



Maatschappelijke kosten en baten OV-bussen



Inhoudsopgave

- 1 Inleiding
- 2 Alternatieve brandstoffen en aandrijfvormen voor OV-bussen
- 3 Transitie scenario's voor concessies
- 4 Kosten per ingroeiscenario
- 5 Conclusie
- 6 Referenties

Bijlage

- A Rekenmodel directe en milieukosten



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Alternatieve brandstoffen en aandrijfvormen zullen een belangrijke rol gaan spelen in de verdere verduurzaming van de mobiliteitssector. Meer elektrische en waterstofvoertuigen en/of een toename van het gebruik van groengas, leiden tot een daling in de uitstoot van luchtvervuilende emissies en broeikasgassen en daarmee tot minder schadelijke effecten voor de menselijke gezondheid, gebouwen, ecosystemen, etc. Door te investeren in de productie van groengas en het openen van tankpunten, het faciliteren van elektrische oplaadpunten en het opstarten van de bouw van waterstof-tankstations draagt PitPoint bij aan deze gewenste transitie in de mobiliteitssector.

Ook in aanbestedingen voor OV-busconcessies komt steeds meer aandacht voor deze transitie. Hierbij worden vaak middelgerichte criteria gehanteerd zoals het voorschrijven van specifieke aandrijvingstechnieken of brandstoffen. Er is weinig aandacht voor doelgerichte gunningscriteria, terwijl dit mogelijk kan leiden tot een effectievere transitie en daarmee een efficiëntere inzet van (publieke) financiële middelen.

De maatschappelijke kosten van luchtvervuiling en broeikasgassen

De uitstoot van luchtvervuilende stoffen (zoals NO_x en fijnstof) en broeikasgassen veroorzaken kosten voor de maatschappij. Bij luchtvervuiling komt dit bijvoorbeeld doordat je er ziek van wordt en uiteindelijk eerder overlijdt. Dit leidt tot medische kosten, maar ook tot niet-financiële kosten voor de persoon die ziek wordt of vroegtijdig overlijdt. Broeikasgassen zorgen voor klimaatverandering, waardoor uiteindelijk bijvoorbeeld dijken moeten worden verhoogd. In dit rapport duiden we deze kosten aan als milieukosten. De kosten worden berekend door de uitstoot te vermenigvuldigen met bijbehorende milieuprijzen (zie Bijlage A.5).

1.2 Probleemstelling

De kosteneffectiviteit van de inzet van alternatieve brandstoffen en aandrijfvormen om de uitstoot van CO₂-emissies te reduceren is afhankelijk van de kosten, maar ook van de verschillende maatschappelijke baten, o.a. in de vorm van een lagere uitstoot van luchtvervuilende en broeikasgasemissies.

Deze voordelen van alternatieve brandstoffen en aandrijfvormen worden meestal niet getalsmatig uitgedrukt, vooral omdat ze niet eenvoudig vergeleken kunnen worden met de financiële kosten van deze opties. Een eerlijke vergelijking van de verschillende brandstoffen en aandrijfvormen vereist dat niet enkel de financiële kosten worden meegenomen, maar ook de bredere maatschappelijke kosten en baten. Op deze wijze kan bepaald worden hoe publieke (financiële) middelen het meest effectief kunnen worden ingezet t.a.v. maatschappelijke doelen (waaronder aanbod van OV, maar ook verbetering van luchtkwaliteit of reductie van CO₂-uitstoot).

1.3 Doelstelling

Het doel van deze studie is het in beeld brengen van de totale maatschappelijke kosten van de verschillende alternatieve brandstoffen/aandrijfvormen voor OV-bussen. We kijken hierbij specifiek naar de financiële kosten per vermeden ton CO₂-uitstoot. Dit sluit namelijk aan bij de doelstelling van de Energieagenda en het Klimaatakkoord. Daarnaast beschouwen we de milieukosten en -baten.



1.4 Aanpak

Op basis van recente beschikbare gegevens maken we kosten-inschattingen voor de totale kosten over de gebruiksduur van het gehele park van een busconcessie.

We onderscheiden de volgende typen brandstoffen/aandrijfvormen in het onderzoek:

- diesel;
- CNG;
- LNG;
- groengas;
- elektrisch (grijs, huidige productiemix);
- elektrisch (100% groen);
- waterstof (uit aardgas of elektrolyse);
- biodiesel (FAME en HVO).

Daarbij houden we rekening met de invloed van verschillen in rit-profielen op het brandstofverbruik en daarmee op de uitstoot van CO₂-emissies.

De kostenvergelijkingen zijn uitgevoerd op vlootniveau (100 bussen) voor een periode van tien jaar (gemiddelde concessieduur) en een gemiddeld jaarkilometrage van 100.000 km per bus.

Op deze manier is het mogelijk om de invloed van de toekomstige instroom van duurzamere bussen (bijvoorbeeld elektrische bussen) op de kosten in beeld te brengen, wat de mogelijkheid biedt om potentiële transitie scenario's (bijv. inzet groengasbussen als tussenstap naar volledig nul-emissiebussen) in het onderzoek in kaart te brengen. In het project worden zes scenario's vergeleken.

Voor PitPoint leveren we daarnaast ook een rekentool op, waarin de uitgangspunten en inputwaarden kunnen worden aangepast. Voor elke specifieke situatie kunnen zelf samengestelde transitie scenario's worden ingevoerd en doorgerekend op maatschappelijke kosten en baten en kosten per vermeden ton CO₂-uitstoot.

1.5 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 beschrijven we de belangrijkste kenmerken van de verschillende brandstoffen en aandrijfvormen voor OV-bussen die meegenomen zijn in dit onderzoeksproject. In Hoofdstuk 3 schetsen we verschillende opties binnen een concessie om de transitie naar Zero-Emissie te maken. Hoofdstuk 4 brengt de kosten en baten in beeld voor de verschillende transitie scenario's en in Hoofdstuk 5 zijn de conclusies opgenomen die op basis van de analyse kunnen worden getrokken.

De gehanteerde kosten- en emissiekentallen zijn terug te vinden in de bijlage.



2 Alternatieve brandstoffen en aandrijfvormen voor OV-bussen

2.1 Alternatieven voor diesel

Om emissies van schadelijke stoffen voor de luchtkwaliteit (fijnstof, stikstofoxiden) te beperken, zijn de afgelopen jaren op Europees niveau steeds strengere eisen aan de productie van nieuwe diesel-bussen gesteld. De emissies van fijnstof en stikstofoxiden van nieuwe (diesel-)bussen liggen daarmee een stuk lager dan bij oudere bussen. De Euronormen hebben echter geen betrekking op de uitstoot van broeikasgassen (CO₂). Om aan klimaatdoelen te voldoen, wordt daarom gezocht naar alternatieve brandstoffen en aandrijfvormen van bussen, zodat - op termijn - de inzet van fossiele brandstoffen niet meer nodig is. In dit hoofdstuk beschrijven we de verschillende alternatieven.

Biodiesel

Er zijn verschillende soorten biodiesel, variërend in herkomst (feedstock) en brandstofeigenschappen. De feedstock verwijst naar de grondstoffen die voor het maken van de biodiesel zijn gebruikt. Bij biodiesel die gemaakt wordt uit gewassen is de klimaatwinst beperkt, door indirecte effecten op landgebruik. Biodiesels die worden gemaakt uit afval (zogenaamde tweede generatie biodiesel) hebben een hoge CO₂-reductie van ongeveer 80%. De directe CO₂-emissie van verbranding van biobrandstof wordt volgens de internationale definitie (bijvoorbeeld van de IPCC) in de transport-sector niet meegeteld, vanwege de CO₂ die door gewassen wordt opgenomen tijdens de groei.

Vanuit Europese regelgeving is een minimum percentage gesteld aan de inzet van biobrandstoffen. Voor vrachtverkeer en bussen kunnen biodiesels (bijvoorbeeld HVO, FAME) in pure vorm worden ingezet of worden gemengd met gewone diesel. HVO kent dezelfde eigenschappen als diesel en kan als drop-in fuel onbeperkt worden bijgemengd zonder dat dit nadelige gevolgen heeft voor de aandrijflijn. FAME kan niet onbeperkt worden bijgemengd, daarom gaan we in deze studie uit van 30% bijmenging. De kosten van biodiesel zijn hoger dan van diesel, afhankelijk van de feedstock. Bij de inzet van biobrandstoffen is het belangrijk dat deze additioneel worden geproduceerd voor de bussenmarkt, omdat biobrandstoffen ook in andere sectoren kunnen worden ingezet.

Aardgas/groengas

(Vloeibaar) aardgas wordt in een aantal concessies ingezet als alternatief gebruikt voor diesel. De verbranding van aardgas (CNG) of vloeibaar aardgas (LNG) kent een vergelijkbare CO₂-uitstoot als nieuwe dieselbussen. Wanneer de bio-varianten van deze brandstoffen worden ingezet, wordt de directe CO₂-emissie door verbranding voor klimaatdoelstellingen van transport als CO₂-neutraal beschouwd. Net als bij biodiesel zijn de CO₂-emissies door productie van de brandstoffen afhankelijk van de feedstock.



