

ROADMAP

voor vermindering van klimaat- en luchtmissies van vrachtvervoer.



Colofon:

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Van Lier, T.; Mommens, K.; Vanhulle, A.; Van Winckel, J.; Macharis, C. (2019). Roadmap voor vermindering van klimaat- en luchtemissies van vrachtvervoer. Departement Mobiliteit en Openbare Werken: Brussel.

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Depotnummer Roadmap: D/2019/3241/061

Depotnummer Bijlage: D/2019/3241/062

Juridische kennisgeving:

De inhoud van deze publicatie reflecteert niet noodzakelijkerwijs deze van het departement Mobiliteit en Openbare werken of andere instellingen van de Vlaamse Overheid.

Contact:

Departement Mobiliteit en Openbare Werken

Contactpersoon: Klaas Van Cauwenberg

E-mail: beleid@mow.vlaanderen.be

Vrije Universiteit Brussel - MOBI

Contactpersoon: Prof. Dr. Cathy Macharis

E-mail: Cathy.Macharis@vub.be

Vlaams instituut voor de Logistiek (VIL)

Contactpersoon: Steve Sel

E-mail: Steve.Sel@vil.be

Sweco Belgium nv

Contactpersoon: An Vanhulle

E-mail: An.Vanhulle@swecobelgium.be

Beeldverantwoording voorblad: Sweco, fotograaf Casper Hedberg, 2016.

INHOUDSOPGAVE

01. Inleiding en methodiek p.14

- .1 Inleiding p.17
- .2 Toegepaste vervoersmodellen p.24
- .3 Emissiefactoren p.30
- .4 Elasticiteit p.38
- .5 Elektrisch energieverbruik p.46
- .6 Well to tank analyse van energiedragers p.49

02. Maatregelenfiches p.72

- .1 Koolstofbijdrage p.76
- .2 Fiscale kostenverhoging wegvervoer p.82
- .3 Ruimtelijke planning p.88
- .4 Multimodaal vervoer – subsidie p.92
- .5 Multimodaal vervoer – infrastructuur p.96
- .6 Havenscenario p.102
- .7 Stedelijke logistiek p.106
- .8 Stedelijke phase-out van verbrandingsmotoren p.112
- .9 Batterij-elektrische voertuigen weg p.118
- .10 Waterstof p.128
- .11 CNG/LNG en CBM/LBM voertuigen p.138
- .12 Combinatie van diesel met aardgas en biodiesel met biomethaan p.148
- .13 Electric Road System p.156
- .14 Platooning p.164
- .15 CO₂-emissiestandaarden p.168
- .16 Operationele en Logistieke efficiëntieverbetering p.180
- .17 CO₂-emissiereductie binnenvaart p.196
- .18 CO₂-emissiereductie spoorvervoer p.206
- .19 Kilometerheffing (detailbespreking) p.214

03. Voorkeursscenario p.230

Leeswijzer

Dit document bevat de resultaten van de in 2018 uitgevoerde studie 'Roadmap voor de vermindering van klimaat- en luchtmissies van vrachtvervoer' en is opgebouwd uit drie onderdelen:

- Een inleidend deel (blz. 7-60) met toelichting over het kader, de methodiek en het stappenplan van de studie, over de verkeersmodellering en de toegepaste vervoersmodellen en emissiefactoren. Daarna wordt ingezoomd op de problematiek van de elasticiteit van de transportvraag en van het elektrisch energieverbruik bij enkele maatregelen. Ten slotte geven we ook een inleidend overzicht van de impact van de well-to-tank (WTT) emissies op de totale CO₂-uitstoot van de verschillende energiedragers.
- Het tweede en grootste deel van dit document (blz. 64-219) bevat een overzicht van alle onderzochte maatregelen in fichevorm. Er worden 19 maatregelen beschreven en per maatregelenfiche wordt toegelicht hoe deze maatregel in de verkeersmodellen werd onderzocht. Het CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030 wordt beschreven. Bij elke maatregel wordt kort ingegaan op de mogelijke effecten op luchtvervuiling, eventuele modale verschuivingen of secundaire effecten. Ook mogelijke lock-ins en het toepassingsgebied van elke maatregel komen aan bod. Voorwaarden en barrières om deze maatregel te implementeren worden eveneens toegelicht. Telkens wordt ingegaan op de kosteneffectiviteit en de timing (technische implementeerbaarheid). Elke fiche wordt afgerond met een samenvattende conclusie over de mogelijke opname van deze maatregel in het voorkeurscenario.
- Ten slotte (blz. 221-240) wordt ingegaan op het voorkeurscenario en de eigenlijke roadmap voor Vlaanderen. De voorkeursmaatregelen worden beschreven, samen met het besparingspotentieel van de combinatie van deze maatregelen, dat eveneens berekend werd via de verschillende verkeersmodellen. Bijkomende maatregelen komen eveneens aan bod en er wordt afgesloten met een toelichting over de implementatie van deze maatregelen aan de hand van een tijdslijn. Dit document wordt afgesloten met enkele kanttekeningen over de onzekerheden verbonden aan de maatregelen en de aanpak van deze studie.

Korte samenvatting

Het verband tussen enerzijds transport en anderzijds broeikasgasemissies en luchtvervuiling zorgt voor grote maatschappelijke uitdagingen op vlak van klimaatverandering en leefbaarheid. Volgens het recente ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan van de Vlaamse Overheid bedraagt het aandeel van transport in de niet-ETS sectoren* niet minder dan 35%, waarvan ongeveer 35% afkomstig is van goederenvervoer. Voor transport wordt in het Vlaams Klimaatbeleidsplan als doelstelling een minimale daling van de broeikasgasemissies tegen 2030 met minstens 27% ten opzichte van 2005 vooropgesteld. Echter, vanwege de specifieke uitdagingen voor goederenvervoer wordt daar zelfs met de in het Klimaatbeleidsplan voorgestelde bijsturing van het beleid nog steeds een toename met 3% verwacht tegen 2030 ten opzichte van 2005. Bij ongewijzigd beleid zou de uitstoot van goederenverkeer evenwel met 19% stijgen. Er stellen zich dus grote uitdagingen om deze sector koolstofarm te maken. Recent heeft de Europese Commissie bovendien de verhoogde ambitie uitgesproken om tegen 2050 klimaatneutraal te worden.

Om een wetenschappelijk onderbouwde basis te hebben voor het ondersteunen van het politieke en maatschappelijke debat rond de ontwikkeling van een strategie voor de noodzakelijke vermindering van emissies afkomstig van het goederentransport lanceerde de Vlaamse Overheid (departement MOW) in 2017 de studieopdracht "Roadmap voor de vermindering van klimaat- en luchtmissies van vrachtvervoer". De studie focust in hoofdzaak op de CO₂-uitstoot van goederenvervoer in Vlaanderen via weg, binnenvaart en spoor. De impact op luchtkwaliteit wordt evenwel mee bekeken. De studie, uitgevoerd door VUB-MOBI, Sweco Belgium en VIL, onderzoekt welke maatregelen voor Vlaanderen mogelijk zijn rekening houdende met het potentieel, de kostenefficiëntie, de praktische haalbaarheid en het draagvlak. De studie richt zich op 2030, maar kijkt ook verder naar 2050.

De studie werd in vier grote stappen uitgevoerd tussen september 2017 en december 2018. In een eerste stap werd een analyse en inventarisatie opgemaakt van de belangrijkste trends en de doelstellingen op Europees, Belgisch en Vlaams niveau in kader van broeikasgasemissies. Vervolgens werd uit een opgestelde longlist met meer dan 300 maatregelen een shortlist samengesteld met een twintigtal maatregelen. In een derde stap werd het effectieve CO₂-besparingspotentieel van deze maatregelen onderzocht via vervoersmodellering en werd de haalbaarheid en draagvlak van de maatregelen afgetoetst bij actoren en stakeholders. De laatste stap resulteerde in de bepaling van het voorkeursscenario met gedetailleerde beschrijving van de individueel opgenomen maatregelen in fiches waarin onder andere aandacht is voor de modelresultaten, de modelaannames, het effect op luchtvervuiling, het toepassingsgebied van de maatregel, de kosteneffectiviteit, en de timing, de barrières en de voorwaarden voor invoering van de maatregel.

Invoering van alle maatregelen in het voorkeursscenario levert een CO₂-besparing op van -10,1% in 2030 ten opzichte van 2005. Vooral maatregelen die ingrijpen in de samenstelling van de voertuigvloot spelen hier een cruciale rol. Uit de studie blijkt bovendien dat er, als de doelstellingen van 2030 en 2050 in acht worden genomen, weinig marge is om maatregelen bij voorbaat uit te sluiten, uit te stellen of enkel te werken op een beperkt aantal maatregelen. Gelet op het belang om tijdig de noodzakelijke CO₂-emissieverminderingen te realiseren om de klimaatopwarming voldoende af te remmen, is het belangrijk om zo snel mogelijk met de invoering van het voorkeursscenario te starten.

* Niet-ETS sectoren: transport, gebouwen, landbouw, afval en niet-ETS-onderdelen van de sectoren industrie en energie.

Samenvatting en beleidsaanbeveling

De Vlaamse Overheid (departement MOW) lanceerde in 2017 de studieopdracht "Roadmap voor de vermindering van klimaat- en luchtmissies van vrachtvervoer". Het doel van deze opdracht was het opbouwen van een wetenschappelijk onderbouwde basis voor het ondersteunen van het politieke en maatschappelijke debat rond de ontwikkeling van een strategie voor de vermindering van de emissies van broeikasgassen en luchtpolluenten afkomstig van het goederentransport. De focus ligt in hoofdzaak op de CO₂-uistoot van het vervoer van goederen in Vlaanderen via de weg, binnenvaart en spoor¹. De impact van de onderzochte maatregelen op luchtkwaliteit werd kwalitatief meegenomen. De studie werd uitgevoerd door een consortium van VUB-MOBI, Sweco Belgium en VIL. De resulterende roadmap geeft aan welke maatregelen voor Vlaanderen mogelijk zijn rekening houdende met reductiepotentieel, kostenefficiëntie, praktische haalbaarheid en draagvlak. De studie richt zich op een tijdshorizon tot 2030, maar bevat ook een doorblik naar de periode tussen 2030 en 2050.

Achtergrond en noodzaak van deze studie

Het verband tussen enerzijds transport en CO₂-emissies en anderzijds transport en luchtvervuiling is wetenschappelijk aangetoond in diverse studies. In Vlaanderen blijkt transport van goederen en personen het grootste sectorale aandeel te hebben in broeikasgasemissies binnen de niet-ETS sectoren. Volgens het recente ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan bedraagt dit niet minder dan 35%. Binnen dit aandeel is ongeveer 35% afkomstig van goederenvervoer.

Bij de start van deze studie was er nog geen aparte doelstelling voor de Vlaamse transportsector gekend. Op 20 juli 2018 werd het ontwerp van het Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 goedgekeurd door de Vlaamse Regering. Hierin wordt de doelstelling voor transport in het beleidscenario vertaald naar een minimale reductie van broeikasgasemissies tegen 2030 met minstens 27% ten opzichte van 2005. Gelet op de specifieke uitdagingen voor goederenvervoer wordt gesteld dat de broeikasgasuistoot binnen deze sector nog mag toenemen met 3% tegen 2030 ten opzichte van 2005. Bij ongewijzigd beleid (*business-as-usual*, BAU) zou de uitstoot van goederenverkeer immers nog met 19% stijgen.

In deze samenvatting wordt de kwalitatieve bespreking van luchtvervuilende emissies niet besproken.

Opzet van de studie

De studie werd in vier grote stappen uitgevoerd tussen september 2017 en december 2018:

1. Voorbereidende stappen: analyse en inventarisatie van de belangrijkste socio-economische trends en de doelstellingen op Europees, Belgisch en Vlaams niveau;

2. Opmaak van shortlists met te onderzoeken maatregelen;
3. Vervoersmodellering van en onderzoek naar de haalbaarheid van maatregelen bij actoren en stakeholders;
4. Bepaling van het voorkeursscenario met gedetailleerde beschrijving van de individueel opgenomen maatregelen.

De shortlists bevatten ongeveer 20 maatregelen en werden door de onderzoekers en de stuurgroep gedistilleerd uit een longlist met meer dan 300 maatregelen, op basis van een eerste inschatting van de haalbaarheid en het potentieel in Vlaanderen. Er werden twee, deels overlappende, shortlists opgesteld: één voor een bevraging bij een ruime groep van stakeholders en één voor de modeldoorrekeningen van de maatregelen. Het aftoetsen van de haalbaarheid gebeurde via een online bevraging, twee klankbordgroepen en een MAMCA-workshop (Multi-Actor, Multi-Criteria Analyse).

Het reductiepotentieel van de maatregelen werd bepaald via vervoersmodellering. Hiervoor werden twee verschillende (complementaire) goederenvervoersmodellen gebruikt: het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen versie 4.1.1 (SVRM) van de Vlaamse Overheid en het agent-based vrachttransportmodel TRABAM, ontwikkeld door de onderzoeksgroep MOBI aan de Vrije Universiteit Brussel. Beide modellen berekenen de situatie in 2030. De kosteneffectiviteit werd hoofdzakelijk becijferd op basis van reeds beschikbare data en studies. Deze werden maximaal aangepast naar de Vlaamse context.

Op basis van deze onderzoeksresultaten werden voorkeursscenario's samengesteld die opnieuw doorgerekend werden in de vervoersmodellen om het cumulatieve effect van maatregelen na te gaan. Deze voorkeursscenario's waren noodzakelijk om de onzekerheid over de toepasbaarheid en effectiviteit van bepaalde maatregelen in overweging te nemen.

De maatregelen zijn beschreven in fiches waarin volgende elementen aan bod komen: het CO₂-reductiepotentieel, de aannames in het gehanteerde vervoersmodel, een kwalitatieve bespreking van het effect op luchtvervuiling, secundaire effecten, mogelijke lock-ins, een toelichting bij een eventuele modale verschuiving, het toepassingsgebied van de maatregel, kosteneffectiviteit, de timing, barrières en voorwaarden van implementatie; en het besluit over het al dan niet opnemen van deze maatregel in het voorkeursscenario. Het voorkeursscenario wordt afzonderlijk toegelicht in een samenvattende fiche waar het CO₂-besparingspotentieel van de gecombineerde maatregelen op een stapsgewijze manier wordt toegelicht. In het voorkeursscenario wordt rekening gehouden met mogelijke cross-over effecten (bijvoorbeeld dubbeltellingen) en interacties tussen de verschillende maatregelen.

¹ Short-sea zit vervat onder binnenvaart. Pijpleidingvervoer zat binnen de scope maar werd niet in detail bestudeerd vanwege het beperkte potentieel voor modale verschuiving. Luchtvaart en de internationale zeevaart vallen buiten de scope van deze studie.

Resultaten van de studie

Maatschappelijk draagvlak en haalbaarheid van de maatregelen

De online bevraging peilde bij verschillende stakeholder-groepen (overheid, ontvangers, verladers, logistieke dienstverleners, maatschappij en leveranciers) naar het belang van verschillende criteria bij de beoordeling van maatregelen, de tijdshorizon, de impact (op broeikasgassen en luchtvervuilende emissies) en de haalbaarheid. De maatregelen die de 83 respondenten kregen voorgelegd worden hieronder weergegeven

De shortlist met de meest interessante maatregelen wordt in deze Roadmap besproken.

1. **Vrijwillige bewustmakingsinitiatieven** met betrekking tot klimaatimpact van transport (bv. opleiding, certificaten Lean & Green, vrijwillige CO₂-rapportering).
2. **Verplichte deelname** aan groene vrachtprogramma's met gestandaardiseerde CO₂-emissierapportering.
3. **Multimodaal transport** via spoor en/of binnenvaart (met verdere uitbouw multimodale transportinfrastructuur).
4. **Verhoogde beladingsgraad** (via o.a. horizontale bundeling, identificeren van retourladingen) met behulp van ICT.
5. Uitbouw van "Physical Internet" (waarbij goederen in een volledig open en verbonden netwerk 'zelf' hun ideale routes met bijbehorend transportmiddel kiezen van de verlader naar de klant, cf. versturen e-mail).
6. **Elektrisch wegvervoer over lange afstand** (> 16 ton) via uitbouw van e-roads (elektrische wegsystemen) op de hoofdwegen.
7. **Elektrisch wegvervoer over regionale middellange afstand** met **elektrische trucks** (3.5 ton - 16 ton) met uitbouw laadinfrastructuur.
8. **Elektrisch wegvervoer over korte afstand** (last mile/stadsdistributie) (<7.5 ton) met elektrische trucks/bestelwagens met uitbouw laadinfrastructuur.
9. **Wegvervoer op gas** (LNG/CNG) met uitbouw van tankinfrastructuur.
10. **Vergroening binnenvaart en spoorvervoer** (alternatieve aandrijvingen, elektrificatie en technologische optimalisatiemogelijkheden).
11. Gebruik van **biobrandstoffen** in transport.

12. **Technische ingrepen in huidige voertuigvloot** (aanpassingen aan bestaande vrachtvoertuigen met verbrandingsmotoren) (ITS systemen met focus op brandstofefficiëntie, aerodynamische aanpassingen, ...).
13. **Technische optimalisatiemaatregelen voor nieuwe geproduceerde vrachtvoertuigen** met verbrandingsmotoren (aanpassingen op vlak van aandrijf- en motorsysteem, warmterecuperatie, gewicht, ontwerp, ...).
14. Afschaffen bestaande (directe en indirecte) **subsidies** voor productie, distributie en gebruik van fossiele brandstoffen.
15. Volledige **phase-out van verbrandingsmotoren** op Europees vlak (geen verkoop meer van nieuwe voertuigen met verbrandingsmotoren).
16. Verplichte integratie van **eco-driving** in rijlessen (hervorming rij-opleiding)
17. bundeling van goederenstromen van en naar steden via **stedelijke distributiecentra**.
18. **Zero emissie vrachtstrategie in steden** (stedelijke phase-out verbrandingsmotoren tegen 2030).
19. Geavanceerde **sturende kilometerheffing** die rekening houdt met tijdstip, locatie en milieu-impact voertuig.
20. **Ruimtelijke planningsopties** ter beperking van fysieke afstanden en ter stimuleringen van intermodaliteit: **verplichte locatie-analyse** voor transportondernemingen en logistieke activiteiten.

De belangrijkste bevindingen uit de bevraging zijn:

De afschaffing van professionele diesel², een phase-out van verbrandingsmotoren, het inzetten van zero-emissie zware vrachtwagens (batterij-elektrisch of op waterstof) en het implementeren van Electric Roads Systems (ERS)³ worden **moelijk haalbaar** geacht tegen 2030.

Het faciliteren van elektrisch korte-afstandstransport, technologische innovaties in ICT en ITS, verplichte eco-driving opleiding, een sturende kilometerheffing, het verhogen van de benuttingsgraad en het faciliteren van modale verschuiving worden **eerder wel haalbaar** geacht.

De **hoogste effectiviteit** op vlak emissiereductie wordt toegeschreven aan het stimuleren van multimodaal transport, het inzetten op elektrisch vrachtvervoer en de phase-out van verbrandingsmotoren op stedelijk of Europees niveau.

De **grootste onzekerheid** wordt geuit bij het gebruik van biobrandstoffen en het afschaffen van professionele diesel.

De respondenten maken weinig verschil in de effectiviteitsbeoordeling van de maatregelen op vlak van luchtvervuilende emissies (NO_x, fijn stof,...) of van broeikasgasemissies.

² Momenteel kunnen professionele dieselgebruikers (zoals transportbedrijven, taxibedrijven e.d.) een gedeelte van de bijzondere accijns terugkrijgen van de Staat. Deze maatregel gaat uit van een afschaffing van deze recuperatie van accijnzen. Hierbij wordt opgemerkt dat deze tegemoetkoming vervangen kan worden door een steunprogramma dat niet via het brandstofgebruik verloopt, zoals investeringssteun, loonlastenverlaging, innovaties-teun,...

³ Electric Road Systems (ERS) of Elektrische Wegsystemen in combinatie met elektrische voertuigen (EV's) zijn een mogelijk zero-emissie alternatief voor het op fossiele brandstoffen gebaseerde wegtransport. ERS zorgen voor een dynamische krachtoverdracht (conductief of inductief) naar de EV's vanaf de wegen waarop de voertuigen rijden. Voor meer informatie wordt verwezen naar de fiche *Electric Road Systems*

Concluderend kan gesteld worden dat de respondenten vooral interesse hebben in vrijwillige maatregelen en technische innovaties die nu of op korte termijn (2020) bedrijfs-economisch haalbaar zijn. Andere maatregelen zoals de uitbouw van het *physical internet* en investeringen in ERS, de introductie van zero-emissie zware vrachtwagens en de phase-out van verbrandingsmotoren worden als moeilijker realiseerbaar ingeschat tegen 2030.

