DECISIO

Vervoerregio Amsterdam

MKBA zero emissie bussen

23 augustus 2018

ECONOMISCH ONDERZOEK EN ADVIES

DECISIO

TITEL

MKBA zero emissie bussen

DATUM

augustus 2018

STATUS RAPPORT

Definitief

OPDRACHTGEVER

Vervoerregio Amsterdam

PROJECTTEAM DECISIO

Niels Hoefsloot
Menno de Pater
Sylvia Bleker
Lilian Tilburgs

CONTACTGEGEVENS DECISIO | ECONOMISCH ONDERZOEK EN ADVIES

Valkenburgerstraat 212
1011 ND Amsterdam
T 020 – 67 00 562
E info@decisio.nl
I www.decisio.nl

DECISIO

Inhoudsopgave

1. Inleiding 5
   1.1 Aanleiding 5
   1.2 Opdracht 5
2. Uitgangspunten 6
   2.1 Algemene uitgangspunten 6
   2.2 Technische uitgangspunten 7
3. Beschrijving alternatieven 9
   3.1 Opzet alternatieven 9
      3.1.1 Referentietechniek 9
      3.1.2 Alternatieven 9
4. TCO model: De groene cockpit 13
   4.1 Beschrijving De groene cockpit 13
   4.2 Aanpassingen TCO model 13
5. Financiële effecten/businesscase 15
   5.1 Investeringskosten 15
      5.1.1 Bussen 15
      5.1.2 Infrastructuur 16
      5.1.3 Totaalbeeld investeringskosten 17
   5.2 Jaarlijkse kosten: exploitatiekosten, beheer en onderhoud 19
      5.2.1 Bussen 19
      5.2.2 Infrastructuur 21
      5.2.3 Personeelskosten 21
   5.3 Totaal financiële effecten 22
6. Maatschappelijke effecten 25
   6.1 Afgedragen belasting 25
   6.2 Leefomgeving 25
      6.2.1 Luchtkwaliteit en klimaat 25
      6.2.2 Geluidshinder 26

6.2.3 Veiligheid 26
6.2.4 Visuele hinder 27
6.2.5 Optimalisatie halteplaatsen 27
6.2.6 Opportunity kosten grondgebruik 27
6.3 Reizigerseffecten 28
6.3.1 Reiscomfort EV bussen 28
6.4 Totaal maatschappelijke effecten 28
7. Resultaten MKBA 30
7.1 Gevoeligheidsanalyses 31
8. Conclusie 36
Bijlage I. Gebruikte kengetallen 39
Wagenpark 39
Investeringskosten 39
Bussen 39
Infrastructuur 41
Jaarlijkse kosten: exploitatie, beheer en onderhoud 41
Bussen 41
Infrastructuur 43
Personeelskosten 44
Leefomgeving 44
Uitstoot 44
Geluidshinder 45
Reizigerseffecten 45

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

De (inter)nationale klimaatdoelstellingen brengen belangrijke veranderingen met zich mee voor de wijze waarop we wonen, werken en recreëren. Ook voor de mobiliteit die met deze activiteiten gepaard gaat geldt een verduurzamingsopgave. Overheden op nationaal, regionaal en lokaal niveau maken hierop beleid. De Vervoerregio Amsterdam wil met de overgang naar uitstootvrij openbaar vervoer bijdragen aan de klimaatdoelstellingen en aan een prettige en gezonde leefomgeving.

Een van de bijdragen van de Vervoerregio is de overgang naar een CO_2-neutraal mobiliteitssysteem. Daarbij zijn de volgende doelstellingen/mijlpalen geformuleerd:

- In de periode 2018-2025 gefaseerde instroom van zero emissie bussen in de Vervoerregio;
- In 2025 zijn alle nieuw instromende bussen binnen de Vervoerregio emissievrij aan de uitlaat (tank-to-wheel);
- Uiterlijk 2025 is de laadinfrastructuur voor de zero emissie transitie gereed in de Vervoerregio;
- In 2030 is het mobiliteitssysteem in de regio (in ieder geval bus, tram en metro) CO_2 neutraal (well- to-wheel);
- In 2030 maakt het mobiliteitssysteem in de regio gebruik van 100% hernieuwbare (liefst regionaal opgewekte) energie.

Deze maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) dient om een afweging te kunnen maken tussen de verschillende technieken.

1.2 Opdracht

Het doel van de MKBA is het vergelijken van de verschillende technieken. Welke kosten brengen zij met zich mee en wat zijn de baten van zero emissie vervoer voor de maatschappij? Hoe verschillende de kosten en baten tussen de verschillende technieken?

2. Uitgangspunten

In dit hoofdstuk presenteren we de uitgangspunten die we gebruiken bij het opstellen van de MKBA. Daarbij sluiten we zo veel mogelijk aan bij de methoden en richtlijnen die uit de Algemene leidraad maatschappelijke kosten-batenanalyse[1] en Werkwijzer MKBA bij MIRT-verkenningen[2]. Toch wijken we op een aantal punten af van de leidraad, bijvoorbeeld bij de specificatie van het nulalternatief en het feit dat we gefaseerde uitrol van de technieken niet meenemen. Deze punten worden hieronder nader toegelicht.

2.1 Algemene uitgangspunten

Wat is een MKBA?
Een MKBA is een bredere maatschappelijke projectbeoordeling. De informatie hieruit kan bijdragen aan de nut- en noodzaakdiscussie van overheidsingrijpen, het maken van keuzes tussen de projectalternatieven- en aan het beantwoorden van de vraag of investering door de overheid wenselijk is. Anders dan in een businesscase worden in een MKBA ongelijksoortige effecten (bijvoorbeeld bereikbaarheid, leefomgeving, kosten en opbrengsten) met elkaar vergeleken. Het opstellen van maatschappelijke kosten-batenanalyses vindt zijn oorsprong in de wens om investeringen in onder andere infrastructuur te verantwoorden. Financiële opbrengsten zijn vaak ontoereikend om de investeringskosten terug te verdienen, maar gunstige gevolgen voor bereikbaarheid en leefomgeving kunnen de investeringen vanuit maatschappelijk perspectief rechtvaardigen.

Effecten in euro's en contante waarden
In een MKBA worden alle effecten, zowel de geprijsde als de niet geprijsde, in euro's uitgedrukt. De geprijsde effecten (waarvoor marktprijzen bestaan) zijn al in euro's. Voor de ongeprijsde effecten (bijvoorbeeld luchtkwaliteit, reiscomfort) maken we gebruik van verschillende waarderingsmethoden. Deze waarderingen gaan vaak uit van 'betalingsbereidheid' (hoeveel heeft iemand over voor een kortere reistijd?), of van schadekosten of vermijdingskosten (wat kosten maatregelen om de gevolgen van klimaatverandering tegen te gaan?). Met behulp van kengetallen gebaseerd op deze waarderingsmethoden vertalen we de effecten van zero emissie busvervoer naar bedragen die onderling en met de financiële kosten en opbrengsten kunnen worden vergeleken. Om ook effecten in de tijd goed te kunnen vergelijken (kosten treden vaak eerder op dan baten), maken we gebruik

[1] CPB/PBL (2013).
[2] Rijkswaterstaat (2018).

van contante waarden. Een euro vandaag wordt hoger gewaardeerd dan een euro in de toekomst (nog afgezien van inflatie).

MKBA-light
Gezien de doorlooptijd van de analyse is deze MKBA een *light* variant. Dat betekent dat er bijvoorbeeld geen uitgebreide milieustudies zijn uitgevoerd, maar wordt gewerkt op basis van kengetallen berekend. De gebruikte kengetallen worden in een later hoofdstuk in deze rapportage genoemd.

Abstractieniveau
Omdat de voorliggende vraag vooral om een pure vergelijking van de technieken gaat, hebben we een aantal simplificaties van de werkelijkheid meegenomen die een realistische vergelijking in de weg staan. Zo gaan we er van uit dat alle bussen uit het volledige wagenpark van de vier concessies in de Vervoerregio op hetzelfde moment vervangen worden door bussen met de nieuwe techniek.

Eindresultaat is een MKBA van de stand van zaken in 2030 op schaal- en abstractieniveau van de Vervoerregio als geheel. Resultaten op lijn- of concessieniveau worden niet gepresenteerd. Exacte invulling van de concessies/ lijnvoering wordt immers door de vervoerbedrijven gedaan. Bovendien is het waarschijnlijk dat de details van de lijnvoering veranderen tussen nu en 2030 bij nieuwe concessies. Een hoger abstractieniveau zorgt zo voor een toekomstbestendiger resultaat.

2.2 Technische uitgangspunten

Prijspeil
Alle prijzen worden uitgedrukt in prijspeil 2018.

Zichtperiode
We gaan uit van een zichtperiode van 15 jaar omdat dit door de Vervoerregio Amsterdam als uitgangspunt wordt genomen voor de afschrijvingstermijn van elektrische bussen[3].

De MKBA biedt een goed beeld van de onderlinge prestaties (kosten, opbrengsten, maatschappelijke effecten) van de onderscheiden technieken. In de analyse vergelijken we de hypothetische situaties waarin in jaar 0 alle bussen worden aangeschaft, waarna ze voor een periode van 15 jaar de concessies rijden. Dat

[3] Vervoerregio Amsterdam (2018) Addendum – Duurzaam OV in de Vervoerregio Amsterdam, Transitie naar zero emissie openbaar vervoer

doen we voor alle technieken. In de praktijk zullen alle bussen waarschijnlijk niet in een klap vervangen worden, maar zal dit stapsgewijs gebeuren. Omdat de voorliggende vraag van de Vervoerregio vooral gaat over het aantonen van de verschillen tussen de technieken bekijken we eindsituaties waarbij de vloot is vervangen door dezelfde techniek.

De meeste investeringen hebben een levensduur van 15 jaar. Enige afwijkingen zijn de IMC infrastructuur (30 jaar) en Diesel-VI bussen (10 jaar). Aan het eind van de zichtperiode hebben IMC, Diesel-VI, Plug-in en OC bussen een restwaarde. Ze kunnen worden doorverkocht aan andere vervoermaatschappijen of ze hebben een schrootwaarde. IMC infrastructuur is aan het eind van de zichtperiode 15 jaar in gebruik, terwijl deze een afschrijving heeft van 30 jaar en heeft dus ook restwaarde (en dus de impliciete aanname, dat ook aan het einde van de looptijd de investeringen nog gebruikt worden).

Discontovoet

Het *'Adviesrapport werkgroep discontovoet'* adviseert een discontovoet van 0% met een risico-opslag van 3,0%. Voor grote investeringen die pas op langere termijn effecten hebben (bijvoorbeeld bij infrastructuur) wordt een hogere risico-opslag geadviseerd (4,5%). Vanwege de korte zichtperiode van 15 jaar en het beperkte aantal investeringen dat een afschrijftermijn heeft langer dan 15 jaar, gaan we hier uit van de basis 3,0%. In een gevoeligheidsanalyse bekijken we het effect van een discontovoet van 4,5%

3. Beschrijving alternatieven

3.1 Opzet alternatieven

In de MKBA worden vijf alternatieve technieken vergeleken: plug-in, Opportunity Charging (OC), waterstof, In-Motion Charging (IMC) en hybride (plug-in bus met Diesel range extender). Deze worden vergeleken met een referentietechniek (dieselbussen). Onderstaand gaan we in op hoe we deze technieken vergelijken met elkaar en met de referentie.

3.1.1 Referentietechniek

Volgens de MKBA richtlijnen is het nulalternatief de situatie zonder project waarbij voor de autonome ontwikkeling wordt uitgegaan van de zogenaamde Welvaart en leefomgeving (WLO)-scenario's. Deze zijn echter niet beleidsvrij; energietransitie (waaronder emissievrij vervoer) worden verondersteld onderdeel te zijn van de 'autonome' ontwikkeling op de lange termijn. Echter, in dit geval is 'niets doen' geen optie. De klimaatdoelstellingen komen eraan en de Vervoerregio zal hoe dan ook met passend beleid moeten komen. Sprake van een nulalternatief in strikte zin is er dus niet. Om toch de verschillen tussen alternatieven effectief weer te kunnen geven, werken we met een referentie die is niet bedoeld als realistisch alternatief, maar die puur als vergelijkingsbasis dient.

Bij de vergelijking van de technieken gaan we uit van een situatie waarin het volledige wagenpark benodigd voor het rijden van de concessies in het werkgebied van de Vervoerregio, in één keer nieuw zou worden aangeschaft. Daarbij gaan we uit van Diesel VI-bussen (het huidige wagenpark bestaat overigens ook nog ook uit de minder efficiënte Diesel V-bussen en sinds kort ook al uit een aantal elektrische bussen van en naar Schiphol in de concessie Amstelland-Meerlanden). Om de vergelijking van technieken zuiver te houden, gaan we uit van een volledig Diesel-VI wagenpark: het type bus indien niet overgestapt zou worden op zero emissie bussen.

