijen of een ander laadvermogen, het systeem als geheel verandert. Daarmee kunnen de kosten afwijken van de hier getoonde kosten.

Ten tweede is het verduurzamen van de veren in uitstootvrije varianten onderhevig aan verschillende ontwikkelingen. Twee belangrijke elementen zijn de ontwikkelingen op het gebied van techniek (e.g. de batterijtechnologie) en prijs (e.g. de dieselprijs, maar ook de prijs van uitstootvrije technieken). Ondanks dat er wereldwijd de laatste jaren meer en meer uitstootvrije veren in gebruik worden genomen, is er sprake van technologieën die relatief nieuw zijn ten opzichte van de traditionele (diesel)varianten. Dit heeft tot gevolg dat de vereiste investeringskosten (e.g. accuprijs, aandrijflijn) en gebruikskosten (verbruik, onderhoud, etc.) onzeker zijn. Enkele belangrijke onzekerheden zijn:

- *Investeringskosten veren*. Serie hybride veren (zoals die in de business-as-usual variant voorkomen) kennen een redelijk zekere prijs, aangezien die al aangeschaft zijn en worden door Amsterdam/GVB. Uitstootvrije varianten, en ook het ombouwen van bestaande schepen naar uitstootvrije varianten, zijn relatief nieuwe activiteiten voor de markt, en kennen daardoor een onzekerheid als het gaat om de benodigde investering.
- *Investeringskosten laadinfrastructuur*. Er bestaan nog weinig tot geen standaardoplossingen voor de laadinfrastructuur voor uitstootvrije varianten. De benodigde investering kan dan ook sterk verschillen afhankelijk van wat de markt aanbiedt aan laadoplossing: een pantograaf of een mannetje-vrouwtje koppeling, tussenopslag in de vorm van batterijen, mogelijk zelfs verwerkt in pontons, et cetera.
- *Energiekosten*. De kosten voor de elektrische energie kennen een lage onzekerheid door de lange duur van het energiecontract van de gemeente Amsterdam (15 jaar vanaf 2018). Daarentegen is het gebruik van energie van de veren afhankelijk van de oplossing aangedragen door de markt. Het bijvoorbeeld herontwerpen van de nieuwe veren (e.g. een efficiëntere romp of lager gewicht) kan leiden tot een lager energieverbruik. Dit brengt een onzekerheid met zich mee voor zowel de benodigde investeringen voor de veren, als ook voor het benodigde laadvermogen en de daarvoor benodigde laadvoorzieningen.
- *Operationele kosten van de veren en de laadinfrastructuur*. Afhankelijk van het soort aandrijflijn en de hoeveelheid benodigde batterijvervangingen (die hier als operationele kosten worden gerekend) kunnen operationele kosten van de veren significant veranderen. Een andere accusamenstelling die met een hoger of lager vermogen kan laden, of verschillende groottes van de accu's heeft impact op de benodigde aansluitingen voor de laadinfrastructuur, en de daarbij behorende operationele kosten. Gezien de significante

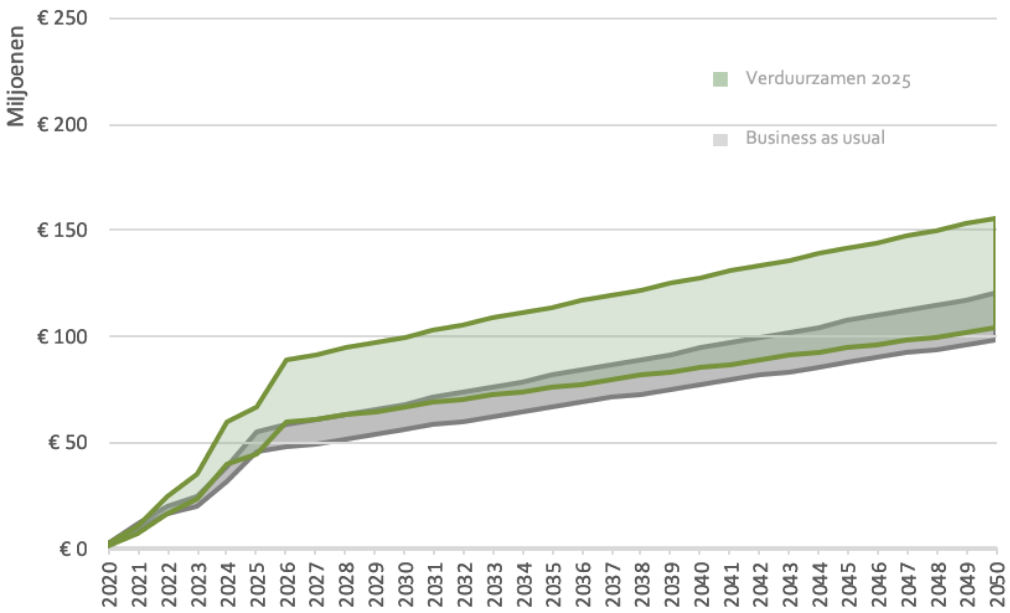
impact van deze kosten op de totale kosten, resulteert ook dit in een onzekerheid voor de hier getoonde bedragen.

Deze onzekerheden dienen verwerkt te worden in de kostenschattingen. Belangrijk om hierbij te vermelden is dat deze onzekerheden niet vallen binnen de reeds gerekende onvoorziene kosten en de kosten voor voorbereiding, administratie en toezicht (VAT) voor de aanschaf van veren en infrastructuur. Dat zijn product en deels project gerelateerde kosten (waarbij de aanbesteding van de veren als project geldt), die bijvoorbeeld niet van toepassing zijn op de operationele kosten.

Hoe de hiervoor genoemde onzekerheden zich exact vertalen naar (additionele of verminderde) kosten is lastig te bepalen, en zal verschillen per onderdeel. Op basis van gesprekken met partijen betrokken bij de uitvoering van vergelijkbare projecten in Scandinavië en kennis van andere modaliteiten is een onderbouwde inschatting gemaakt van de onzekerheden. In overleg met de gemeente is ervoor gekozen om voor deze fase uit te gaan van marges van +/- 10% voor de *business-as-usual* variant en +/-20% voor de uitstootvrij varianten over de totale kosten. Om de impact van de genoemde parameters te toetsen zijn er enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd: zie onderstaande tekstboks.

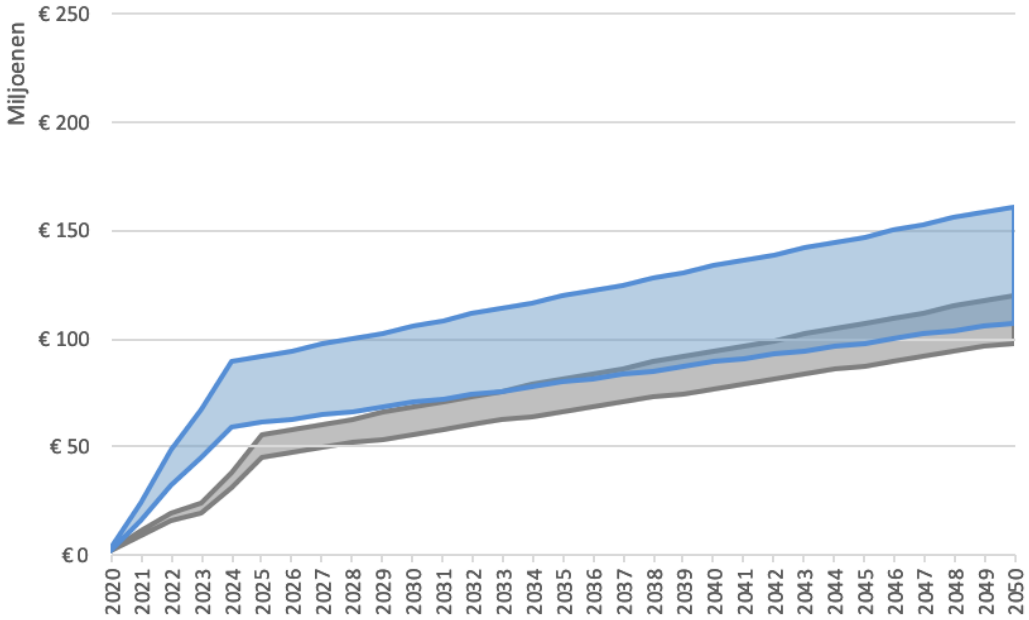
De genoemde marges zijn weergegeven in onderstaande **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** t ot en met **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**, als bandbreedte op de eerder genoemde totale kosten van de varianten. Elke figuur geeft telkens de (over de jaren cumulatieve) systeemkosten van één van de verduurzamingsvarianten, als ook de kosten van de *business-as-usual* variant: beide inclusief de genoemde onzekerheden.

Geadviseerd wordt om in de latere fasen van de voorbereiding telkens opnieuw aandacht te besteden en waar nodig aanpassingen te doen aan de kosteninschattingen en bijbehorende marges. Op die manier kunnen de benodigde investering voor de aanbesteding zo goed nauwkeurig mogelijk vastgesteld worden.



Figuur 14: De totale kosten met onzekerheidsmarge voor de gehele vloot van veren over het IJ voor de 'verduurzaamd in 2023' variant en de 'BaU' variant.