Groengas dat in Nederland wordt geproduceerd is voornamelijk gemaakt uit stedelijk afval. De milieuwinst voor luchtvervuilende emissies is beperkt ten opzichte van moderne Euro VI-dieselmotoren, omdat de milieuwetgeving streng is. Groengas wordt nu al in een deel van de concessies ingezet (Haarlem, Den Haag en Nijmegen).

Elektrisch

Sinds enkele jaren zijn er elektrische bussen op de markt die voldoende geschikt zijn voor de inzet in OV-busvervoer. Er zijn verschillende soorten accu- en oplaadsystemen in gebruik. Bij *overnight charging* is de accucapaciteit relatief groot en vindt het opladen plaats bij de busdepots. Bij *opportunity charging* vindt het opladen ook tijdens de route plaats, via extra oplaadpunten tijdens de route, waar de bus in korte tijd bijlaadt. In dit onderzoek gaan we uit van opportunity charging met 1 pantograaf per tien bussen en bussen met een relatief kleine accu. De directe CO₂-emissie van elektrische bussen (Tank-To-Wheel, TTW) is 0. De totale CO₂-emissie (Well-To-Tank, WTT) is afhankelijk van de CO₂-emissie van de elektriciteitsproductie. Wanneer de elektriciteit met fossiele energie wordt opgewekt (bijvoorbeeld in een gas- of kolencentrale) is de CO₂-emissiereductie over de hele brandstofketen beperkt. Bij duurzame opwekking van elektriciteit is de reductie over de keten groter.

Waterstof

Via de verbranding van waterstof en de inzet van een brandstofcel, kan een elektrische bus ook worden aangedreven zonder accu. De techniek hiervoor is relatief duur en wordt nog beperkt ingezet. Er zijn de afgelopen jaren enkele proeven uitgevoerd met OV-bussen (o.a. in Arnhem-Apeldoorn, Eindhoven, Groningen en Rotterdam), maar dit betreft nog een zeer kleinschalige toepassing. Net als bij elektrische bussen is de TTW-CO₂-emissie 0 en de WTT-emissie afhankelijk van de emissies bij de waterstofproductie. In dit rapport en de rekentool voor PitPoint zijn kentallen opgenomen voor waterstof geproduceerd uit aardgas (Steam Methane Reforming, SMR) en elektrolyse (DWE). Waterstof uit aardgas is op dit moment het meest gebruikelijk, maar de CO₂-besparing is beperkt. In de toekomst kan mogelijk de CO₂-emissie bij productie worden afgevangen (CCS/CCU). Wanneer waterstof uit duurzaam opgewekte elektriciteit wordt gemaakt is een grotere besparing mogelijk, maar er is relatief veel energie nodig voor dit proces. Mede hierdoor zijn de kosten van waterstof uit elektrolyse nog erg hoog.

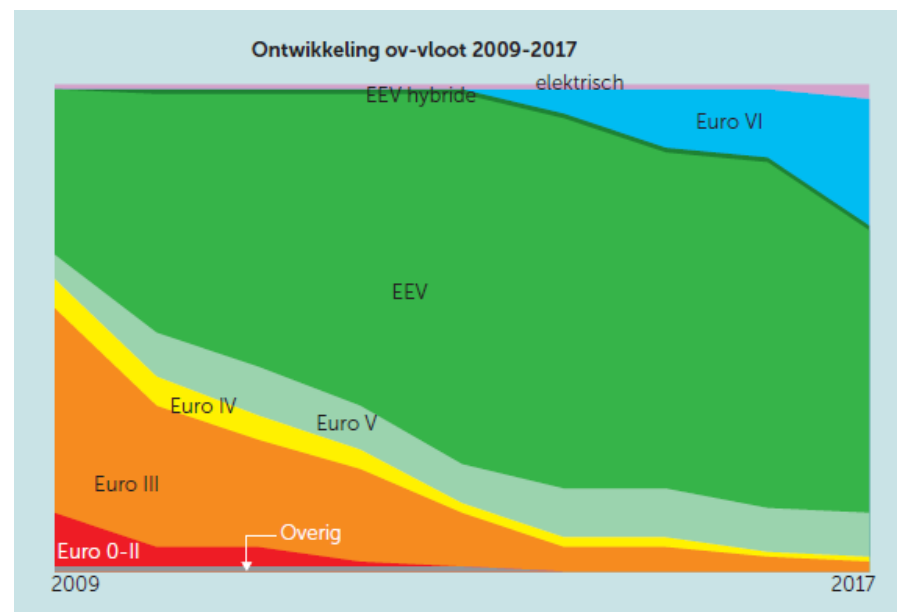


2.2 Huidige OV-bussenvloot

De OV-bussenvloot in Nederland wordt jaarlijks in kaart gebracht door het CROW-KpVV. In het voorjaar van 2017 bestond de vloot in totaal uit 5.013 bussen, waarvan 621 aardgas- en groengasbussen (12%) en 3% elektrische bussen. Het overige deel (85%) bestond uit traditionele dieselmotoren. Over de inzet van biodiesel, groengas en bioLNG in de OV-bussenvloot zijn geen exacte gegevens bekend. Over het algemeen is deze inzet nog beperkt. Met de voortdurende aanscherping van de Euronormen¹ is de OV-bussenvloot steeds schoner geworden.

Figuur 1 laat de transitie zien van steeds schonere bussen in de vloot en de snelheid waarmee de nieuwe normen zijn geïntroduceerd. Tussen 2009 en 2013 is het aandeel EEV-bussen in de totale OV-bussenvloot verdubbeld van 30% naar ruim 60%.

Figuur 1 – Ontwikkeling OV-Vloot 2009-2017



Bron: (CROW-KpVV, 2017).

¹ De Euronormen zijn ingevoerd in 1992 en sterk verscherpt sinds 2000 (invoering Euro 3) en schrijven voor hoeveel schadelijke stoffen een voertuig maximaal mag uitstoten per gereden kilometer.

3 Transitiescenario's voor concessies

3.1 Op weg naar Zero-Emissie

In april 2016 hebben het Rijk, provincies en regio's een bestuursakkoord gesloten over Zero-Emissie Regionaal OV per bus. In dit akkoord is afgesproken dat vanaf 2025 alleen nog Zero-Emissie-bussen worden aangeschaft en dat in 2030 de gehele bussenvloot uit Zero-Emissie-bussen bestaat. Hierbij wordt met Zero-Emissie de Tank-To-Wheel CO₂-emissie van bussen bedoeld.

Zero-Emissie (TTW, CO₂) kan worden ingevuld via de toepassing van 100% biodiesel (HVO), groengas, bioLNG of de inzet van elektrische en/of waterstofbussen. Voor al deze technieken geldt dat grootschalige toepassing in het OV-busvervoer aanpassingen vraagt van de OV-bussenvloot en de bijbehorende tank- en laadinfrastructuur. Bij inzet van biobrandstoffen is er nog steeds sprake van emissies van luchtvervuilende stoffen, daarom is op middellange termijn de overstap naar volledig elektrisch of waterstof gewenst.

3.2 Scenario's

Binnen de specifieke eisen die op regionaal niveau aan OV-concessies worden gesteld, maken vervoersbedrijven een afweging over de busvoertuigen en brandstoftypen die zij willen inzetten tijdens de looptijd van de concessie. Om grofweg in beeld te brengen welke keuzemogelijkheden vervoerbedrijven hierin hebben en wat de voor- en nadelen daarvan zijn, brengen we in dit onderzoek een zestal scenario's in beeld.

Het doel van deze scenario's is om een aantal keuzemogelijkheden in beeld te brengen die - op basis van de huidige markt - als realistisch worden gezien.

De scenario's zijn gebaseerd op de volgende aannames en keuzes:

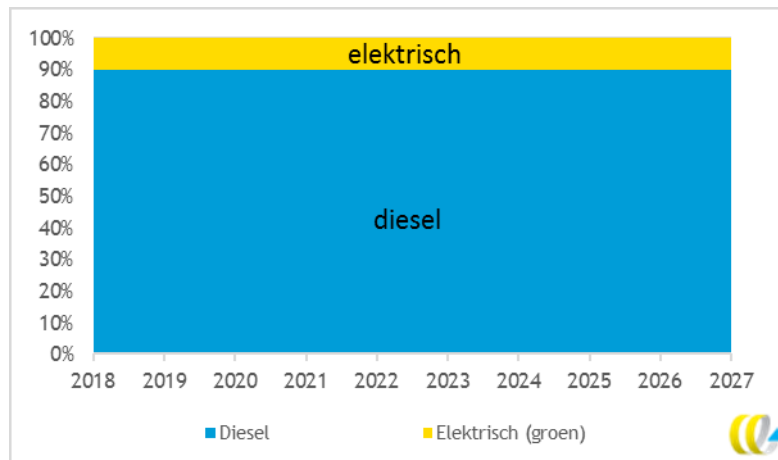
- Het aandeel Zero-Emissie in de busvloot wordt ingevuld door elektrische voertuigen (groene stroom). Vanwege de huidige hoge kosten van waterstof (als brandstof en voor de voertuigen) is gekozen om waterstof in deze indicatieve scenario's niet mee te nemen.
- Het aandeel elektrische voertuigen is in de scenario's bij de start op 10% verondersteld. De rest van de vloot is diesel, HVO of CNG.
- De scenario's kennen een gematigde transitie naar 100% elektrisch of de vloot blijft gedurende de concessieperiode hetzelfde.