3.1.2 Alternatieven

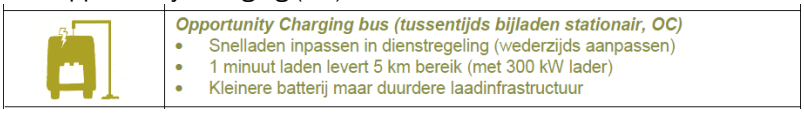
We hebben de volgende technieken bekeken:

- Plug-in

	Plug-in bus • Inzetbaar tot 250 km/dag (groeiend), meer range extender • 's Nachts langzaam opladen of overdag versneld bijladen in remise • Verlies passagierscapaciteit door zware batterij

Plug-in bussen zijn volledig elektrisch. Ze hebben een batterijpakket en worden 's nachts volledig opgeladen in de remise. Plug-in bussen hebben een beperkte actieradius en opladen kost een aantal uur, ze kunnen dus niet net als een Diesel-VI bus tussendoor bijtanken. Om dezelfde dienstregeling met plug-in bussen te rijden in plaats van Diesel-VI bussen zijn daarom meer bussen nodig. Een bus met lege batterij kan dan omgewisseld worden, waardoor de dienstregeling intact blijft.

- Opportunity Charging (OC)



OC bussen hebben ook een batterijpakket en worden 's nachts volledig opgeladen in de remise. OC bussen worden echter gedurende de dag bijgeladen via snelladers. Dit opladen gaat sneller dan 's nachts opladen, maar nog niet zo snel als tanken met een Diesel-VI bus. Door snelladers te plaatsen op eindstations van een buslijn, kan de bus telkens bijladen, waardoor de actieradius wordt vergroot. Ook bij OC bussen zijn er meer bussen nodig dan Diesel-VI bussen om dezelfde dienstregeling te kunnen rijden. We gaan uit van dezelfde opslag als bij plug-in bussen.

- In-motion Charging (IMC)

Een IMC bus heeft een batterijpakket dat wordt opgeladen tijdens het rijden. Opladen gebeurt via een bovenleiding, die boven de weg wordt gespannen. De bus koppelt aan bij een halte en laadt al rijdend op. Als de batterij is opgeladen kan de bus zonder bovenleiding verder rijden. Bovenleiding is dus niet nodig langs het hele traject. Wel moet nieuwe bovenleiding worden aangelegd. De IMC bus kan geen gebruik maken van bestaande trambovenleiding. Omdat de IMC bus in principe de hele dag kan bijladen is er geen beperking in de actieradius zoals bij plug-in en OC bussen. Hierdoor zijn geen extra bussen nodig om de dienstregeling te kunnen rijden. Voor eventuele storingen in bovenleidingen en omleidingen zijn wel reservebussen nodig. Echter, bij Diesel-VI zijn ook reservebussen meegenomen voor storingen. We gaan ervan uit dat bij toepassing van IMC-techniek niet meer reservebussen nodig zijn dan bij dieseltechniek.

- Waterstofbus

Een waterstofbus heeft een elektrische aandrijving. De brandstof is waterstof, dat in de brandstofcel wordt omgezet in elektriciteit. De bus is uitstootvrij, het enige

restproduct is water. Om de dienstregeling te kunnen rijden zijn geen extra waterstofbussen nodig. Wel zijn waterstofstations nodig om brandstof bij te kunnen vullen. De capaciteit van deze stations moet groter zijn dan tot nu toe gerealiseerd is in Nederland. De productie van waterstof zal ook aanzienlijk omhoog moeten om alle bussen in de Vervoerregio van waterstof te kunnen voorzien.

- Hybride bus (plug-in met diesel range extender)[4]

Een hybride bus is niet volledig uitstootvrij. De hybride bus schakelt over op dieselbrandstof als de batterij leeg raakt. Hierdoor verbruikt de bus minder diesel en produceert de hybride bus minder uitstoot dan een standaard dieselbus. Omdat de bus op elk gewenst moment over kan stappen op dieselaandrijving, is de actieradius niet beperkt en zijn geen extra bussen nodig om de dienstregeling te kunnen rijden.

We gaan er in principe van uit dat alle bussen vervangen worden door de nieuwe aandrijftechniek. Doordat opladen tijd kost en de actieradius van elektrische bussen beperkt is, dienen er meer bussen beschikbaar te zijn om dezelfde dienstregelingen te kunnen rijden. Onderstaande tabel geeft het aantal bussen per techniek aan.

Tabel 3.1 Wagenpark van verschillende technieken

	Diesel-VI	Plug-in bus	Oppor-tunity Charging	Water-stofbus	In-Motion Charging	Hybride bus
Aantal bussen	646	733	733	646	646	646

Bron: Significant 'De groene cockpit' en Vervoerregio Amsterdam

De huidige dienstregeling van de Vervoerregio bepaalt het aantal bussen in de referentie. Bij Diesel-VI is gerekend met het aantal benodigde bussen om de dienstregeling te rijden[5] plus een opslag van acht procent voor technische reserve. Voor het plug-in en OC is een opslag meegenomen, omdat meer bussen nodig zijn om dezelfde dienstregeling te kunnen rijden. Deze opslag is gelijk aan 15 procent van het aantal benodigde bussen voor de dienstregeling (dus exclusief technische reserve).

[4] De hybride variant in deze studie is anders dan de hybride variant in een eerdere studie van de Vervoerregio ("Duurzaam OV in de Vervoerregio Amsterdam – transitie naar zero emissie openbaar vervoer"). Daarin werd een hybride bus meegenomen die niet via het elektriciteitsnet kan worden opgeladen. De bus heeft een klein accupakket dat tijdens het afremmen regeneratief wordt opgeladen. De hybride variant in deze MKBA heeft een groter batterijpakket dat wel opgeladen wordt via het elektriciteitsnet. De hybride variant uit deze studie sluit zo beter aan op de doelstelling 2030 emissievrij, omdat meer kilometers op elektriciteit wordt gereden, in plaats van op diesel. Al is de variant niet compleet emissievrij.
[5] Bron: Vervoerregio Amsterdam

De alternatieven beschrijven zo een eindsituatie als de vervoerders van alle vier de concessies zijn overgestapt op dezelfde nieuwe techniek. In de praktijk is het aannemelijk dat vervoerders (in ieder geval tijdelijk, maar mogelijk ook in de eindsituatie) een mix van technieken gebruiken. Het is nu bijvoorbeeld nog niet mogelijk om het volledige wagenpark door waterstofbussen te vervangen, omdat tankstations met voldoende capaciteit nog niet bestaan en waterstof nog niet op voldoende schaal wordt geproduceerd. Bij IMC is het plaatsen van bovenleiding niet altijd wenselijk, vanwege de visuele hinder voor omwonenden. Bovendien zijn bovenleidingen kostbaar en waarschijnlijk niet efficiënt op lijnen met lage frequentie. In de MKBA gaan we ervan uit dat deze obstakels in de eindsituatie zijn opgelost. In realistischere alternatieven zou fasering meegenomen worden, waarin ook mixen van technieken mogelijk zijn (al dan niet tijdelijk). Voor de doelstelling van deze MKBA, het vergelijken van technieken, is de huidige opzet echter meer geschikt. De vergelijking van technieken geeft input voor de besluitvorming over het gewenste eindbeeld. De optimale fasering en mix van technieken is een vervolgstap.

4. TCO model: De groene cockpit

4.1 Beschrijving De groene cockpit

De financiële kosten van de verschillende technieken zijn gebaseerd op de total cost of ownership (TCO) berekeningen van Significant. Met het model 'De Groene Cockpit' zijn de jaarlijkse kosten per techniek bepaald in de concessies Waterland, Amstelland-Meerlanden en Zaanstreek. Voor de MKBA is het model aangepast en wordt ook de concessie Amsterdam meegenomen. In de TCO-berekeningen is rekening gehouden met onder andere investeringskosten, afschrijvingstermijnen, stallingskosten, onderhoudskosten, brandstofkosten en personeelskosten van niet alleen de bussen zelf, maar ook de benodigde infrastructuur. De berekende kosten zijn exclusief reguliere personeelskosten en overhead. Personeelskosten die wel in het model worden doorgerekend, zijn de kosten van extra personeel dat nodig is om een groter wagenpark te kunnen verwerken.

De kostenschattingen zijn gemaakt op basis van huidige lijnindelingen, deze kan eventueel anders zijn na een nieuwe concessie. In de berekeningen is uitgegaan van een onveranderde dienstregeling, ongeacht aandrijftechniek. Dit betekent dat bij sommige technieken meer bussen moeten worden aangeschaft dan in de huidige situatie, bijvoorbeeld vanwege de lagere actieradius. Ook dit uitgangspunt nemen we over in de MKBA.

Het TCO model is in een eerdere studie voor de Vervoerregio ook gebruikt: "Duurzaam OV in de Vervoerregio Amsterdam – transitie naar zero emissie openbaar vervoer". Sindsdien zijn de kengetallen uit het model 'De groene cockpit' aangepast gebaseerd op actuele praktijkcijfers. Zero emissie bussen zijn in snelle ontwikkeling en worden steeds vaker ingezet in de dienstregeling, waardoor inzicht in de kosten verbetert. Kostenberekeningen kunnen daarom afwijken van de eerdere studie.

4.2 Aanpassingen TCO model

De methodiek van het TCO model sluit niet altijd aan bij de methodiek van een maatschappelijke kosten-batenanalyse. Voor de MKBA hebben wij daarom op een aantal punten wijzigingen doorgevoerd, waardoor berekende kosten kunnen verschillen met de berekende kosten uit het TCO model. De volgende punten zijn aangepast:

- Voor de MKBA hebben wij de verwachte ontwikkeling van brandstofprijzen (zowel diesel, als elektriciteit) meegenomen.

- In het huidige TCO model worden gemiddelde kosten per jaar berekend. Voor een MKBA is ook het tijdspad van de kosten/effecten van belang (investeringskosten direct en effecten pas na realisatie).
- Financieringskosten worden in een MKBA niet meegerekend.
- In het TCO model worden alleen de extra personeelskosten t.o.v. Diesel-VI meegenomen. In de MKBA nemen we ook (een schatting van) de huidige personeelskosten mee om de procentuele kostenstijging van overstappen naar een nieuwe techniek te kunnen bepalen.

5. Financiële effecten/businesscase

Bij de kostenberekening gaan we uit van de kosten die door de vervoerder gemaakt worden. De prijzen zijn daarom exclusief btw (deze worden immers niet door de vervoerder betaald) en inclusief overige accijnzen en belastingen. Op deze manier ontstaat een beeld van de uiteindelijke businesscase voor de vervoerder.
Accijnzen en belastingen worden overigens in de MKBA weer als baten opgenomen, aangezien deze weer terugstromen naar de maatschappij. Dit hoofdstuk laat de benodigde investeringskosten en jaarlijkse terugkerende kosten van het wagenpark en infrastructuur zien. De gebruikte kengetallen staan in de bijlage.

5.1 Investeringskosten

5.1.1 Bussen

Aanschafkosten
We nemen aan dat de bussen allemaal worden vervangen op het zelfde moment, we houden daarbij geen rekening met de restwaarde van het huidige wagenpark.

Tabel 5.1 laat de totale investeringskosten voor de bussen zien. Diesel-VI vereist de kleinste investering en waterstof de grootste. Van de zero emissie technieken is OC de voordeligste variant wat betreft investeringskosten. De extra benodigde nominale investering (t.o.v. Diesel-VI) bedraagt € 141 miljoen.

In jaar 1 wordt het volledige wagenpark vervangen. Dieselbussen hebben een afschrijvingstermijn van 10 jaar en moeten daarom binnen de zichtperiode van 15 jaar nog eens vervangen worden, wat een herhaalinvestering betekent. De overige bussen hebben een levensduur van 15 jaar. Van een aantal technieken hebben de bussen restwaarde aan het eind van de afschrijvingstermijn. Deze kunnen nog doorverkocht worden of leveren schrootwaarde op. Dit is het geval bij Diesel-, OC-, Plug-in- en IMC-bussen. Diesel-VI en IMC bussen hebben een restwaarde van 10 procent van de aanschafkosten, Plug-in en OC 2,5 procent[6]. Aan het eind van de zichtperiode van 15 jaar, zijn de dieselbussen nog maar 5 jaar in gebruik (ze zijn immers vervangen na 10 jaar). Deze hebben aan het eind van de zichtperiode dus nog een hogere restwaarde, ze zouden immers doorverkocht kunnen worden tegen een hoger bedrag.