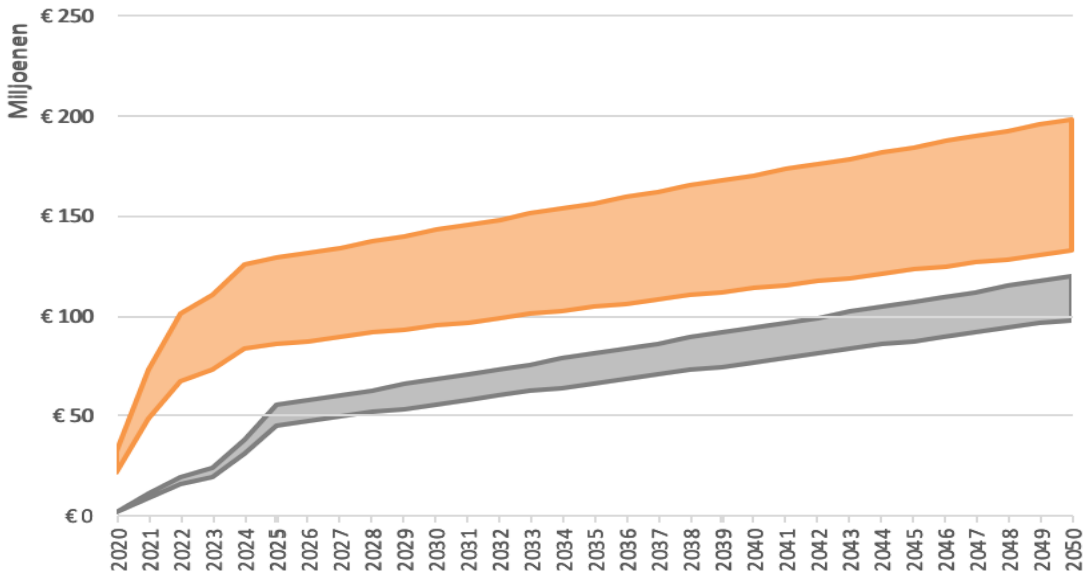
Zoals weergegeven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** ontstaat op basis van de onzekerheid e en overlap tussen de twee TCO's vanaf 2020, wat betekent dat er een kans bestaat dat de verduurzaming, in een scenario van meevallende kosten, even duur of zelfs iets goedkoper kan zijn dan de *business-as-usual* variant.



Figuur 15: De TCO met onzekerheidsmarge voor de gehele vloot van veren over het IJ voor de 'verduurzaamd in 2023' variant en de 'BaU' variant.

Zoals weergegeven in bovenstaand Figuur 15 ontstaat ook voor de '*verduurzaamd in 2023'* variant in het beste geval een overlap tussen de totale kosten van verduurzaming en het voortzetten van het

huidige (*business-as-usual*) systeem. Deze overlap ontstaat echter later en kent een kleinere kans van overlap ten opzichte van de '*verduurzaamd in 2025'*variant.



Figuur 16: De TCO met onzekerheidsmarge voor de gehele vloot van veren over het IJ voor de 'Zo snel mogelijk' variant en de 'BaU' variant.

Zoals weergegeven in figuur 12 ontstaat er geen overlap tussen de TCO's met onzekerheidsmarges tussen de '*BAU'* en de '*zo snel mogelijk'* varianten.

Gevoeligheidsanalyse
Om een beeld te krijgen van de mogelijke impact van de genoemde onzekerheden, en om de gebruikte marges te toetsen is de gevoeligheid van de belangrijkste onderdelen berekend, te weten:

1. De gevoeligheid van de berekende kosten voor het **aantal accuvervangingen**. De accu is een significant onderdeel van de investering. De degradatie van de batterijen is afhankelijk van het profiel van gebruik; aantal keren opladen en ontladen en de mate van ontlading (*depth of discharge*: DOD). Het profiel van gebruik in het verensysteem is geen typisch profiel zoals in andere modaliteiten en kenmerkt zich door een hoog energieverbruik in korte tijd met vele (ont)ladingsmomenten. Er bestaat een kans dat dit zorgt voor een hoger aantal vervangingen gedurende de levensduur.
2. De gevoeligheid van de berekende kosten voor het **aantal aansluitingen (locaties)** benodigd. Het aantal aansluitingen is op basis van parameters en uitgangspunten zoals eerder gesteld. Door de markt de ruimte te geven hier zelf in te optimaliseren kan dit aantal locaties variëren. Dit kan kostenimplicaties met zich meebrengen.
3. De gevoeligheid van de berekende kosten voor de inzet van een **heterogene accucapaciteit in vloot**. Momenteel hebben alle veren eenzelfde grootte accu (600 kWh). Door de markt de ruimte te geven hierin te optimaliseren zouden verschillende grootte accu's gebruikt kunnen worden. Dit kan resulteren in een kostenbesparing ten opzichte van de nu gebruikte cijfers.

Resultaat:

1. Bij een additionele vervanging van de batterijen (van 2 naar 5 keer over de levensduur) ontstaan er additionele kosten van ~€ 0,5 - 1 mln. per veer, afhankelijk van de inzet. Dit resulteert in 5-15% additionele kosten over de gehele vloot.
2. Wanneer er wordt uitgegaan van 5 locaties met laadinfrastructuur in plaats van 6 locaties zal er op de TCO ~ € 2,6 mln. euro bespaard worden: ~1,5% van de totale TCO van verduurzaamd 2025,
3. Bij de inzet van 4 veren die kunnen varen met een accucapaciteit van 282 kWh (in plaats van 600 kWh) zou er een besparing op het systeem van ~ €3 mln. zijn: ~ 2% van de totale TCO van verduurzaamd in 2025.

Conclusie & advies gevoeligheidsanalyse
Zoals te zien in de resultaten kunnen er significante veranderingen plaatsvinden op de TCO van de veer of op de locatie. De berekende impacts vallen echter allemaal binnen de gekozen bandbreedte. Gegeven de significante impact wordt geadviseerd in de volgende fasen oog te houden voor mogelijke ontwikkelingen en indien nodig de berekening aan te passen.

Maatschappelijke baten

Naast de investeringskosten en de operationele kosten zijn er maatschappelijke baten als gevolg van de verduurzaming. Deze komen voort uit het wegvallen van het gebruik van diesel en de bijbehorende uitstoot van lokale en klimaatemissies. De baten liggen, op basis van elementaire berekeningen behorende bij deze fase, in de orde grootte van 100 miljoen euro over 30 jaar voor de verduurzamingsvarianten. Deze baten gelden ten opzichte van de situatie waarin de diensten uitgevoerd (blijven) worden door de huidige serie-hybride veren. Hierin zit nog een klein verschil tussen de drie verduurzamingsvarianten, als gevolg van het verschil in instroom van schone veren. Hoe sneller dit gebeurt, hoe minder lang de huidige veren diesel blijven verbruiken. Dit verschil is echter zeer beperkt over de gehele periode van 30 jaar. Een overzicht van de maatschappelijke baten is te vinden in Tabel 4.

Tabel 4: Overzicht uitstoot van de varianten en de monetaire waarde van de uitstoot op basis van maatschappelijke baten tot en met 2050. Tabel op basis van gegevens van TNO (2016) en CE Delft (2017)

	Business as usual	***Zo snel mogelijk***	***Verduurzaming 2023***	***Verduurzaming 2025***
NO_X (kg)	*~ 2.700.00*	*~ 125.000*	*~ 150.000*	*~ 180.000*
PM (kg)	*~ 9.000*	*~ 415*	*~500*	*~ 600*
CO_2 (kg)	*~ 266.000.000*	*~ 12.200.000*	*~ 14.800.000*	*~ 17.700.000*
NOx (€)	*€ 92.000.000*	*€ 4.200.000*	*€ 5.100.000*	*€ 6.100.000*
PM (€)	*€ 403.000*	*€ 18.500*	*€ 22.000*	*€ 26.000*
CO_2 (€)	*€ 15.00.000*	*€ 695.000*	*€ 843.000*	*€ 1.008.000*
Totale uitstootkosten 30 jaar	***€ 108.000.000***	***€ 5.000.000***	***€ 6.000.000***	***€ 7.000.000***
Verschil in kosten met BaU		***€ -103.000.000***	***€ -102.000.000***	***€ -101.000.000***

In de maatschappelijke baten zijn de emissies van koolstofdioxide (CO_2), stikstof (NO_x) en fijnstof (PM) meegenomen. Overige maatschappelijke baten zoals bijvoorbeeld vermindering van geluidshinder vielen niet binnen de scope van dit onderzoek, maar zijn voor dit project ook lastig te kwantificeren en/of in geld uit te drukken. Daarnaast is voor de BaU variant uitgegaan van de uitstoot van de huidige type veren. Er kan worden aangenomen dat deze uitstoot verminderd door het verbeteren van de diesel generatoren in de huidige seriehybride veren met als gevolg lagere maatschappelijk kosten in de BaU variant, en daarmee lagere maatschappelijke baten voor de verduurzamingsvarianten.

Conclusies op basis van de kostenraming

- Duurzame veren kennen hogere **investeringskosten** dan de huidige hybride veren:
    - zowel voor de veren, variërend van ~€15mln voor verduurzaamd zijn in 2025 tot tot ~€58mln. additionele investeringen in veren voor zo snel mogelijk verduurzamen;
    - als ook door de additionele kosten voor laadinfrastructuur: ~€7,5mln. voor ieder van de duurzame varianten.
- De investeringskosten voor het gehele verensysteem over een periode van 30 jaar voor de '*verduurzaamd in 2025*' variant zijn daarmee ~€22 mln. hoger dan het voortzetten van de huidige situatie over diezelfde periode. Zo snel mogelijk verduurzamen kent ~€58mln. additionele investeringen ten opzichte van het doorzetten van de huidige situatie (*BaU).*

- Totale **operationele kosten** voor een duurzaam veersysteem zijn beperkt lager dan de fossiele variant: ~€2 mln. voor de duurzame varianten ten opzichte van de *business-as-usual* variant. Het voordeel van het vervangen van diesel als brandstof voor elektriciteit (zo'n ~€10-11mln. over de levensduur van de vloot) wordt grotendeels tenietgedaan door de hoge operationele kosten van de aansluitingen op het energienet.