Tabel 1 – Overzicht van de uitgangspunten per scenario

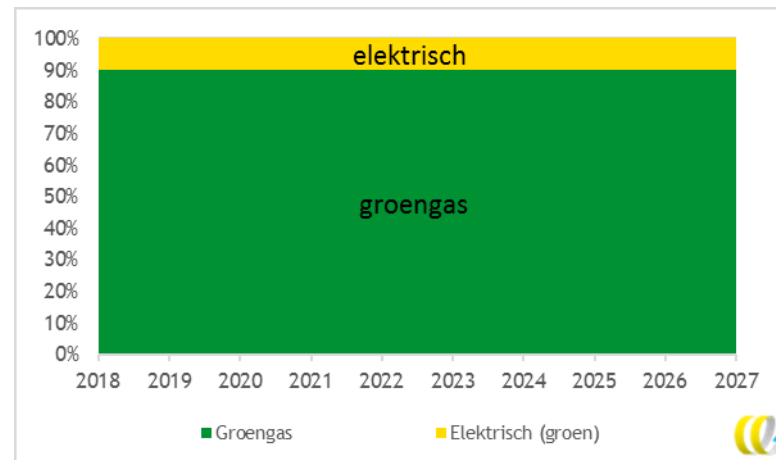
Scenario	Beginsituatie		Transitiepad	Eindbeeld
1	10% elektrisch	90% diesel	geen	10% elektrisch
2	10% elektrisch		gematigd	100% elektrisch
3	10% elektrisch	90% groengas	geen	10% elektrisch
4	10% elektrisch		gematigd	100% elektrisch
5	10% elektrisch	90% HVO	geen	10% elektrisch
6	10% elektrisch		gematigd	100% elektrisch

De scenario's zijn weergegeven in de volgende figuren.

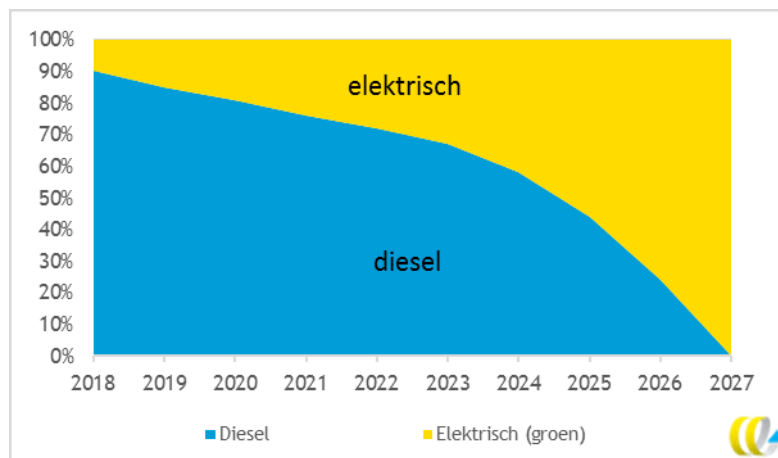
Figuur 2 – Scenario 1: Begin 10% elektrisch, diesel Euro 6, geen ingroei



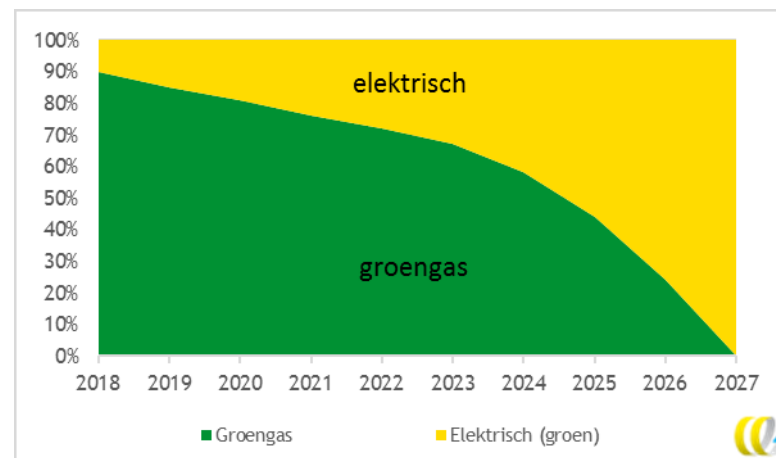
Figuur 4 – Scenario 3: Begin 10% elektrisch, groengas, geen ingroei



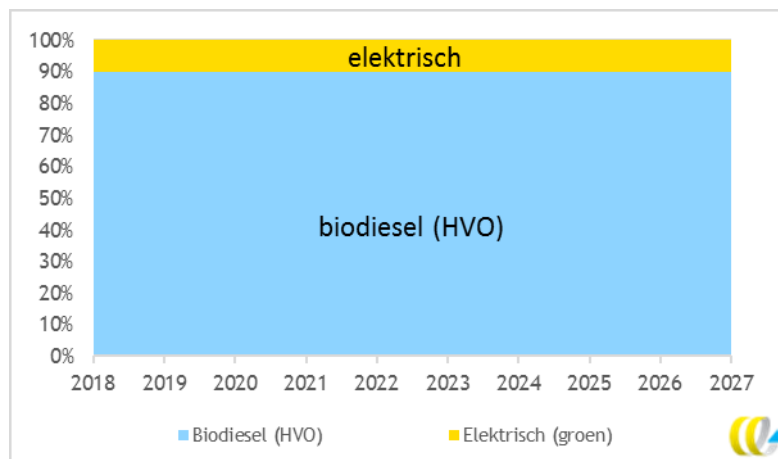
Figuur 3 – Scenario 2: Begin 10% elektrisch, diesel, ingroei naar 100% elektrisch



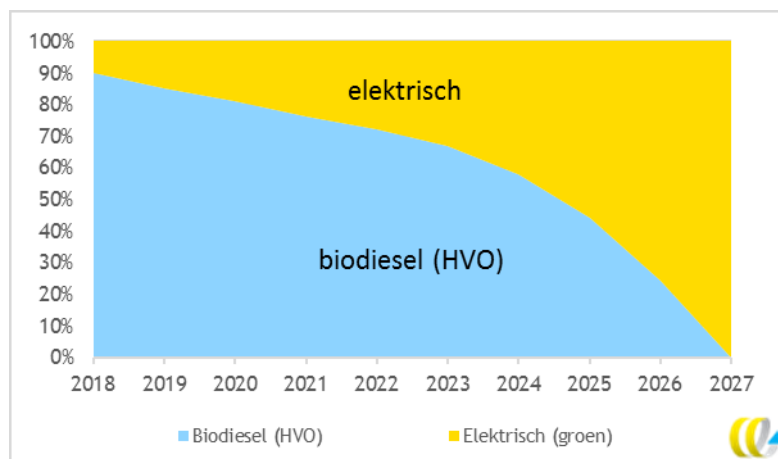
Figuur 5 – Scenario 4: Begin 10% EV, groengas, ingroei naar 100% ZE



Figuur 6 – Scenario 5: Begin 10% elektrisch, HVO, geen ingroei



Figuur 7 – Scenario 6: Begin 10% elektrisch, HVO, ingroei naar 100% ZE



4 Kosten per ingroeiscenario

Voor elk scenario brengen we verschillende kostenposten in beeld. De kosten onderscheiden we naar directe kosten en milieukosten, die in de volgende paragrafen worden beschreven. Tenslotte geven we de resultaten weer van de kostenanalyses voor de verschillende scenario's.

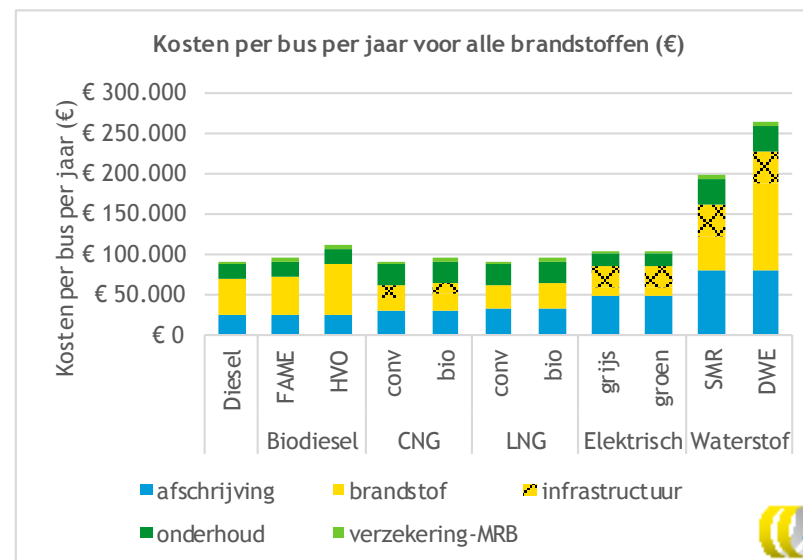
4.1 Directe kosten

De directe kosten bestaan uit de afschrijving (op basis van aanschafprijzen, restwaarde, afschrijvingstermijn en financieringskosten), brandstofkosten, onderhoud, verzekering en infrastructuurkosten.