[6] Bron: Significant. ‘De groene cockpit’

Tijdens de levensduur van 15 jaar vindt eenmalig groot onderhoud van de bussen plaats (behalve bij dieselbussen, aangezien deze eerder worden afgeschreven). Daarnaast wordt na 7,5 jaar de batterij van elektrische bussen en de brandstofcel van de waterstofbussen vervangen. Bij de vervanging van de batterij houden we rekening met technologische ontwikkeling, waardoor de kosten van het batterijpakket dalen[7]. Over 7,5 jaar is de batterijprijs 60 procent van de huidige prijs. Ook houden we rekening met een restwaarde van batterijen na 7,5 jaar (een restwaarde van 25 procent). Voor de brandstofcel van waterstofbussen is de ontwikkeling nog te onzeker en houden we geen rekening met prijsdalingen. Wel doen we een gevoeligheidsanalyse waarin we aannemen dat de prijs van een brandstofcel zich op dezelfde manier ontwikkelt als de prijs van batterijen.

Tabel 5.1 Investeringskosten bussen in miljoenen €, excl. btw

	Diesel-VI	OC	Plug-in	IMC	Water-stof	Hybride
Aantal bussen	**646**	**733**	**733**	**646**	**646**	**646**
Investering bussen jaar 1	189	352	473	469	539	312
Herhaalinvestering	189	0	0	0	0	0
Restwaarde	-123	-9	-12	-47	0	0
Groot onderhoud	0	37	37	32	32	32
Vervanging batterij	0	18	25	8	65	8
Totale investeringskosten bussen	**256**	**397**	**523**	**462**	**636**	**353**
Verschil t.o.v. Diesel-VI		141	268	207	380	97
Contante waarde	**247**	**389**	**515**	**470**	**616**	**344**
Verschil t.o.v. Diesel-VI		142	268	222	369	97

In de gevoeligheidsanalyse in paragraaf 7.3 laten we ook zien wat de verschillen zijn indien wordt uitgegaan van een afschrijvingstermijn van 10 jaar voor alle bussen. De elektrische technieken zijn immers nog nieuw en in de praktijk moet nog blijken of de gehanteerde verwachte afschrijvingstermijn van 15 jaar ook daadwerkelijk gerealiseerd kan worden.

5.1.2 Infrastructuur

Zowel op de remise als op straat zijn aanpassingen aan de infrastructuur nodig bij de zero emission technieken. Voor Diesel–VI berekenen we geen infrastructuurkosten, aangezien deze infrastructuur nu al aanwezig is. Voor alle infrastructuur geldt een afschrijvingstermijn van 15 jaar, met uitzondering van

[7] Na 7,5 jaar zou ook gekozen kunnen worden voor een groter batterijpakket tegen hetzelfde bedrag, in plaats van hetzelfde batterijpakket tegen een lager bedrag. In dat geval wordt de actieradius van bussen vergroot, waardoor minder bussen nodig zijn om de dienstregeling te rijden. Deze optie hebben we in de MKBA niet doorgerekend.

bovenleidingen van IMC (30 jaar). Werkelijke afschrijvingstermijnen moeten nog blijken uit de praktijk. We gaan hier uit van een afschrijvingstermijn van één concessieperiode. Daarna kan immers weer voor een andere techniek gekozen worden, wat nieuwe infrastructuur vraagt. Echter, ervaring met trambovenleiding laat zien dat bovenleiding langer meegaat dan 15 jaar. Daarom gaan we hier uit van een afschrijvingstermijn van 30 jaar[8].

Infrastructuur remise bestaat uit de benodigde laadinfrastructuur om de bussen 's nachts op te laden. Voor plug-in, OC en hybride zijn het laadpalen, bij IMC gebeurt het opladen via bovenleiding. Infrastructuur op straat is alleen nodig voor OC en IMC bussen. OC bussen hebben snelladers nodig op eindpunten van lijnen. Snelladers zijn duurder dan standaard laders, waardoor de kosten op straat hoger zijn dan de kosten in de remise. IMC bussen hebben bovenleiding nodig, dat grote investeringen vraagt
(€450 miljoen). De bovenleiding heeft een afschrijftermijn van 30 jaar, dus na zichtperiode van 15 jaar hebben de bovenleidingen restwaarde.

Vooral de kosten van straatinfrastructuur verschillen tussen de technieken, waarbij OC en (vooral) IMC veel hogere investeringen vragen.

Tabel 5.2 Investeringskosten infrastructuur in miljoenen €, excl. btw

	Diesel-VI	OC	Plug-in	IMC	Water-stof*	Hybride
Infrastructuur remise	0	1	1	3	0	1
Infrastructuur straat	0	45	0	450	0	0
Restwaarde	0	0	0	-225	0	0
Totaal investeringskosten infrastructuur	**0**	**46**	**1**	**228**	**0**	**1**
Verschil t.o.v. Diesel-VI		46	1	228	0	1
Contante waarde	**0**	**46**	**1**	**304**	**0**	**1**
Verschil t.o.v. Diesel-VI		46	1	304	0	1

**Kosten infrastructuur worden niet door vervoerder betaald, maar door private partij. Kosten zitten daarom verwerkt in de brandstofprijs*

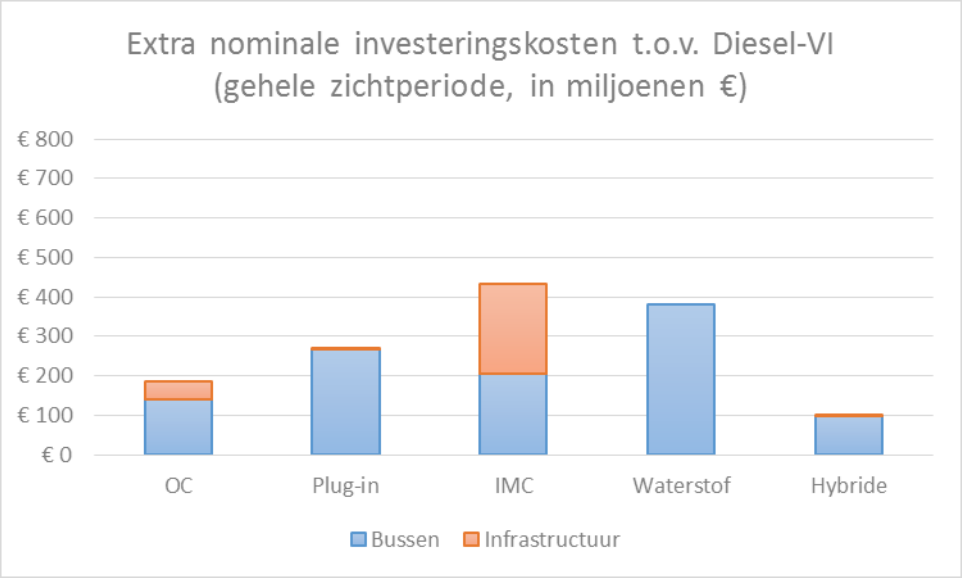
5.1.3 Totaalbeeld investeringskosten

Figuur 5.1 laat de extra investeringskosten zien ten opzichte van Diesel-VI. De kosten staan uitgesplitst naar bussen en infrastructuur. Vooral de kosten van straatinfrastructuur verschillen tussen de technieken, waarbij OC en (vooral) IMC veel hogere investeringen vragen. Waterstofbussen zijn significant duurder dan de bussen van de overige technieken. Restwaarde is inbegrepen bij de

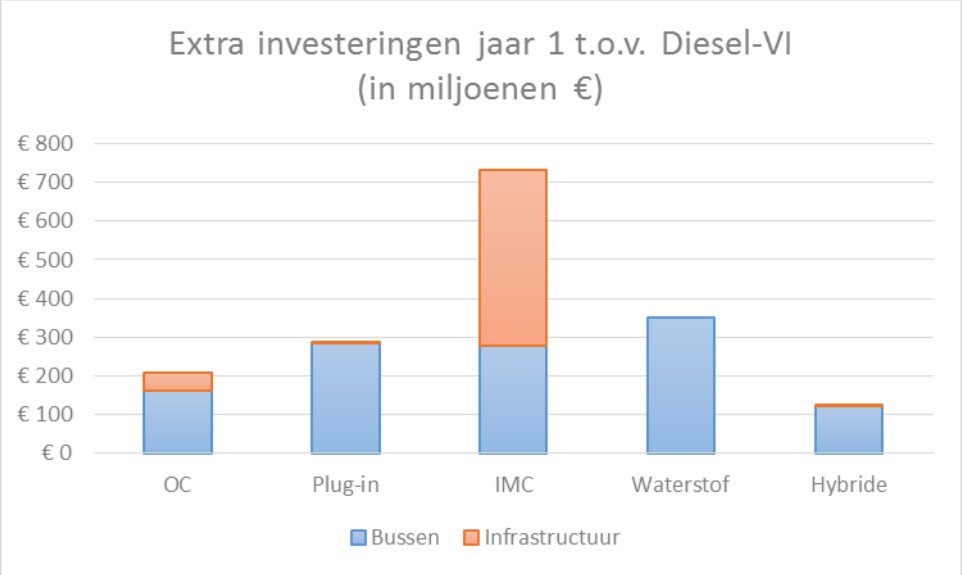
[8] Bron: Significant 'De groene cockpit'

investeringskosten, dit betekent dat de benodigde extra investering in jaar 1 hoger ligt dat de bedragen in de grafiek. Figuur 5.2 laat de benodigde extra investering in jaar 1 zien (ten opzichte van Diesel-VI).

Figuur 5.1 Extra nominale investeringen over 15 jaar ten opzichte van Diesel-VI (miljoenen €)



Figuur 5.2 Extra investeringen jaar 1 t.o.v. Diesel-VI (in miljoenen €)



5.2 Jaarlijkse kosten: exploitatiekosten, beheer en onderhoud

Elektrische bussen zijn goedkoper in onderhoud/exploitatie dan dieselbussen, waarbij OC bussen de laagste jaarlijkse kosten hebben. Een nominaal verschil van € 12 miljoen per jaar. Waterstof heeft de hoogste jaarlijkse kosten, wat met name door de hoge brandstofkosten komt[9]. De grootste kostenpost vormen de personeelskosten, al zijn de verschillen tussen de technieken klein.

Tabel 5.3 Jaarlijkse kosten exploitatie, beheer en onderhoud in miljoenen € per jaar, excl. btw

	Diesel-VI	OC	Plug-in	IMC	Water-stof	Hybride
Bussen						
Jaarlijks beheer en onderhoud	21	22	27	24	20	20
Brandstof	27	9	13	9	58	18
Infra						
Infrastructuur remise	0	0	0	0	0	0
Infrastructuur straat	0	4	0	5	0	0
Jaarlijkse personeelskosten	131	133	133	133	133	131
Totale exploitatie, beheer en onderhoudskosten per jaar	**180**	**168**	**173**	**171**	**212**	**169**
Verschil t.o.v. Diesel-VI		-12	-6	-8	32	-11
Contante waarde	**2210**	**2065**	**2129**	**2105**	**2601**	**2076**
Verschil t.o.v. Diesel-VI		-145	-81	-105	391	-134

**Kosten infrastructuur worden niet door vervoerder betaald, maar door private partij. Kosten zitten daarom verwerkt in de brandstofprijs*

5.2.1 Bussen

Jaarlijks beheer en onderhoud

Beheer en onderhoudskosten bestaan uit standaard onderhoudskosten per kilometer, jaarlijkse stallingkosten, verzekeringskosten, schoonmaakkosten, schadekosten en voertuigbelasting.

Jaarlijks beheer en onderhoud van OC is lager dan dat van de andere technieken, inclusief Diesel. Plug-in heeft de hoogste kosten. Onderhoudskosten per bus zijn het hoogst voor waterstofbussen, maar het totale wagenpark van waterstof is kleiner dan bij plug-in, waardoor plug-in duurder uitkomt.

[9] Waterstof wordt getankt bij een private partij, hier zitten indirect dus de kosten van waterstofinfrastructuur bij in.

Brandstofkosten
Naast beheer en onderhoud hebben de bussen brandstof nodig. Anders dan beheer en onderhoudskosten, worden de brandstofkosten niet door het aantal bussen in het wagenpark bepaald, maar door het aantal kilometers dat in totaal gereden wordt. Elektrische bussen zijn goedkoper dan diesel wat betreft brandstofkosten. Waterstof kost juist meer dan diesel.

Het aantal dienstregelingkilometers verandert niet per techniek, de dienstregeling blijft immers intact. Per jaar rijden de bussen in de Vervoerregio gezamenlijk ruim 61,5 miljoen dienstregeling kilometers. Omdat bussen ook wel eens buiten de dienstregeling rijden (bijvoorbeeld naar het depot of voor onderhoud) rekenen we met een opslag van 5 procent. Het totaal aantal gereden kilometers komt uit op 64,7 miljoen per jaar.

Uit het TCO model halen we het aantal gereden kilometers en de efficiëntie van de voertuigen (brandstofgebruik)[10]. Vervolgens koppelen we deze aan brandstofprijzen. Voor diesel en elektriciteit houden we rekening met de verwachte prijsveranderingen over de zichtperiode.