- De aanzienlijk hogere investeringskosten en het relatief kleine kostenvoordeel van het duurzame verensysteem resulteert in een hogere **totale kosten** voor een duurzaam uitstootvrij systeem ten opzichte van het doorzetten van het huidige systeem (met hybride-veren): variërend van ~€20 mln. voor verduurzaamd zijn in 2025 tot ~€58 mln. voor zo snel mogelijk verduurzamen.

Conclusie en advies op basis van de gekozen parameters en bijbehorende onzekerheden

- De kosten zijn gebaseerd op een van tevoren vastgestelde set parameters. Deze parameters hebben een invloed op de totale kosten van het veren systeem; zowel door onzekerheden binnen het systeem als door de mogelijkheid van het kiezen van een andere set van parameters. Dit vertaalt zich in de getoonde bandbreedte van de totale kosten van +/-20% voor de duurzame varianten.
- Het is raadzaam ruimte te geven aan de markt om te optimaliseren op basis van deze parameters. Dit kan resulteren in bijvoorbeeld hogere laadvermogen, minder laadlocaties, andere accusamenstelling of andere laadoplossingen, die mogelijk resulteren in andere totale kosten dan hier geschetst.
- De hier gemaakte kostenberekeningen en de daarbij behorende onzekerheden, kunnen in de hierop volgende fasen van de voorbereiding van de aanbesteding aangescherpt worden. De nog te doorlopen fasen zullen hier naar verwachting in voorzien door een toenemende afbakening en daarmee afnemende onzekerheid van hetgeen uitgevraagd gaat worden aan de markt. Tegelijkertijd kan er door op latere momenten in de voorbereiding hercalculaties te doen, rekenschap genomen worden van ontwikkelingen die zich naar verwachting voor zullen doen met het voortschrijden van de tijd: zowel technologie- als prijsontwikkelingen.

4. Conclusies en adviezen voor het verdere proces

Op basis van fase 1 van de voorbereidingen van de aanbesteding wordt geconcludeerd dat het mogelijk is de veren over het IJ te verduurzamen, met behoud van de huidige dienstregeling. Dit kan op verschillende manieren afhankelijk van technische en bestuurlijke keuzes. In de markt is zichtbaar dat de volledig elektrische type veren (vaak onder de noemer plug-in hybride) dominant zijn, waar waterstof nog in de pilot fase is en vliegwiel experimenteel te noemen is. Batterij-elektrische veren worden dan ook het meest kansrijk geacht voor de verduurzaming van de IJveren vanuit techniek oogpunt, uitgaande van onder meer het behoud van de dienstregeling en te verwachten betrouwbaarheid.

Er zijn verschillende varianten mogelijk voor het verduurzamen met elektrische veren. Om tot het vaststellen van de varianten en bijbehorende kosten te komen zijn een reeks parameters gekozen en vastgesteld. Met name het moment waarop de volledige vloot uitstootvrij is, is een bepalende factor voor de totale kosten van het systeem. Zo zijn er verschillende manieren van laden beschikbaar, waarbij laden op de aanlandingen c.q. de fuiken van de bestaande aanlandingen het meest voordelig is. Laden vanaf een centrale hublocatie is met de huidige stand van de (laad)technieken niet economisch aantrekkelijk.

Op basis van kosten voor de gehele vloot over de levensduur van het systeem (tot aan 2050) is de volledig elektrische veer de meest voordelige duurzame veer: ~€129 mln., ten opzichte van ~€109 mln. voor het doorzetten van de inzet van hybride veren (de *business-as-usual* variant). Deze bedragen hebben een onzekerheid van orde grootte 20%; plus en min.

Naast de kosten zijn er significante maatschappelijke baten bij de introductie van uitstootvrije veren Deze komen voort uit het wegvallen van het gebruik van diesel en de bijbehorende uitstoot van lokale en klimaatemissies. De maatschappelijke baten liggen voor de verduurzamingsvarianten, op basis van elementaire berekeningen behorende bij deze fase, in de orde grootte van 100 miljoen euro over 30 jaar voor de verduurzamingsvarianten.

Nader te bepalen parameters

De exacte invulling van het systeem voor wat betreft het laden kan naar verwachting verder geoptimaliseerd worden door marktpartijen. Hierbij valt te denken aan de exacte fysieke invulling van de laadinstallaties (e.g. gebruik van type koppeling en/of het gebruik van laadpontons) als ook aan het benodigde aantal laadlocaties en –installaties. Verdere optimalisatie is er mogelijk ook voor het ontwerp van de veren; met name voor de nieuw te bouwen 70'ers. Deze, en mogelijke andere optimalisaties kunnen significante wijzigingen in de totale als ook investeringskosten met zich meebrengen; naar verwachting binnen de genoemde bandbreedte.

Een andere, nog vast te stellen parameter, is het gebruik van dieselgenerator als noodaandrijving. Er is in de kostenberekening rekening gehouden met een dergelijke dieselgenerator. Of deze ook daadwerkelijk uitgevraagd zullen worden is deels een kwestie van regelgeving (er is op dit moment geen duidelijkheid over de vereisten voor een volledig elektrische veer) als ook een bestuurlijke keuze: accepteert men dat er in uitzonderlijke omstandigheden toch niet uitstootvrij gevaren wordt? Bijvoorbeeld bij zeer slechte weeromstandigheden, of wanneer de veren voor groot onderhoud naar een werf dienen te varen / gevaren worden.

Het voorliggend rapport van fase 1 geeft geen inzicht in het faseren en/of opknippen van de aanbesteding in een enkele of meerdere aanbestedingen. Het faseren en opknippen in meerdere aanbestedingen zou kunnen betekenen dat in eerste instantie technisch makkelijker te realiseren of minder druk bevaren verbindingen kunnen worden aanbesteed. Hierdoor opgedane kennis bij de exploitatie van deze lijnen worden meegenomen in de daarop volgende aanbestedingen. Ook kan er voor iedere aanbesteding een nieuw prijspeil worden bepaald waar de laatste ontwikkelingen zijn meegenomen. Daarentegen kan het ervoor zorgen dat er een vergrote hoeveelheid tijd en geld in het proces gaat zitten, waardoor eventueel het duurzaamheidsdoel van 2025 niet wordt gehaald. Door het los aanbesteden kan tevens de uniformiteit en standaardisatie van de veren en het systeem verkleind worden en heeft de markt minder ruimte voor optimalisatie voor het systeem, hetgeen kan tot kostenverhoging kan leiden. Het is van belang een afweging te maken tussen de risico's en baten van het faseren en opknippen van de aanbesteding; dit kan worden meegenomen in de verdere fasen van de voorbereiding van de aanbesteding.

Adviezen op basis van fase 1

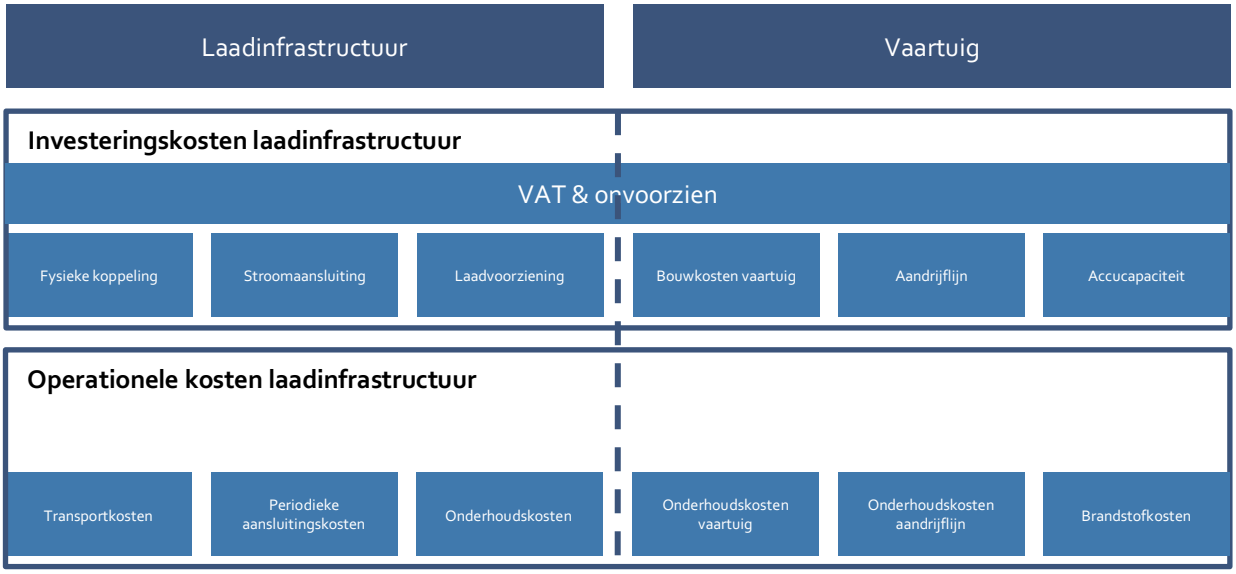
Op basis van de genomen stappen in fase 1 van de voorbereidingen van de aanbesteding van uitstootvrije veren over het IJ, wordt het volgende geadviseerd.