In het onderzoeksproces werd het draagvlak en de haalbaarheid van de geïdentificeerde maatregelen verder onderzocht via een multi-actor multi-criteria analyse (MAMCA) workshop. Deze methode laat toe de impact van de verschillende maatregelen op de relevante criteria van de betrokken stakeholders in kaart te brengen. Hierdoor kan een genuanceerder beeld verkregen worden van de potentiële implementatiebarrières en dus ook de haalbaarheid van de maatregelen per groep van stakeholders. Er werden tijdens de workshop zes maatregelen vergeleken met het BAU-scenario:

- geavanceerde sturende kilometerheffing;
- zero-emissie wegvervoer op korte en middellange afstand;
- stimulering multimodaal transport via spoor en binnenvaart;
- stedelijke phase-out verbrandingsmotoren;
- capaciteit en data delen (met het oog op verhogende be-

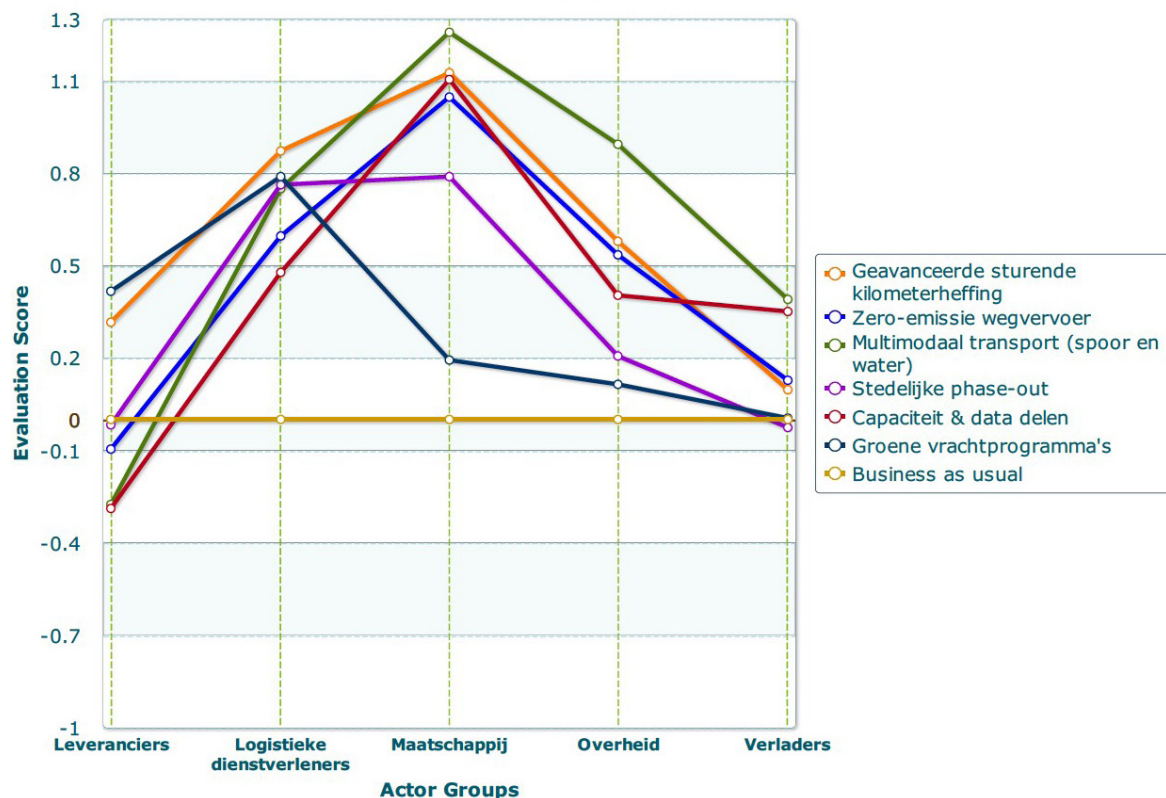
nuttingsgraad);

- verplichte deelname aan groene vrachtprogramma's.

Figuur 1 toont de multi-actor weergave van de resultaten. Bij de leveranciers van technologieën en brandstof werden op basis van zes criteria⁴ vier van de zes maatregelen negatiever geëvalueerd dan de BAU. De andere stakeholdergroepen schatten de maatregelen overwegend positief in maar bij de verladers zijn de inschattingen minder positief dan bij de logistieke dienstverleners en de overheid. De stakeholdergroep "maatschappij" toont overwegend de meest positieve inschatting van de maatregelen. Opvallend is dat een geavanceerde sturende kilometerheffing door al de stakeholdergroepen als beter dan BAU wordt ingeschat.

Diepere analyse op stakeholderniveau geeft voor de geëvalueerde maatregelen de criteria aan waar een negatieve inschatting is ten opzichte van BAU. 'Leveranciers van brandstof en technologie' blijken veel belang te hechten aan operationele haalbaarheid en rendement op investering. Voor de 'verladers' was het plaatje gecompliceerder, met verschillende criteria per maatregel die zowel positief als negatief werden ingeschat. De groep 'logistieke dienstverleners' hecht veel belang aan het criterium veiligheid van de dienstverlening. Bij de 'overheid' spelen criteria zoals ondernemingsklimaat en maatschappelijk draagvlak mee.

Figuur 1: Multi-Actor weergave van resultaat MAMCA workshop



⁴ 'Leveranciers van technologieën' beoordeelden de maatregelen op de criteria lokale luchtkwaliteit, broeikasgasemissies, operationele haalbaarheid, rendement op investering, duidelijk beleidstraject vanuit de overheid en verkeersveiligheid. De andere stakeholdergroepen beoordeelden de maatregelen op basis van licht andere criteria. Het belang dat de stakeholdersgroepen hechten aan bepaalde criteria werd per groep bepaald en was verschillend.

Analyse van de maatregelen

Het zwaartepunt van de studie lag bij het wetenschappelijk onderbouwen van het reductiepotentieel en inschatten van de implementatievoorwaarden van de maatregelen. Voor details en onderbouwing met betrekking tot de verschillende maatregelen wordt verwezen naar de individuele maatregelenfiches en de fiche van het voorkeurscenario. Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van de opgenomen maatregelen en de verschillende stappen die werden doorlopen bij het berekenen van het gecombineerde besparingspotentieel van de verschillende varianten van het voorkeurscenario.

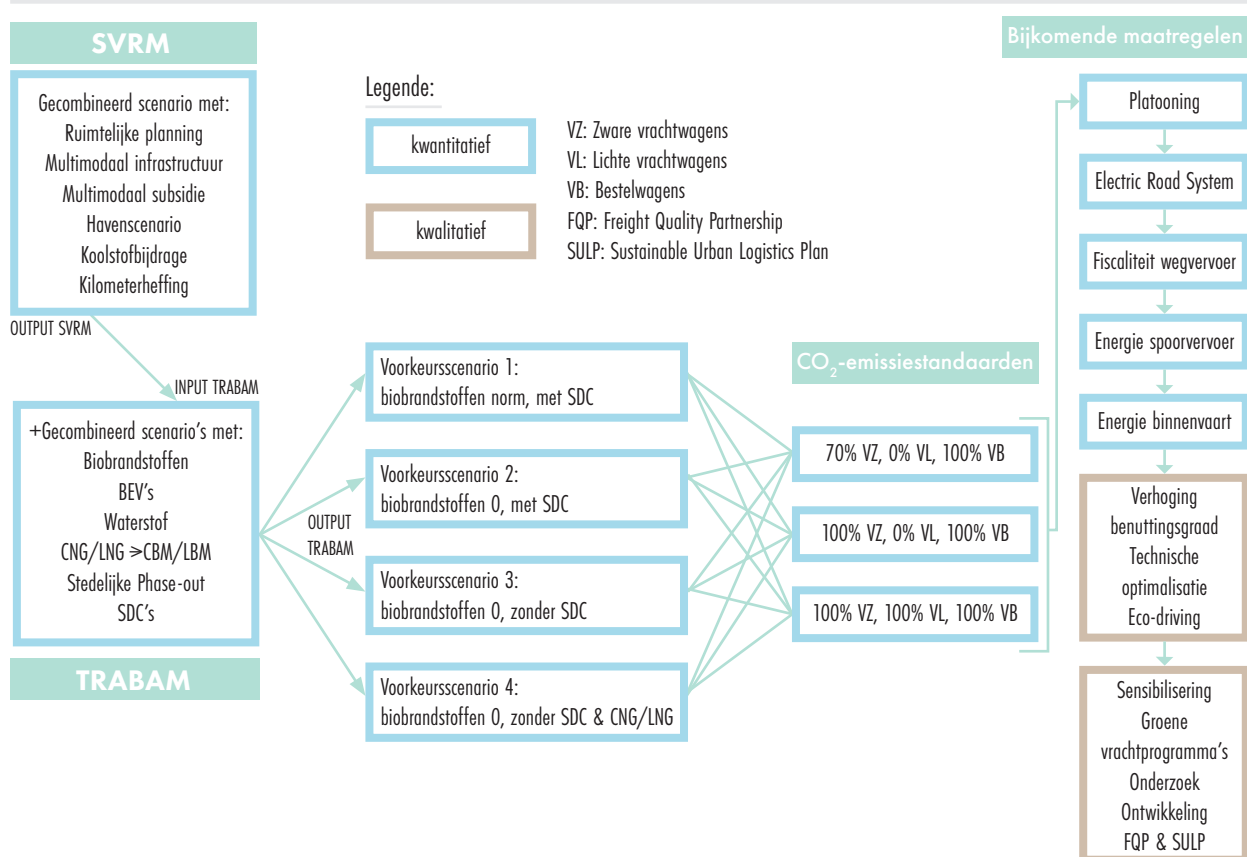
Er werden met zowel het SVRM als TRABAM telkens 6 maatregelen doorgerekend. Deze 12 basismaatregelen werden vervolgens samen doorgerekend om het gecombineerde effect te bepalen. Dit gebeurde in 4 varianten, waarbij er 3 maatregelen werden verwijderd of aangepast. De wenselijkheid van deze maatregelen was immers nog niet duidelijk. Het gaat om de maatregel 'verplicht gebruik van stedelijke distributiecentra (SDC)', omwille van het beperkte draagvlak; de maatregel 'biobrandstoffen', omwille van twijfel over de beschikbaarheid van voldoende duurzame brandstoffen en de impact van het al dan niet doorrekenen van de broeikasgasemissies ten gevolge van productie en transport van deze biobrandstoffen; het 'gebruik van LNG/CNG' omwille van hun twijfelachtige rol in een lange-termijn strategie van volledige decarbonisering.

De vier gecombineerde voorkeurscenario's werden vervolgens aangevuld met maatregelen waarvan het doorrekenen met vervoersmodellen in deze studie geen meerwaarde betekende of maatregelen die niet in het basis voorkeurscenario opgenomen werden. In een eerste fase werd de impact van het invoeren van CO₂-emissiestandaarden voor nieuwe vrachtwagens en bestelwagens in rekening gebracht⁵.

Tabel 1 geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten. In de variant van het voorkeurscenario waarbij een emissiefactor wordt toegepast op biobrandstoffen en er met stedelijk distributiecentra wordt gewerkt, blijft er een stijging van de CO₂-emissies met 9,4% ten opzichte van 2013 Referentie (basisjaar gehanteerd in de vervoersmodellen). De variant waarbij klimaatneutrale biobrandstoffen worden beschouwd maar zonder stedelijk distributiecentra en zonder LNG/CNG slaagt er nipt in een CO₂-besparing van -0,1% te realiseren.⁶ Wanneer bij deze laatste variant ook de bijkomende maatregelen van het voorkeurscenario geïmplementeerd worden resulteert dit in een CO₂-besparing van -7,3%.

Indien naast de in de tabel opgenomen maatregelen, ook het verplicht gebruik van stedelijke distributiecentra, het stimuleren van gebruik van CNG en LNG en de uitbreiding

Figuur 2: Overzicht varianten voorkeurscenario en opgenomen maatregelen



⁵ Er werden met oog op een sensitiviteitsanalyse drie varianten van dit scenario beschouwd waarin de CO₂-emissiestandaarden van toepassing zijn op telkens een ander deel van de zware voertuigvloot en de hiermee gereden voertuigkilometers (vkm). De in deze samenvatting weerhouden variant stemt overeen met het huidige voorstel van de Europese Commissie waarbij de CO₂-emissiestandaarden een impact hebben op 70% van de voertuigkilometers afgelegd door zware vrachtwagens.

⁶ Klimaatneutraal transport doelt op alternatieven zoals geavanceerde biobrandstoffen waarbij er geen bijkomende broeikasgassen worden uitgestoten maar waar door de interne verbrandingsmotoren wel nog NO_x en fijn stof aanwezig blijven in de uitlaatgassen. Er kan dus niet gesproken worden over zero-emissie voertuigen.

Tabel 1: CO₂-besparingspotentieel van het voorkeurscenario en bijkomende maatregelen

Vervoerwijze/scenario	Voorkeurscenario 4 incl. bijkomende maatregelen									
	Ref basisjaar SVRM 2013	2030 BAU	Voorkeurscenario 1 (o.a. Biobrandstoffen EF; MET SDC)	Voorkeurscenario 4 (o.a. Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC en ZON- DER LNG/CNG)	+ emissiestandaarden	+ emissiestandaarden + Platooning	+ emissiestandaarden + Platooning + ERS	+ emissiestandaarden + Platooning + ERS + Fiscaliteit	+ emissiestandaarden + Platooning + ERS + Fiscaliteit + Spoor	+ emissiestandaarden + Platooning + ERS + Fiscaliteit + Spoor + Binnenvaart
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Weg	3.759	4.539	4.029	3.664	3.563	3.539	3.441	3.420	3.420	3.420
Binnenvaart	71	118	133	133	133	133	133	133	133	107
Spoor	22	34	53	53	53	53	53	53	42	42
Totaal	3.759	4.539	4.029	3.664	3.563	3.539	3.441	3.420	3.420	3.420
% verschil t.o.v. 2030 BAU	71	118	133	133	133	133	133	133	133	107
% verschil t.o.v. 2013	22	34	53	53	53	53	53	53	42	42
Besparing CO ₂ t.o.v. 2030 BAU			477	842	943	967	1.065	1.086	1.096	1.121

van de CO₂ emissiestandaarden naar 100% van de zware vrachtwagens zouden meegenomen worden, dan kan een bijkomende besparing van zo'n 3,3% gerealiseerd worden tot -10,7%. Dit zijn evenwel maatregelen waarvan de haalbaarheid minder hoog (in geval van 100% CO₂-emissiestandaarden of verplichte stedelijke distributiecentra) of wenselijk (in geval van CNG en LNG) wordt ingeschat.

Daarnaast zijn er nog een aantal maatregelen waarvan de CO₂-besparing moeilijker te kwantificeren is, maar die wel kwalitatief werden toegevoegd aan de roadmap. Het gaat om faciliterende en stimulerende maatregelen die ervoor moeten zorgen dat de hiervoor opgenomen maatregelen in de praktijk worden opgepikt en toegepast. Het gaan dan om zaken zoals sensibilisering en bewustmakingscampagnes, deelname aan groene vrachtprogramma's, ondersteuning van innovatie, opstellen van Freight Quality Partnerships en Sustainable Urban Logistics Plans.

Om het berekende besparingspotentieel af te zetten tegen basisjaar 2005 werden in Tabel 2 de resultaten afgezet tegenover de emissies uit de MIRA kerndataset.

Ten opzichte van 2005 levert het voorkeurscenario (4) een CO₂-emissiedaling op van -3%. Worden bijkomende maatregelen genomen, is een daling met -10% mogelijk.⁷

De modeldoorrekeningen van het voorkeurscenario geven aan dat de +3% subdoelstelling voor goederenvervoer in het beleidsscenario van het ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 haalbaar is als minstens een belangrijk deel van de maatregelen uit het voorkeurscenario geïmplementeerd worden onder de in de studie gehanteerde assumpties.

Tabel 2: Emissies voorkeurscenario t.o.v. 2005

Vervoerwijze/ scenario	Referentiejaar 2005 Extrapolatie o.b.v. MIRA kerndataset	Ref. Basisjaar SVRM 2013	2030 BAU	Voorkeurscenario (4)	Voorkeurscenario met bijkomende maatregelen
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer	3.858	3.759	4.539	3.664	3.420
Binnenvaart	82	71	118	133	107
Spoor	29	22	34	53	42
Totaal	3.969	3.852	4.691	3.849	3.570
% verschil t.o.v. 2030 BAU				-17,9%	-23,9%
% verschil t.o.v. 2013			18,2%	-3,0%	-10,1%
Besparing CO ₂ t.o.v. 2005				120	399

⁷ Indien ook het verplicht gebruik van stedelijke distributiecentra, het stimuleren van gebruik van CNG en LNG en de uitbreiding van de CO₂ emissiestandaarden naar 100% van de zware vrachtwagens meegenomen worden, dan komt de besparing uit op -13,3%.

Beleidsaanbevelingen

De voorziene economische groei zal tot 2050 tot een verdere toename van goederenvervoer leiden. Deze toename kan samengaan met het behalen van de 2030-klimaatdoelstellingen indien de nodige maatregelen tijdig genomen worden. Uit deze studie blijkt dat een doorgedreven inzet op modale verdeling noodzakelijk is om deze groei van transport op te vangen. Dit kan door duidelijke doelstellingen op te leggen aan nieuwe logistieke hotspots en uitbreidingen van bestaande infrastructuur in zowel de conceptfase als tijdens de uitbatingsperiode en door een gelijk spelveld te creëren met de andere modi. Uit de studie blijkt dat volledige internalisatie van externe kosten zonder flankerende maatregelen niet aangewezen is⁸. Een uitbreiding van huidige kilometerheffing voor vrachtvervoer op alle wegen blijkt uit deze studie een interessante denkpiste. Vanuit de sector wordt hier ook een kilometerheffing van personenwagens aan gekoppeld. Bijkomend studiewerk is hier aan de orde. Een gelijk spelveld kan ook verkregen worden door de invoer van een koolstofbijdrage. Uit de studieresultaten blijkt dat een bijdrage van €40 - €100/ton voor significante daling in emissies kan zorgen (minstens -3,2% in 2030 t.o.v. BAU).

Uit de modeldoorrekeningen en literatuuranalyse komt duidelijk naar voor dat vrachttransport sterk inert is voor prijsmaatregelen. Daarenboven is het effect van gecombineerde maatregelen moeilijk in te schatten. Dit komt in deze studie tot uiting doordat bepaalde combinaties van maatregelen rond modale verdeling een lagere emissiereductie te weeg brengen dan de modeldoorrekening van individuele maatregelen. Het realiseren van een modale verschuiving van weg naar spoor en binnenvaart blijkt zelfs met een veelvoud aan maatregelen dan ook geen eenvoudige doelstelling. Het lijkt dan ook dat een modale verschuiving pas mogelijk wordt door naast verschillende financiële maatregelen ook in te zetten op een verbeterde organisatie van multimodaal transport en een mentaliteitswijzigingen over de hele logistiek keten. Belangrijk hierbij is de rol van de zeehavens. In deze studie werden de streefcijfers die door de havens zelf als realistisch haalbaar naar voor werden geschoven als ambitiedoelstellingen naar 2030 toe in de modellering opgenomen. Het niet bereiken van deze ambities in 2030 brengt het behalen van de CO₂-emissiedoelstellingen van de hele Vlaamse transportsector in gevaar. Het streven naar modale verschuiving kan gepaard gaan met een verdere verduurzaming van spoor en binnenvaart. Vooral de binnenvaart loopt op vlak van luchtvervuilende emissies sterk achter op technologische evoluties in het wegtransport. Dit mag echter de competitiviteit van deze sectoren niet in het gedrang brengen. Het aandeel van beide modi blijft, ook bij doorgedreven modale verdeling en een sterke emissiedaling bij wegtransport, slechts een beperkt aandeel (+/- 4,3%) hebben in de totale CO₂-emissies van goederenvervoer.

Aansluitend bij het streven naar een meer duurzame modale verdeling ondersteunt deze studie een verhoogde concentratie van (toekomstige) bedrijvigheid langs internationale (zeehavens, luchthavens) en regionale logistieke knooppunten (RLK). Deze RLK liggen op strategische, multimodaal ont-

sloten locaties nabij bestaande bedrijvigheid en bewoning, resulterend in betere multimodale opportuniteiten en bundelingspotentieel van goederenstromen. Het uitbouwen van RLK is conform de visie van het beleidsplan Ruimte Vlaanderen (BRV) inzake verdichting en verweving van functies. Hoewel deze maatregel voor een beperkte besparing zorgt naar 2030 toe, is het een essentieel onderdeel uit van de roadmap, omwille van het effect op langere termijn (2050).

De verwachte transportgroei, de prijsinelasticiteit van transport en de trage effectiviteit van ruimtelijke planning tonen aan dat het vermijden van overbodig transport in de opmaak van toekomstig beleid geen taboe mag zijn. Voor Vlaanderen en België kan het afbouwen van de maatregel rond professionele diesel soelaas brengen. De studie toont aan dat een stopzetting kan leiden tot een daling van verkochte dieselbrandstof van 7% tot 18% (obv. brandstofverbruik 2016). In CO₂-emissies gaat het om een soortgelijke daling die ook meegenomen wordt in de rapportage naar de EU. In eerste instantie zou deze fiscale ingreep tot een aanpassing van het tankgedrag leiden (minder of geen tanktoerisme) en in tweede instantie tot het vermijden van transport van goederen die niet betrokken zijn bij de Vlaamse of Belgische economie. Een gezamenlijke daling tot 14% van voertuigkilometers van zwaar en licht vrachtvervoer zou mogelijk zijn. Deze maatregel leidt overigens tot staatsinkomsten en maakt ook het spelveld voor alternatieve brandstoffen eerlijker. De sector heeft zich tijdens de consultatierondes negatief over deze maatregel uitgesproken, waardoor een uitgebreid sectordebat over flankerende maatregelen, aangevuld met een uitgebreider onderzoek, zonder meer noodzakelijk zijn.

Daarnaast blijven efficiëntieverbeteringen in logistieke processen belangrijk om de benuttingsgraad van voertuigen te verhogen (via o.a. bundeling en identificeren van retourvrachten) en zodoende het aantal voertuigkilometers te minimaliseren. De bijhorende emissiereductie valt moeilijker te voorspellen en te kwantificeren. Een moeilijk te overwinnen barrière is het beschikbaar maken, delen en beschermen van (vertrouwelijke) data van competitieve partijen. De oplossingen dienen door de sector naar voor gedragen en geïmplementeerd te worden, waarbij de overheid een faciliterende rol kan spelen.