De kostenkentallen zijn gebaseerd op praktijkcijfers die beschikbaar zijn gesteld door PitPoint, aangevuld met kentallen uit verschillende bestaande TCO-modellen en literatuuronderzoek. Een uitgebreid overzicht van de kentallen en bronnen is te vinden in Bijlage A.3.

Figuur 8 laat de jaarlijkse kosten per bus zien, waarbij voor de energiebelasting en infrastructuurkosten de kosten zijn weergegeven op basis van de inzet van tien bussen met gemiddeld brandstofverbruik en een jaarkilometrage van 100.000 km/jaar.

Figuur 8 – Opbouw van de jaarlijkse directe kosten per bus (€) gemiddeld concessieduur



De aanschafkosten zijn relatief laag voor dieselmussen en het hoogst voor waterstof. De brandstof- en infrastructuurkosten zijn in dezelfde kleur weergegeven, omdat de infrastructuurkosten in de praktijk vaak in de brandstofkosten worden verrekend. Op basis van deze berekening zijn diesel en CNG de goedkoopste optie, waarbij voor CNG de investering in het materieel en hogere onderhoudskosten worden gecompenseerd door lagere energiekosten. De TCO is ongeveer 15% hoger voor elektrische bussen en de waterstofbussen zijn meer dan twee keer zo duur.

4.2 Milieukosten en -baten

Het belangrijkste milieueffect van het gebruik van OV-bussen zijn de emissies van luchtverontreinigende stoffen (stikstofoxiden en fijnstof) en de uitstoot van broeikasgassen (CO₂)². De emissies van deze stoffen verschillen per brandstof/techniek. We beschouwen hierbij zowel de directe emissies (TTW) als de indirecte emissies (WTT). De milieukosten zijn berekend door de emissies te vermenigvuldigen met kostenkentallen (zie bijlage A.5).

Stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM_{slijtage} en PM_{verbranding})

Via de Euronormen worden eisen gesteld aan de directe emissie van stikstofoxiden en fijnstof. De emissienormen van Euro VI-bussen liggen een stuk lager dan van EEV-bussen. Voor de inzet van biodiesel, (bio)LNG en CNG/groengas wordt aangenomen dat deze voldoen aan de Euro VI-norm. Elektrische en waterstofbussen stoten geen stikstofoxiden en fijnstof (via verbranding) uit. Het fijnstof dat vrijkomt bij bandenslijtage is voor alle technieken/brandstoffen hetzelfde verondersteld.

CO₂

Zoals beschreven in de inleiding is de directe emissie van CO₂ voor elektrisch vervoer en waterstofverbranding 0. Volgens internationale afspraken wordt de verbranding van biobrandstoffen (onder andere biodiesel, groengas, bioLNG) ook als Zero-Emissie beschouwd. Voor

LNG- en CNG-bussen is aangenomen dat de CO₂-emissie gelijk is aan Euro VI-bussen. Hoewel de Euronormen niet zijn gericht op CO₂-emissie, zijn hierover wel kentallen beschikbaar; Euro VI-bussen kennen een iets lagere CO₂-emissie dan EEV-bussen, omdat ze nieuwer zijn (TNO, 2016).

Indirecte emissies

Naast de directe emissies, aan de uitlaat van het voertuig, houden we rekening met de indirecte emissies door de productie van de brandstof.

In de resultaten van de scenarioanalyse laten we steeds de totale emissies (WTW, Well-To-Wheel) zien.

4.3 Resultaten

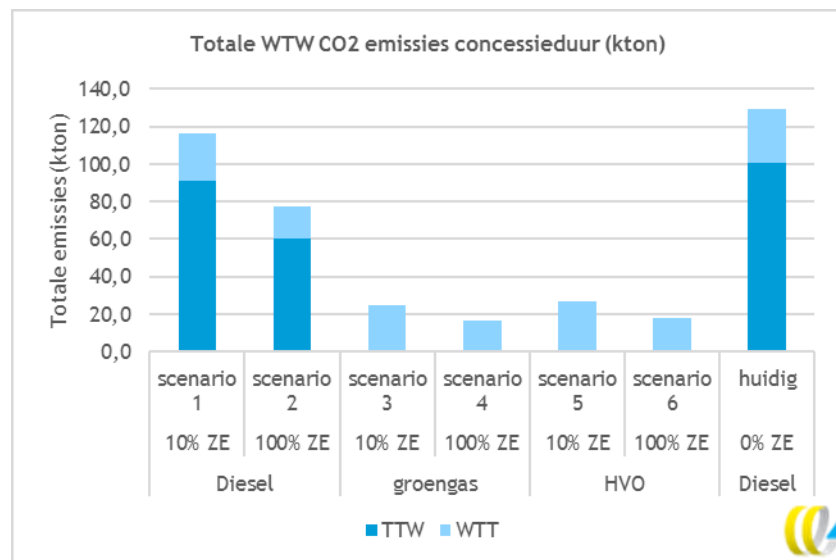
In de volgende figuren en tabellen zijn de resultaten van de modelberekeningen weergegeven. Hierbij zijn de scenario's uit Paragraaf 3.2 doorgerekend op directe kosten en milieukosten.

Voor deze scenario's zijn wij uitgegaan van een concessie van 100 busvoertuigen met een gemiddeld jaarkilometrage van 100.000 km/bus.

² In deze studie nemen we andere externe kosten zoals veiligheid en geluidshinder niet mee. De transitie naar zero-emissie heeft mogelijk als bijkomend voordeel dat geluidshinder beperkt wordt.



Figuur 9 – Totale WTW CO₂-emissie per scenario over de gehele concessieduur



Figuur 9 laat de CO₂-emissies zien voor de scenario's over de gehele concessieduur. Hierin is te zien dat de inzet van tien elektrische bussen (Scenario 1) en een ingroei naar 100% elektrische bussen (Scenario 2) met het resterende deel dieselbussen een relatief beperkte CO₂-besparing oplevert. Bij de inzet van biobrandstoffen blijven alleen de CO₂-emissies door brandstofproductie over (TTW), wat een reductie van ongeveer 80% betekent.

Tabel 2 geeft de totale emissies van CO₂, NO_x en PM weer voor de scenario's. De NO_x- en PM-emissies voor groengas zijn iets lager, en voor HVO iets hoger dan in Scenario's 1 en 2, vanwege emissies bij brandstofproductie.

Tabel 2 – Totale emissies per scenario

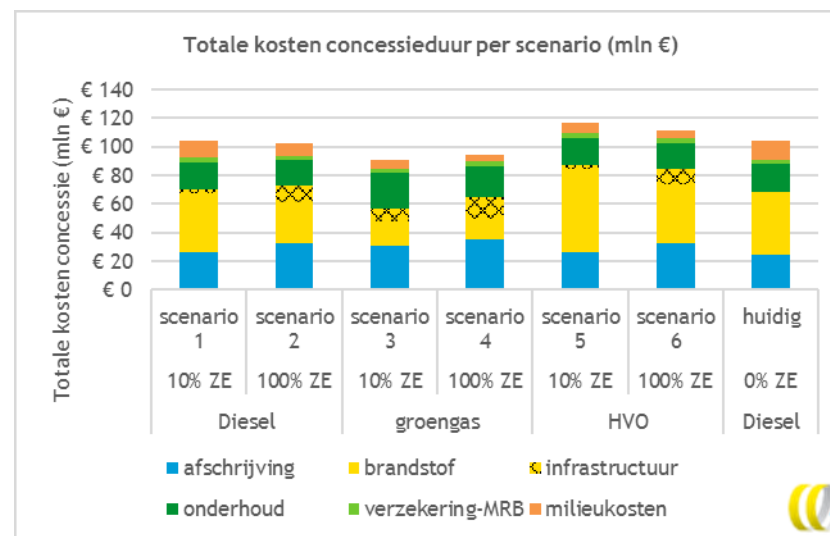
Scenario	CO ₂ (kton)		NO _x (ton)		PM (ton)	
	TTW	Totaal WTW	TTW	Totaal WTW	TTW	Totaal WTW
1. Diesel en 10% ZE	90,9	116,2	66,4	105,6	10,6	14,7
2. Diesel naar 100% ZE	60,3	77,1	44,0	70,0	10,1	12,8
3. Groengas en 10% ZE	0,0	24,7	66,4	92,5	10,6	12,4
4. Groengas naar 100% ZE	0,0	16,4	44,0	61,4	10,1	11,3
5. HVO en 10% ZE	0,0	26,8	66,4	127,9	10,6	20,6
6. HVO naar 100% ZE	0,0	17,8	44,0	84,8	10,1	16,8

In Figuur 10 zijn de totale kosten per scenario weergegeven. De totale kosten in een scenario met 100% dieselbussen over de gehele concessieduur bedragen (exclusief milieukosten) in deze berekening 91 miljoen. De meerkosten van de andere scenario's ten opzichte hiervan zijn weergegeven in Tabel 3. In Scenario's 1 en 2 zijn de meerkosten tussen de 1 en 3 miljoen, met name vanwege hogere aanschafkosten die deels terug worden verdiend met lagere brandstofkosten. In de Scenario's 3 en 4 met groengasbussen zijn de totale kosten tot ruim 6 miljoen lager, met name vanwege lagere brandstofkosten. Door de meerkosten van HVO ten opzichte van diesel vallen Scenario 5 en 6 duurder uit.