4. Op basis van beschikbaarheid, betrouwbaarheid en kosten van de techniek adviseren wij om voor **batterij-elektrische veren** te kiezen met laadvoorzieningen bij de bestaande aanlandingen.
5. Geadviseerd wordt om te kiezen voor de **'*verduurzaamd in 2025*' variant als uitgangspunt voor de (verdere voorbereiding van de) aanbesteding**. Ten eerste kennen de varianten waarin sneller wordt verduurzaamd aanzienlijk hogere kosten: orde grootte (enkele) tientallen miljoenen euro's over de levensduur van het systeem als geheel. Ten tweede betekent voor 2025 verduurzamen, dat er niet optimaal gebruik gemaakt wordt van de bestaande vloot; met name de huidige type 50 veren. Enkele hiervan zullen vroegtijdig uit de vaart worden genomen, in plaats van deze te benutten voor ombouw naar duurzame veren. Ten slotte vraagt het veel van de gemeente, GVB en de markt om eind 2025 alle veren uitstootvrij te hebben. Nog sneller willen verduurzamen kent een zeer groot haalbaarheidsrisico; zowel aan de zijde van de gemeente en GVB, als ook van de markt.
6. Op basis van de hoeveelheid aan parameters binnen het verduurzamen van de IJveren, in combinatie met de aanwezige onzekerheden in realisatie en kosten, wordt geadviseerd om **minimaal een uitgebreide marktconsultatie te doen** in het vervolg van de voorbereidingen. Nog wenselijker lijkt het om de **markt enige vrijheid te laten** bij het bieden van oplossingen. Dit kan bijvoorbeeld middels een vorm van innovatief aanbesteden, zoals de concurrentiegerichte dialoog. Op die manier is er ruimte voor overleg tussen de gemeente en GVB en marktpartijen, om tot een optimale invulling van een duurzaam IJveren systeem te komen. Tevens biedt dit de ruimte om technologische ontwikkelingen, die zich in aanloop naar en gedurende de aanbesteding voordoen, eventueel mee te nemen in het verduurzamen van de IJveren.

Met het afronden van fase 1 van de voorbereiding van de aanbesteding is een belangrijke stap gezet op meerdere fronten. Zo biedt de fase inzicht in een aantal belangrijke parameters om tot een uitstootvrij IJveren-systeem te komen. Ook zijn belangrijke stappen gezet in de samenwerking tussen verschillende betrokken partijen. Bij het afronden van deze fase is reeds een groot deel van fase 2 doorlopen, en worden voorbereidingen voor de verdere fasen doorlopen. Deze bevindingen worden in separate rapportages uitgewerkt.

Bijlage A: Gebruikte aannames in de TCO

Een *total cost of ownership* (TCO) analyse beschouwt de kosten van systeem over de levensduur ervan. Voor dit onderzoek zijn de totale kosten voor het verensysteem over de verwachte levensduur van de veren (30 jaar) berekend. In de TCO wordt er onderscheid gemaakt tussen investeringskosten en operationele kosten. De investeringskosten zijn kosten die eenmaal bij de aanschaf van de veer of laadinfrastructuur worden gemaakt. De operationele kosten zijn de kosten die tijdens de operatie van de veren worden gemaakt. Een overzicht van de verschillende componenten die zijn meegenomen worden weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17: Overzicht TCO-componenten

Het gebruikte TCO-model (opgesteld door EVConsult & Beekman Bildung) is gebaseerd op techno-economischeanalyse waarin is geoptimaliseerd op het economische component. Er zijn twee onderdelen te onderscheiden in het veren systeem; de laadvoorziening en de vaartuigen (veren). De analyse berekent eerst het benodigde aantal en grootte van de laadvoorziening (aantal locaties, aantal laders, grote van de laders en aansluiting) en de daarbij behorende kosten. De tweede berekening is de grootte van de batterijen benodigd voor de veren op basis van de benodigde laadvoorziening en de kosten voor de veren. De grootte van de batterij wordt in het geval van de veren over het IJ bepaald door het vermogen waarmee moet worden geladen. Dit komt door de relatief korte "vaarten" van de veren, maar ook de nog kortere tijd om te laden. Dit resulteert in relatief grote vermogens t.o.v. het verbruik tijdens operatie. De hoogte van het vermogen waarmee kan worden geladen staat in direct verband met de samenstelling en grootte van de batterij, welke op haar beurt beperkt wordt door de beschikbare ruimte aan boord van het referentie-ontwerp: een type 60 veer. De overweging van de grootte van de aansluitingen wordt beschreven in Figuur 18 in Bijlage B. De optimalisatie heeft bestaan uit een aantal achtereenvolgende stappen;

1. Benodigd vermogen aan beide kanten laden met bijbehorende accucapaciteit
2. Kosten optimalisatie o.b.v. enkele zijde laden en bijbehorende accucapaciteit
3. Zoveel mogelijk combineren van aansluitingen op locatie, resulterend in een combinatie van laden aan een enkele zijde en meerdere zijde.

De onderliggende aannames zijn weergegeven in tabel 4 tot en met 8.

Tabel 5: Gebruikte aannames in de varianten

Onderdeel	Waarde	Uitleg/ Bron
Bouwkosten vaartuig	€ 3.000.000,00	Kosten voor het vaartuig exclusief de aandrijflijn. TNO (2016) en Gemeente Amsterdam.
Kosten verlengen 50'er	€ 650.000,00	verlengen excl. aandrijflijn aanpassen C-JOB (2017a) en TNO (2016)
Aanpassingen casco om aandrijflijn te plaatsen	€ 100.000,00	Deze kosten gelden voor zowel 50'ers als 60'ers C-JOB (2017a) en TNO (2016).
Investering motor	Variabel	Afhankelijk van het type vaartuig TNO (2016)
Indexatie	1,20% per jaar	Alle bovenstaande kosten zijn geïndexeerd op basis van producentenprijsindex (PPI) Industrie, Machine industrie, Overige Transportmiddelen industrie. CBS (2019)
Investering batterij	Variabel Ca. €1.100,00/kWh in 2020 met ontwikkeling volgens markt	1) In 60'er wordt enkel 'resterende' hoeveelheid kWh geplaatst. 2) Prijs afhankelijk van prijsontwikkeling batterij (packs als geheel, o.b.v. meta-analyse van EVC van diverse studies): 2020: 1100 €/kWh 2030: 528 €/kWh 2040: 244 €/kWh 2050: 113 €/kWh 3) Waterstof veer heeft een batterij nodig, op basis van serie hybride aandrijving is 50 kWh acceptabel geacht 4) Vliegwiel veer heeft een batterij nodig, kennishouders komen uit op een batterij van circa 120 kWh
Investering brandstofcel	Ca. € 710.000,00	Op basis van metastudie: Pratt & Klebanoff (2018)
Investering vliegwiel	€ 240.000,00	€ 60.000 per kWh Op basis van interview met Ernst-Jan de Groot
Vliegwiel managementsysteem	€ 75.000,00	Inschatting EVConsult & Beekman Bildung
Diesel generator	€ 132.000,00	Een diesel generator is gewenst voor veren met volledig elektrische inzet en vliegwiel technologie TNO (2016)
Pantograaf	€ 12.000,00 – 15.000,00	Aanname dat "dubbele pantograaf" voor vliegwiel een additionele kostenpost van € 3,000 teweegbrengt. TNO (2016)
Waterstoftank	Ca. € 710.000,00	Op basis van metastudie: Pratt & Klebanoff (2018)
VAT	10%	Kosten voor voorbereiding, administratie en toezicht, op basis van input gemeente Amsterdam
Onvoorzien	20%	Op basis van input gemeente Amsterdam

<table>
<tr><td>Stroomaansluiting</td><td>€ 600.000,00 - € 800.000,00</td><td><table>
<tr><th>Kostencomponent stroomvoorziening</th><th>Geschatte investeringsbedrag bij een maximaal vermogen van 2 MW</th></tr>
<tr><td>AC5 aansluiting (afgerond: zie Tabel 9)</td><td>€ 35.000</td></tr>
<tr><td>Bekabeling</td><td>€ 100.000</td></tr>
<tr><td>Civiele werken</td><td>€ 150.000</td></tr>
<tr><td>Transformator (2.000 kVA)</td><td>€ 60.000</td></tr>
<tr><td>Gelijkrichter (2.000 kVA)</td><td>€ 300.000</td></tr>
<tr><td>Randapparatuur</td><td>€ 125.000</td></tr>
<tr><td>Projectmanagement</td><td>€ 30.000</td></tr>
<tr><td>Geschatte totale kosten stroomvoorziening (excl. BTW en eventuele additionele opslagen)</td><td>~ € 800.000</td></tr>
</table>
Tabel 10: Inschatting van de totale kosten voor stroomvoorzieningen van 2MW.
TNO (2016) en Beekman Bildung (2017)</td></tr>
<tr><td>Kosten waterstoftankstation</td><td>Ca. € 2.000.000 – 2.500.000</td><td>In de praktijk blijkt dat deze kosten sterk uiteenlopen, m.n. door de gevraagde outputcapaciteit. O.b.v. kosteninschattingen bij andere projecten worden de kosten ingeschat op het hier getoonde bedrag. Gegeven de te verwachten benodigde hoge outputcapaciteit mag worden aangenomen dat dit een conservatieve schatting is; exacte kosten zullen uit nader onderzoek moeten blijken.
Melaina & Penev (2013), Pratt & Klebanoff (2018) & projectreferenties Beekman Bildung</td></tr>
<tr><td>Aansluiting op 10kV kabel</td><td>Variabel</td><td>Alleen noodzakelijk indien afstand groter dan 25 meter, kosten per meter vervolgens afhankelijk van grootte aansluiting</td></tr>
<tr><td>Kosten laadvoorziening</td><td>€ 150.000,00 – € 200.000,00</td><td>Variabel afhankelijk van grootte (tot 500kW wordt geschat op 150.000, tot 1MW is ca 200,000). Deze kosten zijn per laadvoorziening; niet per schip of fuik. Soms kan aan twee kanten geladen worden.
Beekman Bildung (2017)</td></tr>
<tr><td>Onderhoudskosten vaartuig</td><td>€100.000,00 per jaar</td><td>TNO (2016)</td></tr>
<tr><td>Onderhoudskosten aandrijflijn hoog belast + laag belast</td><td>Variabel</td><td>Onderzoeken gebruikt als basis voor de berekeningen van de situatie voor de veren over het IJ.
TNO (2016), Pratt & Klebanoff (2018) en interview Ernst Jan de Groot.</td></tr>
<tr><td>Onderhoud/vervanging batterij hoog belast + laag belast</td><td>Vervanging 1: €350.000,-
Vervanging 2: €160.000,-</td><td>Twee batterijvervangingen gedurende de levensduur. Op basis van ervaringen bij andere modaliteiten zijn vervangingsmomenten voorzien in jaar 10 en jaar 20. Tevens meegenomen in gevoeligheidsanalyse.</td></tr>
<tr><td>Onderhoud/ vervanging brandstofcel hoog belast + laag belast</td><td>Ca. €150.000,00 per jaar</td><td>Berekend op basis van meta studie Pratt & Klebanoff (2018) omgerekend naar dimensies benodigd voor op het IJ.</td></tr>
</table>