Deze studie toont aan dat een groot deel van de emissiereductie gerealiseerd wordt via het wagenpark. De gehanteerde veronderstellingen in kader van zero-emissie en klimaatneutrale voertuigtechnologieën zijn daarbij cruciaal. Het al dan niet beschouwen van biobrandstoffen als klimaatneutraal is zeer groot. Dit verklaart tot 9% van de emissiedaling. Indien er emissies van de totale levenscyclus van minder duurzame biobrandstoffen in rekening gebracht dienen te worden (voorkeurscenario 1), is de subdoelstelling voor goederenvervoer van 3% emissietoename slechts haalbaar indien alle maatregelen van het voorkeurscenario worden geïmplementeerd. De mate waarin biobrandstoffen een rol krijgen in de toekomst is ook bepalend voor het belang van investeringen in LNG en CNG. De well-to-wheel emissiedaling van LNG en CNG ten opzichte van diesel wordt door verschillende studies tegengesproken. Duidelijkheid rond

⁸ Uit de doorrekeningen blijkt dat een volledige internalisering zonder flankerende maatregelen een significante CO₂-besparing oplevert die echter voor een groot deel te wijten is aan een ongewenste verschuiving van het zware vrachtverkeer van het hoofdwegenet naar het onderliggende wegenet. Flankerende maatregelen kunnen deze verschuiving tegengaan maar resulteren in een stijging van het totaal aantal voertuigkilometers en ermee gepaard gaande emissies. Naargelang het aandeel zero-emissievoertuigen toeneemt en de externe kosten van emissies in belang afnemen, kan een volledige internalisering van externe kosten met flankerende maatregelen het volledige transportsysteem wel duurzamer maken. Gelet op de complexiteit van dergelijke analyses is bijkomend studiewerk evenwel vereist.

de beschikbaarheid voor de transportsector van grote hoeveelheden hernieuwbaar en duurzaam bio-methaan (CBM en LBM) is noodzakelijk voor het bepalen van toekomstig beleid. Ook voor de andere wagenpark-gerelateerde maatregelen zijn de veronderstellingen met betrekking tot vlootaandelen van alternatieve aandrijvingen sterk bepalend voor de gerealiseerde CO₂-besparingen. Hiervoor werden in deze studie de in het kader van 'Clean Power for Transport' aangeleverde ambitieniveaus gehanteerd. Scherpere ambities resulteren, zeker voor zero-emissie technologieën zoals batterij-elektrische voertuigen, in significant grotere CO₂-besparingen. Daar de penetratiegraad van nieuwe voertuigtechnologieën naar 2030 en 2050 toe niet eenvoudig in te schatten is en dergelijke introducties in het verleden vaak uitdagender bleken dan gepland of gehoopt, werd er in de studie over gewaakt om niet zomaar deze percentages te verhogen. Analyse van het huidige onderzoek toont inderdaad dat er tal van onzekerheden en barrières zijn, maar geeft ook aan dat er veel ontwikkeling is en het gebruik van batterij-elektrische voertuigen steeds realistischer wordt. Mogelijk is er dus ruimte om de ambitieniveaus met betrekking tot elektrificatie te verhogen. De inzet van vrachtwagens op waterstof wordt tegen 2030 enkel optioneel en beperkt meegenomen in het voorkeurscenario, hier lijkt opvolging van deze technologie met doorkijk naar 2050 toe aangewezen.

Hoewel technologische innovatie op interne verbrandingsmotoren een barrière kan zijn voor omschakeling naar alternatieve energiedragers, is het vaststellen van CO₂-emissienormen voor nieuwe lichte en zware bedrijfsvoertuigen met interne verbrandingsmotoren op EU-niveau een noodzakelijke maatregel. Dit wordt versterkt door de onzekerheden over de evolutie in zero-emissietechnologieën en de tijd die een vlootvernieuwing in beslag neemt. Het effect van de CO₂-emissiestandaarden tegen 2025 en 2030 zal pas effect beginnen sorteren in de voertuigvloot na 2030. Voor het realiseren van de post-2030 doelstellingen blijft deze maatregel evenwel belangrijk.

Uit deze studie blijkt dat er in de brede transportsector interesse is om de klimaatemissies te reduceren, maar dat stakeholders niet altijd over de juiste informatie beschikken. De overheid kan hierop anticiperen door specifieke bewustmakingscampagnes te voeren en door bestaande steunprogramma's aan te passen. Maatregelen zoals eco-driving, aerodynamische ingrepen op vrachtwagens en trailers en groene vrachtprogramma's zorgen voor goedkope en directe resultaten. Een inzet op energie-efficiëntie, zowel op vlak aandrijving als op niveau van de logistieke keten, zowel nu als in de toekomst, is essentieel.

De vraag kan gesteld worden of de subdoelstelling in het ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 van +3% CO₂-emissies voor goederenvervoer in 2030 ten opzichte van 2005 het realiseren van de -35% doelstelling voor de gehele non-ETS sector tegen 2030 niet hypothekeert. Dit zal immers afhangen van de kostenefficiëntie van maatregelen in de verschillende sectoren en het draagvlak van de sectoren ten opzichte van elkaar. Ook in het licht van de recent verkondigde doelstelling van de Europese Commissie om koolstofneutraliteit te bereiken tegen 2050 is een ambi-

a priori uit te sluiten. Daar de effectieve impact van de maatregelen gepaard gaat met een zekere mate van onzekerheid (o.a. sterk afhankelijk van de toekomstige kosteneffectiviteit van een bepaalde technologie), is het noodzakelijk om een veiligheidsmarge in CO₂-besparingspotentieel in het voorkeurscenario in te bouwen. Daarnaast is het ook noodzakelijk om snel over te gaan tot de implementatie van het voorkeurscenario om de gecumuleerde uitstoot naar 2050 toe zoveel mogelijk te beperken.

Gelet op het bovenstaande is het noodzakelijk om maximaal in te zetten op de tijdige implementatie van de maatregelen uit de basis van het voorkeurscenario. Het organiseren van optimale en op termijn koolstofneutrale stedelijke distributie vormt hier een belangrijk onderdeel. Een volgende stap is het vergroten van de percentages van zero-emissie en klimaatneutrale voertuigen bij de zware vrachtwagencategorie (>12 ton), aangezien deze categorie verantwoordelijk is voor veruit het grootste aandeel van de broeikasgasemissies. Enerzijds zijn er de uitdagingen op vlak van elektrificatie met batterij-technologie, anderzijds is er de uitdaging om tegen 2030 voldoende aanbod te hebben van betaalbare klimaatneutrale brandstoffen zoals waterstof, biomethaan en biodiesel. Bij het uitblijven van bovenstaande alternatieven biedt ERS een mogelijke oplossing. De voorlopig positieve resultaten van proefprojecten sluiten deze technologie, ondanks de aanzienlijke infrastructuurinvesteringen, niet uit.⁹ Het dichte netwerk van snelwegen, het intensieve gebruik en de eerder beperkte last-mile-trajecten in Vlaanderen en omliggende regio's spreekt in het voordeel van deze technologie. Het technisch en economisch potentieel moet echter nog aangetoond worden. Idealiter zorgt een doorbraak in één van de hogervermelde technologieën voor een economisch competitief alternatief voor dieselvrachtwagens maar het is waarschijnlijker dat verschillende technologieën zich naast elkaar moeten ontwikkelen om elk een bijdragen te leveren aan de decarbonisatie van de vrachttransportsector. Ook belangrijk zijn operationele aspecten zoals het verhogen van de benuttingsgraden in de verschillende transportmodaliteiten, waarvan de CO₂-besparingspercentages nog kunnen toegevoegd worden aan de modelresultaten.

Het lijkt hierbij cruciaal de wereldwijde ontwikkelingen tot decarbonisering van vrachttransport van kortbij op te volgen om het beleid af te stemmen op de potentieel meest waardevolle decarbonisatiepistes. Om op de hoogte te blijven van nieuwe ontwikkelingen en de kansrijke voor Vlaanderen ervan correct te kunnen inschatten kan best maximaal ingezet worden op betrokkenheid bij het uitvoeren van pilootprojecten in lokale en internationale onderzoeksprogramma's. Voor grensoverschrijdend lange-afstandstransport zijn per definitie internationale oplossingen vereist en dient ingezet te worden op Europese oplossingen. Daarbij kan Vlaanderen mee aansturen op werkelijk duurzame oplossingen en vermijden dat verkeerde keuzes gemaakt worden die resulteren in lock-ins met negatieve secundaire effecten.

tieus pad naar verdere decarbonisatie van transport onontbeerlijk. Er wordt daarom door de onderzoekers gesteld dat er geen ruimte is om bepaalde maatregelen uit de roadmap

⁹ ITF (2018) Towards Road Freight Decarbonisation Trends Measures and Policies, ITF Policy Papers, OECD Publishing, Paris

In deze studie zijn de kosten van verschillende maatregelen in beeld gebracht op basis van de huidige wetenschappelijke literatuur en inzichten. Deze kosteneffectiviteitsberekeningen zijn te vinden in de individuele maatregelenfiches. Een kostenanalyse van de gecombineerde scenario's werd niet doorgerekend. Verdere opvolging en studiewerk is hier vereist om de gehanteerde assumpties aan te passen aan de voortschrijdende wetenschappelijke inzichten en de prognoses van essentiële parameters zoals investeringskosten van voertuigen met alternatieve aandrijvingen en de vereiste infrastructuur alsook brandstof- en energieprijzen naar 2030 en 2050 op te volgen. De bedrijfseconomische haalbaarheid van de maatregelen zal samen met het draagvlak bepalend zijn voor het tijdstip, de schaal en de snelheid waarmee ze in de markt geïmplementeerd kunnen worden. Sommige maatregelen zullen daarbij in een initiële fase ondersteuningsmechanismen vanuit de overheid vereisen, wat betekent dat een kostenanalyse van gecombineerde voorkeursscenario's vereist is om de totale impact op de overheidsuitgaven en -inkomsten te bepalen.

In het licht van al de bovenstaande bedenkingen wordt geadviseerd om deze roadmap als een dynamisch werkinstrument te beschouwen, hetgeen periodiek bijgestuurd wordt in het licht van de wijzigende emissiedoelstellingen en op basis van voortschrijdend inzicht met betrekking tot technologieën en maatregelen die nu nog kampen met relatief grote onzekerheden. Uit de analyse blijkt dat er op het vlak van decarboniseren van vrachttransport weinig marge is om maatregelen a priori uit te sluiten, uit te stellen of enkel te focussen op een beperkt aantal maatregelen. Er lijkt eerder nood aan een geïntegreerde en gecoördineerde aanpak tussen verschillende domeinen (energie, ruimtelijke ordening, mobiliteit, onderwijs, economie,...) om met een breed scala aan maatregelen zo spoedig mogelijk deze uitdaging het hoofd te bieden. Gelet op het belang om tijdig de vereiste gecumuleerde CO₂-emissiereducties te realiseren om de klimaatopwarming voldoende af te remmen, is het cruciaal om hiermee zo snel mogelijk mee te starten. Het voortschrijdend wetenschappelijk inzicht geeft immers aan dat de gevolgen van klimaatverandering versnellen en verzwaren.

01.

Inleiding & methodiek

01.1. Inleiding

De Vlaamse Overheid (departement MOW) startte in 2017 een studieopdracht gericht op de vermindering van broeikasgas- en luchtpolluentenemissies van het vrachtvervoer. Deze studie moet dienen als wetenschappelijk onderbouwde basis voor het politieke en maatschappelijke debat over maatregelen en een strategie ter vermindering van de emissies van broeikasgassen en luchtpolluenten door goederen-transport. In het bijzonder behandelt ze de economische en technische aspecten van het toekomstig beleid hieromtrent.

De studie werd uitgevoerd door een consortium van VUB-Mobi, Sweco Belgium en VIL.

In deze 'Roadmap' worden de resultaten van deze studie opgenomen en geëvalueerd. De Roadmap geeft ook aan welke maatregelen in een Vlaamse context geselecteerd kunnen worden rekening houdende met onder meer kostenefficiëntie, reductiepotentieel en haalbaarheid.. Hierbij wordt in de eerste plaats gefocust op de broeikasgasuitstoot van de sector, maar daarnaast wordt omwille van de sterke link ook nagegaan hoe de maatregelen scoren op het vlak van luchtvervuiling. De studie richt zich in de eerste plaats op een tijdshorizon van 2030, maar bevat ook een doorkijk naar de periode tussen 2030 en 2050.

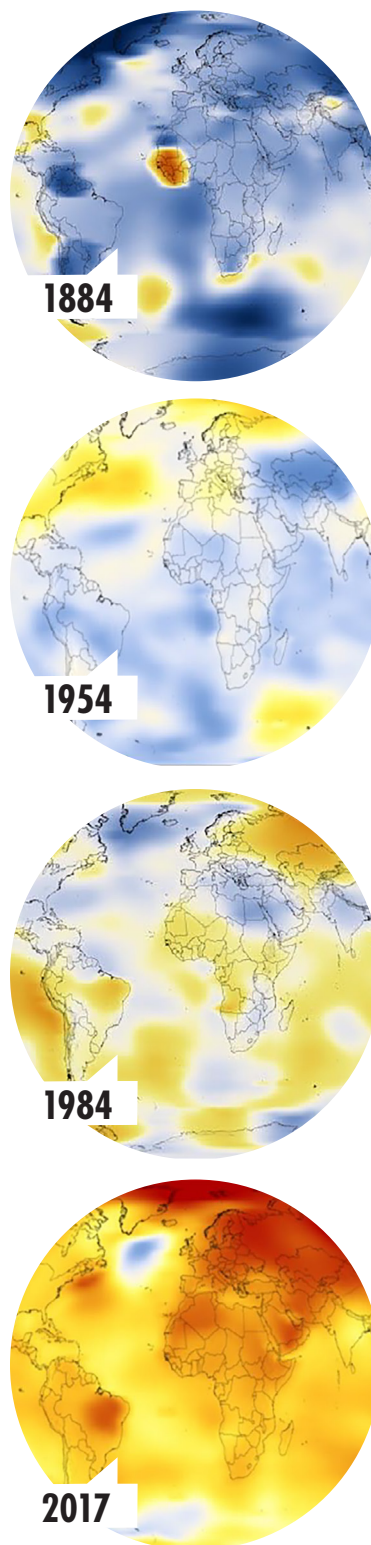
Waarom deze Roadmap?

Onze samenleving ondervindt steeds meer nadelen van de uitstoot van broeikasgassen (CO_2) en van luchtvervuilende stoffen (fijn stof, NO_x ,...). Luchtvervuilende emissies kunnen tot allerlei long- en hartproblemen leiden en de uitstoot van broeikasgassen verstoort het klimaat op Aarde. Voorts gaan zowel de slechte luchtkwaliteit als klimaatverandering gepaard met significante maatschappelijke kosten.

Figuur 3: Air pollution, door Clay Bennet, 2015.



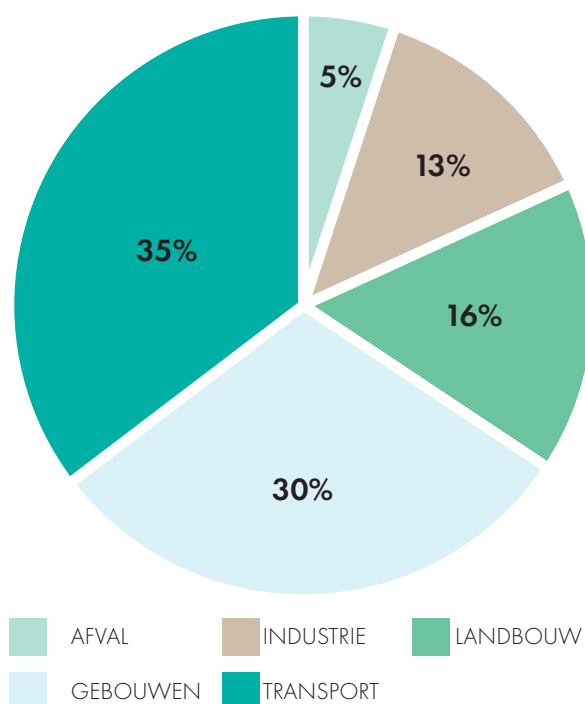
Figuur 4: Wereldhittekaart



Evolutie van het verschil in temperatuur op Aarde tussen 1884 en 2017. De kleurcoderingen geven aan hoe de temperaturen steeds meer afwijken ten opzichte van de gemiddelde temperatuur aan het begin van de metingen. Een donkerblauwe kleur wijst op zones met een lagere temperatuur dan gemiddeld. Een donkerrode kleur wijst op zones die veel warmer zijn dan gemiddeld.

Bron: <https://climate.nasa.gov/interactives/climate-time-machine>

Figuur 5: Sectorale aandelen in de Vlaamse niet-ETS broeikasgassen in 2016
(Bron: Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030, Vlaamse Overheid 2018)



Volgens het recent goedgekeurde Vlaamse Klimaatbeleidsplan is transport verantwoordelijk voor 35% van de niet-ETS broeikasgasemissies in Vlaanderen (zie figuur), daarvan is ongeveer 35% afkomstig van goederenvervoer. In Vlaanderen worden de Europese luchtkwaliteitsnormen op verschillende plaatsen niet gehaald, vooral langs drukke wegen.

Maatregelen om de uitstoot van broeikasgassen, fijn stof en NO_x bij de transportsector te verminderen, zijn dan ook belangrijk om de klimaatdoelstelling te realiseren en om een bijdrage te kunnen leveren aan een betere luchtkwaliteit en meer algemeen aan een gezond milieu in Vlaanderen.

Doelgroep: de transportsector

De Roadmap focust op de logistieke sector die onder de niet-ETS regelgeving valt (zie verder: 'Kader en doelstellingen'). Het gaat hierbij om zware vracht (>3,5 ton) en lichte vracht (<3,5 ton) over de weg¹, binnenvaart, shortsea, spoor en pijpleidingen. De luchtvaart en de internationale zeevaart zijn niet inbegrepen in deze regelgeving en vallen dan ook buiten de scope van deze studie.

Kader en doelstellingen

De EU heeft het klimaatakkoord van Parijs vertaald naar de doelstelling om in 2030 de uitstoot van broeikasgassen met 40% te reduceren ten opzichte van 1990. Deze inspanning wordt onderverdeeld in de zogenaamde ETS en niet-ETS sectoren. ETS staat voor Emission Trading System en werkt met handelbare emissierechten. De niet-ETS sectoren, waarvan de transportsector er één is, vallen onder de verantwoordelijkheid van de individuele Europese lidstaten.

Voor Vlaanderen bedraagt de doelstelling een daling van 35% ten opzichte van 2005 voor de niet-ETS sectoren, die samen goed zijn voor ongeveer 60% van de totale Belgische uitstoot. Er was tot voor kort geen aparte doelstelling voor transport, maar met de recente goedkeuring van het klimaatbeleidsplan is hierin verandering gekomen. Het Vlaamse klimaatbeleidsplan stelt dat de broeikasgasemissies door wegtransport tegen 2030 moeten dalen met minstens 27% t.o.v. 2005, wat betekent dat de uitstoot maximaal 11,5 Mton CO_2 -eq mag bedragen in 2030.

Overige bepalingen in het Vlaams klimaatbeleidsplan zijn:

In het goederenvervoer wordt een verschuiving van 6,3 miljard tonkilometers van de weg naar alternatieve vervoersmodi (via waterweg of spoorwag) vooropgesteld. Het aandeel spoor en binnenvaart in de modale verdeling dient toe te nemen tot 30%.

In de verschillende zeehavens dient sterk ingezet te worden op het gebruik van duurzame modi. Het aandeel van deze modi (spoor, binnenvaart en estuaire vaart) zou ten opzichte van het totaal toe moeten nemen met 5 tot 10% (t.o.v. 2013).

Er dient een daling gerealiseerd te worden van het aantal kilometer over de weg tot max. 51,6 miljard gereden voertuigkilometers in 2030; dit betekent een daling van -15% t.o.v. 2015 voor personenwagens en bestelwagens en een beperking van de toename tot maximaal 14% voor vrachtwagens.

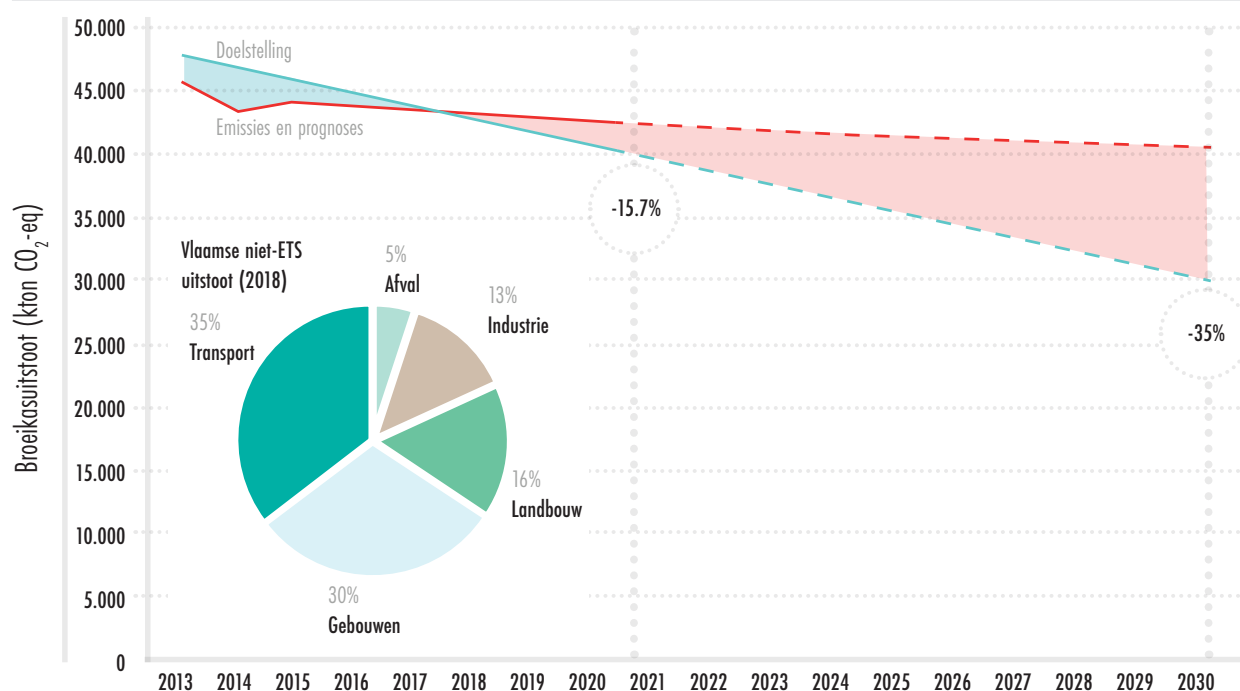
Bij de modellering van bovenstaande ambities wordt verondersteld dat de uitstoot van het vervoer van goederen nog mag toenemen tot 5,9 Mton CO_2 -eq. Dit is een toename van +3% ten opzichte van 2005. Ondanks dat een toename toegelaten wordt, kan gesteld worden dat een krachtige bijsturing van het beleid noodzakelijk is. Bij business as usual zou de uitstoot van goederenverkeer immers met 19% stijgen.