Tabel 3 laat daarnaast de kosteneffectiviteit van de investeringen per scenario zien, uitgedrukt in € per vermeden emissies (per ton bij CO₂ en per kg voor NO_x en PM). Hierin is te zien dat de kosteneffectiviteit bij opschaling naar 100% ZE hoger is in Scenario 2 ten opzichte van Scenario 1. Dit komt doordat het verschil in TCO afneemt in de tijd. De kosteneffectiviteit voor scenario's met groengasbussen is negatief, wat betekent dat de emissiereductie gepaard gaat met een kostenbesparing.

Uit deze resultaten blijkt dat een grote CO₂-besparing wordt gerealiseerd wanneer de transitie naar zero-emissie wordt gecombineerd met inzet van biobrandstoffen. De transitie via inzet van HVO is relatief duur.

Figuur 10 – Totale kosten gedurende de concessieduur per scenario



Tabel 3 – Totale kosten en kosteneffectiviteit per scenario

Scenario	Kosten (mln €)		KPI (€ per vermeden emissie)		
	Totaal kosten (excl. milieukosten)	Meerkosten t.o.v. 100% diesel (mln €)	CO ₂ (€/ton)	NO _x (€/kg)	PM (€/kg)
1. Diesel en 10% ZE	€ 93	+ € 1,3	€ 100	€ 110	€ 2.200
2. Diesel naar 100% ZE	€ 94	+ € 2,6	€ 50	€ 60	€ 1.080
3. Groengas en 10% ZE	€ 85	- € 6,4	€ -60	€ -260	€ -2.250
4. Groengas naar 100% ZE	€ 90	- € 1,4	€ -10	€ -20	€ -350
5. HVO en 10% ZE	€ 110	+ € 18,5	€ 180	*	*
6. HVO naar 100% ZE	€ 106	+ € 14,9	€ 130	€ 460	*

* Vanwege hogere emissies is geen kosteneffectiviteit voor emissiereductie berekend.

5 Conclusie

In april 2016 hebben het Rijk, provincies en regio's een bestuursakkoord gesloten over Zero-Emissie Regionaal OV per bus, waarin is afgesproken dat vanaf 2025 alleen nog Zero-Emissie-bussen worden aangeschaft en dat in 2030 de gehele bussenvloot uit Zero-Emissie-bussen bestaat. Er ligt een grote opgave om deze doelstellingen te bereiken.

Om deze opgave op een kosteneffectieve manier in te vullen kan gebruik gemaakt worden van een MKBA-methodiek. In dit rapport worden de totale maatschappelijke kosten van de verschillende alternatieve brandstoffen/aandrijfvormen voor OV-bussen in beeld gebracht. We kijken hierbij naar de financiële kosten en de milieukosten en -baten.

Alternatieve brandstoffen en aandrijfvormen voor OV-bussen

Er zijn verschillende alternatieven voor diesel. In dit onderzoek zetten we CNG/groengas, (bio)LNG, elektrische (groene en grijze stroom) en waterstof (uit aardgas of elektrolyse) als aandrijfvormen naast elkaar. De huidige OV-bussenvloot bestaat voor het overgrote deel uit dieselbussen, maar de invoering van de Euronormen in de afgelopen tien jaar laat zien dat de transitie naar schonere bussen snel kan gaan.

Maatschappelijke kosten van transitie scenario's

Om de maatschappelijke kosten van OV-bussen in kaart te brengen is gekeken naar directe kosten en milieukosten en -baten. De directe kosten bestaan uit de afschrijving van het materieel, brandstof- en infrastructuurkosten, onderhoud, verzekering en MRB. Hierin hebben

de afschrijving en brandstof-/infrastructuurkosten het grootste aandeel (70-85% van totale directe kosten).

De milieukosten zijn de maatschappelijke kosten van de emissies van luchtvervuilende stoffen en broeikasgassen van de OV-bussen die in de concessie worden ingezet. We kijken hierbij zowel naar directe emissies (Tank-To-Wheel, TTW) als emissies die vrijkomen bij de brandstofopwekking/elektriciteitsopwekking (Well-To-Tank, WTT). De milieukosten van broeikasgasemissies en luchtvervuilende stoffen bedragen ongeveer tussen de 5 en 15% ten opzichte van de directe kosten, afhankelijk van de brandstoftype en het scenario.

Berekening voor zes transitie scenario's

Met behulp van de MKBA-methodiek zijn voor zes verschillende scenario's de totale kosten over de gehele concessieduur bepaald, de emissiereductie van CO₂, NO_x en PM ten opzichte van een concessie met 100% dieselbussen en de kosteneffectiviteit van de emissiereductie.

In de scenario's is een inzet van 10% elektrische bussen in de vloot over de gehele concessieduur aangenomen, bij de helft van de scenario's wordt dit aandeel opgeschaald 100%. De rest van de bussenvloot bestaat uit diesel-, groengas-, of HVO-bussen. De toepassing van waterstoftechniek staat nu nog in de kinderschoenen en is relatief duur, maar zal zich in de toekomst verder ontwikkelen. Batterij-elektrische bussen worden op dit moment al in verschillende concessies toegepast.

Uit de scenarioberekeningen blijkt dat een grote CO₂-besparing wordt gerealiseerd wanneer de transitie naar zero-emissie wordt gecombineerd met inzet van biobrandstoffen. De transitie via inzet van HVO is relatief duur.

Beleidsaanbeveling

Voor nieuwe concessie-uitvragen is de gepresenteerde MKBA-methodiek van meerwaarde om het meest kostenefficiënte transitiepad naar Zero-Emissie te bepalen. Met behulp van TCO-berekeningen zoals in dit rapport (en andere studies), kan goed gestuurd worden op CO₂-reductie én kostenbesparing.

Een doelgerichte uitvraag naar CO₂-reductie, in plaats van het voorschrijven van toe te passen middelen, zal daarmee bijdragen aan het behalen van de duurzaamheidsdoelstellingen met de meest efficiënte inzet van (publieke) financiële middelen.

6 Referenties

APPM, 2017. *Marktdialoog zero emissie busvervoer. Conclusies en aanbevelingen*, Zoetermeer: APPM management consultants.

Belastingdienst, 2018. *Tabellen tarieven milieubelastingen*. [Online] Available at:

https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/overige_belastingen/belastingen_op_milieugrondslag/tarieven_milieubelastingen/tabellen_tarieven_milieubelastingen

CBS; PBL; TNO; RWS, 2017. *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, The Hague: PBL Netherlands

Environmental Assessment Agency.

CE Delft, 2014a. *Externe en infrastructuurkosten van verkeer. Een overzicht voor Nederland in 2010*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2014b. *STREAM Passenger transport 2014 Version 1.1 : Study on Transport Emissions of All modes (only in Dutch)*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2015. *Pilot projects for innovative public transport buses (only in Dutch)*. [Online]

Available at:

https://www.ce.nl/publicatie/pilotprojecten_innovatieve_ov-bussen/1717

[Geopend 2018].

CE Delft, 2016. *STREAM Freight transport 2016 : Study on Transport Emissions from All Transportation modes (STREAM)*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017. *Handboek milieuprijzen 2017 : Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018. *Factsheet: ontwikkeling prijzen garanties van oorsprong*, Delft: CE Delft.

CIVITAS, 2016. *CIVITAS Policy Note. Smart choices for your cities : Alternative Fuel Buses*, sl: CIVITAS.

CROW-KpVV, 2017. *Milieuprestaties ov-bussen voorjaar 2017*, Ede: CROW-KpVV.

Ea Energy Analyses, 2015. *Fuel costs – Production, distribution and infrastructure costs used in the Economic Analysis in Grøn Roadmap 2030*, Copenhagen: Ea Energy Analyses.

ECN; PBL; CBS; RVO, 2017. *Nationale Energieverkenning 2017*, Petten: ECN.

Ecofys, 2016. *Toekomstverkenning elektrisch vervoer, eindrapport*, Utrecht: ECOFYS Netherlands B.V.

Groen Gas Nederland, 2015. *Financieringsmogelijkheden voor biogasprojecten*, Utrecht: Groen Gas Nederland.

HTM, RET, TNO, 2017. *Verkenning verduurzaming railassets*, Rotterdam: Metropoolregio Rotterdam Den Haag (MRDH).

InfoMil, 2018. *Bussenknop 2018*. [Online]

Available at: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/luchtkwaliteit/slag/hulpmiddelen/bussenknop/>

INFRAS, CE Delft, Fraunhofer Gesellschaft-ISI, University of Gdansk, 2008. *Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector*, Delft: CE Delft.

McKinsey, 2012. *Urban buses: alternative powertrains for Europe. A fact-based analysis of the role of diesel-hybrid, hydrogen, fuel cell, trolley and battery electric powertrains*, Brussels: Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU).

PitPoint, 2018a. *Prijshistorie LNG (sinds 2012 - Nederland)*, Nieuwegein: Pitpoint B.V.

PitPoint, 2018b. *Gegevens aangeleverd door PitPoint, vertrouwelijke documenten*, Nieuwegein: PitPoint B.V.

Rebel : Twynstra Gudde, 2016. *Transitiepaden zero emissie bussen*, Rotterdam: Rebel Transitmanagement.