Dieselprijzen zijn gekoppeld aan de olieprijzen. Op basis van de verwachte ontwikkeling van olieprijzen is de verwachte ontwikkeling van de dieselprijs berekend. De verwachte ontwikkeling van olieprijzen staat beschreven in de studie 'Nederland in 2030-2050: twee referentiescenario's – Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving' (kortweg WLO) die is gepubliceerd door het Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving. We corrigeren de pompprijs voor btw en laten de prijs ontwikkelen aan de hand van de olieprijs. Accijns in de dieselprijs nemen we mee als brandstofkosten, maar worden in de MKBA weer als baten opgenomen, omdat dit deel immers terugstroomt naar de maatschappij.

Elektriciteitsprijzen veranderen ook de komende 15 jaar. De WLO beschrijft de ontwikkeling van elektriciteitsprijzen. We rekenen in de MKBA met de efficiënte elektriciteitsprijs (zie kader)[11].

Efficiënte elektriciteitsprijs
In de efficiënte prijs zit de CO_2 prijs van elektriciteitsopwekking inbegrepen als opslag op de standaard elektriciteitsprijs. Een hogere CO_2 prijs betekent dus een hogere efficiënte elektriciteitsprijs. De hoogte van de CO_2 prijs wordt bepaald door de kosten van CO_2 uitstoot vermindering. Vermindering is kostbaarder naarmate er

[10] Voor gebruikte kengetallen, zie bijlage
[11] Voor gebruikte kengetallen, zie bijlage

al meer CO_2 uitstoot is vermeden, oftewel: de marginale prijs van een extra ton CO_2 uitstoot vermindering loopt op. Dit betekent dat milieubeleid een sterke invloed heeft op de efficiënte elektriciteitsprijs. Strengere milieudoelen wat betreft CO_2 reductie, zorgt voor een hogere efficiënte elektriciteitsprijs.

De WLO rekent met verschillende efficiënte CO_2 prijzen in verschillende scenario's. De scenario's gaan uit van verschillende toekomstige trends wat betreft bijvoorbeeld bevolkingsgroei, economische groei en technische ontwikkeling. Voor efficiënte elektriciteitsprijzen (en dus de CO_2 prijzen) gaan we uit van het zogenoemde 2°C scenario. We kiezen voor dit scenario om aan te sluiten bij de nieuwe klimaatwet, waarin een CO_2 reductie van 95 procent in 2050 (t.o.v. 1990) is afgesproken. Het 2°C scenario houdt rekening met eenzelfde reductie. Resultaat is hoge CO_2 en elektriciteitsprijzen. Daarom rekenen we ook een gevoeligheidsanalyse door waar we prijzen uit een lager scenario meenemen[12].

Ook voor de elektriciteitsprijs rekenen we met de prijs exclusief btw en inclusief elektriciteitsbelasting. Deze elektriciteitsbelasting komt vervolgens weer als baten terug in de MKBA, aangezien deze terugstroomt naar de maatschappij[13].

De ontwikkelingen hierboven leiden tot een dieselprijs die relatief constant blijft over de zichtperiode, terwijl de elektriciteitsprijs stijgt over de zichtperiode. Voor waterstofprijzen zijn geen verwachte ontwikkelingspaden bekend. We gebruiken de prijs uit het TCO model, 'de groene cockpit'[14].

5.2.2 Infrastructuur

Net als bij aanschafkosten, verschillen de infrastructuur onderhoudskosten vooral bij de straatinfrastructuur. Kostenverschillen in de remise zijn klein.

5.2.3 Personeelskosten

Personeelskosten vormen de grootste jaarlijks terugkerende kostenpost. Verschillen tussen de technieken wat betreft personeelskosten zijn echter klein.

[12] Voor de gebruikte kengetallen, zie bijlage
[13] De hoogte van energiebelasting in de toekomst is onzeker. Het klimaatakkoord zal hier waarschijnlijk invloed op hebben. Ook is niet duidelijk of de opslag duurzame energie moet worden betaald door busmaatschappijen. Deze is nul voor elektriciteit die is geleverd aan oplaadinstallatie voor elektrische voertuigen. In hoeverre busmaatschappijen van deze regeling gebruik zal mogen maken is nog onduidelijk.
[14] Waterstof wordt aangeboden door een private partij. Bij de brandstofprijs zit dus indirect de kosten van infrastructuur inbegrepen, dat mede bepalend is voor de hoge waterstof prijs. Hier staan echter infrastructuurkosten van €0 tegenover.

De personeelskosten van de referentie (Diesel-VI) hebben wij geschat op basis van de opbouw van een gemiddeld dienstregeling uur (DRU)[15]. Een gemiddeld DRU tarief bestaat voor 62% uit personeelskosten. Het TCO model geeft de kosten exclusief personeel, wat we gebruiken om de personeelskosten uit te rekenen.

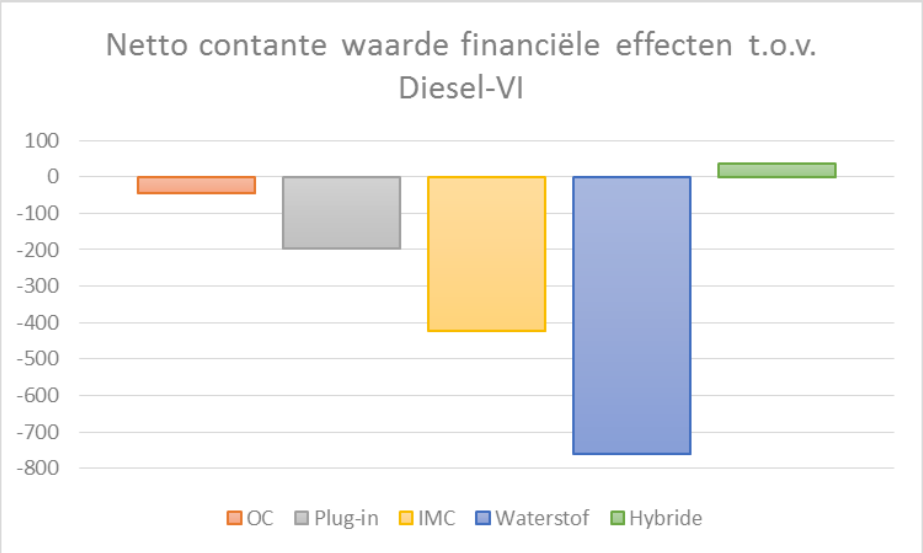
Extra personeel

Zero emissie bussen zijn complexer dan dieselbussen als het gaat om de logistiek. Bussen moeten aangekoppeld worden aan een laadstation en weer afgekoppeld en bovendien is een goede planning complexer door de beperkte actieradius. Daarom houden we rekening met extra personeelskosten. Er is gerekend met de vuistregel dat er 3 fte extra personeel nodig is.

5.3 Totaal financiële effecten

Figuur 5.3 laat de netto contante waarde van alle financiële effecten samen zien (ook weergegeven in tabel 5.4). Financieel is hybride het meest voordelig, dit levert een netto contante besparing op van €35 miljoen over de gehele zichtperiode. Hybride bussen vragen hogere investeringen, maar besparen op brandstof (70 procent van de kilometers rijden ze elektrisch). Hybride is echter geen zero emissie alternatief. Van de zero emissie technieken is OC financieel het voordeligst. In netto contante waarde is over de hele zichtperiode €43 miljoen extra nodig, een kostenstijging van twee procent ten opzichte van Diesel-VI.

Figuur 5.3 Netto contante waarde financiële effecten t.o.v. Diesel-VI



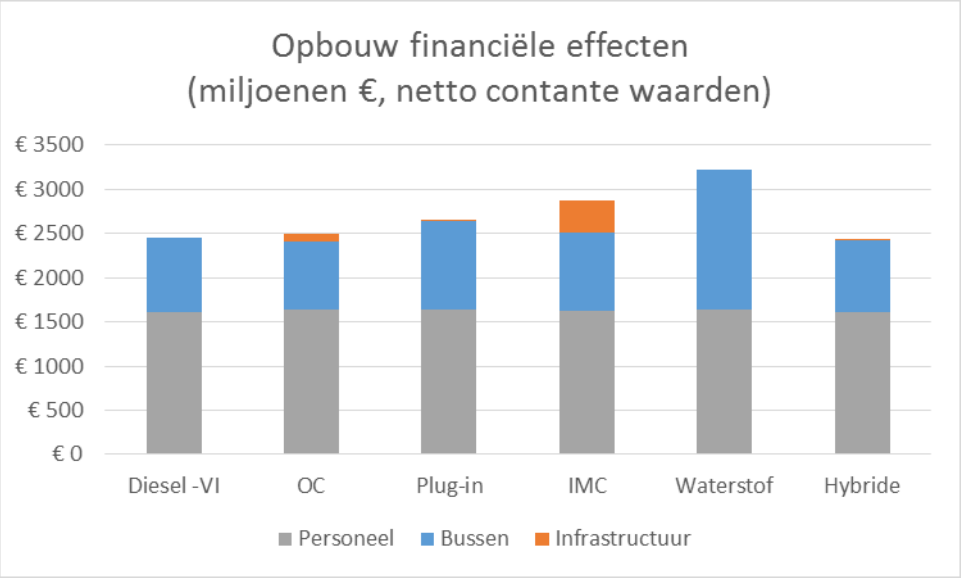
[15] Bron: CROW (2015). Kostenkengetallen regionaal openbaar vervoer 2015.

Tabel 5.4 Totaaloverzicht financiële effecten in miljoenen €

	Diesel-VI	OC	Plug-in	IMC	Water-stof	Hybride
Netto contante waarde						
Investeringen	247	436	527	774	616	346
Beheer, onderhoud en exploitatie	2.210	2.065	2.129	2.105	2.601	2.076
Totaal contante waarde	**2.457**	**2.501**	**2.655**	**2.879**	**3.217**	**2.422**
Verschil t.o.v. Diesel-VI		43	198	422	760	-35
Procentuele kostenstijging/daling t.o.v. Diesel-VI		2%	8%	17%	31%	-1%

Personeel is bij alle technieken de grootste kostenpost, maar deze kosten verschillen weinig tussen de technieken. Aanschaf en onderhoud van de bussen is daarna de grootste kostenpost. Ook deze kostenverschillen zijn relatief klein ten opzichte van het totale financiële effect. Al is wel duidelijk te zien dat waterstofbussen duurder zijn in aanschaf en onderhoud/exploitatie dan bussen van de andere technieken. Infrastructuur is een relatief kleine kostenpost op het totaal, maar verschillen tussen de technieken zijn wel groot. Vooral IMC infrastructuur heeft hoge kosten[16].

Tabel 5.5 Opbouw financiële effecten (netto contante waarden)

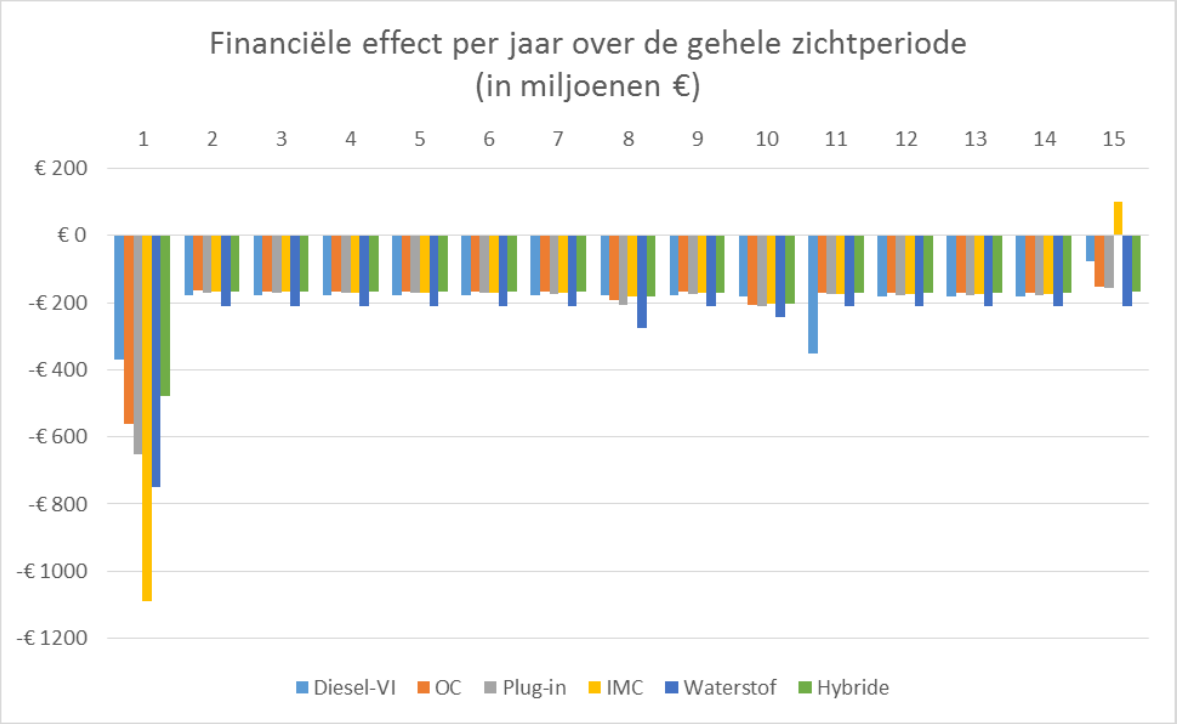


Figuur 5.4 splitst het financiële effect uit per jaar. Alle technieken vragen een grote eenmalige investering in jaar 1 om bussen te vervangen en infrastructuur aan te

[16] In de netto contante waarde is de restwaarde van IMC infrastructuur ook meegenomen. De initiële benodigde investeringen voor IMC infrastructuur ligt hoger. Zie figuur 5.2.

leggen. IMC investeringskosten zijn het hoogst, vanwege de hoge aanschafkosten van infrastructuur. Na 7,5 jaar worden de batterijen vervangen van de bussen, wat een lichte kostenpiek betekent. Na 10 jaar is een investering nodig voor de vervanging van dieselbussen en groot onderhoud aan de overige bussen (dieselbussen hebben een lagere afschrijvingstermijn van 10 jaar). Aan het eind van de zichtperiode van 15 jaar hebben dieselbussen en de IMC infrastructuur een restwaarde, waarbij de restwaarde van IMC infrastructuur zo hoog is (€225 miljoen), dat het de exploitatie/beheer en onderhoudskosten overstijgt en het totale financiële effect van dat jaar positief is.