Dit klimaatbeleidsplan moet nog goedgekeurd worden door de Europese Commissie. De Europese Commissie heeft recent zelf een lange-termijn strategie gepubliceerd waarbij klimaatneutraliteit tegen 2050 vooropgesteld wordt.²

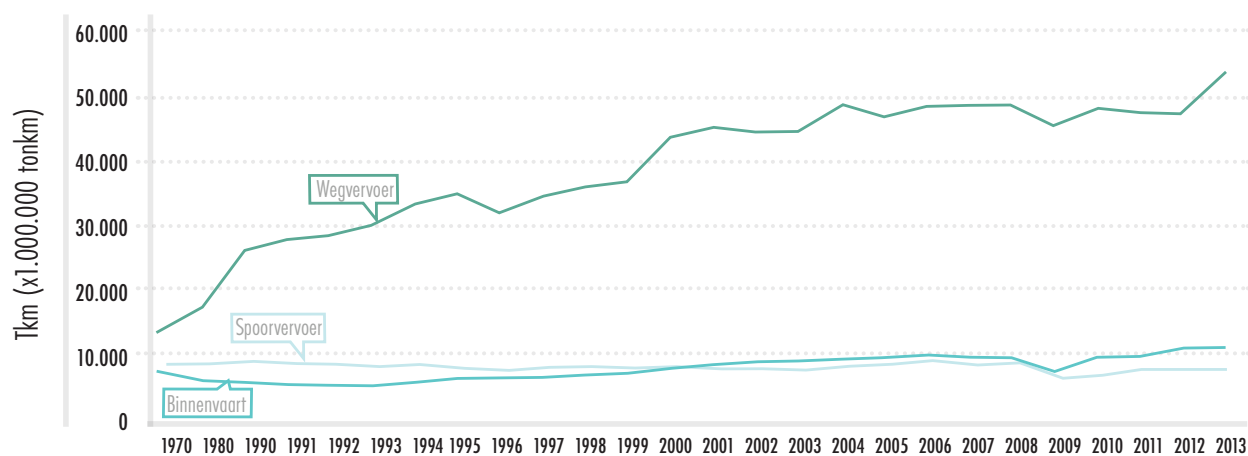
¹ Om verwarring bij verdere lezing van de fiches te vermijden willen we hier meteen stipuleren dat in het kader van de modeldoorrekeningen in het Strategisch Vrachtmiddel Vlaanderen (SVRM) het wegvervoer verder wordt opgedeeld in bestelwagens (<3,5 ton), lichte vrachtwagens (>3,5 ton en <12 ton) en zware vrachtwagens (>12 ton). Een deel van de hier benoemde categorie zware vracht wordt dus met lichte vrachtwagens vervoerd.

² Europese Commissie (2018) A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. COM(2018) 773 final.

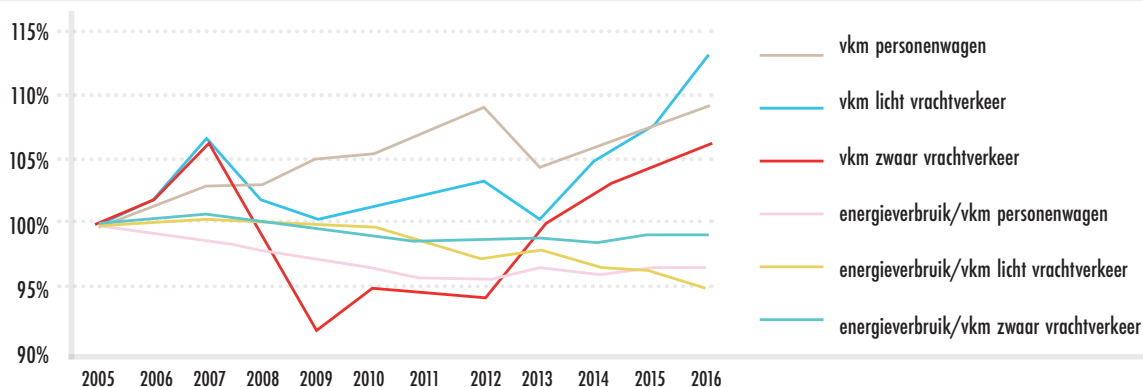
Figuur 6: Uitstootdoelstellingen en effectieve broeikasgasuitstoot in Vlaanderen. (Bron: MOW, 2018, Presentatie Klankbordgroep)



Figuur 7: Evolutie van de tonkilometers in België, naar vervoersmodus. (Bron: MOBI, 2017 gebaseerd op cijfers ITB en STATBEL)



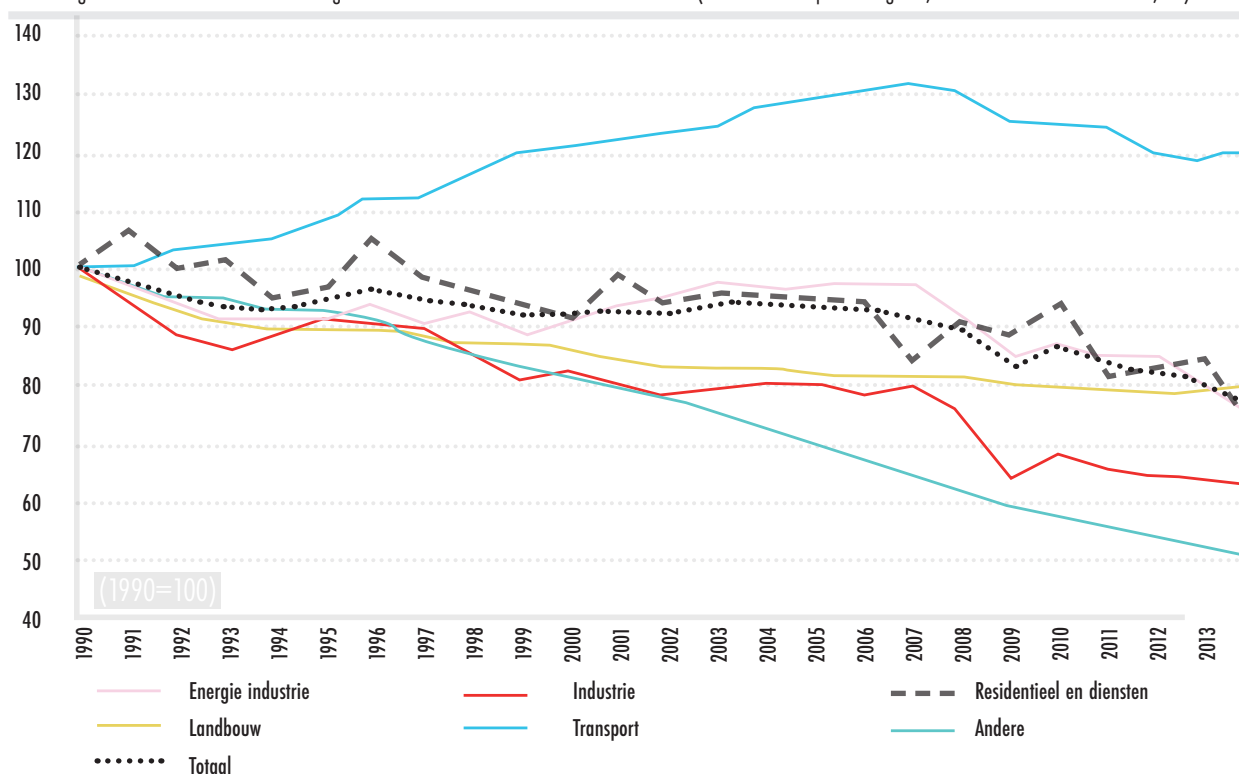
Figuur 8: Evolutie van de voertuigkilometers en efficiëntie van verkeer over de weg in Vlaanderen. (Bron: Vlaamse Overheid, Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 (VR 2018 2007 DOC.0830/2TER))



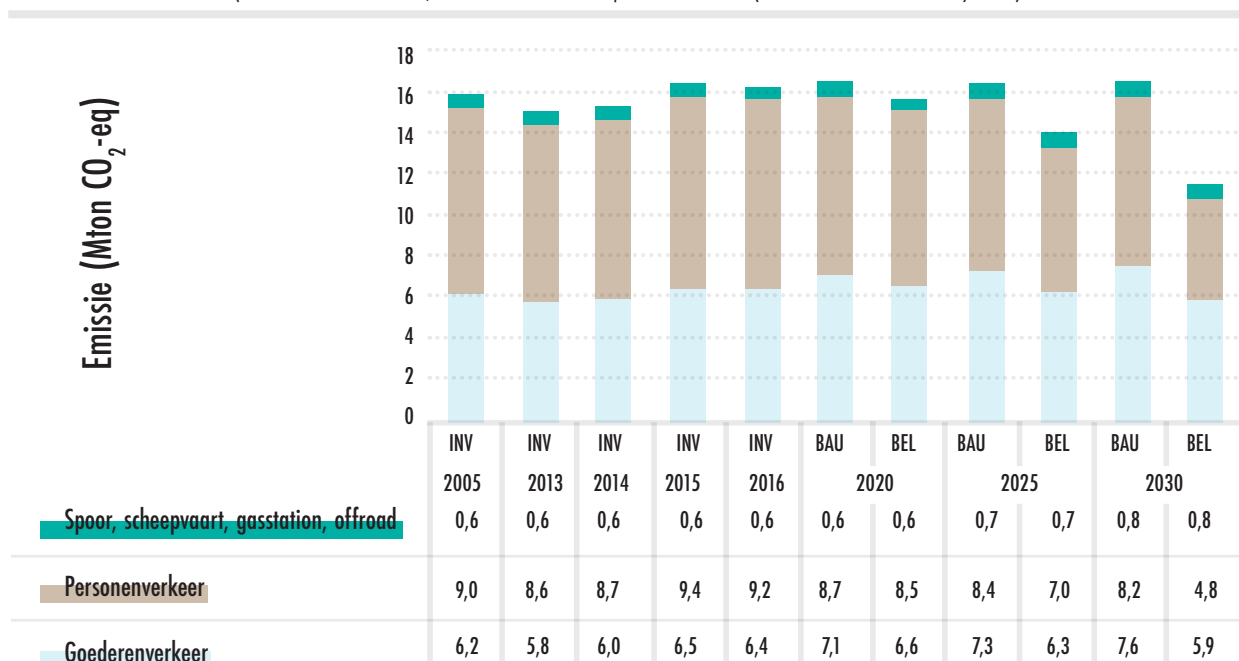
De transportsector heeft in Vlaanderen het belangrijkste aandeel van de niet-ETS uitstoot. Als we rekening houden met de recente evoluties op het vlak van de uitstoot van CO₂, wordt duidelijk dat deze emissies sneller zullen moeten dalen dan in de voorbije jaren. De tussentijdse 2020-doelstelling lijkt heel moeilijk haalbaar en het huidige beleid is onvoldoende om in 2030 de reductie van 27% (ontwerp Vlaamse Klimaatbeleidsplan) te halen.

Als we enkel de Vlaamse transportsector (personen en vracht) beschouwen, zien we tegen 2030 bij een ongewijzigd beleid een toename van de CO₂-emissies van het vrachttransport met ruim 20%, terwijl bij personenvervoer een lichte daling verwacht wordt ten gevolge van technologische verbeteringen. Het aantal kilometers daalt in geen van beide subsectoren. Het is duidelijk dat zowel in het personenvervoer als het goederenvervoer inspanningen nodig zijn om de doelstellingen behalen.

Figuur 9: Evolutie van de broeikasgasuitstoot van de niet-ETS sectoren in de EU (Bron: EU transport in figures, Statistical Pocketbook 2016, EC)



Figuur 10: Overzicht van de emissies en prognoses voor de transportsector (inclusief brandstofsruis) 2005-2030 (Bron: Vlaamse Overheid, Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 (VR 2018 2007 DOC.0830/2TER))



Stappenplan van de studie

De studie werd in vier grote stappen uitgevoerd tussen september 2017 en september 2018:

- De eerste maand werd gebruikt voor alle voorbereidende stappen: analyse en inventarisatie, onder andere van de belangrijkste socio-economische trends en de doelstellingen op Europees, Belgisch en Vlaams niveau;
- In de twee daaropvolgende maanden werd een longlist aan mogelijke maatregelen om de CO₂-uitstoot van het goederenvervoer te verminderen, opgemaakt;
- Het grootste deel van de uitvoeringsperiode werd gebruikt voor de uitvoering van de verkeersmodellering en het onderzoek naar de haalbaarheid bij actoren en stakeholders;
- Ten slotte werd een voorkeurscenario bepaald en werd dit uitgewerkt in deze Roadmap. Er werden ook enkele optionele maatregelen voorgesteld.

De longlist aan maatregelen die in de eerste maanden van de studie werd opgemaakt (meer dan 300 maatregelen), werd geleidelijk verijnd naar een shortlist van iets meer dan 20 maatregelen. Dit op basis van een eerste inschatting van de haalbaarheid en het potentieel in Vlaanderen. Sommige maatregelen overlappen ook deels en werden dan ook samen gebundeld in een overkoepelende maatregel. Er werden verschillende shortlists gemaakt: één voor een bevraging bij een ruime groep van stakeholders en één voor de modeldoorrekeningen van de maatregelen. Sommige maatregelen zijn omwille van de technische randvoorwaarden van een vervoersmodel immers niet geschikt om te modelleren maar kunnen wel interessant zijn. Andere maatregelen zijn dan weer te complex om in een enquête of een workshop te bevragen.

De shortlist met de meest interessante maatregelen wordt in deze Roadmap besproken.

1. **Vrijwillige bewustmakingsinitiatieven** met betrekking tot klimaatimpact van transport (bv. opleiding, certificaten Lean & Green, vrijwillige CO₂-rapportering).
2. **Verplichte deelname** aan groene vrachtprogramma's met gestandaardiseerde CO₂-emissierapportering.
3. **Multimodaal transport** via spoor en/of binnenvaart (met verdere uitbouw multimodale transportinfrastructuur).
4. **Verhoogde beladingsgraad** (via o.a. horizontale bundeling, identificeren van retourladingen) met behulp van ICT.
5. Uitbouw van "Physical Internet" (waarbij goederen in een volledig open en verbonden netwerk 'zelf' hun ideale routes met bijbehorend transportmiddel kiezen van de verlader naar de klant, cf. versturen e-mail).
6. **Elektrisch wegvervoer over lange afstand** (> 16 ton) via uitbouw van e-roads (elektrische wegsystemen) op de hoofdwegen.
7. **Elektrisch wegvervoer over regionale middellange afstand** met elektrische trucks (3.5 ton - 16 ton) met uitbouw laadinfrastructuur.

8. **Elektrisch wegvervoer over korte afstand** (last mile/stadsdistributie) (<7.5 ton) met elektrische trucks/bestelwagens met uitbouw laadinfrastructuur.
9. **Wegvervoer op gas** (LNG/CNG) met uitbouw van tankinfrastructuur.
10. **Vergroening binnenvaart en spoorvervoer** (alternatieve aandrijvingen, elektrificatie en technologische optimalisatiemogelijkheden).
11. Gebruik van **biobrandstoffen** in transport.
12. **Technische ingrepen in huidige voertuigvloot** (aanpassingen aan bestaande vrachtoertuigen met verbrandingsmotoren) (ITS systemen met focus op brandstofefficiëntie, aerodynamische aanpassingen, ...).
13. **Technische optimalisatiemaatregelen voor nieuwe geproduceerde vrachtoertuigen** met verbrandingsmotoren (aanpassingen op vlak van aandrijf- en motorsysteem, warmterecuperatie, gewicht, ontwerp, ...).
14. Afschaffen bestaande (directe en indirecte) **subsidies** voor productie, distributie en gebruik van fossiele brandstoffen.
15. Volledige **phase-out van verbrandingsmotoren** op Europees vlak (geen verkoop meer van nieuwe voertuigen met verbrandingsmotoren).
16. Verplichte integratie van **eco-driving** in rijlessen (hervorming rij-opleiding)
17. bundeling van goederenstromen van en naar steden via **stedelijke distributiecentra**.
18. **Zero emissie vrachtstrategie in steden** (stedelijke phase-out verbrandingsmotoren tegen 2030).
19. Geavanceerde **sturende kilometerheffing** die rekening houdt met tijdstip, locatie en milieu-impact voertuig.
20. **Ruimtelijke planningsopties** ter beperking van fysieke afstanden en ter stimuleringen van intermodaliteit: **verplichte locatie-analyse** voor transportondernemingen en logistieke activiteiten.

In de studie werd zowel aandacht besteed aan het aftoetsen van de haalbaarheid van mogelijke maatregelen als aan het effectieve reductiepotentieel. Het aftoetsen van de haalbaarheid gebeurde via een online enquête, twee klankbordgroepen en een MAMCA-workshop. Het reductiepotentieel werd berekend via verkeersmodellering (zie verder). Er werd overigens ook in de enquête gepeild naar het verwachte reductiepotentieel, soms met verrassende uitkomsten.

Op basis van de onderzoeksresultaten uit de modellering en de stakeholderanalyse en literatuuronderzoek werd ten slotte een voorkeurscenario bepaald, dat opnieuw gesimuleerd werd in het verkeersmodel om het cumulatieve effect na te gaan van de verschillende geselecteerde maatregelen. Dit voorkeurscenario en de resultaten uit het onderzoek worden in deze Roadmap besproken en vertaald naar een stappenplan.

Stakeholderparticipatie om de haalbaarheid van maatregelen af te toetsen

Maatregelen kunnen nog zo doeltreffend zijn, ze moeten voor de transportsector en meer algemeen de maatschappij haalbaar zijn. Daarom werd in de studie grote aandacht besteed aan het betrekken van de stakeholders op verschillende manieren.

Zo werd in de periode december 2017-januari 2018 een online enquête uitgevoerd bij het adressenbestand van VII. Het doel van deze enquête was tweeledig:

- inzicht krijgen in het belang dat verschillende groepen van stakeholders hechten aan verschillende criteria (vb. kosten versus milieuwinst versus klantentevredenheid,...)
- aftoetsen welke maatregelen meer of minder haalbaar zijn voor deze groepen.

De resultaten van deze enquête en de eerste onderzoeksresultaten werden besproken in een eerste klankbordgroep (maart 2018), waarop actoren uit de verschillende stakeholdergroepen werden uitgenodigd.

In april werd vervolgens een MAMCA workshop gehouden, met een (bredere) groep van stakeholders. MAMCA staat voor Multi-Actor Multi-Criteria Analyse en is een beslissingsondersteunende methodologie die de simultane evaluatie van alternatieve beleidsmaatregelen vanuit het perspectief van verschillende stakeholders mogelijk maakt. De workshop liet toe om beter inzicht te krijgen in het belang dat verschillende groepen hechten aan verschillende criteria en in eventuele barrières of voorwaarden om maatregelen te implementeren.

Ten slotte werd in juni een tweede en afsluitende klankbordgroep gehouden om de studieresultaten met de betrokken actoren te bespreken en het voorkeursscenario met deze groep af te toetsen.

De verschillende groepen stakeholders die in het kader van deze studie geïdentificeerd en bevraagd werden zijn:

- Logistieke dienstverleners;
- Verladers;
- Ontvangers van goederen;
- De maatschappij (onder meer Transport&Environment, Bond Beter Leefmilieu, vakbonden); De overheid (onder meer de POM's, VMM);
- Infrastructuurbeheerders;
- Leveranciers van diensten (onder meer VEA, Multimodaal Vlaanderen, Febetra, TLV, Lineas, kenniscentrum Binnenvaart en Fetrap);
- Leveranciers van technologie of brandstof.

De resultaten van de enquête, de MAMCA-workshop en de klankbordgroepen zijn in bijlage opgenomen bij deze Roadmap.

Modellering als middel om het CO₂-reductiepotentieel te bepalen

In deze studie werden verschillende maatregelen individueel doorgerekend in een vervoersmodel. Het vervoersmodel berekent de situatie in 2030 rekening houdend met de implementatie van deze maatregel. Met het resultaat van deze modeldoorrekening kan het verschil worden bepaald ten opzichte van 2013 of ten opzichte van de situatie in 2030 wanneer het beleid niet ingrijpend verandert. Naar dit scenario wordt verder verwezen als het 'business as usual'-scenario (BAU). De BAU komt overeen met het "SO-scenario" van de verkennende beleidsscenario's van het Strategisch Kader Mobiliteitsplan Vlaanderen.

Voor de vervoersmodellering worden twee verschillende (complementaire) vervoersmodellen gebruikt: het Strategisch Vrachtmiddel Vlaanderen (SVRM) en het door de VUB ontwikkelde agent-based vrachtransportmodel Trbam. Meer toelichting over de specificiteiten van elk model vindt u in de fiche "Vervoersmodellen".

Een Roadmap met maatregelen

In deze Roadmap onderzoeken we wat de meest interessante maatregelen zijn die de transportsector in Vlaanderen kan nemen om de emissies zo efficiënt mogelijk te laten dalen.

De effectiviteit en haalbaarheid van de maatregelen werd nagegaan via een ruime stakeholderconsultatie, via vervoersmodellering en via literatuuronderzoek. Deze Roadmap bundelt de informatie uit dit onderzoek samen tot een selectie van CO₂-emissiereducerende maatregelen die het kader kunnen vormen voor de opstap naar de ontwikkeling van een strategie voor de vermindering van de emissies van broeikasgassen en luchtpolluenten afkomstig van het goederentransport. De onderzochte maatregelen worden in fichevorm beschreven en de belangrijkste resultaten van het onderzoek worden in deze fiches opgelijst. De fiches hebben steeds dezelfde opbouw:

- Korte beschrijving van de maatregel. Hierbij wordt ook aangegeven op welke van de 4 A's deze maatregel betrekking heeft (Macharis en Kin, 2017): Awareness (bewustmaking), Avoidance (vermijden van transport), Act & Shift (maatregelen om de vervoersmodus te veranderen), Anticipation (maatregelen om het transport 'groener' te maken). De vijfde A staat voor Actor Involvement (maatregelen die betrokkenheid van actoren vereisen) en deze is voor al de beleidsmaatregelen relevant. Daarnaast wordt ook aangegeven in welke van de twee verkeersmodellen (Trbam of het Strategisch Vrachtmiddel Vlaanderen) de maatregel is gemodelleerd
- Bespreking van het CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030. Hierbij wordt telkens de vergelijking gemaakt met de situatie in 2013 en het 'business as usual' scenario.
- Toelichting bij de aannames die in de verkeersmodellen werden opgenomen

- Kwalitatieve bespreking van het effect van de maatregel op luchtvervuiling, secundaire effecten³, mogelijke lock-ins,...
- Toelichting bij een eventuele modale verschuiving als gevolg van deze maatregel
- Aanduiding van het toepassingsgebied van de maatregel: sommige maatregelen zijn enkel van toepassing op korte- dan wel lange-afstandstransport en/of stedelijk dan wel eerder buitengebied.
- Bespreking van de kosteneffectiviteit van de maatregel
- Timing van de maatregel: wanneer kan ze geïmplementeerd worden en/of vanaf wanneer kan een effect verwacht worden?
- Bespreking van voorwaarden om deze maatregel te kunnen realiseren en eventuele barrières die overwonnen moeten worden vooraleer deze maatregel gerealiseerd kan worden.
- Besluit over het al dan niet opnemen van deze maatregel in het voorkeurscenario en de eventuele vertaling van deze maatregel in dit voorkeurscenario.
- Elke fiche verwijst ook naar bronmateriaal met betrekking tot deze maatregel.