Rocha, L. et al., 2017. Design of a New Sustainable Methanol Plant Coupled to an Ethanol Distillery. *Computer Aided Chemical Engineering*, Volume 40, pp. 805-810.

Roland Berger, 2015. *Fuel Cell Electric Buses : Potential for Sustainable Public Transport in Europe*, Brussels: Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU).

Spath P. en Mann M., 2001. *Life Cycle Assessment of Hydrogen Production via Natural Gas Steam Reforming*, Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory.

Stichting Zero Emissie Bussen, 2018. *TCO-model Zero Emissie Bussen Gebruikershandleiding versie 1.4*, Utrecht: CROW-KpVV.

TNO, 2013. *CIVITAS Policy Note. Smart choices for cities: Clean Buses for your city*, sl: CIVITAS.

TNO, 2015. *Inzetbaarheid van zero emissie bussen in Nederland*, Delft: TNO.

TNO, 2016. *Dutch CO2 emission factors for road vehicles*, Utrecht: TNO.

UITP, 2014. *UITP Project 'SORT' Standardised On-Road Test Cycles (revised edition)*, Brussels: International Association of Public Transport (UITP).

Van der Staak en Significant, 2013. *Eindrapport Uitstootreductie bussen in Limburg*, Elshout; Barneveld: Van der Staak Business Logic; Significant.

Werner Advies, 2015. *Visie Duurzaam Regionaal OV 2015-2030 Transitie naar Zero Emissie Regionaal Openbaar Vervoer*, Arnhem: IPO.

Werner Advies, 2016. *Rapport Duurzaam Regionaal OV Stadsregio Amsterdam*, Arnhem: Werner Advies.

ZeEUS, 2016. *ZeEUS eBus Report An overview of electric buses in Europe*, Brussels: ZeEUS; UITP.





Bijlage(n)



A Rekenmodel directe en milieukosten

A.1 Rekentool Maatschappelijke kosten OV-bussen

transitiepaden naar volledig Zero Emissie busenvloot

Maatschappelijke kosten OV-bussen

invoer bussenvloot

Type	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (HVO)	90	85	81	76	72	67	58	44	24	0
bio-CNG										
bio-LNG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrisch (groen)	10	15	19	24	28	33	42	56	76	100
Waterstof (DWE)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Laad Referentie

Laad Variant

Reset

Opslaan Referentie

Opslaan Variant

scenario instellingen

Type biodiesel:

Type CNG:

Type LNG:

Elektriciteitsmix:

Waterstofproductie:

model instellingen

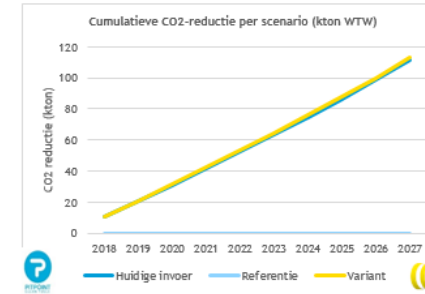
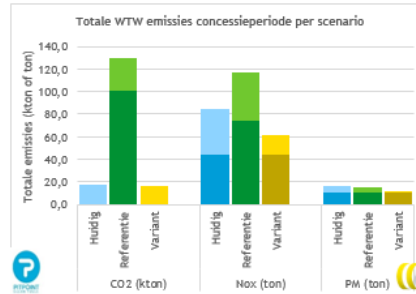
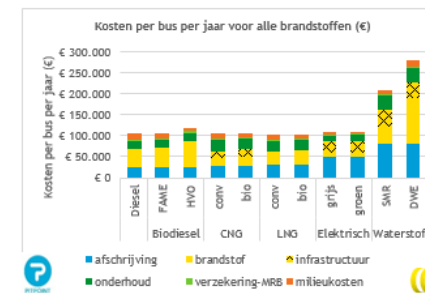
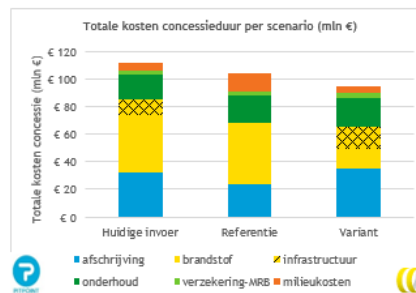
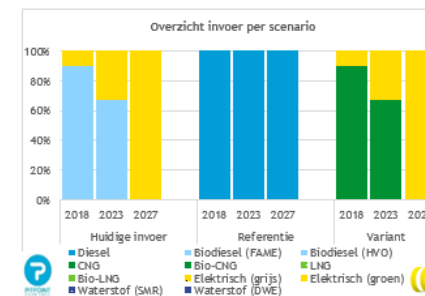
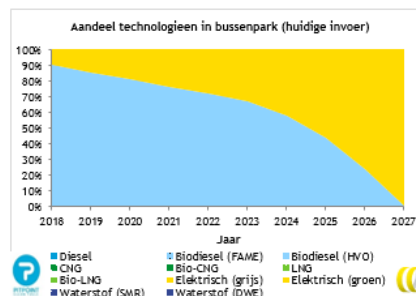
Startjaar:

Totaal aantal bussen:

Jaarkilometrage bussen:

Wegtypeverdeling:

Resultaat	Referentie	Huidig invoer	Vershil	Kosteneffectiviteit
Totale CO2 emissie wTW (kton)	129,1	17,8	-111,3	7,5 kg CO2/geïnvesteerde l
Totale NOx emissie wTW (ton)	117,3	84,8	-32,4	2,2 gram NOx/geïnvesteerde l
Totale PM emissie wTW (ton)	15,3	16,8	1,5	-0,1 gram PM/geïnvesteerde l
Totale kosten excl extren (mln l)	191	106	115	



donker = TTV, licht = WTT

Versie 2.0

Laatst geüpdatet: 10 september 2018

Lock

Unlock

A.2 Kenmerken busconcessie

Startjaar en concessieduur

Het rekenmodel gaat uit van een concessieduur van tien jaar, met als startjaar 2018. De looptijd van tien jaar is een gebruikelijke concessieduur voor OV-concessies in Nederland.

Totaal aantal bussen en gemiddeld jaar

Voor de scenario's in deze rapportage zijn wij uitgegaan van een concessie van 100 busvoertuigen met een gemiddeld jaar-kilometrage van 100.000 km/bus. Deze gegevens zijn door de gebruiker aan te passen.

Wegtypeverdeling

Het aantal kilometers dat met de bussen wordt afgelegd is onderverdeeld over verschillende wegtypen, zodat rekening wordt gehouden met het verschil in emissie bij verschillende snelheden van de bussen. Voor lijnbussen is het gebruikelijk om de 'SORT' (Standardised On-Road Test Cycles) wegtypeindeling (UITP, 2014) te gebruiken zoals weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 – Overzicht van de SORT-wegtypologie

Wegtype	Gebiedskenmerk	Snelheid	Standaardwaarde in model
SORT 1	Stedelijk centrum	12-40 km/h	20%
SORT 2	Stedelijk	18-50 km/h	60%
SORT 3	Stedelijk randgebied	25-60 km/h	20%
Buitenweg	Buitengebied		0%

De wegtypeverdeling is door de gebruiker aan te passen.

Naast deze instellingen is een uitgebreide set van kostenkentallen in de rekentool opgenomen, met betrekking tot directe kosten, emissies van verschillende brandstoftypen en de milieukosten van broeikasgassen en luchtvervuilende stoffen. Deze worden in de volgende bijlagen beschreven.

A.3 Directe kosten

De directe kosten bestaan uit de afschrijving (op basis van aanschafprijzen, restwaarde, afschrijvingstermijn en financieringskosten), brandstofkosten, onderhoud, verzekering en infrastructuurkosten.

Afschrijving

De kosten voor de afschrijving zijn berekend aan de hand van de aanschafprijzen voor de bussen en de financieringskosten. Hierbij is aangenomen dat de bussen over tien jaar worden afgeschreven met een restwaarde van 10% van de aanschafprijs na tien jaar.

De afschrijving is berekend met een rentepercentage van 4%.

Tabel 5 – Aanschafprijzen

Aanschafprijzen (€) van een 12 m bus			
	2018	2030	
Diesel	€ 210.000	€ 210.000	Expertinschatting op basis van verschillende bronnen: TCO-SZEB, Groene Cockpit, CIVITAS, Visie Duurzaam regionaal OV, kostprijsanalyses PitPoint, opgave van een busfabrikant
CNG	€ 250.000	€ 250.000	Idem
LNG	€ 280.000	€ 280.000	
Elektrisch	€ 425.000	€ 350.000	Idem. Kostprijsontwikkeling 2030 o.b.v. inschatting ontwikkeling accuprijzen en IPO (2013)
Waterstof	€ 700.000	€ 410.000	Idem. Kostprijsontwikkeling McKinsey (2012)

De kosten voor aanschaf en afschrijving voor voertuigen drukken we in het model uit in jaarlijkse kosten met behulp van de annuïteitenmethode.

Brandstofkosten

De brandstofkosten zijn vastgesteld op basis van het gemiddelde brandstofverbruik (op verschillende wegtypen) en de brandstofkosten per eenheid brandstof.