Figuur 5.4 Financiële effect per jaar over de gehele zichtperiode (in miljoenen €)



6. Maatschappelijke effecten

6.1 Afgedragen belasting

Afgedragen belasting van de vervoerbedrijven stroomt terug naar de maatschappij. Het gaat hier alleen om accijnzen op diesel en elektriciteitsbelasting. De belasting op dieselbrandstof is hoger dan op elektriciteit, waarmee deze baten groter zijn als op diesel gereden wordt.

Tabel 6.1 Jaarlijkse afgedragen belasting in miljoenen €

	Diesel-VI	OC	Plug-in	IMC	Water-stof	Hybride
Afgedragen belasting	10	1	2	1	0	3
Verschil t.o.v. Diesel-VI		-8	-8	-8	-10	-7
Contante waarde	119	17	26	16	0	34
Verschil t.o.v. Diesel-VI		-102	-94	-104	-119	-85

6.2 Leefomgeving

6.2.1 Luchtkwaliteit en klimaat

De uitstoot aan de uitlaat van de verschillende technieken volgen uit het TCO-model. In de MKBA worden deze gewaardeerd met behulp van kengetallen uit de werkwijzer MKBA's op het gebied van milieu en de WLO[17]. Daar voegen we de CO_2 uitstoot van elektriciteitsproductie voor elektrisch opladen aan toe. Ook voor de waardering van uitstoot gebruiken we efficiënte CO_2 prijzen (voor uitleg efficiënte prijzen, zie kader in hoofdstuk 5.2.1). We zijn hier uitgegaan van het 2°C scenario (voor uitleg, zie hoofdstuk 5.2.1). In een gevoeligheidsanalyse laten we zien wat het effect is bij van een lagere CO_2 waardering. De tabel hieronder laat de waardering van uitstoot voor de verschillende technieken zien. Overstappen op zero emissie technieken zorgt voor een jaarlijkse milieuwinst gewaardeerd op €22-39 miljoen t.o.v. diesel.

[17] Voor gebruikte kengetallen, zie bijlage

Tabel 6.2 Jaarlijkse waardering uitstoot in miljoenen €

	Diesel-VI	OC	Plug-in	IMC	Water-stof	Hybride
CO_2 (mln. €)	36	5	7	5	0	16
NO_x (mln. €)	3	0	0	0	0	1
PM_{10} (mln. €)	0	0	0	0	0	0
Totale per jaar (mln. €)	**39**	**5**	**7**	**5**	**0**	**16**
Verschil t.o.v. Diesel-VI		-34	-32	-34	-39	-22
Contante waarde	**464**	**63**	**94**	**63**	**0**	**205**
Verschil t.o.v. Diesel-VI		-401	-370	-401	-464	-259

6.2.2 Geluidshinder

Elektrische bussen zijn stiller dan Dieselbussen. Voor omwonenden betekent dit minder geluidsoverlast. CE Delft heeft de gemiddelde kosten van geluidshinder gewaardeerd[18]. Op basis van deze waardering en het verschil in geluidsproductie door een dieselbus en elektrische bus waarderen we de geluidswinst van overstappen naar elektrisch vervoer.

Op basis van deze gegevens kan worden bepaald dat een elektrische bus 0,55 eurocent per reizigerskilometer minder geluidsoverlast veroorzaakt dan een dieselbus. Als dit wordt vermenigvuldigd met het totaal aantal reizigerskilometers komt dat neer op een bedrag van 3 miljoen euro baten per jaar door verminderd geluidsoverlast.

Tabel 6.3 Jaarlijkse waardering vermindering geluidshinder in miljoenen €

	Diesel-VI	OC	Plug-in	IMC	Water-stof	Hybride
Jaarlijkse geluidsvermindering	0	3	3	3	3	2
Verschil t.o.v. Diesel-VI		3	3	3	3	2
Contante waarde	0	38	38	38	38	27
Verschil t.o.v. Diesel-VI		38	38	38	38	27

6.2.3 Veiligheid

Volgens de huidige tunnelwetgeving mogen waterstofbussen, omwille van veiligheid, niet door tunnels rijden. Waterstofbussen hebben dus een mogelijk negatief effect op de veiligheid. Daarnaast zijn elektrische bussen stiller dan dieselbussen, wat een mogelijk veiligheidsrisico is (andere weggebruikers horen de bus niet aankomen). Deze effecten zijn niet gekwantificeerd.

[18] Voor gebruikte kengetallen, zie bijlage

6.2.4 Visuele hinder

Voor IMC bussen is een bovenleiding nodig om deze van voeding te voorzien. Wanneer huizen op deze bovenleidingen uitkijken, kan dat het uitzicht aantasten en ten kosten gaan van het woongenot. Dit effect kan gewaardeerd worden op basis van WOZ-waarde vermindering van huizen met uitzicht op de bovenleidingen. Echter, het is onvoldoende duidelijk waar de bovenleidingen precies komen te hangen en hoeveel huizen daarop uitkijken. Bovenleiding hoeft immers niet langs de volledige route te worden gehangen. In de praktijk zal bovenleiding zoveel mogelijk buiten bewoonde gebieden komen te hangen om kruisingen, tunnels, tramleiding en ontevreden bewoners te vermijden. Om een kwantitatieve inschatting van visuele hinder door bovenleiding te kunnen maken is nader onderzoek nodig naar de exacte locatie van de bovenleiding, wat buiten dit onderzoek valt.

6.2.5 Optimalisatie halteplaatsen

In theorie zouden elektrische bussen, omdat ze minder lawaai maken en geen uitstoot opleveren, dichterbij huizen en gebouwen kunnen stoppen. Dit zou bereikbaarheidswinst kunnen opleveren. Dit effect is niet concreet te monetariseren.

6.2.6 Opportunity kosten grondgebruik

Bij OC en plug-in zijn meer bussen nodig om de dienstregeling te kunnen rijden. Dit betekent meer ruimtebeslag van de remise. Bovendien hebben OC bussen laadpunten nodig op eindpunten van buslijnen. De extra grond die hiervoor nodig is, kan niet meer gebruikt worden voor andere doeleinden. De kosten hiervan noemen we opportunity kosten. We waarderen de opportunity kosten door de grondwaarde van de benodigde extra grond te bepalen. De grondwaarde bepalen we op de gemiddelde bouwkavelprijs, die gepubliceerd wordt door het kadaster. Het benodigde ruimtebeslag bepalen we door middel van cijfers uit de 'Factsheets Tram en Bus' opgesteld door Goudappel Coffeng[19].

Tabel 6.4 Eenmalige opportunity kosten grondgebruik in miljoenen €

	Diesel-VI	OC	Plug-in	IMC	Water-stof	Hybride
Opportunity kosten grondgebruik	0,0	-0,3	-0,1	0,0	0,0	0,0

[19] Voor gebruikte kengetallen, zie bijlage

6.3 Reizigerseffecten

6.3.1 Reiscomfort EV bussen

Reizigers

Het is aannemelijk dat EV bussen meer rijcomfort opleveren (geluid, vloeiender optrekken/afremmen). Er is echter nog geen bewijs hiervoor. In enkele gevallen zijn er ook aanwijzingen dat geluid van elektrische bussen als hinderlijk wordt ervaren.

Voor trams geldt dat er gemiddeld 10% meer reizigers in een tram zitten dan in een bus die hetzelfde traject rijdt[20]. Reizigers zijn dus sneller geneigd in een tram te stappen dan in een bus. Dit noemen we de trambonus. De trambonus heeft deels te maken met vergelijkbare kwaliteiten die de elektrische bus ook heeft, zoals rijcomfort. Het is aannemelijk dat een EV bus tussen de twee inzit, dus we nemen een 5% reiscomfort bonus mee.

Tabel 6.5 Jaarlijkse waardering reizigerseffecten in miljoenen €

	Diesel-VI	OC	Plug-in	IMC	Waterstof	Hybride
Comfort (jaarlijks)	0	12	12	12	12	0
Contante waarde	**0**	148	148	148	148	0

Chauffeurs

Meer comfort verbetert ook de arbeidsomstandigheden voor chauffeurs. In Eindhoven wordt aangegeven door buschauffeurs dat ze minder moe zijn aan het eind van de dag, omdat een elektrische bus minder lawaai maakt. Het is nog te vroeg om een effect te zien op bijvoorbeeld ziekteverzuim.

6.4 Totaal maatschappelijke effecten

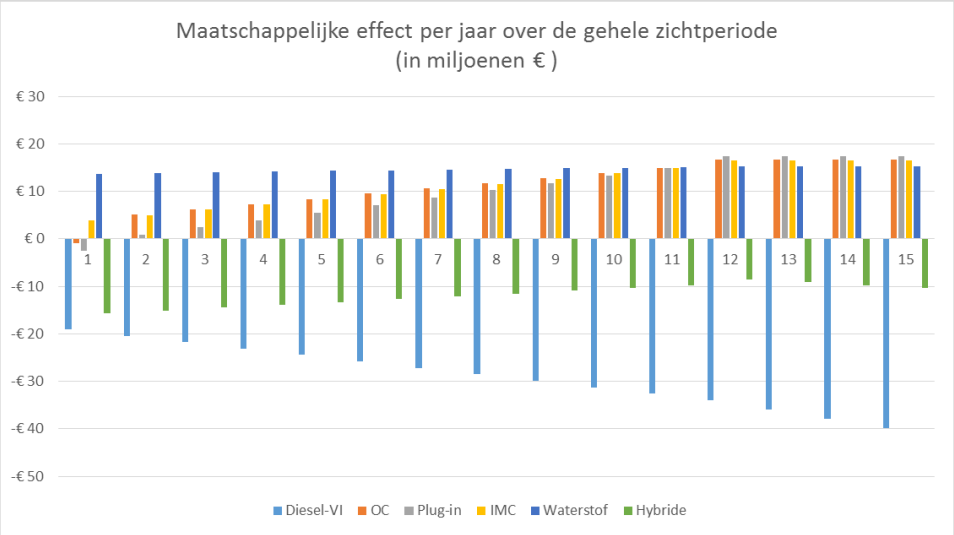
Diesel-VI en hybride hebben een negatief maatschappelijk effect, vanwege de (voornamelijk) CO_2 uitstoot. Uitstoot van hybride is lager dan Diesel-VI. Baten van de zero emissie technieken groeien naarmate de tijd vordert. We gaan ervan uit dat in de eerste jaren het opwekken van elektriciteit nog niet compleet duurzaam is, waardoor het elektriciteitsverbruik van de bussen nog gepaard gaat met extra CO_2 uitstoot. In het eerste jaar zijn OC en Plug-in maatschappelijk nog niet positief, omdat in dit jaar de opportunity kosten van extra grondgebruik in de remise (door een groter wagenpark) en snellaadplaatsen voor OC bussen wordt meegenomen.