Onderhoud/vervanging vliegwiel	€ 10.000,00 per 7 a 8 jaar	Op basis van een interview met Ernst-Jan de Groot
Onderhoud rest aandrijflijn hoog belast + laag belast	€ 24.500,00 per jaar	Deze kosten gelden voor alle vaartuigen met een diesel generator (dus niet voor waterstof veren) TNO (2016)
Brandstofkosten	€ 1.000.000,00 – €4.500.000,00	Berekend op basis van energetische benodigdheden, efficiëntie van aandrijflijn, brandstofprijzen van de gemeente Amsterdam en aantal dagen operationeel per jaar (360)
Onderhoudskosten laadvoorziening	7,5% van aanschafprijs per jaar	Schatting EVConsult en Beekman Bildung, o.b.v. afgegeven indicaties marktpartijen uit de elektrische bus- en autoindustrie
Levensduur veer	30 Jaar	Op basis van informatie van de gemeente Amsterdam en GVB over het huidig gebruik van de veren, bevestigd door C-Job
Inflatie	2%	Dit wordt negatief verdisconteerd; indien in 2020 € 102 euro moet worden uitgegeven, wordt nu € 100 gereserveerd. Indexatie op basis van producentenprijsindex (PPI) Industrie, Machine industrie, Overige Transportmiddelen industrie
Batterijgrootte voor volledig elektrische inzet	250 kWh- 600kWh	Door ruimtelijke beperkingen in het vaartuig is de maximale batterijgrootte beperkt tot 600 kWh. De minimale batterijgrootte is beperkt door het laadvermogen (een batterij kan niet met 1 MW laden als deze zelf maar 100kWh groot is). Uitgaande van een C-factor van 2, moet de batterij daarom tenminste 500kWh groot zijn voor 1MW laden.
Ombouw tijd veren	50'er naar 70'er 6 maanden 60'er naar 70'er 3 maanden	Op basis van eerdere ombouwtrajecten. In de praktijk is dit afhankelijk van wat marktpartijen aanbieden bij een eventuele uitvraag/gunning. Input gemeente Amsterdam & GVB,

Tabel 6: Overzicht aannames veerverbindingen de gemiddeld verbruik per oversteek op basis van TNO (2016) & Beekman (2017). De aan-en afkoppeltijd en de tijd aan wal per oversteek op basis van de huidige dienstregeling en inschatting van EVConsult en Beekman Bildung

Veerverbinding	Aan-en afkoppeltijd	Tijd aan wal per oversteek	Gemiddeld verbruik per oversteek
Oostveer	0,5 min	4 min	15 kWh
Buiksloterwegveer	0,5 min	3,95 min	11 kWh
IJpleinveer	0,5 min	4,05 min	13,2 kWh
NDSM veer	0,5 min	3 min	41,5 kWh
Houthavenveer	0,5 min	4,5 min	19,31 kWh
Houthaven spitsveer	0,5 min	2,25 min	23,52 kWh
Distelwegveer	0,5 min	2,25 min	15 kWh

Onderdeel	Aanname
Tijd marge bij aanmeren	20%
Laad efficiëntie	90%

Formule 1 en 2 voor berekenen van benodigde vermogen laden.

$$Benodigd\ vermogen\ meerzijdig\ laden\ (kW) = Gemiddeld\ verbruik\ per\ \frac{oversteek}{tijd\ aan\ wal\ per\ oversteek - Aan\ en\ afkoppletijd} * (1 + marge\ bij\ aanmeren)/laadefficientie$$

$$Benodigd\ vermogen\ enkelzijdig\ laden\ (kW) = Benodigd\ vermogen\ meerzijdig\ laden\ (kW) * 2$$

Tabel 7: Transporttarieven elektriciteit voor grootverbruikers (meer dan 600 uur per jaar) Alliander (2019)

Deelmarkt	Gecontracteerd transportvermogen	Vastrechttarief per maand € excl. BTW	Per kWh-hoogin € excl. BTW	Per kWh-laag in € excl BTW	per kW per maand - kW contract in € excl. btw	kW max. mnd in € excl. btw
LS	t/m 50 kW	€ 1,5	€ 0,0325	€ 0,0156	€ 0,68	-
MS/LS	groter dan 50 t/m 136 kW	€ 36,75	€ 0,0096	€ 0,0096	€ 1,75	€ 1,57
MS	groter dan 136 t/m 2.000 kW	€ 36,75	€ 0,0096	€ 0,0096	€ 1,11	€ 1,57
TS/MS of HS/MS	groter dan 2.000 kW	€ 230,00	-	-	€ 1,77	€ 2,2
TS	groter dan 2.000 kW	€ 230,00	-	-	€ 1,68	€ 2,14
HS1	groter dan 2.000 kW	€ 230,00	-	-	€ 0,86	€ 1,07

Tabel 8: Aansluittarieven 2019 voor grootverbruikers (meer dan 600 uur/jaar) Alliander (2019)

Capaciteit per aansluiting	Tarief standaardaansluiting per maand in € excl. btw	Toeslag LDE-aansluiting per maand in € excl. btw
groter dan 3x80A af LS-net	2,66	-
groter dan 3x80A en t/m 100kVA aangesloten op algemeen voedingspunt	10,45	5,22
groter dan 100kVA t/m 160kVA aangesloten op algemeen voedingspunt	11,71	5,85
groter dan 160kVA t/m 630kVA met transformator en LS-meting 1	44,97	22,48
groter dan 630kVA t/m 1MVA met vermogensschakelaar, transformator en LS-meting 1	44,97	29,80
groter dan 1MVA t/m 2MVA	86,70	-
groter dan 2MVA t/m 5MVA 3	557,50	-
groter dan 5MVA t/m 10MVA 3	661,50	-
groter dan 10MVA	Op aanvraag	-

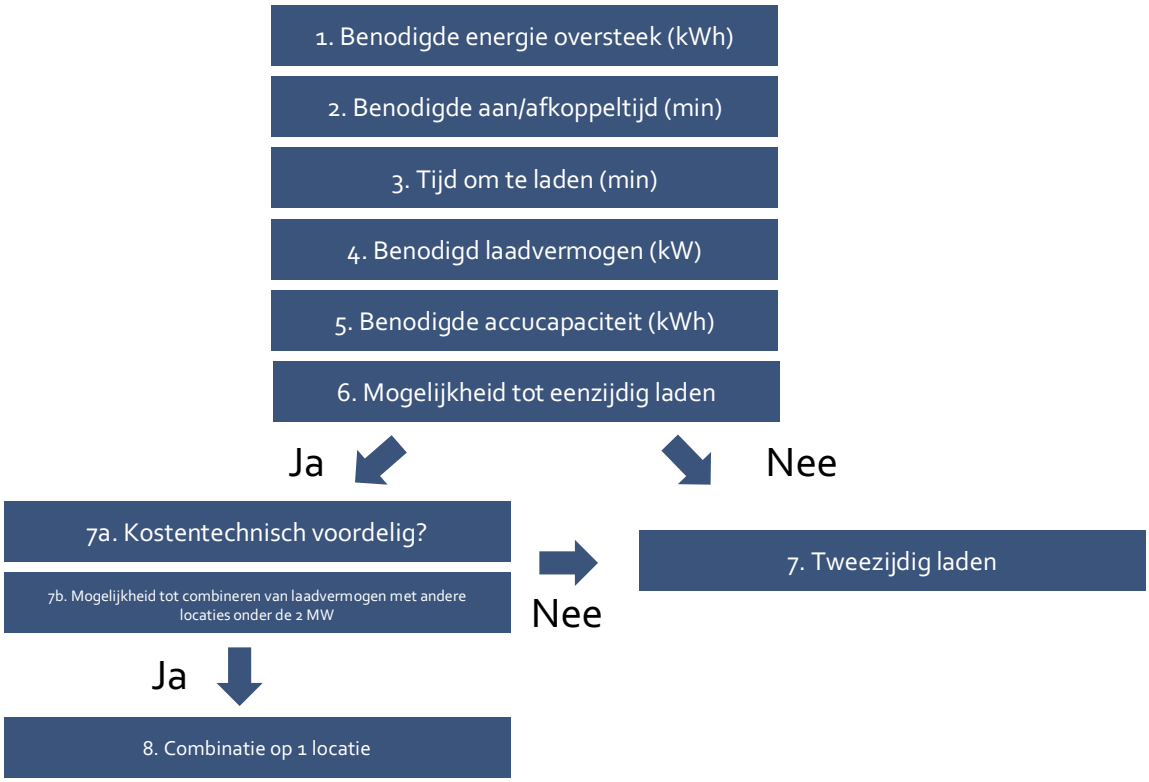
Tabel 9: Eenmalige aansluitvergoeding van een netaansluiting. Alliander (2019)

Type aansluiting	Tarief standaard aansluiting in € excl. btw
groter dan 3x80 A tot en met 100 kVA aangesloten op algemeen voedingspunt	€ 4.179,00
groter dan 100 kVA tot en met 160 kVA op algemeen voedingspunt	€ 4.682,00
groter dan 160kVA tot en met 630kVA met transformator en LS-meting	€ 17.378,00
groter dan 630kVA tot en met 1MVA met transformator en LS-meting	€ 23.846,00
groter dan 1MVA tot en met 2MVA	€ 34.657,00
groter dan 2MVA tot en met 5MVA	€ 223.270,00
groter dan 5MVA tot en met 10MVA	€ 265.137,00
groter dan 10MVA	Op aanvraag