Tabel 6 – Brandstofverbruik

Brandstofverbruik (brandstofeenheid/km)		
Diesel (l/100km)	38 (34-44)	Taakgroep (TNO, 2016), TNO (2015) verbruik afhankelijk van wegtype
CNG (kg/100km)*	47 (43-55)	Taakgroep (2017), verbruik afhankelijk van wegtype
Elektrisch (kWh/100km)	130 (127-140)	TNO (2015), verbruik afhankelijk van wegtype
Waterstof (kg/100km)	8,6 (8-9)	TNO (2015), verbruik afhankelijk van wegtype
AdBlue (%)	6% van diesilverbruik	Opgave van een busfabrikant

* Laagcalorisch.

Tabel 7 – Brandstoffen

Brandstofkosten (€/brandstofeenheid) exclusief infrastructuur, belasting			
	2018	2030	
Diesel (€/liter)	€ 0,511	€ 0,903	Kale prijs excl. accijns en BTW op basis van CBS gemiddelde pompprijs 2017, 2030 op basis van NEV (2017)
CNG (€/kg)	€ 0,210	€ 0,310	Commodityprijs conform TTF ICE Endex TTF notering Cal 2018 d.d. 11-01-2017, 2030 op basis van NEV (2017)
LNG (€/kg)	€ 0,856	€ 0,856	Inclusief infrastructuur en energiebelasting. Bron: Prijs historie LNG (PitPoint, 2018a)
Elektrisch (€/kWh)	€ 0,045	€ 0,059	Commodityprijs kosteninschatting PitPoint, 2030 op basis van NEV (ECN; PBL; CBS; RVO, 2017)
Waterstof (€/kg)	€ 4,75	€ 5,19	Commodityprijs kosteninschatting PitPoint, 2030 op basis van McKinsey (2012)
AdBlue (€/liter)	€ 0,26	€ 0,26	Opgave van een busfabrikant

De kostenstijging bij elektriciteit is gebaseerd op de NEV2017 en is een gevolg van een verschuiving in de productiemix (bijvoorbeeld uitfasering van kolenstroom). De kostenstijging bij waterstof is gebaseerd op McKinsey (2012), die uitgaat van een toename van de productiekosten van CSMR-waterstof.

De meerkosten van biobrandstoffen (HVO, FAME, groengas) en groene elektriciteit zijn afhankelijk van de herkomst van de energie. Hierbij zijn de meerkosten van HVO (€ 0,50/liter) hoger dan van FAME (€ 0,31/liter), gebaseerd op het overzicht van (Ea Energy Analyses, 2015). In het model wordt FAME tot maximaal 30% bijgemengd, terwijl dit voor HVO 100% is.

De meerkosten van groengas bedragen € 0,10/kg (PitPoint, 2018b) tot € 0,38/kg (Groen Gas Nederland, 2015). De meerkosten van GvO's (Garanties van Oorsprong) voor groene elektriciteit varieert van € 0,49/MWh (Noorse waterkracht) (HTM, RET, TNO, 2017) tot € 2,00/MWh (Hollandse windenergie) (CE Delft, 2018). Standaardwaarden voor het model zijn respectievelijk € 0,10 en € 2,00 voor groengas en groene stroom.

De kostenontwikkeling naar 2030 is genomen uit de Nationale Energieverkenning (2017), waarbij de gasprijs is gebaseerd op TTF futures en de IEA World Energy Outlook New Policies Scenario (leveringsprijs grootverbruikers exclusief BTW en belastingen).

De energiebelasting is voor CNG en elektriciteit gestaffeld en is afhankelijk van de afgenomen hoeveelheid. Onderstaande kentallen zijn gebaseerd op een wagenpark van tien bussen met gemiddeld verbruik en een jaarkilometrage van 100.000 km/bus.

Tabel 8 – Energiebelasting

Energiebelasting (€/brandstofeenheid)		
Diesel (€/liter)	€ 0,498	Accijns (tarief 2018)
CNG (€/kg)	€ 0,147	Energiebelasting + ODE (tarief 2018), bij afname van 470.000 kg/jaar
Elektrisch (€/kWh)	€ 0,024	Belasting elektriciteit + ODE, 2 installaties (25%/75%) (tarief 2018), bij afname van 1.300.000 kWh/jaar

Onderhoudskosten

De onderhoudskosten zijn vastgesteld op basis van verschillende bronnen in de literatuur en praktijkcijfers van een busfabrikant.

Tabel 9 – Onderhoudskosten

Onderhoudskosten (€/km)		
Diesel	€ 0,20	Expertinschatting op basis van verschillende bronnen: TCO-SZEB, Groene Cockpit, CIVITAS, Visie Duurzaam regionaal OV, kostprijsanalyses PitPoint, opgave van een busfabrikant.
CNG	€ 0,26	
Elektrisch	€ 0,15	
Waterstof	€ 0,45	

De onderhoudskosten van batterij-elektrische bussen liggen naar schatting wat lager dan die van dieselbussen, CNG-bussen hebben ongeveer 30% hogere onderhoudskosten. Uit een pilotproject met waterstofbussen (CE Delft, 2015) blijkt dat de onderhoudskosten relatief hoog liggen, maar dit zal naar verwachting dalen in de toekomst.

Wegenbelasting en verzekering

De jaarlijkse kosten voor de wegenbelasting zijn afhankelijk van de massa van het voertuig, waardoor de kosten voor elektrische en waterstofbussen iets hoger liggen. Hierbij is voor de elektrische bus de accupaciteit van belang, die volgens (TNO, 2015) vertaald kan worden naar gewicht met kental 90 Wh/kg. De verzekeringskosten zijn voor alle bussen gelijk verondersteld op € 2.500 per jaar per bus.

Tabel 10 – Wegenbelasting

Wegenbelasting (€/jaar)		
Diesel, CNG	€ 724	Belastingdienst (2018), op basis van massa dieselbus 11,3 ton
Elektrisch	€ 744	Belastingdienst (2018), massa BEV 11,7 ton (TNO, 2015) (opportunity charging bus met kleine batterij)
Waterstof	€ 860	Belastingdienst (2018), massa FCEV 14,3 ton (TNO, 2015)

Infrastructuur

De energie-infrastructuur (laadinfra voor elektrisch, tankstations voor CNG en waterstof) wordt in de praktijk vaak door een externe partij verzorgd, waarbij de kosten worden verrekend in de brandstofprijs voor de concessiehouder. Daarom zijn de infrastructuurkosten uitgedrukt in de brandstofprijs, om zoveel mogelijk bij de markt aan te sluiten.

Er is geen ontwikkeling in de infrastructuurkosten aangenomen, omdat er nog zeer weinig zicht is op hoe deze zich zullen ontwikkelen.

De infrastructuurkosten voor de elektrische bussen zijn gebaseerd op de volgende infrastructuur per tien elektrische bussen: een locatie met twee 350 KW-pantografen en een locatie met vijf (2 x 30 KW) depot chargers. Daarnaast zijn kosten van netbeheerder, leverancier, preventief en correctief onderhoud, keuringen, service en asset-management inbegrepen, evenals een marge voor de infrastructuur-aanbieder. De kostenkentalen zijn gebaseerd op aangeleverde gegevens van PitPoint en vergeleken met beschikbare literatuur.



Voor de tankinfrastructuur waterstof en CNG is uitgegaan van kostenopgaven van PitPoint die ons ter beschikking is gesteld.

Alle infrastructuurprijzen zijn uitgedrukt in euro's per brandstof-eenheid, en variëren in de praktijk met de afgenomen hoeveelheid brandstof. Voor onderstaande kentallen is steeds vermeld bij welke hoeveelheden de inschattingen³ gelden.

Tabel 11 – Infrastructuurkosten

Infrastructuurkosten (€/brandstofeenheid)		
CNG (€/kg)	€ 0,378	Berekening op basis van vertrouwelijke gegevens PitPoint, bij afname van 470.000 kg/jaar
Elektrisch (€/kWh)	€ 0,212	Berekening op basis van vertrouwelijke gegevens PitPoint, bij afname van 1.300.000 kWh/jaar
Waterstof (€/kg)	€ 4,38	Berekening op basis van vertrouwelijke gegevens PitPoint, bij afname van 85.500 kg/jaar

³ De vermelde prijzen zijn veralgemeniseerde inschattingen op basis van gedetailleerde kostenopgaven van PitPoint. Hieraan kunnen geen rechten worden ontleend.

A.4 Emissiekentallen

In het model beschouwen we emissies van CO₂, NO_x en fijnstof. Voor fijnstof onderscheiden we emissie door bandenslijtage (PM_{slijtage}) en emissie door verbranding (PM_{verbranding}). De emissiekentallen voor TTW-uitstoot (aan de pijp) van de verschillende technologieën zijn gebaseerd op de gegevens van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (CBS; PBL; TNO; RWS, 2017) en de Bussenknop 2018 (InfoMil, 2018).

In Tabel 12 zijn de TTW-emissies voor CO₂, NO_x en PM per wegtype weergegeven voor de verschillende brandstoffen. De voertuig-productie laten we buiten beschouwing.