Maatschappelijke baten van waterstof zijn het hoogst. Dit komt doordat bij de overige technieken CO_2 uitstoot van elektriciteitsopwekking is meegenomen. Het is

[20] Bron: VMA

nog onduidelijk hoe waterstof in de toekomst geproduceerd gaat worden. Als hiervoor toch gebruik gemaakt wordt van elektriciteit van het elektriciteitsnet, brengt dit CO_2 uitstoot met zich mee en gaan de baten van waterstof omlaag.
De maatschappelijke baten van OC, Plug-in en IMC liggen dicht bij elkaar. IMC heeft van de drie de hoogste baten, maar hier is de visuele hinder van bovenleiding nog niet in gekwantificeerd. Plug-in bussen gebruiken meer elektriciteit dan OC bussen, waardoor de maatschappelijke baten van Plug-in lager zijn dan in van OC.

Figuur 6.1 Maatschappelijk effect per jaar over gehele zichtperiode (miljoenen €)



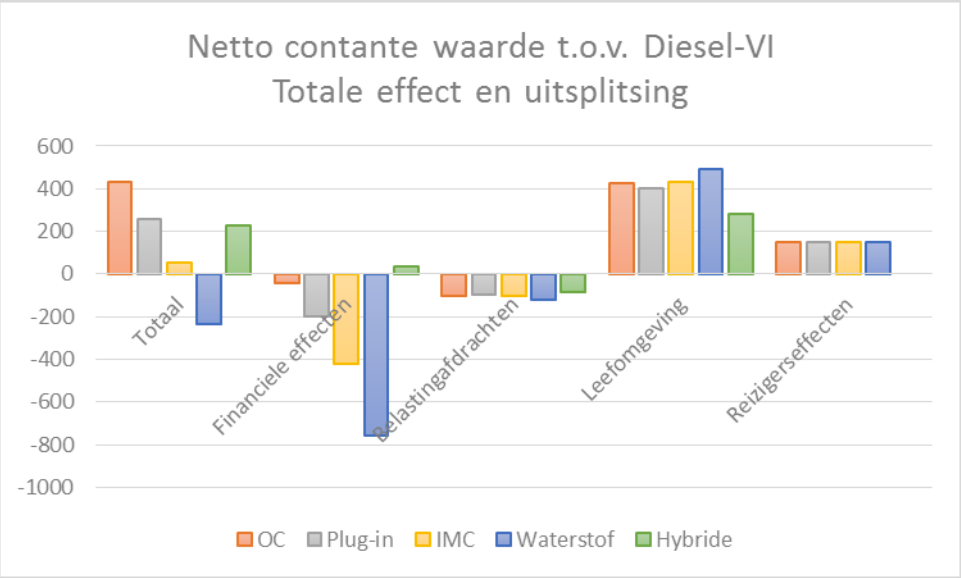
Tabel 6.6 Totaaloverzicht maatschappelijke effecten t.o.v. diesel-VI (in miljoenen € netto contante waarde)

	OC	Plug-in	IMC	Waterstof	Hybride
Belastingafdrachten	**-102**	**-94**	**-104**	**-119**	**-85**
Leefomgeving					
Uitstoot	401	370	401	464	259
Geluid	31	31	31	31	22
Veiligheid (kwalitatief)	-	-	-	-	-
Visuele hinder (kwalitatief)			-		
Opportunity kosten grond	-5	-2	0	0	0
Totaal Leefomgeving	**427**	**399**	**432**	**495**	**281**
Reizigerseffecten					
Comfort reizigers	148	148	148	148	0
Comfort chauffeur (kwalitatief)	+/-	+/-	+/-	+/-	
Totaal reizigerseffecten	**148**	**148**	**148**	**148**	**0**
Totaal contante waarde	**473**	**453**	**476**	**523**	**195**

7. Resultaten MKBA

Het hoofdstuk financiële effecten heeft laten zien dat alle zero emissie technieken duurder zijn dan Diesel-VI. Hybride is wel 1 procent goedkoper in netto contante waarde, maar is geen zero emissie techniek. Als ook de maatschappelijke effecten worden meegewogen zijn de zero emissie technieken voordeliger dan Diesel-VI, met uitzondering van waterstof. De kosten van waterstof wegen niet op tegen de maatschappelijke baten van een verbeterde leefomgeving en reiscomfort, terwijl dat voor de andere technieken wel zo is. OC komt als maatschappelijk voordeligst uit de MKBA. Dit komt door relatief lage investeringskosten, terwijl de baten van de verschillende technieken niet veel verschillen (zie uitsplitsing in grafiek 7.1).

Figuur 7.1 Netto contante waarde t.o.v. Diesel-VI



Tabel 7.1 Totaaloverzicht effecten t.o.v. diesel-VI in miljoenen € netto contante waarde

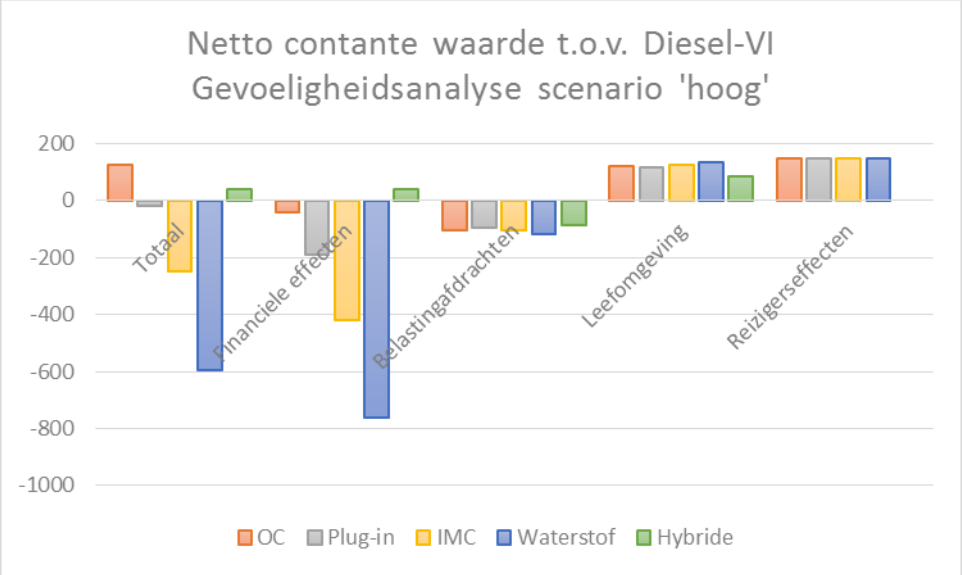
	OC	Plug-in	IMC	Water-stof	Hybride
Financieel					
Investeringen	-188	-279	-526	-369	-98
Beheer en onderhoud, exploitatie	145	81	105	-391	134
Totaal financieel	**-43**	**-198**	**-422**	**-760**	**35**
Belastingafdrachten	**-102**	**-94**	**-104**	**-119**	**-85**
Leefomgeving					
Uitstoot	401	370	401	464	259
Geluid	31	31	31	31	22
Veiligheid (kwalitatief)				-	
Visuele hinder (kwalitatief)			-		
Opportunity kosten grond	-5	-2	0	0	0
Totaal Leefomgeving	**427**	**399**	**432**	**495**	**281**
Reizigerseffecten					
Comfort reizigers	148	148	148	148	0
Comfort chauffeur (kwalitatief)	+/-	+/-	+/-	+/-	
Totaal reizigerseffecten	**148**	**148**	**148**	**148**	**0**
Totaal contante waarde	**429**	**255**	**55**	**-236**	**231**

7.1 Gevoeligheidsanalyses

Schaduwprijzen CO_2

Zoals beschreven in paragraaf 5.2.1 gaan we in de MKBA uit van het scenario 2°C wat betreft de CO_2 prijs om aan te sluiten bij de nieuwe klimaatwet. Aangezien de keuze van het scenario een significant verschil maakt op de baten van CO_2 uitstoot reductie hebben we een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waar we CO_2 prijzen uit het scenario 'hoog' gebruiken. De grafieken hieronder laten het nieuwe totaalbeeld zien. De enige verandering is te zien in het onderdeel leefomgeving en het totaal. Vergeleken met de grafieken hierboven zijn de leefomgeving baten gedaald. Toch komt OC nog steeds positief uit de MKBA. De maatschappelijke baten van IMC en plug-in wegen nu niet meer op tegen de kosten.

Figuur 7.2 Netto contante waarde t.o.v. Diesel-VI: gevoeligheidsanalyse scenario 'hoog'

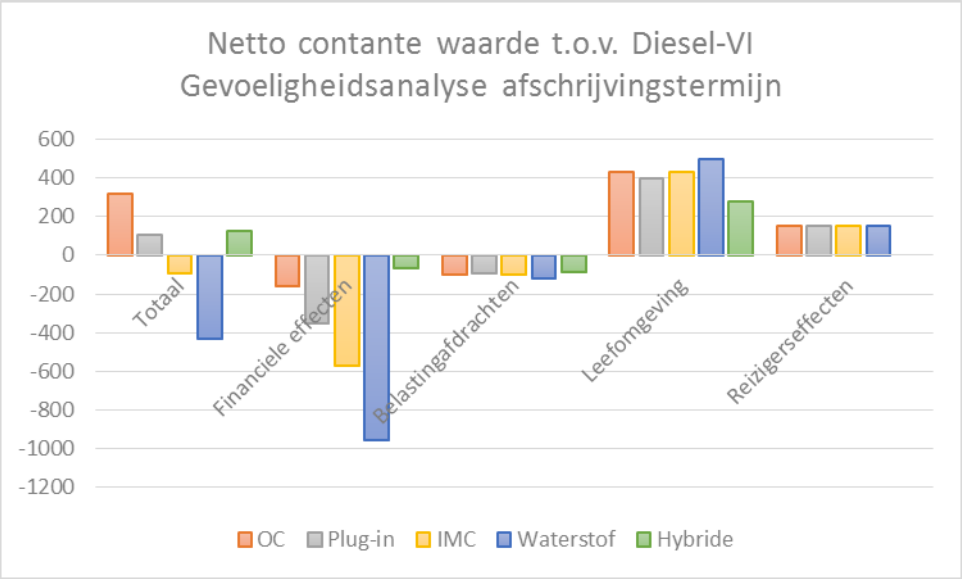


Afschrijvingstermijn

We zijn uitgegaan van een afschrijvingstermijn van 15 jaar voor elektrische bussen en 10 jaar voor dieselbussen. Reden is dat algemeen wordt aangenomen dat elektrische bussen minder snel slijten, vanwege het lagere aantal draaiende onderdelen. De afschrijvingstermijn is echter nog niet in de praktijk getest, aangezien de techniek nog nieuw is. Daarom voeren we een gevoeligheidsanalyse uit, waarbij de afschrijvingstermijn van elektrische bussen wordt teruggebracht naar 10 jaar. De elektrische bussen worden nu duurder in aanschaf, aangezien ze na 10 jaar nog een vervangen moeten worden.

Het totaalbeeld van de MKBA verandert weinig, de aanpassing heeft alleen effect op de financiële effecten en het totaal. OC, plug-in en hybride komt nog steeds positief uit de MKBA. IMC komt echter niet langer positief uit de MKBA.

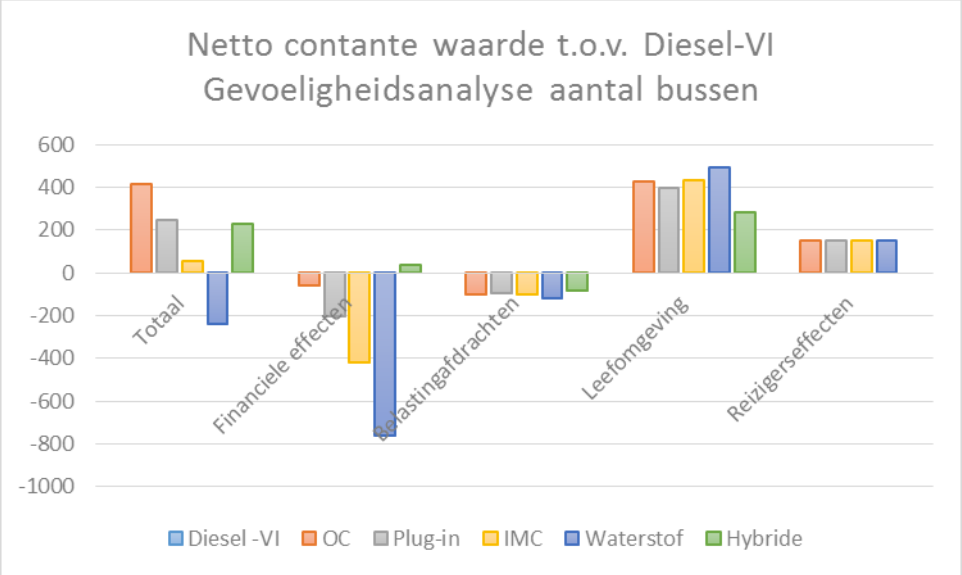
Figuur 7.3 Netto contante waarde t.o.v. Diesel-VI: gevoeligheidsanalyse afschrijvingstermijn



Meer bussen OC en Plug-in

In het basismodel hebben we gerekend met opslag voor OC en Plug-in bussen, omdat de huidige dienstregeling anders niet aangehouden kan worden (vanwege beperkte actieradius). De praktijk moet echter nog uitwijzen hoeveel extra bussen daadwerkelijk nodig zijn voor de dienstregeling. Daarom nemen we een gevoeligheidsanalyse mee waarbij we rekenen met 20 extra bussen voor OC en Plug-in. Op het totaalbeeld maken de 20 extra bussen geen significant verschil. OC en Plug-bussen zijn maatschappelijk nog steeds voordeliger dan Diesel-VI, waarbij OC nog steeds het maatschappelijk voordeligste alternatief is.