Na deze fiches wordt het voorkeurscenario afzonderlijk toegelicht samen met een stappenplan voor dit scenario. In het voorkeurscenario wordt aandacht besteed aan mogelijke cross-over effecten (bijvoorbeeld dubbeltellingen) en interacties tussen de verschillende maatregelen.

Bronnen

- Macharis, C. en Kin, B. (2017) The 4 A's of Sustainable City Distribution: Innovative Solutions and Challenges ahead, *International Journal of Sustainable Transportation*, Vol. 11, Number 2, pp. 59-71,
- Rodrigue J-P (2017), *The Geography of Transport Systems*, 4^e editie, New York: Routledge, 440 p. <https://transportgeography.org/?page_id=5711>
- Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D'Agosto, D. Dimitriu, M.J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J.J. Schauer, D. Sperling, and G. Tiwari, (2014) Transport. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Skinner I, van Essen H, Smokers R en Hill N (2010) Towards the decarbonisation of EU's transport sector by 2050 Final report produced under the contract ENV.C.3/SER/2008/0053 between European Commission Directorate-General Environment and AEA Technology plc; zie www.eurtransportghg2050.eu
- Vlaamse Overheid, Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 (VR 2018 2007 DOC.0830/2TER)

³ Dit gaat enerzijds om eventuele significante effecten op andere aspecten van de transportsector buiten emissies (zoals bijvoorbeeld congestie) en anderzijds om effecten van een bepaalde maatregel of technologie op andere sectoren buiten transport zoals energie, verwarming en industrie).

01.2. Toegepaste vervoersmodellen

Introductie

In de studie 'Roadmap voor de reductie van klimaat- en luchtmissies van vrachtvervoer' werd in eerste instantie een longlist van meer dan 300 mogelijke maatregelen opge-maakt, die potentieel een bijdrage kunnen leveren tot het behalen van de 2030-klimaatdoelstellingen voor vracht-verkeer. Om een wetenschappelijk onderbouwde inschatting te kunnen geven van het besparingspotentieel voor Vlaanderen van emissiereducerende maatregelen werd geopteerd een aantal van deze maatregelen te simuleren in reeds bestaande en frequent gebruikte transportmodellen. Daar evenwel niet al de maatregelen in aanmerking komen voor modeldoorrekeningen en het tijdsbestek van de studie een selectie van maatregelen noodzakelijk maakte, werd uit de longlist, op basis van wetenschappelijke literatuurstudie, de modelleerbaarheid en aftoetsing met de Vlaamse beleidskaders, een lijst van 15 maatregelen geselecteerd. Het potentieel dat deze vijftien maatregelen op vlak van CO₂ reductie hebben, werd gesimuleerd naar het toekomstjaar 2030. Hiervoor werden twee goederenvervoersmodellen gebruikt: het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen versie 4.1.1 van de Vlaamse Overheid en TRABAM ontwikkeld aan de Vrije Universiteit Brussel – onderzoeksgroep MOBI. De maatregelen werden individueel doorgerekend in één van de twee vervoersmodellen. Vervolgens werd er op basis van de resultaten een voorkeursscenario opgesteld dat sequentieel met beide vervoersmodellen doorgerekend werd. Hieronder volgt een korte beschrijving van beide vervoersmodellen. Dit stelt de lezer in staat om de keuze voor deze vervoersmodellen, de implicaties van het gebruik van elk vervoersmodel en de gemaakte assumpties te begrijpen. Deze achtergrondinformatie met betrekking tot de vervoersmodellen is daarenboven nodig om de resultaten op een correcte manier te kunnen interpreteren.

STRATEGISCH VRACHTMODEL VLAANDEREN

Het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen versie 4.1.1 brengt de grote goederenstromen via de weg, het spoor en de binnenvaart door Vlaanderen in kaart. Het model focust op het Vlaamse grondgebied, maar neemt ook Europese stromen mee. Het werkt volgens de klassieke vier stappen: tripgeneratie, tripdistributie, modale keuze en route allocatie. Goederenvervoersstromen worden gegenereerd op basis van socio-economische parameters en dit voor het basisjaar, alsook voor toekomstjaren 2025 en 2030. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen 20 verschillende goederentypes. Het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen neemt drie transportmodi in beschouwing: wegvervoer, spoorvervoer en binnenvaart. Daarnaast maakt het model gebruik van 'logistieke centra', waar goederen van voertuigtype (bijvoorbeeld van bestelwagen naar zware vrachtwagen) kunnen overgeschakeld worden. Het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen is zoals de naam het aangeeft, een model dat vooral sterk is in de ondersteuning van strategische beslissingen.

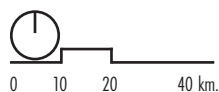
TRABAM

TRABAM staat voor Transport Agent-BASed Model. Het is een agent-based transport model voor goederenvervoer binnen het Belgische grondgebied. TRABAM is ontwikkeld in de open-source software MATSim (Balmer et al., 2006), en bouwt verder op het werk van Schröder et al. (2014). Goederenstromen worden onderverdeeld naar 10 goederentypes en negen verschillende laadeenheden (o.a. pallets, containers), en worden gemodelleerd tussen 4.914 zones in België. Bijgevolg is TRABAM uitermate geschikt voor modeldoorrekeningen van scenario's rond stedelijke logistiek. Import, export en transit stromen worden daarentegen als statisch meegenomen. Dit betekent bijvoorbeeld dat omrij-kilometers in het buitenland ten gevolge van een invoering van een maatregel op het Belgisch grondgebied niet gesimuleerd worden.

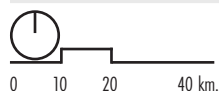
De transportvraag wordt gegenereerd op basis van socio-economische gegevens (Mommens et al., 2017), volgens een vergelijkbare methodologie als die van het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen versie 4.1.1. Voor het toekomstjaar werden dezelfde inputgegevens gebruikt. TRABAM en het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen werden voor deze opdracht geïkt, voor zowel het basis- als het toekomstjaar, zodoende dat de resultaten correct met elkaar vergeleken konden worden.

Figuur 11: Vergelijking saturatiegraad wegennetwerk in 2030 tussen Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen versie 4.1.1 en TRABAM (bron: VUB-MOBI).

VUB-MOBI - MOW Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen
Saturatiegraad - BAU - 2



VUB-MOBI
Saturatiegraad - TRABAM 2030 - 2



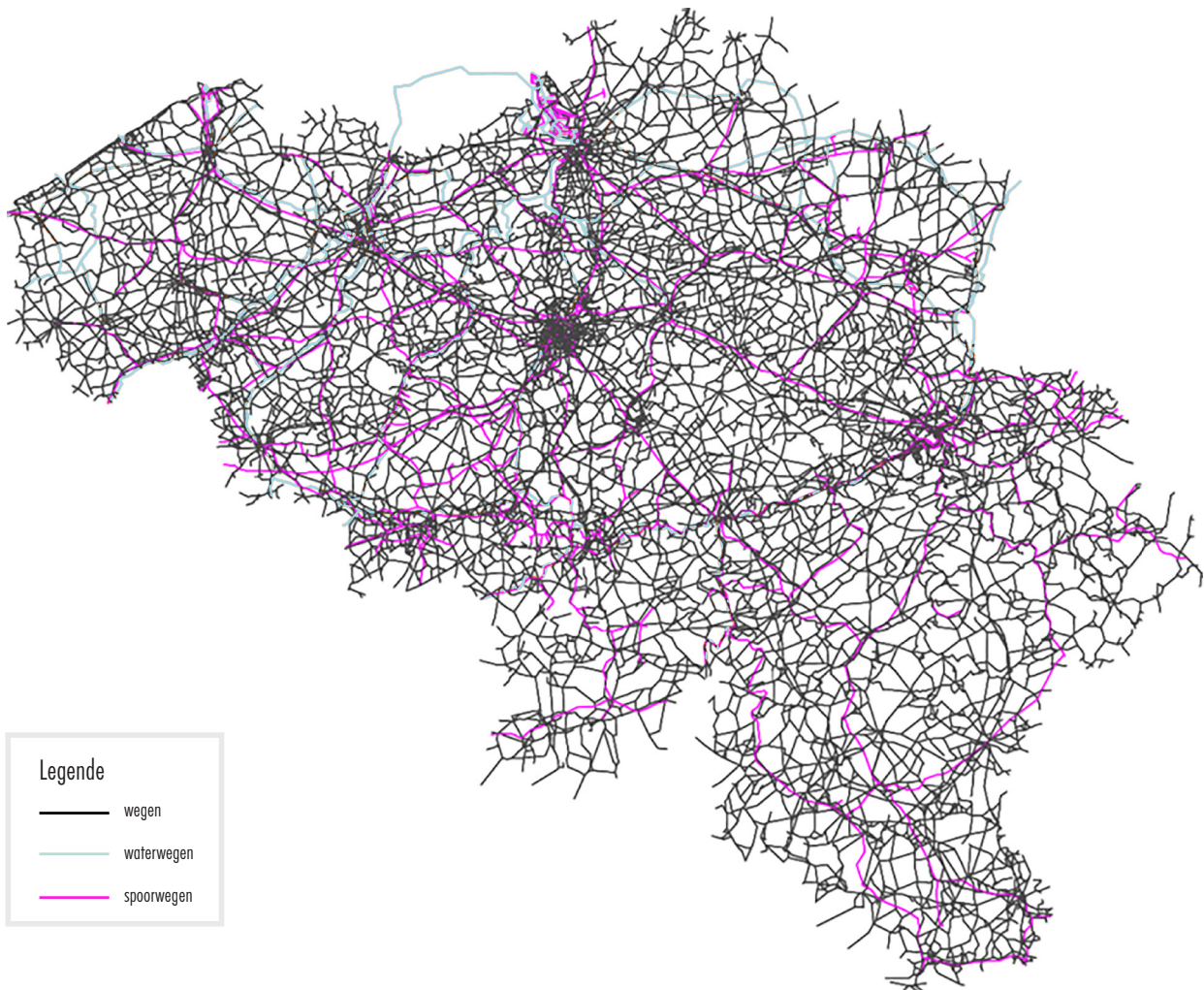
Legende

- 51 - 60
- 61 - 70
- 71 - 80
- 81 - 90
- 91-100

De agents in het model zijn de transporteurs waarvan de reële depot locaties en reële transportvloot naar type voertuig, laadvermogen en EURO-norm in het vervoersmodel zijn opgenomen. Agents maken een dagplanning, zoals echte transporteurs dat doen. Dat plan bevat een route-schema voor elk voertuig, start en eindtijd en het depot van vertrek of aankomst. Een dag-plan impliceert dat TRABAM modelleert op dagbasis. De agents/transporteurs krijgen hun te transporteren goederen toegewezen en staan zelf in voor het maken van hun dag-plan. Ze kiezen daarbij welk voertuig uit hun vloot gebruikt wordt, wanneer dit voer-

tuig het depot verlaat en welke verzendingen het voertuig uitvoert. In het geval van meerdere verzendingen in één voertuig worden de stop-sequentie en routekeuze bepaald. Bijgevolg staat de agent/transporteurs zelf in voor de voertuigkeuze. Wegvervoer, spoor en binnenvaart worden meegenomen. Gezien de modale keuze echter vervat zit bij de meestal unimodale agents, is de modale keuze niet reactief op ingevoerde maatregelen die inzetten op multimodaal transport. Daarom werden maatregelen met betrekking op de modale keuze doorgerekend met het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen.

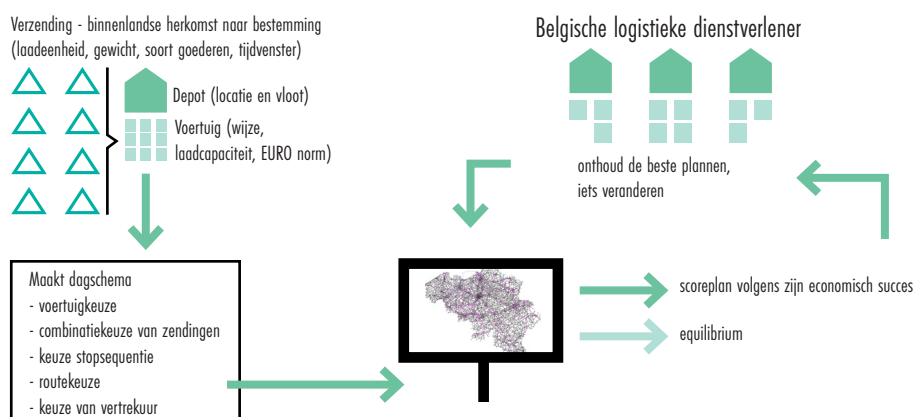
Figuur 12: TRABAM netwerk (bron: VUB-MOBI).



De voertuigen worden individueel op het netwerk gemodelleerd, waarbij een tijdsafhankelijk en voertuigafhankelijk kostenminimalisatie-algoritme de optimale route berekent. Omdat het laadvermogen en EURO-norm aan de individuele voertuigen gekoppeld wordt, neemt TRABAM de integrale differentiatie van de huidige kilometerheffing mee in de modellering. Alle dag-plannen van alle agents worden simultaan uitgevoerd, waarna de agents hun plan evalueren op basis van het economisch succes van hun plan. Economisch succes houdt rekening met kosten en een penaliserende voor het niet of te laat leveren van goederen. Venstertijden

kunnen gebruikt worden, net als dat het niet naleven van rij- en rusttijden onder de 'te laat leveren' penaliserende vallen. Via een iteratieproces proberen de agents hun dag-plan te verbeteren door hun routekeuze, beladingsgraad, modale- en voertuigkeuze, vertrektijd en stop-sequentie bij melkroutes aan te passen. Ze onthouden hun beste plan doorheen de verschillende iteraties en het transportsysteem in zijn geheel vindt doorheen het proces een evenwicht. Dit evenwicht wordt gebruikt als output voor de berekening van de CO₂-emissies. De TRABAM methodologie wordt samengevat in onderstaande figuur.

Figuur 13: TRABAM Methodologie (bron: VUB-MOBI)



Personenvervoer wordt meegenomen door middel van single agents – die enkel hun route optimaliseren. Door hen mee te nemen als agents dragen ze wel bij tot de dynamische congestie op het netwerk – waarop agents hun keuze (van bv. vertrekkur) gaan aanpassen. Het dynamische transportmodel TRABAM is operationeel sinds 2016 (Mommens et al., 2017; Mommens et al., 2018).

Vergelijking beide vervoersmodellen

Onderstaande tabel geeft een beknopte vergelijking van beide vervoersmodellen. Daaruit volgt dat TRABAM meer geschikt is voor de modellering van scenario's die betrekking hebben op alternatieve energiedragers en aanpassingen aan de voertuigvloot, alsook voor scenario's met betrekking tot stedelijke logistiek. Het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen werd in het kader van dit project hoofdzakelijk ingezet voor scenario's die impact hebben op de modale keuze alsook scenario's die betrekking hebben op transportkosten.

Verdeling maatregelen

Op basis van de eigenschappen van beide vervoersmodellen werden volgende maatregelen en scenario's over beide verdeeld:

- ▶ TRABAM: waterstof, CNG/LNG en CBM/LBM, biobrandstoffen, stedelijke phase-out verbrandingsmotoren, stedelijke logistiek, platooning, elektrificatie, ERS (Electric Road Systems)
- ▶ SVRM: multimodaal (subsidie), multimodaal (infrastructuur), kilometerheffing, fiscaliteit professionele diesel, koolstoftaks, logistieke efficiëntie
- ▶ Beide: gecombineerd voorkeursscenario, de output van de gecombineerde maatregelen in SVRM wordt daarbij gebruikt als de input van TRABAM om het gezamenlijke resultaat van de modelleerbare maatregelen uit het voorkeursscenario te bepalen.

Tabel 3: Vergelijking TRABAM & SVRM

	TRABAM	STRATEGISCH VRACHTMODEL VLAANDEREN (v4.1.1)
Type	Agent-based	FOUR-step model
Specificiteiten	Verschillende laadeenheid, feedback op keuze-gedrag van agents	Logistieke centra
Zones	4.933 voor België (geen buitenland)	518 voor Vlaanderen (93 Waalse en 97 buitenlandse)
Basisjaar en toekomstjaar	2012 2030	2010 2025 - 2030
Goederenniveau	NST/R	NST2007
Voertuigen	Wegvervoer naar laadvermogen en EURO-norm	Wegvervoer: 3 verschillende
	Spoor: één type	Spoor: 3 verschillende
	Binnenvaart: 5 verschillende	Binnenvaart: 5 verschillende
Modi	Geen luchtvaart, maritiem en pijpleiding	Geen luchtvaart, maritiem en pijpleiding
Congestie	Dynamisch	Statisch
Analyse niveau	Meso	Macro
Stadsdistributie	Mogelijk	Niet mogelijk
Import, export, transit	Statisch	Gemodelleerd ahv indicatoren
Logistieke centra	Niet mogelijk	Mogelijk
Logistieke dienstverleners	Feedback loop voor keuze van voertuig, stop sequentie, beladingsgraad en vertrektijd	Niet mogelijk

Bestelwagens in SVRM en TRABAM

Deze categorie voertuigen vormt een bijzondere uitdaging in de vervoersmodellen (zowel in het SVRM als in TRABAM). Volgende punten zijn hierbij van belang:

- ▶ In TRABAM worden bestelwagens toegevoegd aan de vloot van agents (transporteurs). Op basis van de voorlopige versie van het mobiliteitsplan Vlaanderen in kader van de opmaak van het nieuwe mobiliteitsplan Vlaanderen komen er tussen 2016 en 2030 31.782 bestelwagens bij in Vlaanderen. Indien de huidige trend van het aantal inschrijvingen van bestelwagens op basis van FOD Mobiliteit zich doorzet komen er in dezelfde periode evenwel 260.751 bestelwagens bij, weliswaar voor heel België. Dit is een significant verschil, maar daarbij dient opgemerkt te worden dat het bij de cijfers van FOD Mobiliteit om alle bestelwagens gaat, dus ook van bijvoorbeeld doe-het-zelvers en zakelijk operationeel vervoer (bijvoorbeeld herstellingsdiensten). Daar in TRABAM de toevoeging van voertuigen aan de vloot niet gelijk staat aan het gebruik ervan, werd in TRABAM voor de ruime groei gegaan op basis van de cijfers van de FOD Mobiliteit. Deze trend (groeipercentage van 38%) werd dus toegepast op het aantal in TRABAM aanwezige bestelwagens waardoor er in TRABAM 153.949 bestelwagens werden toegevoegd voor 2030 (waarvan een groot deel als subagenten die transport voor eigen rekening uitvoeren).

- ▶ De keuze voor een voertuig is heel verschillend in TRABAM en het SVRM. In TRABAM zit voertuigkeuze (met vaste kost, afstands en tijds-kost) vervat in het optimalisatieproces dat ook vertrektijd, aantal stops, stop-sequentie en route meeneemt. In het SVRM is voertuigkeuze een gevolg van een utiliteitsfunctie die gebaseerd is op kost (tijd, afstand en constante). Omwillen van consistentie in de modeldoorrekeningen werden de kosten die in het SVRM toegepast worden ook gebruikt voor BAU voertuigen in TRABAM. Het gevolg hiervan is dat de voertuigkeuze in TRABAM hierdoor sterk die van het SVRM benadert. Bijgevolg zullen de kosten verbonden aan het voertuig dus het zwaarste doorwegen in het optimalisatieproces van TRABAM (en niet vertrektijd, routing, stops). Het optimaliseren op kosten maakt dat in het SVRM eerder voor een gebundeld transport met lichte vrachtwagen zal geselecteerd worden, eerder dan voor een rit met een bestelwagen. Het aandeel van de bestelwagens blijft hierdoor relatief beperkt (en niet in lijn met de huidige trend van fragmentatie die gepaard gaat met een sterke toename van bestelwagens). Anderzijds is een consolidatie van e-commerce stromen mogelijk naar 2030 toe als deze stromen dikker worden. Bovendien valt het te betwijfelen of het huidige economische model van gefragmenteerde e-commerce leveringen met bestelwagens houdbaar is op de langere termijn. Deze twee elementen maken dat de potentiële onderschatting van het aantal voertuigkilometers gereden met bestelwagens mogelijk beperkt blijft.

- ▶ Het modelleren van bestelwagens in vervoersmodellen gaat daarnaast met specifieke uitdagingen gepaard, omwille van verschillende redenen:

- Bestelwagens zijn moeilijk te onderscheiden van personenwagens bij verkeerstellingen, dus validering van output stelt problemen
- er is ook veel niet-goederenvervoer verkeer met bestelwagens
- er is bijzonder weinig betrouwbare data over bestelwagens (inschrijvingsdatabank in België is gecontamineerd met bedrijfswagens; pakketjes/klein vervoer zit vervat in de restgroep 'overige' in statistieken; heel veel DC's voor e-commerce liggen vlak over de Belgische grens en is dus geen data over beschikbaar, etc.)
- E-commerce is een bijzondere vorm van logistiek die vaak geoptimaliseerd wordt via gebruik van meerdere DC's en tussen-DC's, hetgeen moeilijk te capteren is in data en in modellering.

Bovenstaande maakt dat de resultaten in de studie met betrekking tot bestelwagens met de nodige voorzichtigheid moeten geïnterpreteerd worden. Aangezien de voertuigkilometers die met bestelwagens gereden worden mogelijk onderschat worden (en deze met lichte vrachtwagens overschat), zou de totale CO₂-uitstoot hierdoor in realiteit hoger kunnen uitkomen dan uit de modeldoorrekeningen blijkt. Daarbij dient wel opgemerkt te worden dat dit afhankelijk zal zijn van economische evoluties (zie hierboven). Bovendien wordt dit eventuele onderschattingseffect tot op zekere hoogte gedempt, omdat de categorie van bestelwagens het meest in aanmerking komt voor overschakeling naar zero-emissie voertuigen (voor deze voertuigen speelt de hoeveelheid voertuigkilometers geen belang op vlak van CO₂-emissies). Op basis van de modeldoorrekeningen blijkt dat na implementatie van de maatregelen in de roadmap nog 72,6% van de voertuigkilometers met bestelwagens op diesel worden gereden. Zo zal een stedelijke phase-out voor verbrandingsmotoren zorgen voor zero-emissie bestelwagens in stedelijke gebieden, ook voor de eventueel onderschatte voertuigkilometers die daar gereden zouden worden, zodat de impact op de totale CO₂-uitstoot beperkt blijft.