Bijlage B: Gebruikte laadstrategie



Figuur 18: gebruikte laadstrategie voor de varianten



Figuur 19: Afwegingskader laadstrategie

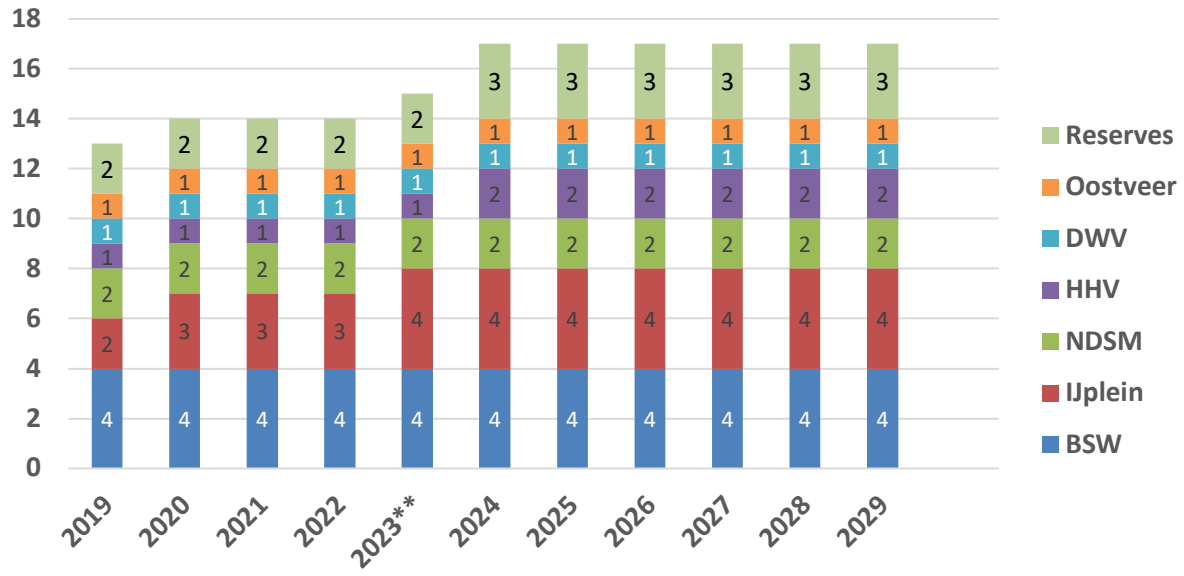
Laadhub

Als additionele optie is een laadhub onderzocht als optie voor het laden van de veren. Een laadhub is een centrale locatie waar de veren kunnen laden. Dit heeft als voordeel dat niet op de verschillende aanlandingen laadinfrastructuur hoeft te worden gerealiseerd en er maar een enkele aansluiting op het elektriciteitsnet nodig is (zij het een relatief grote: al snel enkele megawatt groot). Het nadeel is dat de veren gedurende hun dienst moeten laden. Het laden van een 600 kWh batterij met de beperking van een C-factor van 2 betekend dat het laden van een veer 30 min duurt. Afhankelijk van de lijn dient na 9 tot 48 oversteken er een half uur geladen te worden door de betreffende veer. De tijd benodigd voor alleen het laden van de veren gedurende de diensten betekend een additionele 4 veren in het systeem. Dit zou een extra investering van ruim €20 mln. betekenen. Door deze additionele €20 mln. investering in veren, nog los van de extra additionele kosten (operationele kosten zoals energie en personeel), wordt het laadhub concept als niet realistisch beschouwd.

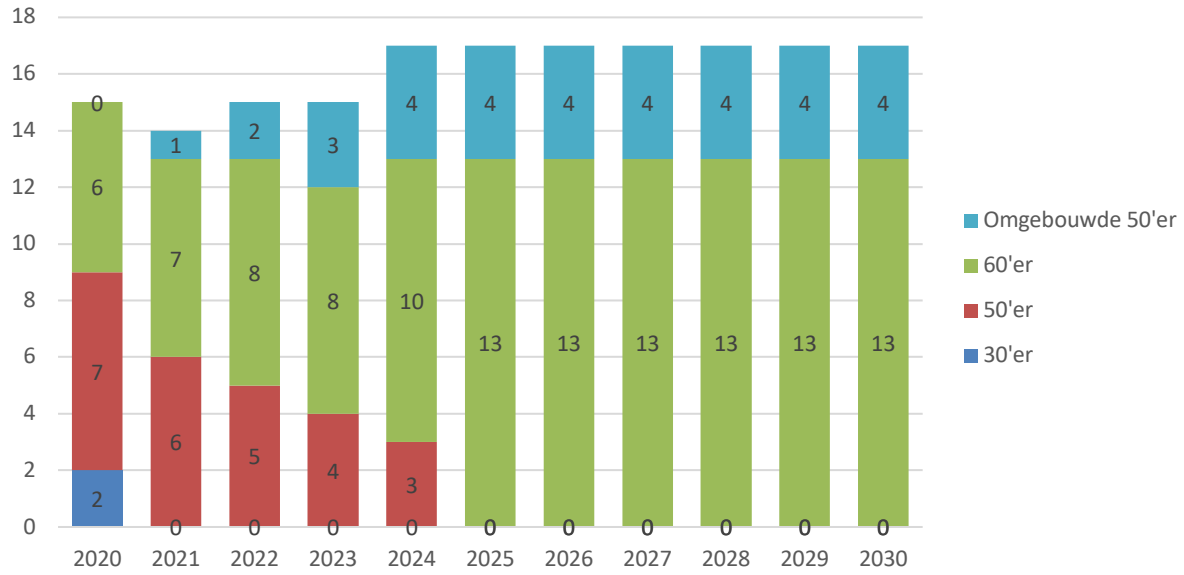
Tabel 10: Kosten van de laadhub door aanschaf additionele veren, gealloceerd naar specifieke veerlijnen

Kosten additionele veren laadhub	Oost	BSW	IJplein	NDSM	Houthaven (spits)	Distelweg
Gemiddeld verbruik per oversteek (kWh)	15	43	13,2	41,5	23,5	15
Aantal oversteken voor bijladen #	32	43	48	11	20	32
Additioneel benodigde veren per lijn (fictief, op basis van 600kWh per veer)	~0.75	~0.75	~0,5	~0,5	~0.75	~0.75

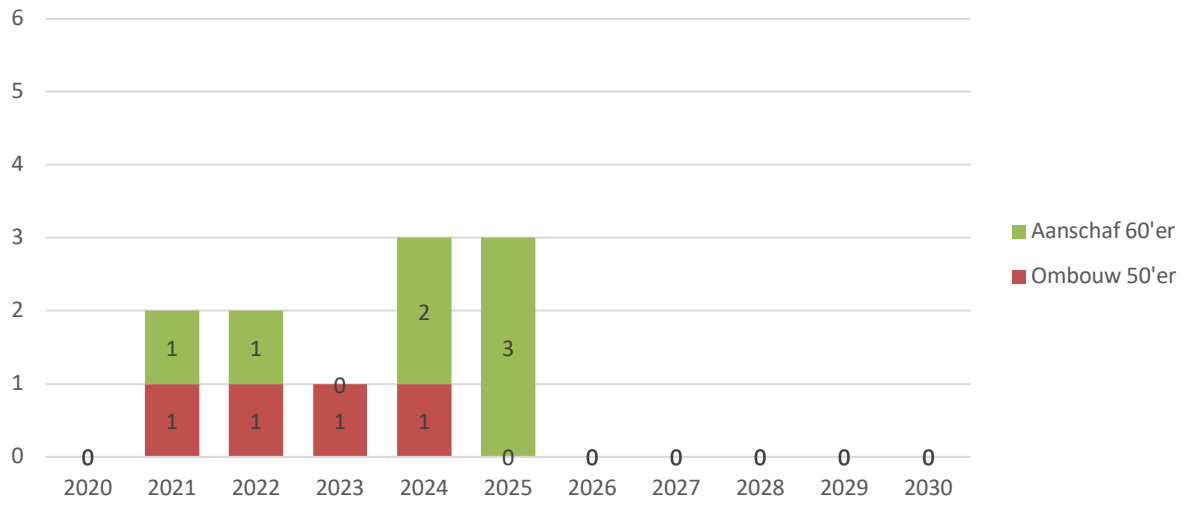
Bijlage C: Ingroei op basis van de update verenstrategie



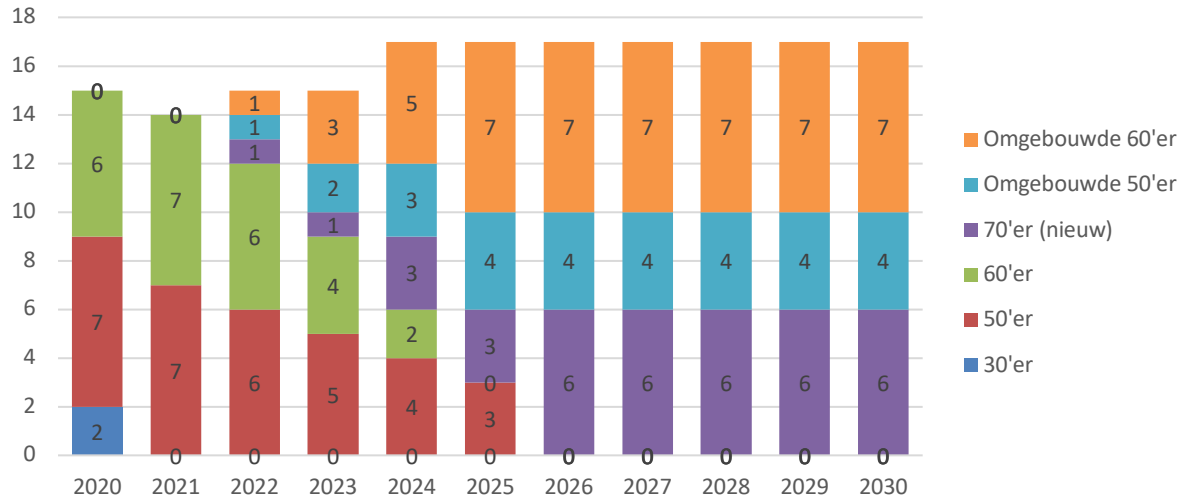
Figuur 20: Huidig aantal en type veren en geplande aantal veren op basis van cijfers gemeente Amsterdam op 3 december 2019