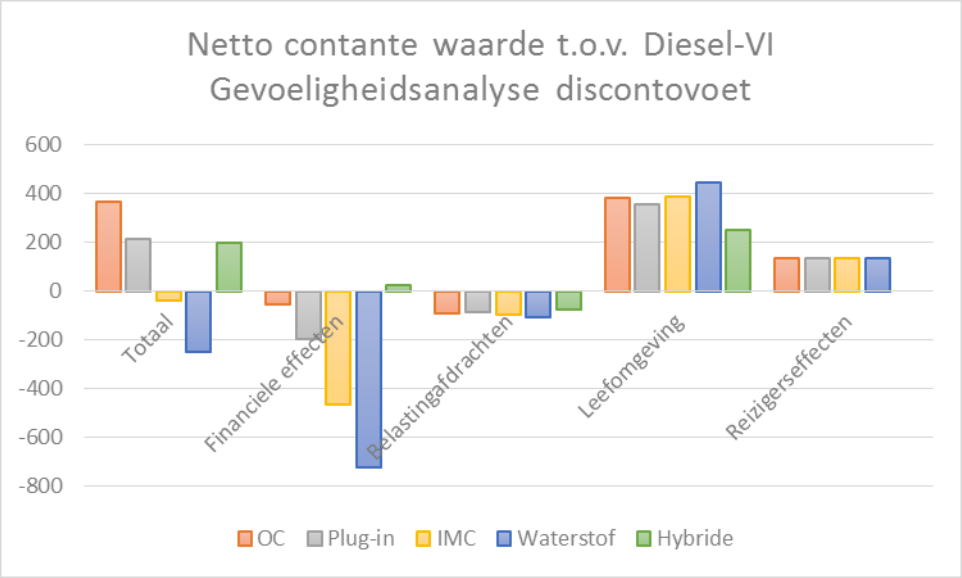
Figuur 7.4 Netto contante waarde t.o.v. Diesel-VI: gevoeligheidsanalyse aantal bussen



Discontovoet van 4,5%

Bij investeringen op de lange termijn wordt normaal een discontovoet van 4,5 procent gehanteerd. In deze MKBA zit een investering met een afschrijvingstermijn langer dan 15 jaar, namelijk IMC bovenleidingen. Voor de volledigheid hebben we daarom de analyse herhaalt met een discontovoet van 4,5%. Onderstaande grafieken en tabel laten het nieuwe totaalbeeld zien. Met de nieuwe discontovoet is IMC maatschappelijk minder gunstig dan Diesel-VI (in netto contante waarde). IMC bovenleiding vraagt een grote investering, waarvan na 15 jaar nog restwaarde als positieve baten in de MKBA wordt opgenomen. Met een discontovoet van 4,5% wordt de restwaarde zwaarder verdisconteerd en zijn de baten van restwaarde minder groot, wat als gevolg heeft dat IMC niet langer positief uit de MKBA komt. De overige nieuwe technieken zijn nog steeds positief.

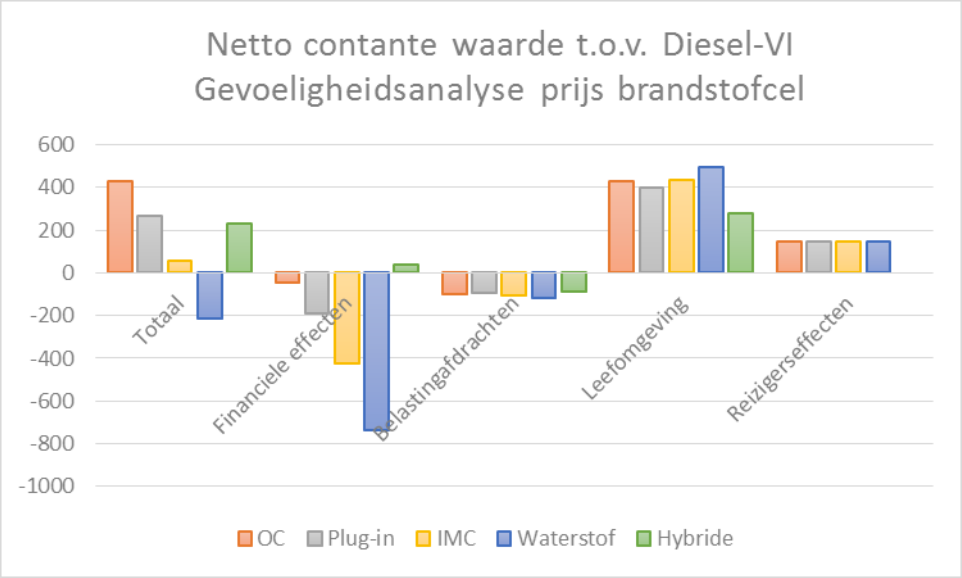
Figuur 7.5 Overzicht netto contante waarde t.o.v. Diesel-VI bij 4,5% discontovoet



Prijsontwikkeling brandstofcellen

Omdat de ontwikkeling van brandstofcelprijzen nog onzeker is, zijn we niet uitgegaan van een prijsdaling in de toekomst, terwijl we dit voor batterijpakketten wel doen. In een gevoeligheidsanalyse hebben we dezelfde prijsdaling voor brandstofcellen meegenomen als voor de batterijpakketten. Waterstof komt nu minder negatief uit de MKBA, maar is nog steeds maatschappelijk duurder dan Diesel-VI.

Figuur 7.6 Netto contante waarde t.o.v. Diesel-VI bij gevoeligheidsanalyse brandstofcel



8. Conclusie

Zero emissie is duurder dan diesel, maar maatschappelijk rendabel

Alle zero emissie technieken onderzocht in de studie zijn financieel duurder dan de referentietechniek, Diesel-VI. Elektriciteitsprijzen zijn lager dan dieselprijzen, waarmee de zero emissie bussen lagere exploitatiekosten kennen. Zij vereisen echter meer investeringen in infrastructuur en zijn duurder in aanschaf, waardoor de totale financiële kosten van zero emissie bussen hoger zijn dan van Diesel-VI. Hybride is wel goedkoper dan Diesel-VI over de gehele levensduur, maar is geen zero emissie alternatief.

De gekwantificeerde maatschappelijke baten (klimaat, leefomgeving en reiscomfort) wegen voor de meeste zero emissie technieken op tegen deze extra kosten (uitzondering: waterstof).

Waterstof is de duurste techniek, OC de goedkoopste

Waterstof is significant duurder dan de andere technieken. Alleen van waterstof zijn de financiële kosten dusdanig hoog dat de baten er in de MKBA niet tegenop wegen. OC komt naar voren als maatschappelijk het meest gunstige alternatief. OC is financieel het voordeligste alternatief met extra kosten van €43 miljoen contante waarde (t.o.v. da Diesel-VI) over de gehele zichtperiode van 15 jaar, de duur van één concessieperiode. Dit is een kostenstijging van circa 2 procent ten opzichte van de huidige (onder Diesel verwachte) kosten voor investeringen en exploitatie in de komende 15 jaar. De maatschappelijke baten bedragen ruim 450 miljoen euro en wegen dus ruimschoots tegen deze kosten op.

OC ook in gevoeligheidsanalyses als maatschappelijk voordeligste uit de bus

Uit de gevoeligheidsanalyses om de robuustheid van de resultaten te controleren blijkt dat CO_2 uitstoot, een kortere afschrijvingstermijn voor elektrische bussen, een hoger aantal benodigde extra bussen houden en een hogere discontovoet leiden tot hogere kosten/lagere baten van elektrisch vervoer. Toch blijft OC (als enige) maatschappelijk positief ten opzichte van Diesel-VI in alle gevoeligheidsanalyses. De gevoeligheidsanalyse waarbij de prijs van brandstofcellen afneemt in de toekomst leidt tot lagere kosten voor waterstof, maar waterstof blijft maatschappelijk duurder dan Diesel-VI.

Optimalisaties zijn mogelijk: uitrolstrategie en combinaties van technieken

Deze MKBA laat de verschillen tussen de technieken zien, wanneer voor het gehele busnetwerk voor één techniek wordt gekozen en deze overal tegelijk wordt ingevoerd.

Om de vergelijking zo zuiver mogelijk te houden, hebben we deze en een aantal andere simplificaties van de werkelijkheid doorgevoerd. Er is niet op lijnniveau gekeken, maar op het hogere abstractieniveau van de Vervoerregio als geheel. We hebben daarnaast aangenomen dat de dienstregeling niet verandert, terwijl het aannemelijk is dat de dienstregeling zou worden aangepast om optimaal aan te sluiten bij de kortere actieradius van OC en Plug-in bussen. We hebben in deze studie gekeken naar een eindsituatie waarin alle bussen in één keer vervangen worden, we hebben niet gekeken naar de optimale transitie naar de eindsituatie toe. Er wordt voorbijgegaan aan praktische bezwaren, zoals het feit dat op korte termijn voor 100 procent overschakelen naar waterstof of IMC niet haalbaar is, gezien een tekort aan waterstofproductie en opslagstations en weerstand tegen kabels van IMC-infrastructuur.

Ten slotte gaan we ervan uit dat in de eindsituatie volledig voor één techniek wordt gekozen, terwijl dit in de praktijk mogelijk niet efficiënt is. Zo kennen IMC-bussen hoge investeringskosten, maar lagere exploitatiekosten dan de andere technieken. Op lijnen met lage frequenties worden de hogere investeringskosten niet terugverdiend, op lijnen met hoge frequenties mogelijk wel. Plug-in kan goedkoper zijn op lijnen waar de kortere actieradius geen probleem is (bijvoorbeeld kortere spitslijnen) of waar de ruimtelijke inpassing van snelladers problematisch is (bijvoorbeeld vanwege ruimtegebrek/hoge grondprijzen). Daarmee is een mix van technieken, waarbij voor verschillende type buslijnen verschillende technieken worden gebruikt, mogelijk optimaal.

Kanttekening hierbij is dat meerderen technieken ook efficiency-nadelen met zich meebrengen. Bij een mix zal personeel getraind moeten worden om met meerdere technieken om te kunnen gaan (in onderhoud en besturing) en zijn schaalvoordelen bij het aanschaffen van bussen en infrastructuur kleiner. Om deze afweging te kunnen maken is nader onderzoek nodig, waarbij op lijnenniveau wordt gekeken en de dienstregeling en transitiefasering wordt meegenomen in de berekeningen. Mogelijk blijkt de keuze voor één techniek dan toch optimaal. Deze MKBA laat duidelijk de verschillen tussen de technieken zien, wat als startpunt dient voor de vervolgstap.

Keuze huidige techniek legt opties niet voor lange termijn vast

In de MKBA is ervoor gekozen de periode van één concessieperiode te beschouwen. Voor alle onderzochte technieken, behalve voor IMC, zijn alle investeringen afgeschreven na deze periode van 15 jaar. Indien investeringen, zoals oplaadstations en ondergrondse infrastructuur, na deze periode wel kunnen worden hergebruikt valt de MKBA positiever uit. Hier is in de basis (behalve bij IMC) niet van uitgegaan, zodat de MKBA aansluit bij de keuze die gemaakt moet worden voor de komende 15 jaar. Het is immers onbekend of over 15 jaar technieken niet dusdanig zijn veranderd en zich hebben ontwikkeld dat andere keuzes tegen die tijd aantrekkelijker zijn, of dat andere infrastructuur nodig is.

Bijlage I. Gebruikte kengetallen

In deze bijlage staan de gebruikte kengetallen voor de MKBA. De kostenkengetallen komen uit het model 'De groene cockpit' van Significant. Dit model is in een eerdere studie van de Vervoerregio ook gebruikt ("Duurzaam OV in de Vervoerregio Amsterdam – transitie naar zero emissie openbaar vervoer"). Sindsdien zijn de kengetallen uit het model 'De groene cockpit' aangepast gebaseerd op voortschrijdend inzicht. Zero emissie bussen zijn in snelle ontwikkeling en worden steeds vaker ingezet in de dienstregeling, waardoor inzicht in de kosten verbetert. Onderstaande kengetallen kunnen daarom afwijken van de kengetallen gebruikt in de eerdere studie.