Bronnen :

- Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2015, Opbouw strategisch vrachtmodel Vlaanderen versie 4.1.1
- Balmer, M., Nagel K., Raney B., 2006. Agent-based demand modeling framework for large scale micro-simulations Transportation Research Record 1985: 125–134.
- Borremans, D., Van Houwe, P., De Jong, G., Kienzler, H.P., 2015. Opbouw strategisch vrachtmodel Vlaanderen versie 4.1.1. Verkeerscentrum: Kenniscentrum Verkeer en Vervoer: dossiernummer 12030.
- Mommens, K., van Lier, T., Macharis, C., 2017, "Freight demand generation on commodity and loading unit level ", European Journal of Transport and Infrastructure Research , Vol. 17(1), pp, 46-62
- Mommens, K. M., Lebeau, P., Verlinde, S., van Lier, T. & Macharis, C., 2018, Evaluating the impact of off-hour deliveries: An application of the TRansport Agent-BAsed Model, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 102-111
- Schröder, S. & Liedtke, G., 2014. Modeling and analyzing the effect of differentiated urban freight measures – a case study of the food retailing industry. In TRB 2014 Annual Meeting. Washington DC.

1.3. Emissiefactoren

Korte beschrijving:

Om de vertaling te maken van de modelresultaten naar de CO₂-impact van de gemodelleerde maatregel worden emissiefactoren gebruikt. In deze fiche worden de gehanteerde emissiefactoren besproken voor wegvervoer, binnenvaart en spoorvervoer. Deze emissiefactoren worden uitgedrukt per voertuigkilometer en worden zodoende gekoppeld aan de modeloutput uitgedrukt per voertuigkilometer.

Wegvervoer

Om de CO₂-impact te berekenen van de gemodelleerde maatregelen in het SVRM en TRABAM werden **gewogen emissiefactoren** ontwikkeld op basis van de emissiefactoren, vlootsamenstelling en afgelegde kilometers per netwerk. Voor 2013 worden de emissies (en emissiefactoren) berekend met COPERT4v11.4. Voor 2030 worden de TTW (tank-to-wheel) emissiefactoren afgeleid uit de VITO-berekeningen in opdracht van de afdeling Energie, Klimaat en Groene Economie (Mobiliteitscenario's-Ronde3). De reden waarom gewogen emissiefactoren nodig zijn heeft te maken met het verschil in de gehanteerde voertuigcategorieën in de COPERT en VITO-berekeningen enerzijds en in SVRM

anderzijds. In SVRM zijn er voor wegvervoer slechts drie voertuigtypes onderscheiden: bestelwagens (VB) tot 3,5 ton, vrachtwagen licht (VL) tussen 3,5 en 12 ton, en zware vrachtwagen (VZ) boven de 12 ton. Er wordt bovendien in het SVRM geen onderscheid gemaakt tussen vaste combinaties (*rigid trucks*) en trekker-oplegger combinaties (*articulated trucks*). Hieronder worden de emissiefactoren in detail besproken.

CO₂-Emissiefactoren Wegvervoer 2013

Voor 2013 worden de CO₂-emissiefactoren uit de COPERT4v11.4 database afgeleid voor Vlaanderen, opgedeeld naar voertuigcategorieën met onderscheid tussen vaste combinaties en trekker-opleggers voor drie wegtypes: Hoofdwegen (H), Rurale wegen (R) en Stedelijke wegen (U). In de laatste kolom van Tabel 1 worden de percentages afgelegde voertuigkilometers uit COPERT voor Vlaanderen weergegeven per voertuigcategorie. De emissiefactoren in tabel 2 kunnen rechtstreeks gebruikt worden voor de CO₂-emissieberekeningen in TRABAM omdat de voertuigvloot daar in dezelfde classificatie opgedeeld kan worden. In het SVRM worden evenwel slechts drie voertuigcategorieën (bestelwagens, lichte vrachtwagens en zware vrachtwagens) gehanteerd en dienen voor de CO₂-berekeningen gewogen emissiefactoren bepaald te worden. Hiervoor worden gegevens van FOD Mobiliteit gebruikt die een inschatting geven van de in 2013 afgelegde voertuigkilometers in Vlaanderen voor vaste combinaties en trekker-opleggers op de verschillende wegtypes (FOD Mobiliteit, 2015)³.

Tabel 4: Emissiefactoren per voertuigtype 2013 (COPERT4v11.4)

EF_g/km	TTW CO ₂	TTW CO ₂	TTW CO ₂	
Rijlabels	Hoofdwegen	Ruraal	Urbaan	% vkm
Bestelwagens	296,4	192,8	318,2	
Diesel <3,5 t	298,0	192,2	314,8	97,4%
Benzine <3,5 t	234,5	215,5	447,3	2,6%
Lichte & zware vrachtwagens (LV & ZV)	697,8	730,6	924,7	
Vaste combinatie <=7,5 t (LV)	347,5	288,6	338,9	33,1%
Vaste combinatie 7,5 - 12 t (LV)	446,2	428,9	526,3	66,9%
Vaste combinatie 12 - 14 t	445,6	461,8	579,8	2,2%
Vaste combinatie 14 - 20 t	503,5	545,7	720,4	25,6%
Vaste combinatie 20 - 26 t	593,4	673,6	916,7	2,3%
Vaste combinatie 26 - 28 t	627,5	717,4	964,9	29,2%
Vaste combinatie 28 - 32 t	728,2	826,6	1.077,3	2,5%
Vaste combinatie >32 t	703,5	812,8	1.104,5	38,3%
Trekker-oplegger 14 - 20 t	464,7	519,9	689,8	0,8%
Trekker-oplegger 20 - 28 t	584,4	671,7	904,6	0,4%
Trekker-oplegger 28 - 34 t	612,5	712,1	965,7	0,6%
Trekker-oplegger 34 - 40 t	685,5	813,0	1.129,9	2,0%
Trekker-oplegger 40 - 50 t	765,1	909,8	1.261,3	96,2%

³ 2013 is het laatste jaar waarvoor FOD Mobiliteit de opdeling heeft gemaakt van de afgelegde voertuigkilometers voor de verschillende vrachtwagentypes per wegtype voor de verschillende gewesten. Jammer genoeg wordt deze informatie niet meer opgeleverd in de rapporten voor de daaropvolgende jaren maar aangezien het basisjaar van onze modeldoorrekeningen 2013 is, stelt dat voor onze berekeningen voor het basisjaar geen probleem. Het ontbreken van deze data voor volgende jaren maakt wel dat het moeilijk is inschattingen te doen met betrekking tot de evolutie naar 2030. Daarom hebben we de verhoudingen tussen de types constant verondersteld.

Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat het gaat om afstanden afgelegd door in België geregistreerde voertuigen. Er wordt dus, bij gebrek aan data, impliciet de veronderstelling gemaakt dat buitenlandse vrachtwagens die in Vlaanderen rijden dit volgens dezelfde verhouding over de wegtypes doen².

Op basis van de gegevens in bovenstaande tabellen worden onderstaande referentie emissiefactoren becijferd die toegepast worden op de output van het SVRM voor het basisjaar 2013. Hierbij worden de emissiefactoren voor suburbane wegen berekend als het gemiddelde van de respectievelijke urbane en landelijke lokale en gewestwegen.

Tabel 5: Voertuigkilometers per vrachtwagen- en wegtype, Vlaanderen 2013 (FOD Mobiliteit, 2017)

2013	Wegtype	mio vkm	%
VASTE COMBINATIES	Snelwegen & complexen	730.5	21.0%
	Gewestwegen ^a	845.7	43.6%
	Gemeentewegen	325.5	56.2%
TREKKER	Snelwegen & complexen	2751.6	79.0%
-	Gewestwegen	1095.9	56.4%
OPLEGGERS	Gemeentewegen	253.9	43.8%

Tabel 6: Gewogen emissiefactoren per voertuigtype 2013 (Eigen berekeningen)

Zware vracht

Snelwegen & complexen	Urbain	Suburbaan	Landelijk
730.7 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 1119.3 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 968.2 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 816.96 CO ₂ g/vkm
	Lokale Wegen 1081.3 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 936.7 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 792.17 CO ₂ g/vkm

Lichte vracht

Snelwegen & complexen	Urbain	Suburbaan	Landelijk
413.6 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 464.3 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 423.4 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 382.5 CO ₂ g/vkm
	Lokale Wegen	Lokale Wegen	Lokale Wegen

Waarden van gewestwegen en lokale wegen zijn gelijk

Bestelwagens

Snelwegen & complexen	Urbain	Suburbaan	Landelijk
296.42 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen	Gewestwegen	Gewestwegen
	Lokale Wegen 318.16 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 255.49 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 192.81 CO ₂ g/vkm

Waarden van gewestwegen en lokale wegen zijn gelijk

^a Mogelijk zitten deze in het buitenland geregistreerde voertuigen verhoudingsgewijs meer op de hoofdwegen maar het is onmogelijk dit te kwantificeren. Onder de cabotageregels (cabotage is het vervoeren van goederen tussen twee punten in hetzelfde land door een bedrijf uit een ander land) is het voertuigen uit andere EU-landen immers toegelaten maximum drie cabotagetransporten uit te voeren binnen een periode van 7 kalenderdagen. Ingevolge de Beneluxregeling is in België zelfs onbeperkt cabotagevervoer toegestaan voor Nederlands gekentekende vrachtoertuigen.

² Deze categorie werd in de oorspronkelijke tabel door FOD Mobiliteit aangeduid met "gewestwegen en provinciewegen" maar de (bovenlokale) provinciewegen werden in 2009 toegevoegd aan de gewestwegen (de kleinere provinciewegen tegen 2012 aan de lokale (gemeente)wegen).

CO₂-Emissiefactoren Wegvervoer 2030

Voor 2030 worden de CO₂-emissiefactoren uit de VITO berekeningen in opdracht van de afdeling Energie, Klimaat en Groene Economie (Mobiliteitscenario's-Ronde3) gebruikt (tabel 5). Deze TTW-emissiefactoren zijn uitgebreider dan de voorgaande tabel voor 2013 en bevatten ook emissiefactoren voor alternatieve aandrijvingen. Deze alternatieve aandrijvingen zijn relevant voor de in TRABAM gemodelleerde maatregelen⁵. In het SVRM worden geen alternatieve aandrijvingen gemodelleerd en wordt dus de volledige vloot als dieselvoertuigen beschouwd. Voor de diesel- en benzinevoertuigen werden in deze emissiefactoren algemene efficiëntieverbeteringen mee genomen omdat er van wordt uitgegaan dat ook zonder technologiever-

schuiving er een (lichte) verbetering optreedt bij de huidige technologieën. Voor CO₂/brandstofverbruik van lichte en zware vrachtwagens wordt een efficiëntieverbetering voor nieuwe Euro 6/VI-voertuigen verondersteld van -5% vanaf bouwjaar 2020 met lineaire interpolatie van 0 tot -5% voor trucks met bouwjaar vanaf 2015 tot 2020. Voor bestelwagens wordt geen efficiëntieverbetering vooropgesteld. De emissiefactoren worden evenwel ook beïnvloedt door de evolutie in de verkeersomstandigheden op de verschillende netwerktypen (hoofdwegen, ruraal, urbaan) tussen 2013 en 2030. In de tabel wordt per relevante categorie ook het aandeel van de voertuigkilometers van een specifiek voertuigtype meegegeven. Tot slot wordt ook per voertuigtype aangegeven hoeveel minder CO₂ bepaalde aandrijvingen uitstoten vergeleken met hun dieselvariant.

Tabel 7: Emissiefactoren per voertuigtype 2030 (VITO)

EF _{g/km} Brandstof	Type	TTW CO ₂ Hoofdwegen	TTW CO ₂ Ruraal ²	TTW CO ₂ Urbaan ²	% vkm	TTW CO ₂ Hoofdwegen	TTW CO ₂ Ruraal ²	TTW CO ₂ Urbaan ²
Bestelwagens								
Diesel	Bestelwagens <3,5 t	242,5	202,6	303,2	98,2%			
Benzine	Bestelwagens <3,5 t	158,3	148,8	336,6	1,8%	-34,9%	-26,9%	-10,6%
Benzine Hybride PHEV	Bestelwagens <3,5 t	110,9	104,3	235,7		-54,4%	-48,8%	-22,5%
Elektrisch	Bestelwagens <3,5 t	0	0	0		-100,0%	-100,0%	-100,0%
CNG	Bestelwagens <3,5 t	214,7	196,4	402,2		-11,4%	-3,3%	-33,8%
Lichte & zware vrachtwagens								
Diesel	Vaste combinatie <=7,5 t (LV)	332,7	271,9	310,0	49,0%			
Diesel	Vaste combinatie RT >7,5 - 12 t (LV)	441	394,3	493,4	51,0%			
Diesel	Vaste combinatie >12 - 14 t	399,7	426,1	523,0	5,4%			
Diesel	Vaste combinatie >14 - 20 t	455,7	504,6	654,8	30,1%			
Diesel	Vaste combinatie >20 - 26 t	548,5	627,3	848,0	7,7%			
Diesel	Vaste combinatie >26 - 28 t	590,9	674,0	899,4	26,8%			
Diesel	Vaste combinatie >28 - 32 t	690	779,5	1.012,5	11,2%			
Diesel	Vaste combinatie >32 t	661,6	761,0	1.029,7	18,8%			
Diesel	Trekker-oplegger >14 - 20 t	437,9	493,1	651,4	0,3%			
Diesel	Trekker-oplegger >20 - 28 t	555,4	635,8	853,0	0,1%			
Diesel	Trekker-oplegger >28 - 34 t	584,9	674,2	910,5	0%			
Diesel	Trekker-oplegger >34 - 40 t	657,2	768,7	1.064,4	0,2%			
Diesel	Trekker-oplegger >40 - 50 t	735,2	860,4	1.189,3	99,4%			
Diesel	Trekker-oplegger >50 - 60 t	887,1	1.043,1	1.446,4	0%			
CNG	Vaste combinatie <=7,5 t (LV)	304,8	249,0	283,9	53,3%	-5,1%	-4,5%	-5,0%
CNG	Vaste combinatie RT >7,5 - 12 t (LV)	404	361,2	452,0	46,7	-5,9%	-5,7%	-6,2%
CNG	Vaste combinatie >12 - 14 t	366,1	390,3	479,0	4,9%	-6,0%	-6,3%	-6,7%
CNG	Vaste combinatie >14 - 20 t	417,4	462,3	599,8	30,9%	-6,3%	-6,7%	-7,0%
CNG	Vaste combinatie >20 - 26 t	502,4	574,6	776,7	8,1%	-6,6%	-7,0%	-7,3%
CNG	Vaste combinatie >26 - 28 t	541,2	617,3	823,7	27,5%	-6,8%	-7,1%	-7,4%
CNG	Vaste combinatie >28 - 32 t	632	714,0	927,3	11,2%	-7,2%	-7,5%	-7,7%
CNG	Vaste combinatie >32 t	606	697,0	943,1	17,3%	-7,1%	-7,5%	-7,7%
CNG	Trekker-oplegger >14 - 20 t	401,1	451,7	596,7	77,5%	-6,2%	-6,6%	-7,0%
CNG	Trekker-oplegger >20 - 28 t	508,8	582,3	781,3	17,0%	-6,7%	-7,0%	-7,3%
CNG	Trekker-oplegger >28 - 34 t	535,8	617,5	834,0	5,4%	-7,0%	-7,4%	-7,6%
LNG	Trekker-oplegger >14 - 20 t	401,1	451,7	596,7	0,3%	-6,2%	-6,6%	-7,0%
LNG	Trekker-oplegger >20 - 28 t	508,8	582,3	781,3	0,1%	-6,7	-7,0%	-7,3%
LNG	Trekker-oplegger >28 - 34 t	535,8	617,5	834,0	0%	-7,0%	-7,0%	-7,6%
LNG	Trekker-oplegger >34 - 40 t	602	704,1	974,9	0,1%	-7,2%	-7,4%	-7,8%
LNG	Trekker-oplegger >40 - 50 t	673,4	788,1	1.089,3	99,6%	-7,3%	-7,6%	-7,8%
Dual Fuel (diesel/LNG)	Trekker-oplegger >40 - 50 t	622,8	728,9	1.007,4		-13,3%	-13,5%	-14,0%
Elektrisch	Vaste combinatie <=7,5 t (LV)	0	0	0	53,1%	-100,0%	-100,0%	-100,0%
Elektrisch	Vaste combinatie RT >7,5 - 12 t (LV)	0	0	0	46,9%	-100,0%	-100,0%	-100,0%
Elektrisch	Vaste combinatie >12 - 14 t	0	0	0	13,8%	-100,0%	-100,0%	-100,0%
Elektrisch	Vaste combinatie >14 - 20 t	0	0	0	86,2%	-100,0%	-100,0%	-100,0%

⁵ In de door het Departement Omgeving aangeleverde cijfers werd er bij de totale CO₂-emissiecijfers van elektrische voertuigen een minimale emissiefractione van 0,486 g CO₂/km voor lichte en zware vrachtwagens en 0,398 g CO₂/km voor bestelwagens opgegeven. Navraag leerde dat deze minimale fractione werd vanwege CO₂-emissies gerelateerd aan smeermolie. Elektromotoren vereisen evenwel geen motorolie. Er is enkel een beperkte hoeveelheid olie vereist voor het smeren van de tandwielkast met differentieel die het motortoerental reduceert naar een voor de wielen bruikbaar toerental. Aangezien deze emissies verwaarloosbaar zijn, veronderstellen we dat elektrische voertuigen tijdens het rijden geen CO₂ uitstoten. In TRABAM wordt voor de (TTW) zero-emissievoertuigen dus ook een nul-factor gehanteerd, en deze waarde werd ook opgenomen in de tabel.

Deze emissiefactoren kunnen eveneens rechtstreeks gebruikt worden voor de CO₂-berekeningen in TRABAM. Voor de doorrekeningen met het SVRM wordt een gelijkaardige werkwijze als deze hierboven gevolgd om de gewogen emissiefactoren voor de drie voertuigcategorieën (bestelwagens, lichte vrachtwagens en zware vrachtwagens) te bepalen. Bij gebrek aan cijfers voor 2030 wordt de verhouding in voertuigkilometers per voertuig- en wegtype uit tabel 2 voor 2013 overgenomen en gecombineerd met de emissiefactoren voor 2030.* Dit resulteert in onderstaande gewogen emissiefactoren voor 2030. Door de hierboven beschreven evolutie in de aangeleverde emissiecijfers zullen ook de gewogen emissiefactoren van diesel- en benzinevoertuigen tussen 2013 en 2030 voor de berekening van de in het SVRM doorgerekende maatregelen in Tabel 6 lager liggen dan in Tabel 4. Dat wordt weergegeven in de extra kolom rechts.

Tabel 8: Gewogen emissiefactoren weg 2030 (Eigen berekeningen)

CO ₂ Emissiefactoren ref 2030 Modeldoorrekening					EF 2030 tov 2013
Snelwegen & complexen	Urbaan	Suburbaan	Landelijk		
697,6 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 1035,2 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 898,1 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 761,0 CO ₂ g/vkm		
-4,5%	-7,5%	-7,2%	-6,9%		
	Lokale Wegen 991,3 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 862,0 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 732,7 CO ₂ g/vkm		
	-8,5%	-8,0%	-7,5%		
Lichte vracht					
Snelwegen & complexen	Urbaan	Suburbaan	Landelijk		
387,9 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 403,5 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 368,9 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 334,3 CO ₂ g/vkm		Waarden van gewest- wegen en lokale wegen zijn gelijk
-6,5%	Lokale Wegen	Lokale Wegen	Lokale Wegen		
	-13,1%	-12,9%	-12,6%		
Bestelwagens					
Snelwegen & complexen	Urbaan	Suburbaan	Landelijk		
240,9 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen	Gewestwegen	Gewestwegen		Waarden van gewest- wegen en lokale wegen zijn gelijk
-18,7%	Lokale Wegen 303,8 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 252,7 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 201,6 CO ₂ g/vkm		
	-4,5%	-1,1%	-4,6%		

* Het valt moeilijk in te schatten of en in welke mate deze verhouding tussen 2013 en 2030 gaat evolueren, aangezien dit van tal van factoren afhangt (wijzigende productie- en consumptiepatronen, effecten van ruimtelijke planning en infrastructuurwerken, effecten van eventueel beleid (bijvb kilometerheffing). Door het ontbreken van tijdreeksen is het zelfs niet mogelijk om een eenvoudige extrapolatie te maken. Daarom houden we deze verhouding constant.

Luchtvervuilende emissies wegvervoer

Voor de inschatting van het effect van de luchtvervuilende emissies, waarbij voornamelijk NO_x en fijnstof belangrijk zijn, wordt gebruik gemaakt van emissiefactoren afkomstig uit de STREAM Goederenvervoer 2016 studie van CE Delft (2017). In deze studie worden voor verschillende modi waaronder wegvervoer, spoor en binnenvaart gedetailleerde emissiefactoren becijferd in een Europese context. Dit werd voor wegvervoer aangevuld met gegevens uit Handbook of Emission Factors (HBEFA) Version 3.3. HBEFA bevat emissiefactoren voor alle wegvoertuigcategorieën (personenwagens, bestelwagens, lichte vrachtwagens, zware vrachtwagens, (stedelijke) bussen, reisbussen en moto's), elk opgedeeld in verschillende subcategorieën, voor een grote variatie van verkeerssituaties, waarbij getracht wordt zo nauwkeurig mogelijk de emissies in werkelijke rijomstandigheden te bepalen (Hausberger et al., 2009). Emissiefactoren voor alle gereguleerde en de meest belangrijke ongereguleerde polluenten, alsook brandstofverbruik en CO_2 zijn inbegrepen. HBEFA wordt samen met COPERT beschouwd als een referentiewerk voor emissieberekeningen voor wegvervoer. In 2013, werd een update van de emissiefactoren voor EURO V en EURO VI voertuigen opgenomen in HBEFA Version 3.2 (Rexeis et al., 2013).