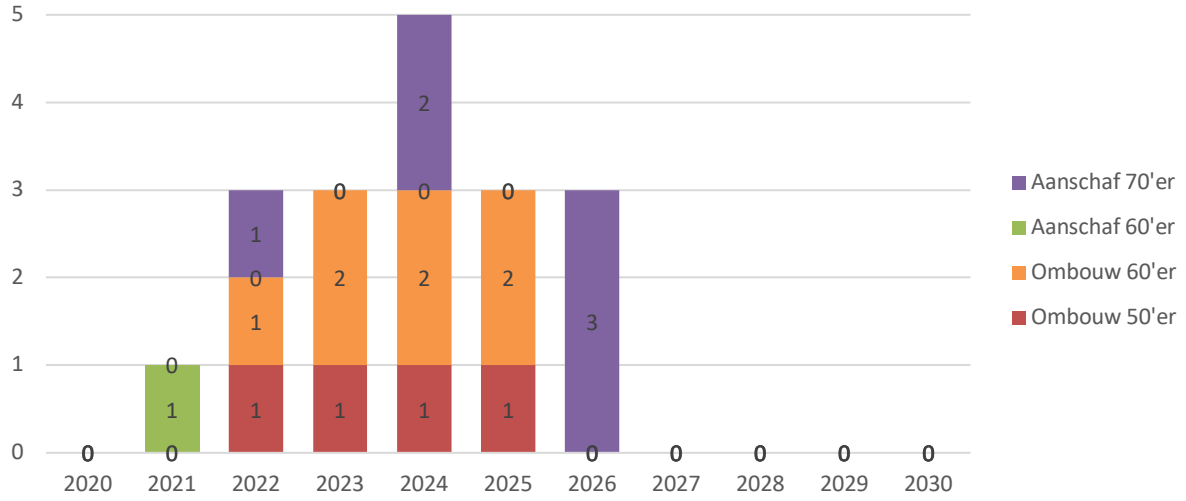
Figuur 21: Vlootsamenstelling voor de BAU variant



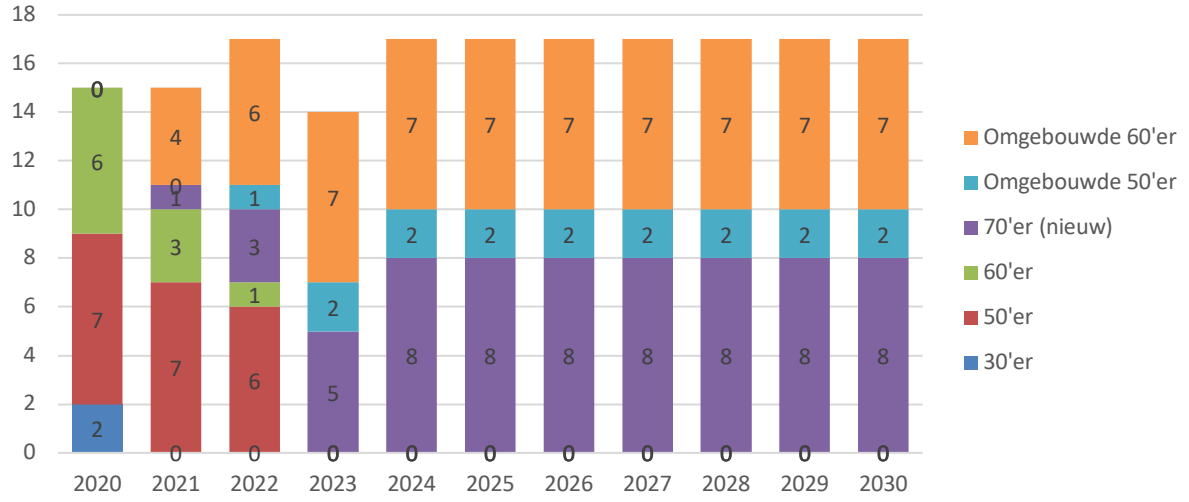
Figuur 22: Aantal nieuwkoop en ombouw tot en met 2030 voor de BAU variant



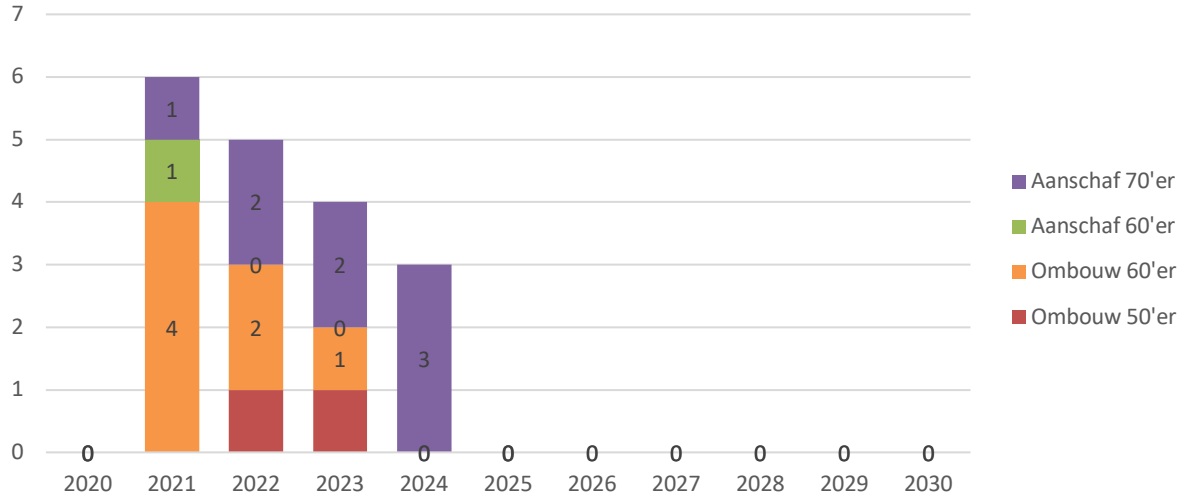
Figuur 23: Vlootsamenstelling voor de verduurzaamd in 2025 variant



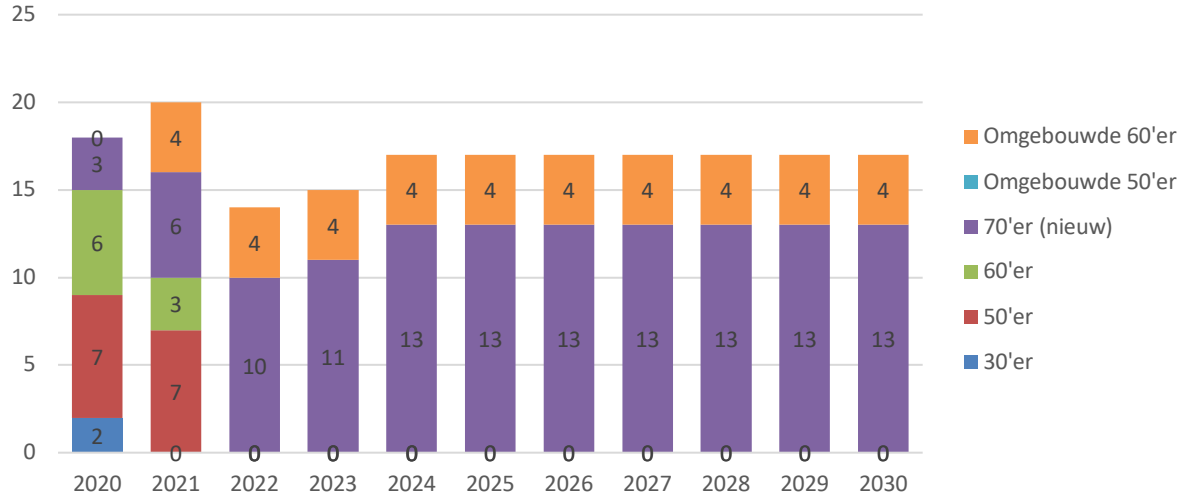
Figuur 24: Aantal nieuwkoop en ombouw tot en met 2030 voor verduurzaamd in 2025 variant