Wagenpark

Het TCO model rekent met drie verschillende voertuiglengtes. Tabel B.1 laat het aantal bussen per techniek zien, uitgesplitst naar voertuiglengte.

Tabel B.1 Wagenpark per techniek, uitgesplitst naar voertuiglengte

	Totaal	12 meter	15 meter	18 meter
Diesel-VI	646	423	51	172
Waterstof	646	423	51	172
Hybride	646	423	51	172
IMC	646	423	51	172
OC	733	480	58	195
Plug-in	733	480	58	195

Investeringskosten

Bussen

Aanschafkosten verschillen per voertuiglengte. Aanschafkosten zijn inclusief telematica (€10.000 per bus).

Tabel B.2 Kosten per bus van de verschillende technieken (exclusief btw)

Techniek	12 meter	15 meter	18 meter
Diesel-VI	€260.000	€310.000	€370.000
OC	€410.000	€450.000	€660.000
Plug-in	€435.000	€480.000	€660.000
IMC	€710.000	€735.000	€760.000
Waterstof	€660.000	€1.010.000	€1.210.000

Hybride	€435.000	€460.000	€610.000

Bron: Significant 'De groene cockpit'

Dieselbussen hebben een afschrijvingstermijn van 10 jaar en zullen binnen de zichtperiode van 15 jaar nog eens vervangen moeten worden. De overige bussen hebben een afschrijvingstermijn van 15 jaar. Na de afschrijvingstermijn houden we rekening met de volgende restwaarden:

Tabel B.3 Restwaarde bussen na afschrijvingstermijn (percentage van aankoopprijs)

Techniek	Afschrijvingstermijn (in jaren)	Restwaarde
Diesel-VI	10	10%
OC	15	2,5%
Plug-in	15	2,5%
IMC	15	10%
Waterstof	15	0%
Hybride	15	0%

Bron: Significant 'De groene cockpit'

Bij een afschrijvingstermijn van 15 jaar vindt eenmalig groot onderhoud plaats. Kosten hiervan zijn €50.000 per bus. Bussen die in 10 jaar worden afgeschreven hebben geen groot onderhoud nodig, aangezien ze minder kilometers rijden.

Na 7,5 jaar wordt de batterij van elektrische bussen en de brandstofcel van de waterstofbussen vervangen. Bij de vervanging van de batterij houden we rekening met technologische ontwikkeling, waardoor de kosten van het batterijpakket dalen. Over 7,5 jaar is de batterijprijs 60 procent van de huidige prijs. Voor de brandstofcel is de verwachte ontwikkeling nog te onzeker en houden we geen rekening met prijsdalingen[21].

Tabel B.4 Prijzen batterijpakket en brandstofcel

Techniek	Prijs batterij/brandstofcel nu	Prijs batterij/brandstofcel over 7,5 jaar
OC	€ 75.000	€ 45.000
Plugin	€ 100.000	€ 60.000
IMC	€ 40.000	€ 24.000
Hybride	€ 40.000	€ 24.000
Waterstof	€ 100.000	€ 100.000

[21] Dit is wel meegenomen in een gevoeligheidsanalyse

Bron: Significant 'De groene cockpit'

Infrastructuur

Remise

De extra kosten voor infrastructuur zijn afhankelijk van het aantal benodigde laadpalen per bus. IMC bussen worden niet met laadpalen opgeladen, maar via bovenleiding. Hiervoor wordt de gehele remise van bovenleiding voorzien. Kosten van IMC infrastructuur hangen dus niet af van het aantal bussen, maar van het aantal remises. De tabel hieronder laat de bedragen zien waarmee gerekend is.

Tabel B.5 Infrastructuur kosten remise

Techniek	Aantal bussen per laadpaal	Aanschafkosten per paal
OC	5	€ 10.000
Plug-in	1	€ 2.000
Hybride	1	€ 2.000
	Aantal remises	**Kosten per remise**
IMC	7	€400.000
Waterstof	Inbegrepen in de brandstofprijs	

Bron: Significant 'De groene cockpit'

Infrastructuur op straat

Alleen voor OC en IMC bussen is infrastructuur op straat nodig. Voor de OC bussen zijn 187 laadstations op straat nodig. Aanschafkosten hiervan zijn €240.000 per paal. Voor IMC is 643,5 km bovenleiding nodig. De aanschafkosten hiervan zijn €700.000 per kilometer.

Jaarlijkse kosten: exploitatie, beheer en onderhoud

Bussen

Beheer en onderhoud

Beheer en onderhoud hangt deels af van het aantal gereden kilometers door de bussen in totaal en deels van het aantal bussen. Onderstaande tabel geeft de onderhoudskosten per kilometer per type bus. In de berekeningen nemen we aan dat de verhouding tussen de verschillende voertuiglengtes op kilometers hetzelfde is als de verhouding van het aantal bussen.

Tabel B.6 Onderhoudskosten per kilometer

Techniek	12 meter	15 meter	18 meter
Diesel-VI	€0,19	€0,21	€0,27
OC	€0,17	€0,20	€0,25
Plug-in	€0,25	€0,27	€0,30
IMC	€0,20	€0,23	€0,27
Waterstof	€0,35	€0,38	€0,48
Hybride	€0,25	€0,27	€0,30

Bron: Significant 'De groene cockpit'

We rekenen met het aantal dienstregelingkilometers plus 5 procent opslag, omdat bussen ook naar het depot rijden voor onderhoud etc. Het aantal kilometers is 64.732.057 per jaar[22].

Bovenop de onderhoudskosten per kilometer komen per bus nog jaarlijkse stallingkosten (€3000 per jaar), verzekeringskosten (1 procent van de aankoopprijs), schoonmaakkosten (€3600 per jaar) en schadekosten (€1500 per jaar).

Brandstof

Het brandstofgebruik per techniek is hieronder weergegeven.

Tabel B.7 Brandstofgebruik verschillende technieken

Techniek	12 meter	15 meter	18 meter
Diesel			
Diesel-VI	37 liter/100 km	42 liter /100 km	45 liter/100 km
Hybride*	11 liter/100 km	13 liter/100 km	14 liter/100 km
Elektriciteit			
OC	100 kWh /100 km	125 kWh /100 km	150 kWh /100 km
Plug-in	150 kWh /100 km	158 kWh /100 km	230 kWh /100 km
IMC	100 kWh /100 km	125 kWh /100 km	150 kWh /100 km
Hybride*	105 kWh /100 km	111 kWh /100 km	161 kWh /100 km
Waterstof			
Waterstof	10 kg/100 km	12 kg/100 km	14 kg/100 km

Bron: Significant 'De groene cockpit'

*Bij hybride variant, beide brandstofgebruiken bij elkaar optellen

[22] Bron: Significant 'De groene cockpit'

De tabellen hieronder laten de verwachte ontwikkeling van de olieprijs en elektriciteitsprijs zien. Op basis van de olieprijs berekenen we de verwachte ontwikkeling van de dieselprijs.

Tabel B.8 Verwachte ontwikkeling olieprijs, dollar per vat

2013	109
Olieprijs 2030 (Hoog)	67
Olieprijs 2050 (Hoog)	82

Bron: CPB/PBL. Aangepast naar prijspeil 2018

Tabel B.9 Verwachte ontwikkeling dieselprijs (eu/L). Pompprijs excl. btw

2018	1,013
Dieselprijs 2030 (Hoog)	1,010
Dieselprijs 2050 (Hoog)	1,017

Bron prijs 2018: CBS, gecorrigeerd voor btw

De efficiënte prijzen voor opbrengsten elektriciteit:

Tabel B.10 Efficiënte prijzen voor opbrengsten elektriciteit (€/MWh)

	Scenario Hoog	Scenario 2°C
Efficiënte prijs 2030	143,89	150,71
Efficiënte prijs 2050	118,88	137,07

Bron: CPB/PBL. Aangepast naar prijspeil 2018 en gecorrigeerd voor belasting en btw

In de MKBA rekenen we in 2018 met de huidige elektriciteitsprijs en laten deze met constante groeivoet doorgroeien naar de prijzen hierboven, zoals wordt aangeraden in de werkwijzer milieu MKBA's.

Infrastructuur

Infrastructuur in de remise

De extra kosten voor infrastructuur zijn afhankelijk van het aantal benodigde laadpalen per bus. De tabel hieronder laat de bedragen zien waarmee gerekend is.

Tabel B.11 Infrastructuur kosten remise

Techniek	Aantal bussen per laadpaal	Onderhoudskosten per paal per jaar
OC	5	€300
Plug-in	1	€60
Hybride	1	€60
Waterstof	Inbegrepen in de brandstofprijs	

Bron: Significant 'De groene cockpit'

Onderhoud IMC infrastructuur hangt af van het aantal kilometers bovenleiding dat nodig is in de remise. Dit is 12,92 kilometer (20 meter per bus). Onderhoudskosten per jaar zijn €8.500 per kilometer[23].

Infrastructuur op straat
Alleen voor OC en IMC bussen is infrastructuur op straat nodig. Voor de OC bussen zijn 187 laadstations op straat nodig. Onderhoudskosten zijn €20.000 per paal per jaar. Voor IMC is 643,5 km bovenleiding nodig. Onderhoudskosten zijn €8.500 per kilometer per jaar.

Personeelskosten

Extra benodigd personeel zero emissie technieken. We rekenen met 3 fte extra per jaar voor OC en Plug-in bussen.

Tabel B.12 Extra personeelskosten per jaar

Techniek	Personeelskosten
OC	€ 2.200.000
Plug-in	€ 2.200.000
IMC	€ 1.405.000
Hybride	€ 1.940.000
Waterstof	€ 1.940.000

Bron: Significant 'De groene cockpit'

Leefomgeving

Uitstoot

De werkwijzer voor MKBA's op het gebied van milieu adviseert om voor milieueffecten altijd een bandbreedte weer te geven. De tabel hieronder geeft de te hanteren milieuprijzen voor PM10 en NOx. Voor de PM10 waardering gaan we uit van het gemiddelde tussen landelijk gebied en sterk verstedelijkt gebied. Lijnen in Amsterdam vallen bijvoorbeeld onder sterk verstedelijkt gebied. Lange lijnen vanuit Waterland naar Amsterdam bijvoorbeeld, vallen voor het grootste deel onder landelijk gebied.

Tabel B.13 Milieuprijzen in €/kg emissie

Emissie	Euro/kg
PM_{10} (Landelijk gebied)	€125
PM_{10} (Sterk verstedelijkt gebied)	€477

[23] Bron: Significant 'De groene cockpit'

NO_x	€55

Bron: werkwijzer voor MKBA's op het gebied van milieu. Aangepast naar prijspeil 2018

De efficiënte CO_2 prijzen staan in de WLO. Voor uitleg efficiënte prijzen, zie kader in hoofdstuk 5.2.1. We laten deze prijzen met constante groeivoet veranderen van jaar op jaar.

Tabel B.14 Efficiënte CO_2 prijzen volgens de WLO (in €/ton CO_2)

	2015	2030	2050
Hoog	48	80	160
2°C	60-300	100-500	200-1000

Bron: CPB/PBL 2015

Geluidshinder

In tabel B.15 is te zien wat de geluidsbelasting per modaliteit is bij een snelheid van 20 km/uur[24].

Tabel B.15 Gemiddelde geluidsbelasting per modaliteit op basis van 20 km/uur (in dB(A)

Modaliteit	Geluidsbelasting in dB(A)
Auto	51
Dieselbus	68
Elektrische bus	60

Bron: Volvo Car Cooperation en www.auto-decibel-db.com (bewerking Decisio)

Door CE Delft worden de volgende milieuprijzen voor geluid beschreven:

Tabel B.16 Gemiddelde kosten van geluidshinder onderscheiden naar binnen/buiten bebouwde kom (in eurocent per kilometer)

	Personenauto	Vrachtauto	Bromfiets	Bus
Binnen bebouwde kom	-2,0	-10,2	-19,2	-1,5
Buiten bebouwde kom	-0,1	-0,2	-0,4	0,0

Bron: CE Delft (2014). Externe en infrastructuurkosten van verkeer.

Reizigerseffecten

Tabel B.17 Overzicht gebruikte kengetallen reizigerseffecten

Ruimtebeslag bus (12m/18m)	37,8/56,7 m^2

[24] Indicatieve gemiddelde snelheid bussen op basis van lengte en reisduur van een aantal buslijnen.

(Bron: Factsheets Tram en Bus)	
Ruimtebeslag 10 extra bussen in remise achter elkaar (12m/18m)	1875/2325 m^2
(Bron: Factsheets Tram en Bus)	
Ruimtebeslag 10 extra bussen in remise naast elkaar (12m/18m)	1825/2482 m^2
(Bron: Factsheets Tram en Bus)	
Gemiddelde vierkante meterprijs bouwkavel	€ 482,5
(Bron: kadaster https://www.kadaster.nl/bouwkavels)	