De emissiefactoren werden in de context van onze studie niet gebruikt om kwantitatieve doorrekeningen te doen van de hoeveelheid uitgestoten luchtvervuilende emissies, maar wel om kwalitatieve inschattingen te kunnen maken van de impact van de verschillende maatregelen op vlak van luchtvervuiling. Een belangrijk bijkomend aspect is in geval van luchtvervuiling het concept van receptordensiteiten (d.i. het aantal blootgestelde personen welke gezondheidsimpact ondervinden van de emissies), aangezien deze de duurzaamheidsimpact bepalen. Een gelijke hoeveelheid luchtvervuilende emissies van polluenten met lokale dispersie (zoals fijnstof) die wordt uitgestoten in dichtbevolkt stedelijk gebied is daarbij schadelijker dan in landelijk gebied.

Binnenvaart

CO_2 -emissies

Voor binnenvaart worden de emissiefactoren gebruikt van het door de Vlaamse Overheid gehanteerde EMMOSS-model (Emissiemodel voor Spoorverkeer en Scheepvaart in Vlaanderen) versie 3.2. Dit model geeft emissiefactoren uitgedrukt in CO_2 per vaartuigkilometer per scheepstype voor al de waterwegen in Vlaanderen (rekening houdende met leegvaart). Een detail wordt als voorbeeld weergegeven in Tabel 6 voor twee waterwegen (Afleidingskanaal Leie en Albertkanaal).

Op basis van deze waarden werd een tabel met gewogen emissiewaarden per vaartuigkilometer opgesteld per klasse binnenvaartweg en per scheepsklasse zoals gedifferentieerd in de SVRM output, rekening houdende met de afgelegde voertuigkilometers per scheepstype per vaarweg op basis van EMMOSS. Dit resulteert in de emissiefactoren in Tabel 7 die toegepast kunnen worden op de vervoersprestatie per scheepsklasse en klasse binnenvaartweg zoals aangeleverd door het SVRM. De waarden van EMMOSS gelden voor 2016, maar gelet op het trage tempo van vlootvernieuwing worden deze emissiefactoren op niveau van voertuigkilometer gelijk verondersteld in 2013. De modeldoorrekeningen in het SVRM houden geen rekening met technologische vlootvernieuwing, daarom dat voor de berekening van de CO_2 uitstoot in 2030 in eerste instantie dezelfde emissiefactoren worden gehanteerd¹. Het effect van vergroening van de binnenvaart wordt in tweede instantie berekend op basis van inschattingen in de wetenschappelijke literatuur.

¹ EMMOSS werkt enkel met historische data en doet geen prognoses met betrekking tot de toekomstige uitstoot van binnenvaartschepen.

Tabel 9: Selectie detail emissiefactoren binnenvaart 2016 (EMMOSS v3.2)

Som van emissies (ton)		Stofnaam				EF CO ₂ (g)/vkm
	CEMT	klasse	CO ₂	Tonkm	vkm	
AFLEIDINGSKANAAL VAN DE LEIE	V	M0	16	30.300	5.204	3.121
	V	M1	630	16.639.102	95.902	6.572
	V	M2	532	12.601.123	47.459	11.204
	V	M3	668	15.714.604	49.669	13.452
	V	M4	769	19.251.083	42.590	18.062
	V	M5	764	19.218.446	34.454	22.167
	V	M6	1.250	31.128.326	51.579	24.229
	V	M7	292	8.378.087	11.846	24.642
	V	M8	544	14.010.481	17.182	31.685
Totaal AFLEIDINGSKANAAL VAN DE LEIE			5465	136.971.551	355.884	15.357
ALBERTKANAAL	VI	M0	797	82.547	269.446	2.960
	VI	M1	409	8.800.563	77.371	5.288
	VI	M2	3.400	77.654.751	331.788	10.248
	VI	M3	3.492	76.776.710	223.721	15.610
	VI	M4	5.048	121.700.258	276.246	18.275
	VI	M5	6.655	182.763.728	338.521	19.660
	VI	M6	16.630	441.890.323	627.041	26.522
	VI	M7	4.582	162.774.304	190.873	24.006
	VI	M8	40.279	1.429.208.611	1.141.153	35.297
Totaal ALBERTKANAAL			81.294	2.501.651.796	3.476.160	23.386

Tabel 10: Gewogen emissiefactoren binnenvaart 2013 en 2030 (Eigen berekeningen)

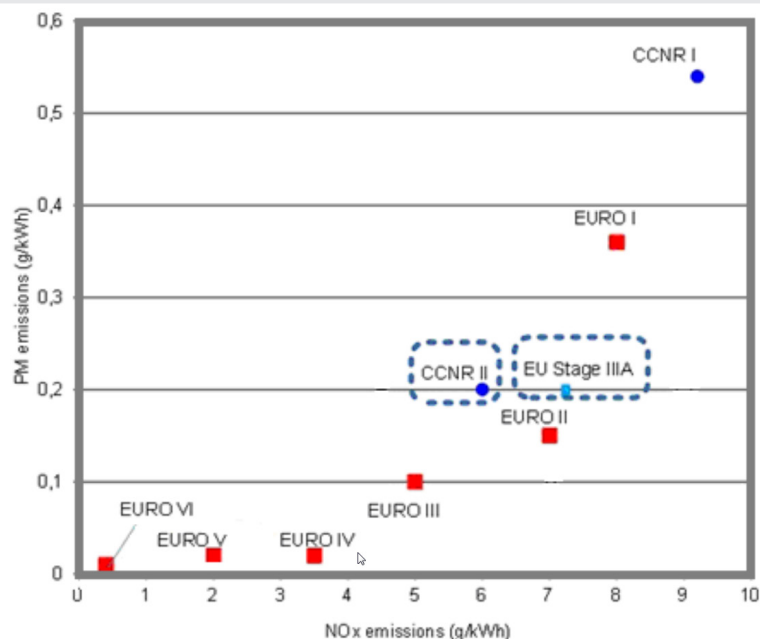
EF CO ₂ (ton) / vkm		Klasse Binnenvaartweg					
		I	II	III	IV	V	VI
Scheepsklasse	M1	2.992	5.420	5.020	5.020	6.350	5.310
	M2	0	8.430	9.256	9.256	10.210	12.509
	M3	0	0	14.300	14.300	12.330	15.010
	M4	0	0	0	15.630	16.437	18.261
	M5 & M6	0	0	0	0	19.556	23.287
	M7 & M8	0	00	0	0	0	31.780

Luchtvervuilende emissies

Zoals hierboven reeds aangegeven werd er voor kwalitatieve inschatting van de luchtvervuilende emissies bij binnenvaart vooral gebruik gemaakt van de de STREAM Goederenvervoer 2016 studie van CE delft (2017). Belangrijk in de context van binnenvaart is dat, in tegenstelling tot bij CO₂-emissies, op vlak van luchtvervuilende emissies

binnenvaart niet zo goed scoort. Dit wordt weerspiegeld in de verschillende emissienormen voor beide modi in onderstaande figuur 10.

Figuur 14: Emissienormen voor binnenschepen (CCNR) en wegvoertuigen (Euro VI) (bron: PLATINA, 2012)



Wegtransport heeft in de afgelopen decennia significante verbeteringen kunnen realiseren in termen van afnemende schadelijke emissies, als gevolg van steeds striktere regelgeving (opeenvolgende EURO-normen) die hebben geleid tot innovaties in de sector. Ook is er in de wegsector een snellere vernieuwing van het wagenpark, mede ingegeven door een verbod op oudere vrachtwagens om steden met een lage-emissie zone te betreden en stimuli zoals de kilometerheffing. Verbeteringen in termen van emissiereducties in de binnenvaartsector daarentegen evolueren in een vrij langzaam tempo, wat enerzijds wordt verklaard door de moeilijke economische situatie van veel ondernemers in de binnenvaart en anderzijds door de langere levensduur van een binnenvaartschip en -motor in vergelijking met de gemiddelde vrachtwagen. Bovendien vereisen groenere binnenvaartschepen aanzienlijke investeringskosten, zonder

duidelijk rendement op de investering voor de eigenaar/exploitant van het schip. Bovendien leiden een gebrek aan standaardisatie, een langzamer normeringsproces en een beperkte markt voor motorfabrikanten tot hoge productiekosten en beperkter onderzoek en innovatie in het domein van binnenvaartmotoren. Exploitanten en eigenaren worden over het algemeen niet beloond voor het vergroenen van hun vloot want er zijn eigenlijk weinig of geen prikkels van verladers om milieuvriendelijkere schepen te gebruiken. Ondanks de schaalvoordelen van binnenvaart blijkt het steeds moeilijker en vaak zelfs onmogelijk voor binnenvaartschepen om op tonkilometerbasis beter of zelfs maar even goed te presteren op vlak van luchtvervuilende emissies in vergelijking met EURO V en zeker EURO VI vrachtwagens (van Lier et al, 2016).

Spoorvervoer

In spoorvervoer wordt onderscheid gemaakt tussen dieseltractie en elektrische tractie. Voor dieseltractie wordt er een emissiefactor uitgedrukt in CO₂ per tonkilometer becijferd omdat een opdeling naar voertuigkilometer per treintype niet haalbaar is. Voor elektrische tractie wordt een energieverbruiksfactor per tonkilometer uitgedrukt in kWh/tonkilometer gehanteerd. Op basis van Delhay et al. (2017) wordt voor Vlaanderen een verdeling verondersteld van 23,6% dieseltractie en 76,4% elektrische tractie voor goederenvervoer per spoor uitgedrukt in voertuigkilometer.

De emissiefactor voor dieseltractie is afgeleid van het E-Motion model (Federaal Planbureau & Vito, 2012). Voor het spoorverkeer baseert E-Motion zich op zijn beurt op EXTREMIS (Chiffi et al., 2009) en EMMOSS (Vanherle et al., 2007). De spoormodule van het EMMOSS-model berekent de emissies op basis van bruto tonkilometers. Dit is het gewicht van de trein en de vracht samen, inclusief het gewicht van de locomotief. Met behulp van het gekende specifiek eind-energieverbruik (tank-to-wheel) wordt het energieverbruik berekend. Op basis van dit energieverbruik worden het brandstofverbruik en de directe emissies berekend. Het E-Motion model vertrekt daarnaast van het jaarlijks aantal gereden treinkilometers, opgesplitst volgens het treintype (goederen of personen), de energiebron (diesel of elektriciteit), het dienstentype (IC, IR, L, P, HST of goederen), zoals gerapporteerd in de jaarlijkse statistieken van de NMBS.

Voor de toekomst wordt er verondersteld dat de vooruitzichten voor Vlaanderen (De Vlieger et al., 2009) ook gelden voor België. Op basis hiervan schat het E-Motion-model het aantal bruto tonkm van zowel de NMBS als de andere operatoren op het Belgisch netwerk. Vervolgens worden deze cijfers opgesplitst per tractietype (locomotief vs. motorrijtuig). De bruto tonkm worden gebruikt om het overeenkomstig energieverbruik te berekenen met behulp van specifieke energieverbruiksfactoren voor treinen/diensten in België. Hierbij wordt een supplement geteld voor rangeeractiviteiten. Voor 2005 werd berekend dat er 8.8% extra energieverbruik nodig is voor rangeeractiviteit, wat volledig wordt toegewezen aan diesellocomotieven. Het energieverbruik wordt gekalibreerd op basis van de NMBS-statistieken. Voor de toekomstige jaren houdt E-Motion rekening met de technologische evolutie van de dieselmotoren. De technologieklassen volgen de startdatum van de typegoedkeuringen en de Europese wetgeving 2004/26/EC. Voor de prognoses wordt voor dieseltreinen tevens rekening gehouden met de efficiëntieverbetering zoals voorgesteld door het Railenergy project (UIC, 2006). De uiteindelijke **emissiefactor voor dieseltractie van 22,99 g CO₂ per beladen tonkilometer voor 2030** houdt rekening met een efficiëntieverbetering van 4,71% t.o.v. 2008 (Federaal Planbureau & Vito, 2012). Deze waarde sluit ook aan bij de waarden die gepubliceerd werden in de Nederlandse STREAM voor dieselspoorvervoer (CE Delft, 2017). Voor elektrisch spoorvervoer wordt op basis van EMMOSS v3.2 een **energieverbruiksfactor (inclusief bijkomende rangeeractiviteit) becijferd van 0,0573 kWh per beladen tonkilometer**. Voor zowel diesel als elektrisch spoorvervoer zit hierin ook een aandeel van onbeladen voertuigkilometers vervat (het totale energieverbruik voor beladen en onbeladen treinkilometers wordt dus verdeeld over de beladen tonkilometers).

Bronnen :

- Andries (Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer) (2015) Kilometers afgelegd op het Belgische wegennet in 2013
- CE Delft, 2017, STREAM Goederenvervoer 2016 - Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer
- Delhay E., De Ceuster G., Vanhove F., Maerivoet S. (2017) Internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen: actualisering 2016, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieu-maatschappij, MIRA, door Transport & Mobility Leuven.
- Europese Commissie (2013) Greening the fleet: reducing pollutant emissions in inland waterway transport. NAIADES II Commission Staff Working Document SWD(2013) 324 final, Brussels.
- EMMOSS v3.2 binnenvaart
- Federaal Planbureau & Vito, 2012, Working paper 11-12: De milieu-impact van de evolutie van de transportvraag tegen 2030
- Hausberger, Rexeis, Zallinger, Luz, (2009) Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3. Report Nr. I-20/2009 Haus-Em 33/08/679 from 07.12.2009, Graz, Austria
- Rexeis, Hausberger, Kühlwein, Luz (2013) Update of Emission Factors for EURO 5 and EURO 6 vehicles for the HBEFA Version 3.2. Final Report. Report No. I-31/2013/ Rex EM-I 2011/20/679, Graz, Austria
- TML, 2007, Emissiemodel voor Spoorverkeer en Scheepvaart in Vlaanderen: EMMOSS
- van Lier, Mommens, Macharis (2016) Comparison of the EURO VI truck emission standard to inland waterway transport emission targets for the Watertruck+ concept. Report
- VITO berekeningen in opdracht van de afdeling Energie, Klimaat en Groene Economie (Mobiliteitsscenario's-Ronde3)

1.4. Elasticiteit³

Korte beschrijving:

Zowel in de modelleringen met SVRM als TRABAM wordt de transportvraag constant verondersteld, ongeacht de kostenimpact van de gemodelleerde maatregel. Er wordt dus met andere woorden uitgegaan van een volkomen inelastische vraag, waarbij een verandering in de prijs geen verandering in de totale hoeveelheid getransporteerde tonnages tot gevolg heeft. Er kan dus wel een verschuiving zijn tussen de hoeveelheid die getransporteerd wordt per transportmodus alsook verschuivingen in de voertuigkilometers en tonkilometers per modus, maar de totaal te transporteren vraag in tonnage over de drie transportmodi wordt constant verondersteld. In dit kader bevestigt Beuthe et al. (2014) in een overzichtstudie dat in de meeste studies directe prijselasticiteiten voor een bepaalde transportmodus of kruiselasticiteiten tussen verschillende modi meestal geschat worden als 'gecompenseerde' elasticiteiten, die het directe substitutie-effect meten van de prijsverandering van een transportmodus op zijn eigen vraag of kruis-substitutie-effecten op andere modi, maar dat beide elasticiteiten geïnduceerde effecten op de transportvraag verwaarlozen.⁴ 'Gewone' elasticiteiten omvatten geïnduceerde effecten, en zouden dus normaal gesproken iets sterker moeten zijn, maar helaas is informatie zelden beschikbaar voor het berekenen ervan en gepubliceerde schattingen zijn gebaseerd op veronderstelde vraageffecten, zoals in Oum (1979b) of de Jong (2014). In sommige studies wordt dit probleem opgevangen door rekening te houden met de grootte van de zendingen, die afhankelijk is van de efficiëntie en de vraag van het transport, maar concurrerende aanpassingen door andere modi worden over het algemeen verwaarloosd, evenals veranderingen die alleen op langere termijn kunnen optreden, zoals veranderingen in locatie of nieuwe investeringen in geschikte apparatuur. Al deze kanttekeningen maken dat er in de praktijk weinig of geen echte schattingen zijn van volledige lange-termijn elasticiteiten (Oum et al., 1992).

In deze sectie wordt dieper ingegaan op deze thematiek en de eventuele afwijking die op de veronderstelling van een volkomen inelastische transportvraag gemaakt zou kunnen worden.

³ De prijselasticiteit van de vraag geeft de relatieve (procentuele) verandering van de gevraagde hoeveelheid van een goed weer als gevolg van een relatieve (procentuele) prijsverandering van dat goed. De kruislingse elasticiteit van de vraag is de mate waarin een prijsstijging van een goed de vraag naar een ander goed verandert. (Stiglitz & Walsh, 2006)

⁴ Om inzicht te krijgen in de manier waarop consumenten reageren op prijsveranderingen kan een onderscheid gemaakt worden tussen het inkomenseffect en het substitutie-effect. Het inkomenseffect kan gedefinieerd worden als een verandering in de vraag naar een goed als gevolg van een verandering van het reële inkomen. Als de prijs van een goed stijgt, vermindert het reële inkomen omdat de consument niet langer dezelfde hoeveelheid consumptie kan veroorloven. Andersom stijgt het reële inkomen wanneer de prijs van een goed daalt. Met andere woorden, het inkomenseffect bestudeert een verandering van de gevraagde hoeveelheid als gevolg van een verandering van de koopkracht van het inkomen. Het substitutie-effect refereert op zijn beurt aan een verandering in de vraag naar een goed als gevolg van een verandering van de prijs van een goed ten opzichte van andere (substituïerbare) goederen. Het betreft hier dus een relatieve prijsverandering. Als de prijs van een goed verandert, wordt dit goed aantrekkelijker, dan wel onaantrekkelijker, ten opzichte van andere goederen. De beschikbaarheid van substituten heeft vanzelfsprekend een grote invloed op het substitutie-effect; hoe meer substituten er voor handen zijn, hoe groter het substitutie-effect. (Stiglitz & Walsh, 2006)

Elasticiteiten kunnen vervolgens onderverdeeld worden in ongecompenseerde en gecompenseerde elasticiteiten. Een ongecompenseerde elasticiteit geeft de elasticiteit weer waarin zowel het substitutie- als inkomenseffect is meegenomen. Een gecompenseerde elasticiteit laat het inkomenseffect buiten beschouwing, waardoor het substitutie-effect inzichtelijk wordt gemaakt. (Stiglitz & Walsh, 2006)

Strategisch Vrachtmodel prognoses vrachtvolumes

In SVRM wordt voor de inschatting van de vrachtvolumes voor de verschillende transportmodi gebruik gemaakt van inschattingen van het Duitse Prognos. Met betrekking tot prijselasticiteiten bevestigt Kienzler (Prognos, 2017) de stelling dat over het algemeen transport niet erg elastisch is met betrekking tot veranderingen in de kosten. Men moet hierbij in gedachten houden dat het aandeel van de transportkosten in de uiteindelijke productprijs tussen 1% en ongeveer 10% ligt. Hoe hoger de waarde van goederen, hoe lager het aandeel van de transportprijs (vb. voor grind, zand enz. kan het aandeel van de transportprijs ongeveer 10% zijn). Dit kan worden geïllustreerd door de waargenomen gedrag van de industrie (bijv. vestiging van productie in landen ver weg van de consumentenmarkten (off-shoring). Prognos gaat er van uit dat de transportprijs van ondergeschikt belang is in vergelijking met andere prijselementen (bijvoorbeeld arbeidskosten, belastingen, lokale prijzen voor implantaties etc.) Er wordt daarom uitgegaan van een "best guess" van elasticiteit van -0,1 tot -0,05. Dat betekent dat bij een kostenstijging van 10% de transportvraag slechts met 0,5% tot 1% zou dalen.

Voor een gedetailleerde bespreking van de relatieve gevoeligheden voor prijsmaatregelen in SVRM en een vergelijking van de impliciete elasticiteiten in het model met elasticiteiten uit de literatuur wordt verwezen naar het rapport "Doorrekeningen roadmap vrachtvervoer met Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen" in bijlage.

Elasticiteiten en kruiselasticiteiten voor transport in België

In de studie van Beuthe et al. (2014) worden elasticiteiten geraamd voor België. De resultaten in onderstaande Tabel uit deze studie laten zien dat de totale vraag van de drie modi inelastisch is wat betreft tonnage, en zelfs sterk oneelastisch voor wegtransport. De tabel geeft bijvoorbeeld aan dat bij een kostendaling van wegtransport met 5%, het aantal getransporteerde tonnage over de weg met 0,16% stijgt. Wat kruiselasticiteiten betreft, zou deze kostenstijging resulteren in een daling van de vervoerde tonnages met 0,62% voor spoor en 0,42% voor binnenvaart. In een eerdere studie was de vraag naar vrachtvervoer niet elastisch wat betreft tonnage maar wel elastisch in termen van ton-km, wat aangeeft dat een kostenvermindering de

concurrentiepositie van vrachtvervoer over langere afstanden verbeterd. In Beuthe et al. (2014) zijn er evenwel slechts kleine verschillen tussen de ton- en de ton-km-schattingen. Zoals verwacht, zijn de elasticiteiten met betrekking tot de totale kosten groter dan die met betrekking tot transportkosten. Spoor lijkt bijzonder gevoelig voor een variatie van de totale kosten. Gezien de kruiselasticiteit lijkt het spoor gevoeliger te zijn voor een verlaging van weggkosten dan binnenvaart.

Tabel 11: Geaggregeerde elasticiteiten voor een 5% kostenreductie (Beuthe et al., 2014)

		Totale kostenreductie			Verlaging van de reiskosten		
		Weg	Spoor	Water	Weg	Spoor	Water
Ton	Weg	-0,16	0,11	0,06	-0,11	0,04	0,04
	Spoor	0,62	-0,76	0,15	0,43	-0,34	0,12
	Water	0,42	0,19	-0,59	0,29	0,1	-0,47
T-km	Weg	-0,16	0,11	0,06	-0,12	0,05	0,05
	Spoor	0,59	-0,74	0,16	0,45	-0,38	0,14
	Water	0,4	0,24	-0,61	0,31	0,15	-0,53

De kostprijselasticiteit van spoor en binnenvaart daalt doorgaans (in absolute waarde) met de afstand, wat betekent dat, over langere afstanden, beide vervoerswijzen concurrerender zijn met minder kostcompetitie op markten waar hun specifieke diensten geschikter zijn. Daarentegen is de eigen elasticiteit van wegvervoer hoger voor middellange afstanden waarbij wegvervoer meer wordt blootgesteld aan concurrentie van de andere twee modi. In alle gevallen is de vraag naar spoorvervoer meer elastisch.