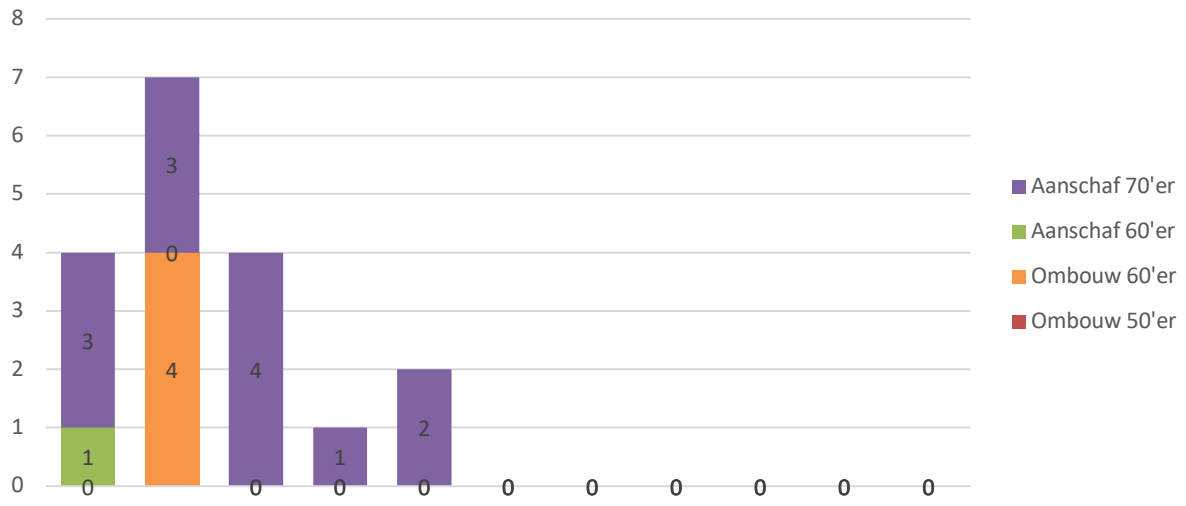
Figuur 25: Vlootsamenstelling voor de verduurzaamd in 2023 variant



Figuur 26: Aantal nieuwkoop en ombouw tot en met 2030 voor de verduurzaamd in 2023 variant



Figuur 27: Vlootsamenstelling voor de zo snel mogelijk variant



Figuur 28: Aantal nieuwkoop en ombouw tot en met 2030 voor de zo snel mogelijk variant

Bijlage D: Projecten overzicht

Tabel 11: Overzicht van de bekeken projecten voor de marktverkkening

Project & bronnen	Korte omschrijving
MF Ampere van Fjord 1, Noorwegen, operator is Norled: 1 veer, sinds maart 2015 in de vaart. Een tweede soortgelijk schip is bested. Siemens driveline, batterijsysteem van … 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 Update 2018: https://electrek.co/2018/02/03/all-electric-ferry-cuts-emission-cost/	'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. Update februari 2018: veer vaart boven verwachting goed. Filmpje toont twee laadsystemen, beide een pantograaf vanaf de wal.
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 https://cleantechnica.com/2019/01/29/corvus-energy-tapped-to-power-5-more-electric-ferries-in-norway/	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. Update 2019: Fjord 1 heeft een order geplaatst voor 5 elektrische ferries, voor overtochten in Noorwegen.
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/ https://electrek.co/2017/08/24/all-electric-ferries-abb/	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. Update 2019: de schepen zouden hun oorspronkelijke dieselgeneratoren wel nog een boord hebben.
Vision of the Fjords, Noorwegen; 1 hybrideveer sinds zomer 2016 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.

Future of the Fjords, Noorwegen: volledig elektrisch zusterschip van Vision of the Fjords https://static1.squarespace.com/static/5b18ec3cee1759b32d884907/t/5ca7401a419202c6a737dac1/1554464803172/2019+04+Article+Future+of+The+Fjords.pdf	Volledig elektrische ferry, in de vaart sinds april 2018. 2 x 900 kWh batterijpakket. Voorzieningen getroffen voor ombouw naar waterstofhybride om range verder te vergroten. 2.4MW laadvoorzieningen; handmatige koppeling met batterij-dock dat geladen wordt met een relatief kleine aansluiting op het net. Het batterij-dock heeft een capaciteit van 700kWh en is 40 x 5 x 3.5 meter in omvang.
Project ZEFF – Zero Emission Fast Ferry (waterstof) Noorwegen; nog niet in de vaart https://maritimecleantech.no/2019/01/15/zeff-towards-zero-emission-fast-ferries/	De veerboot krijgt elektrische jetstream motoren en vleugels die de romp van het vaartuig bij hoge snelheid boven het wateroppervlak liften. Daarmee is een snelheid mogelijk van maximaal 83 km/uur. Aan boord is ruimte voor maximaal 300 passagiers.
Water-Go-Round; VS (Californië); naar verwachting begin 2020 te water https://watergoround.com https://www.govtech.com/fs/transportation/Electric-Ferry-Under-Development-in-Californias-Bay-Area.html	De Water-Go-Round is een waterstof-elektrische veer. De veer biedt plek aan maximaal 84 opvarenden en haalt een topsnelheid van ongeveer 40 km/uur. De aandrijving komt van twee elektromotoren van elk 300 kW. De stroom wordt geleverd door brandstofcellen en batterijen. Met volle tanks waterstof (264 kg) kan de veerboot twee dagen varen.
Norled's Hydrogen Ferry; naar verwachting April 2021 te water https://fuelcellsworks.com/news/norway-norleds-hydrogen-ferry-begins-to-take-shape/	Veerboot op vloeibare waterstof geschikt voor vervoer van personen en auto's. De waterstoftank wordt geplaatst op het dak van de veerboot.
Osterøy auto-ferry; project gestart in februari 2016 (status onbekend) https://www.cmr.no/projects/10568/hydrogen-ferry/	Een van de twee dieselmotoren van de ferry wordt vervangen door een elektromotor aangedreven door 200kW aan PEM brandstofcellen gecombineerd met 100kWh Li-ion batterijen.
Nøé; Frankrijk; naar verwachting 2020 te water https://www.vinci-energies.com/en/our-news/newscenter/renewable-energies-and-a-hydrogen-fuel-cell-to-power-a-ferry/	Twee 1MW cells met een vermogen van 300kW, momenteel in ontwikkeling, worden gebruikt op de veerboot. Deze veerboot van 35 meter lang zal een laadtijd van 4 uur hebben.
Bnr 132 MF Husavik, eerste van 13 elektrische ferries, met twee dieselgeneratoren als back-up, voor exploitant Fjord 1. https://safety4sea.com/first-electric-ferry-with-automatic-fjord-crossing-delivered-for-norways-inland-sector/	De eerste veer wordt ingezet in Noorwegen, voor een oversteek van 10-15km (Husavik – Sandvikvag) "While currently operating in hybrid mode, this ferry will soon be making trips entirely with electricity charged from shore. The vessel has 1.6 MWh of advanced batteries onboard."
Bestelling van 7 batterij-elektrisch veren voor Fjord 1. Worden geleverd in het najaar van 2019. https://worldmaritimenews.com/archives/246497/fjord1-orders-seven-battery-powered-ferries/ *Geen verdere info over de inzet van deze veren te vinden: contact met projectmanager van Husavik niet gerealiseerd.*	The newbuilds will have a capacity of up to 50 passengers and will operate on the Kvanne-Rykkjem, Edøya-Sandvika, Fedje-Sevrøy and Langevåg–Buavåg routes, according to Fjord1. The remaining two ferries will be built at Cemre Shipyard in Turkey. Each with a capacity of 80 passengers, the ferries are intended for the Seivika-Tømmervåg service.
Sankta Maria elektrische ferry met zonnepanelen (gebouwd door Ostseestaal en EST-Floattech). https://www.est-floattech.com/full-electric-car-ferry/	Kleine auto-ferry met 252 kWh batterijen (NMC) aan boord, die geladen worden door 15 zonnepanelen. Onduidelijk is hoeveel van de benodigde energie uit de panelen komt.

Gloppefjord en Eisenfjord veren van Fjord1, o.a. op de Anda-Lote verbinding. https://www.multi-maritime.no/portfolio-item/mm103fe-el/	In vaart sinds november 2017. Beide elektrisch met (bio)dieselgeneratoren aan boord. Stemmann heeft de laadinfra geleverd. "a robotic arm and plug that targets the ship-side receptacle"

Bijlage E: Literatuuroverzicht & interviewoverzicht

Literatuurlijst

APPM (2019). Inspiratiedocument duurzaam Biesboschveer

Beekman Bildung (2017). Actualisatie nota veren: duurzaamheid. Technische en ruimtelijke mogelijkheden voor verduurzaming IJ-veren

Breeze, P. in Power Generation Technologies , Second Edition (2014), p.195-221

CE Delft (2017). Handboek Milieuprijzen 2017

CE Delft (2015). STREAM

C-Job (2017a). Vlootschouw IJveren

C-Job (2017b). Plug-in Hybride Noordzeekanaal Veerpont GVB. Wal-laadsystemen

Eneco/Rotterdam (2019). Haalbaarheidsstudie walstroom Calandkanaal

Melaina, M. & Penev, M. (2013). Hydrogen Station Cost Estimates, National Renewable Energy Laboratory, US

Pratt, J. W. & Klebanoff, L. E. (2018). Optimization of Zero Emission Hydrogen Fuel Cell Ferry Design, With Comparisons

Raskgreentech APS (2017). Task 38: E-ships. Task proposal to the IEA HEV TCP

TNO (2016). Onderzoek verschoningsopties veerverbindingen van het GVB Amsterdam.

Twynstra Gudde (2018). Coalitie zero emissie veerponten. Resultaten haalbaarheidsstudie versnellen transitie zero emissie veerponten.

Interviews

Jan-Willem de Kleuver (Twynstra Gudde, m.b.t. consortium uitstootvrije veren)

Ernst-Jan de Groot (m.b.t. vliegwieltechnologie)

Hans van Vught (TNO, m.b.t. vliegwieltechnologie)

Pim van Mensch (TNO, m.b.t. technische gegevens uit eerdere TNO-rapportage)

Silvia Brouwer (waterzijde West)

Paul Berkers (Stadsdeel West)

Franke Smidstra (Omgevingsmanager Houthavens)

Robin van Bergen (Programmamanager Noord)

Brenda Hunt (gebiedscoördinator Oost)

Casper van der Werf (GVB)

Huub Hendriks (Alliander).

Mail/Skype contact

Michael Rask (Raskgreentech, Denemarken)

Andreas Bratland (Forskningsradet, Noorwegen)

Marte Jensen (Maritime Cleantech, Noorwegen)