Tabel 12 - Emissiekentallen (TTW) per brandstofsoort en wegtype

Emissie	Wegtype	Diesel	Diesel	FAME ⁴	HVO	CNG	Groengas	LNG	BioLNG	Elektrisch	Waterstof
		EEV	Euro VI	Euro VI	Euro VI	Euro VI	Euro VI	Euro VI	Euro VI		
CO ₂ (g/km)	SORT1	1.205	1.181	0	0	1.181	0	1.181	0	0	0
	SORT2	1.004	984	0	0	984	0	984	0	0	0
	SORT3	934	915	0	0	915	0	915	0	0	0
	Buitenweg	672	593	0	0	593	0	593	0	0	0
NO _x (g/km)	SORT1	7,18	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	0,00	0,00
	SORT2	4,49	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,00	0,00
	SORT3	3,22	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,00	0,00
	Buitenweg	2,25	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,00	0,00
PM _{slijtage} (g/km)	SORT1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
	SORT2	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
	SORT3	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
	Buitenweg	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
PM _{verbranding} (g/km)	SORT1	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
	SORT2	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
	SORT3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
	Buitenweg	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00

⁴ Deze cijfers gelden voor 100% FAME. In het rekenmodel wordt FAME ingezet als B30, wat betekent dat het tot 30% wordt bijgemengd.

Tabel 13 – Emissiekentallen brandstofproductie (WTT) per brandstofsoort

Emissie		Diesel	FAME	HVO	CNG	Groengas	LNG	BioLNG	Elektrisch (grijs)	Elektrisch (groen)	Waterstof (SMR)	Waterstof (DWE)
WTT	WTT CO ₂ EF (g/MJ)	20,7	12,2	21,9	13,0	15,4	18,8	21,2	112,3-86,7	0	88,5	172,5
	WTT NO _x EF (g/MJ)	0,032	0,050	0,050	0,006	0,016	0,027	0,016	0,127	0	0,103	0,195
	WTT PM EF (g/MJ)	0,003	0,008	0,008	0,000	0,001	0,001	0,001	0,006	0	0,017	0,010

Tabel 13 laat de emissies voor de productie (WTT emissies) van de verschillende brandstoffen zien.

De emissiekentallen van de productie van de verschillende brandstoffen zijn gebaseerd op STREAM 2016 (CE Delft, 2016). De emissies voor waterstofproductie zijn gebaseerd op (Spath P. en Mann M., 2001) (uit aardgas) en (Rocha, et al., 2017) (uit elektrolyse). Voor de herkomst van groengas is de gemiddelde gebruikte mix in Nederland gebruikt, zoals gerapporteerd door de NEA. Hetzelfde geldt voor de emissiekentallen van brandstofproductie voor FAME en HVO.

A.5 Milieukosten

Als maatschappelijke kosten beschouwen we de kosten voor de emissies van luchtvervuilende stoffen en broeikasgassen van de OV-bussen die in de concessie worden ingezet. We kijken hierbij zowel naar directe emissies (Tank-To-Wheel, TTW) als emissies die vrijkomen bij de brandstofopwekking/elektriciteitsopwekking (Well-To-Tank, WTT). In deze paragraaf lichten we toe hoe we de maatschappelijke kosten van deze emissies berekenen. Allereerst beschrijven we de schadelijke effecten van luchtvervuiling en broeikasgassen.

Schadelijke effecten broeikasgas (CO₂)

De emissie van CO₂ leidt tot een wereldwijde verandering van het klimaat. De gevolgen van deze klimaatverandering zijn erg complex doordat ze een mondiaal en lange termijnkarakter hebben. Bovendien zijn de precieze risico's van klimaatverandering erg moeilijk in te schatten, doordat er bijvoorbeeld verschillende 'feedbackloops'⁵ zijn, die de inschatting van de omvang van de impacts, en derhalve van de kosten van klimaatverandering erg complex maken. Tot slot is de relatie tussen klimaatverandering en sommige zeer ernstige gevolgen (welke weliswaar een kleine waarschijnlijkheid hebben), zoals een vertraging of stop van de

golfstroom, onbekend. Enkele van de belangrijkste gevolgen van klimaatverandering worden hieronder beschreven.

Zeespiegelstijging

Een temperatuurstijging zal resulteren in het smelten van delen van de ijskappen en andere met sneeuw bedekte oppervlaktes, wat zal leiden tot een stijging van de zeespiegel. Hierdoor kunnen leef- en landbouwgebieden verloren gaan en zullen er meer uitgaven nodig zijn om kustgebieden te beschermen.

Verlies van landbouwgewassen

Een toename in de temperatuur en een verandering in de waterhuishouding (bijv. van gemiddelde neerslag en extremen) kunnen in bepaalde gebieden een negatieve (en in andere gebieden een positieve) invloed hebben op de landbouw.

Gezondheidskosten

Temperatuurstijgingen kunnen leiden tot meer ziekenhuisopnames en sterfgevallen door hitte-stress. Tegelijkertijd kan een toename in de temperatuur leiden tot een afname van het aantal sterfgevallen door koude-stress. Veranderingen in temperatuur kunnen ook leiden tot een grotere verspreiding van een aantal door parasieten of insecten overgebrachte ziektes, zoals malaria.

⁵ Een verhoging van de temperatuur leidt bijvoorbeeld tot een vermindering van het aardoppervlak dat is bedekt met sneeuw. Sneeuw weerkaatst zonlicht en heeft dus een verkoelend effect. Hoe meer sneeuw smelt, hoe minder zonlicht weerkaatst wordt, wat zal leiden tot een verdere toename van de temperatuur, waardoor er nog meer sneeuw zal smelten, etc.



Bovendien kan een toename en/of verergering van extreme weersomstandigheden, zoals orkanen en hittegolven, leiden tot grote aantallen gewonden en sterfgevallen.

Schade aan gebouwen en materialen

Klimaatverandering kan leiden tot een toename van het optreden van weersextremen zoals orkanen, en mogelijk zullen deze ook intenser worden. Zulke extreme omstandigheden kunnen aanzienlijke schade aan gebouwen, materialen en infrastructuur veroorzaken.

Schadelijke effecten luchtvervuiling (NO_x, PM_{2,5}, PM₁₀)

De emissie van fijnstof (PM_{2,5} en PM₁₀) en stikstofoxiden (NO_x) heeft effect op de luchtkwaliteit. Er zijn verschillende schadelijke effecten en bijbehorende kosten:

Gezondheidskosten

De inademing van fijnstof (met name PM₁₀ en PM_{2,5}) heeft gevolgen voor de menselijke gezondheid en veroorzaakt bijvoorbeeld een verhoogd risico op hart- en vaatziekten. Deze categorie vormt de belangrijkste post van kosten van luchtvervuiling.

Smogvorming

Onder invloed van stikstofoxiden wordt smog gevormd in de lucht. Bij meteorologisch ongunstige omstandigheden ontstaat een verhoogde ozonconcentratie die - ook bij gezonde mensen - acute ademhalingsklachten en ontstekingsreacties van de luchtwegen kan veroorzaken.

Verzuring

Depositie van stikstofoxiden (NO_x) draagt bij aan de verzuring van de bodem. Bepaalde ecosystemen, zoals heide en venen, ondervinden hier schade van. Tevens kan verzuring leiden tot de aantasting van gebouwen.

Milieuprijzen

De schadelijke effecten van emissies kunnen worden uitgedrukt in milieuprijzen. Deze milieuprijzen beschrijven de maatschappelijke kosten van milieuvervuiling in euro's per kilogram van de betreffende stof. De milieuprijs voor CO₂ is gebaseerd op de preventiekosten voor het realiseren van de 2-gradendoelstelling in 2050.

Voor de emissie van luchtvervuilende stoffen (NO_x, PM_{2,5}, PM₁₀) is de plaats van de emissiebron van belang. Emissie van fijnstof door verkeer heeft in stedelijk gebied een groter nadelig effect, omdat hier meer mensen worden blootgesteld aan gezondheidschade. Ook de hoogte waarop de emissie plaatsvindt is bepalend: Well-To-Tank-emissies vinden voornamelijk plaats in de industrie/elektriciteitscentrales vanuit hoge schoorstenen. Op deze hoogte hebben de vervuilende emissies een minder schadelijk effect en is de milieuprijs dus lager.

In Tabel 14 staan de milieuprijzen weergegeven die we in deze studie gebruiken.

Tabel 14 – Schaduwprijzen luchtvervuilende en broeikasgasemissies

Stof		Milieuprijs (€ ₂₀₁₅ /kg)	
		TTW	WTT
CO ₂		0,06	
NO _x		34,70	26,81
PM _{2,5}	Grootstedelijk	610,76	36,60
	Stedelijk	197,18	
	Landelijk	119,40	
PM ₁₀	Grootstedelijk	244,26	22,70
	Stedelijk	78,76	
	Landelijk	47,74	

Bronnen: Externe en infra-structuurkosten van verkeer (CE Delft, 2014a) en Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017).

Colofon

Delft, CE Delft, september 2018

Deze publicatie is geschreven door:

Maarten 't Hoen (hoen@ce.nl)

Jacobine Aalberts (aalberts@ce.nl)

Publicatienummer: 18.4K85.096

Openbaar vervoer / Autobussen / Brandstoffen / Motoren / Duurzaam / Economische factoren /
Maatschappelijke factoren / Kosten / Rendement / Milieu

Opdrachtgever: PitPoint B.V.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft



CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.