Beuthe et al. (2014) berekenen ook de ton-km-elasticiteiten voor elk van de 11 NST-R productcategorieën (zie tabel hieronder). Voor vrachtvervoer variëren de eigen kostenelasticiteiten tussen 0,01 en 0,83; ze zijn het hoogst voor transport van zware bulk (vaste brandstof, aardolie, ijzererts en afval), terwijl ze erg klein zijn voor voedsel, chemicaliën en diverse goederen. Analooch is de waterwegelasticiteit het laagste (0,39-0,48) voor zware bulkgoederen waarvoor het een concurrentievoordeel heeft; in andere segmenten hebben ze de neiging hoger te zijn dan 0,90, behalve voor containers (0,68). Dit concurrentievoordeel voor het transport van zware bulkgoederen wordt ook geïllustreerd door de overeenkomstige hogere kruiselasticiteit met betrekking tot vaarwegkosten. Spoorelasticiteit is meer gespreid tussen 0,54 en 1,00. De sterkste concurrentiepositie van het spoor lijkt te bestaan voor metallurgische producten. De resultaten per commodity laten zien dat de relatieve concurrentieposities van de drie modi voor het transport van specifieke goederen in grote mate de variaties in elasticiteiten verklaren.

Tabel 12: Tonkilometer-elasticiteiten per NST-R categorie voor een 5% kostenreductie (Beuthe et al., 2014)

NST-R	Wijze	Totale kostenreductie			Verlaging van de reiskosten		
		Weg	Spoor	Water	Weg	Spoor	Water
Landbouwproducten	Weg	-0,35	0,30	0,07	-0,27	0,12	0,06
	Spoor	0,64	-0,69	0,07	0,49	-0,29	0,06
	Water	0,64	0,29	-0,92	0,48	0,12	-0,79
Voedsel	Weg	-0,01	0,00	0,01	-0,01	0,00	0,01
	Spoor	0,99	-1,00	0,01	0,76	-0,64	0,01
	Water	0,99	0,00	-0,99	0,75	0,00	-0,84
Vaste brandstoffen	Weg	-0,83	0,22	0,56	-0,66	0,13	0,49
	Spoor	0,18	-0,75	0,52	0,15	-0,51	0,46
	Water	0,15	0,33	-0,39	0,11	0,24	-0,35
Petroleum producten	Weg	-0,72	0,13	0,54	-0,54	0,07	0,48
	Spoor	0,30	-0,86	0,54	0,22	-0,50	0,48
	Water	0,50	0,12	-0,48	0,39	0,06	-0,42
Ijzererts en resten	Weg	-0,82	0,23	0,61	-0,64	0,15	0,53
	Spoor	0,18	-0,77	0,62	0,14	-0,51	0,54
	Water	0,18	0,26	-0,46	0,13	0,17	-0,41
Metallurgische producten	Weg	-0,52	0,44	0,09	-0,39	0,17	0,07
	Spoor	0,46	-0,54	0,09	0,35	-0,21	0,07
	Water	0,48	0,45	-0,90	0,35	0,18	-0,75
Mineralen en bouwproducten	Weg	-0,24	0,19	0,06	-0,18	0,09	0,05
	Spoor	0,75	-0,81	0,06	0,56	-0,41	0,05
	Water	0,74	0,19	-0,95	0,55	0,10	-0,78
Meststoffen	Weg	-0,48	0,38	0,11	-0,38	0,25	0,09
	Spoor	0,52	-0,61	0,11	0,41	-0,41	0,09
	Water	0,51	0,38	-0,87	0,40	0,25	-0,75
Chemische producten	Weg	-0,03	0,01	0,02	-0,02	0,01	0,02
	Spoor	0,97	-0,99	0,02	0,75	-0,46	0,02
	Water	0,97	0,01	-0,97	0,72	0,01	-0,86
Diverse	Weg	-0,02	0,01	0,01	-0,02	0,00	0,01
	Spoor	0,98	-0,99	0,01	0,77	-0,42	0,01
	Water	0,98	0,01	-0,98	0,74	0,00	-0,84
Containers	Weg	-0,42	0,12	0,31	-0,34	0,07	0,26
	Spoor	0,58	-0,87	0,31	0,47	-0,49	0,26
	Water	0,57	0,12	-0,68	0,46	0,07	-0,57

Vergelijking elasticiteiten Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen SVRM met andere modellen

Op basis van simulaties met SVRM werden ook elasticiteiten voor Vlaanderen geraamd (Borremans et al., 2015). In de vergelijkbare BasGoed studie (Significance, NEA en DEMIS, 2010) zijn voor Nederland de kosten- en tijdelasticiteiten per ton en per tonkm berekend. In onderstaande tabel uit Borremans et al. (2015) worden de resulterende elasticiteiten van SVRM simulaties vergeleken met de uitkomsten van BasGoed en andere elasticiteiten uit de literatuur. De getoonde resultaten zijn de gemiddelde elasticiteiten over alle soorten goederen. Voor deze studie is het gemiddelde berekend uit de elasticiteiten per NST-klasse gewogen met het aantal tonkm per NST-klasse. Voor spoorvervoer en wegvervoer komen de resultaten van de studies en de literatuur goed overeen. De kostenelasticiteiten voor binnenvaart (BV) uit deze studie liggen boven die uit het NODUS model voor België (RAND Europe, 2002) en die uit BasGoed er juist onder.

Tabel 13: Vergelijking van de kosten- en tijdelasticiteiten per tonkilometer uit BasGoed, NODUS en SVRM (Borremans et al., 2015)

	kostenelasticiteiten			tijdelasticiteiten		
	Weg	Spoor	Binnenvaart	Weg	Spoor	Binnenvaart
NODUS model (RAND Europe, 2002)			-0,76			
(Significance en CE Delft, 2010)		(-0,8 -- 1,6)				
(Significance en VTI, 2010)	-0,4					
(Significance, NEA en DEMIS, 2010)	-0,5	-0,87	-0,28	-0,3	-0,23	-0,3
Deze studie	-0,21	-0,91	-1,44	-1,01	-0,47	-1,01

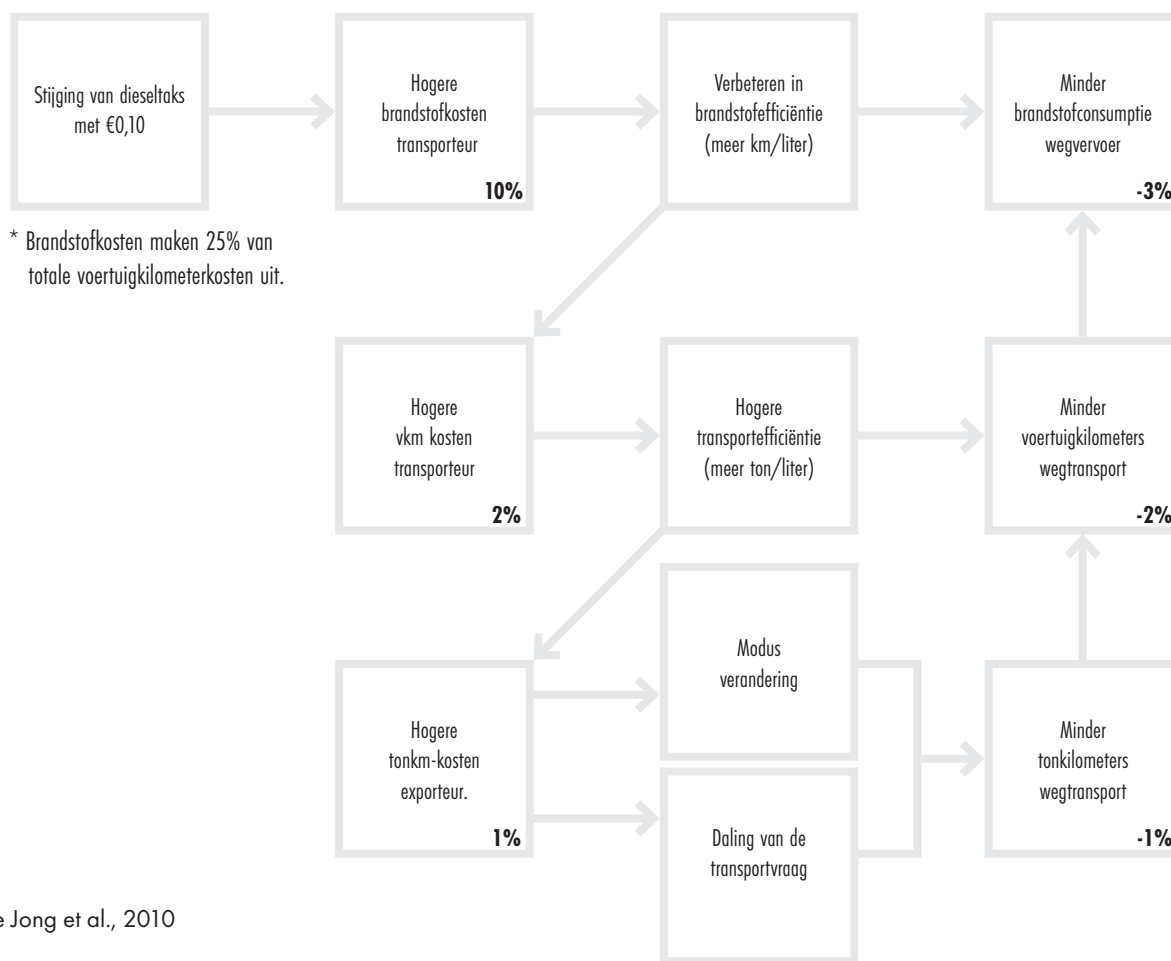
Prijselasticiteit van het internationale, lange afstand goederenvervoer over de weg

In de studie van Significance & CE Delft (De Jong et al., 2010) werd de langetermijn prijsgevoeligheid of prijselasticiteit van het internationale, lange afstand goederenvervoer over de weg onderzocht, op basis van wetenschappelijke literatuur en evaluatiestudies van bestaande prijsstellingsschema's. Er werd gekeken naar drie soorten prijswijzigingen:

- Veranderingen in brandstofprijzen, die rechtstreeks van invloed kunnen zijn op het totale brandstofverbruik, het totale aantal voertuigkilometers en het totale aantal tonkilometers.
- Veranderingen in de kilometerprijs van voertuigen, die rechtstreeks van invloed zijn op het aantal voertuigkilometers en tonkilometers. Door de daling van voertuigkilometers wordt ook de hoeveelheid gebruikte brandstof indirect beïnvloed.
- Veranderingen in tonkilometerprijzen, die het aantal tonkilometers rechtstreeks beïnvloeden. Indirect zullen ook het aantal voertuigkilometers en het totale brandstofverbruik worden beïnvloed door dit soort prijsverandering.

Hieronder worden drie schema's van mogelijke kosteneffecten weergegeven.

1. Stijging van dieseltaks met € 0,10

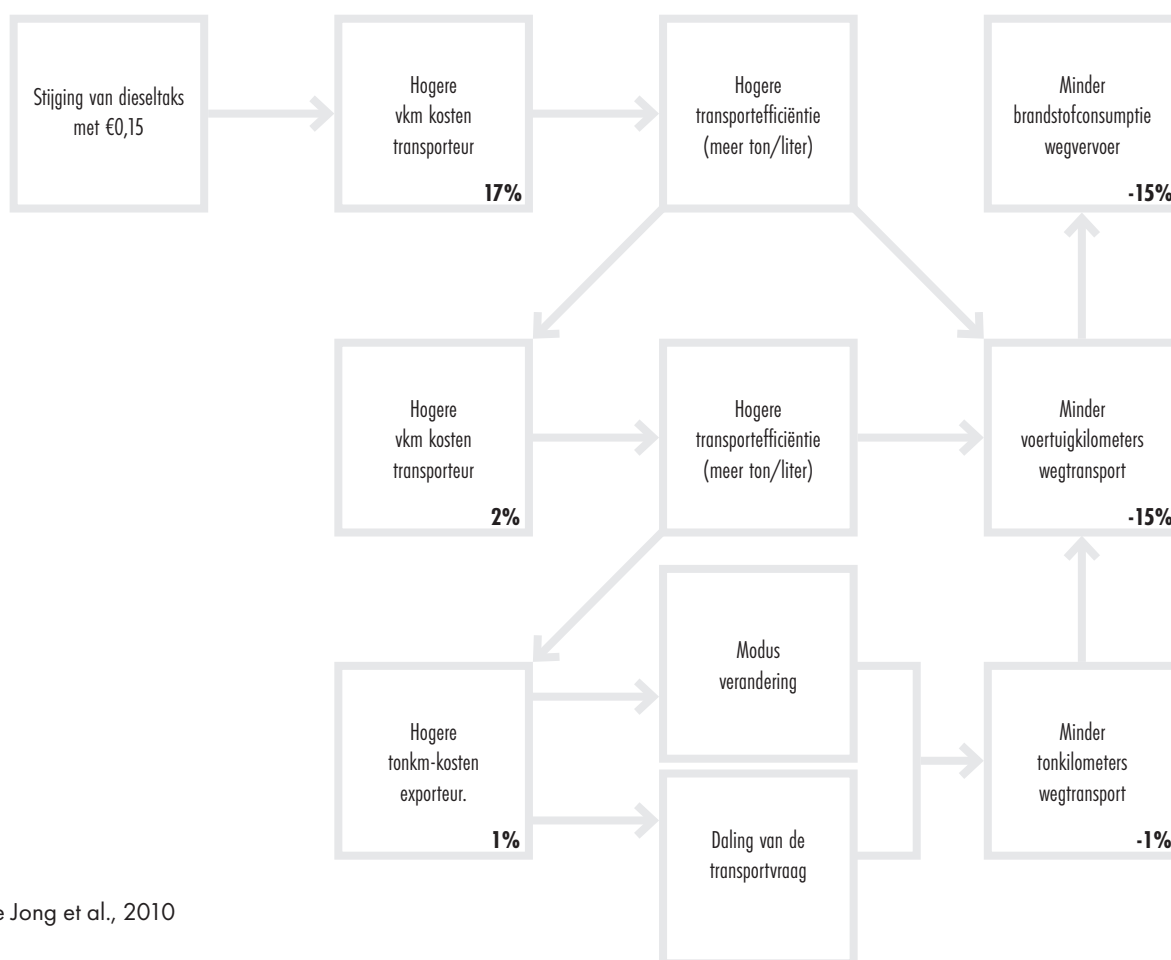


De Jong et al., 2010

Met een gemiddelde brandstofprijs van € 1,05 per liter resulteert een verhoging van de dieselbelasting van € 0,10 in ongeveer 10% hogere brandstofkosten. Op de lange termijn zal de prijsstijging zorgen voor een verhoogde brandstofefficiëntie die ongeveer 1% ($-0,1 \times 10\%$) van de stijging van de brandstofprijs zal absorberen zodat 9% van de gestegen brandstofkosten in de prijzen per voertuigkilometer belanden. De Jong et al. (2010) nemen aan dat de brandstofkosten 25% van de totale voertuigkilometerkosten uitmaken, waardoor de resulterende brandstofkostenstijging zal leiden tot ongeveer 2% hogere kilometerkosten. Met een elasticiteit van $-0,9$ resulteert dit in een reductie van voertuigkilometers van zo'n 2%. Samen met de toename van het brandstofrendement van ca. 1% dit zal resulteren in een vermindering van de brandstofvraag van ongeveer 3%.

De afname van voertuigkilometers als gevolg van de hogere brandstofprijzen kan deels worden verklaard door een toename in transportefficiëntie. Ongeveer 45% van de gestegen voertuigkilometerkosten worden geabsorbeerd als gevolg van deze verbetering van de efficiëntie. Als gevolg hiervan zullen de tonkilometerkosten slechts met ongeveer 1% stijgen ($55\% \times 2\%$). Deze toename resulteert in een daling van de getransporteerde tonkilometer over de weg van ongeveer 1% ($-1 \times 1\%$). Dit wordt enerzijds veroorzaakt door een daling van de vraag (0,6%) en anderzijds door een modale verschuiving naar binnenschepen en spoorwegen (0,4%). In totaal resulteren de verbeterde transport- en brandstofefficiëntie, de dalende vraag en de modale verschuiving in een daling van ongeveer 1% in tonkilometers over de weg, 2% minder voertuigkilometers en 3% minder brandstofverbruik (en CO_2 -emissies) (De Jong et al., 2010).

2. Introductie van een kilometerheffing van € 0,15



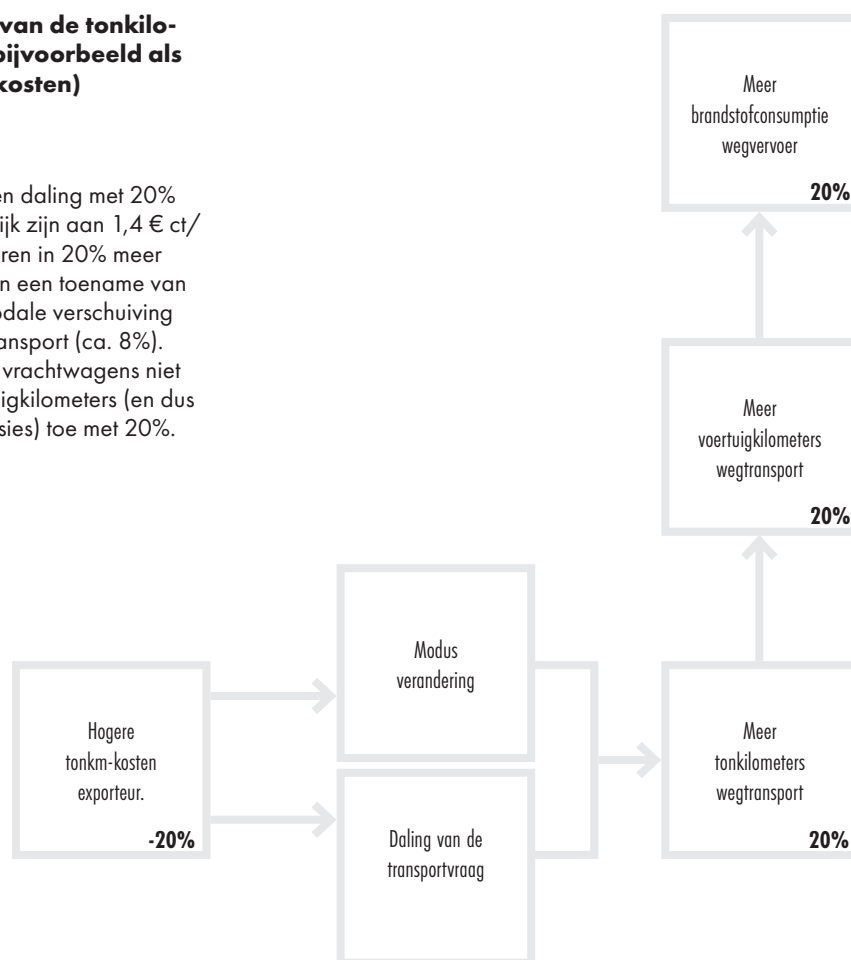
De Jong et al., 2010

De invoering van een kilometerheffing van € 0,15 resulteert in een stijging van de transportkosten per voertuigkilometer van 17%, op basis van een gemiddelde Europese voertuigkilometerprijs van € 0,88/km (De Jong et al., 2010). Dit zal leiden tot een afname van het aantal voertuigkilometers met ongeveer 15% ($-0,9 \times 17\%$). Ook de totale hoeveelheid gevraagde brandstof (en CO_2 -emissies van vrachtvervoer over de weg) neemt af met ca. 15%.

Bovendien zal de stijging van de kosten leiden tot een verbeterde transportefficiëntie. Zoals hierboven wordt 45% van de gestegen voertuigkilometerkosten verondersteld geabsorbeerd te worden als gevolg van deze efficiëntieverbetering. Als gevolg hiervan zullen de tonkilometerkosten slechts met ongeveer 9% stijgen ($55\% \times 17\%$). Tonkilometers van vrachtvervoer over de weg dalen hierdoor met 9%. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door een daling van de vraag (ca. 5,6%) en anderzijds door een modale verschuiving naar binnenvaartschepen en spoorwegen (3,8%) (De Jong et al., 2010).

3. Effecten van een daling van de tonkilometerkosten met 20% (bijvoorbeeld als gevolg van lagere laadkosten)

Met een prijs van 7 € ct/ton-km zal een daling met 20% (als gevolg van lagere laadkosten) gelijk zijn aan 1,4 € ct/ton-km. De lagere tonkm-kosten resulteren in 20% meer tonkm (-1 x -20%). Dit is het gevolg van een toename van de vervoersvraag (ca. 12%) en een modale verschuiving van spoor- en binnenvaart naar wegtransport (ca. 8%). Aangezien de beladingsgraad van de vrachtwagens niet verandert, neemt ook het aantal voertuigkilometers (en dus de totale brandstofvraag en CO₂-emissies) toe met 20%.



De Jong et al., 2010

Besluit

Uit de geraadpleegde studies blijkt dat het in rekening brengen van eigen prijselasticiteiten geen evidente zaak is. Het in deze studie gehanteerde uitgangspunt van een inelastische prijselasticiteit blijkt zeker voor wegvervoer grotendeels ondersteund te worden. Daarnaast is het erg moeilijk om het uiteindelijke kosteneffect van de verschillende transportmodi naar 2030 correct in te schatten. Zo zijn er bijvoorbeeld bij wegvervoer enerzijds elementen zoals logistieke efficiëntieverbeteringen en de brandstofbesparingen gerelateerd aan de introductie van CO₂-emissiestandaarden waarvan wordt ingeschat dat ze door technologische ingrepen met korte terugverdienperiodes gerealiseerd kunnen worden die kostenverlagend werken, anderzijds zijn er maatregelen zoals koolstoftaks, km-heffing en potentiële meerkosten bij aanschaf van voertuigen op alternatieve aandrijvingen die kostenverhogend werken. Daarom werd er bij de modeldoorrekeningen in SVRM en TRABAM geopteerd om in de scenario's niet af te wijken van volkomen prijsinelasticiteit. Hierbij speelt ook mee dat we willen vermijden dat een ingebouwde prijselasticiteit zou resulteren in CO₂ besparingen door een afgenomen transportvraag die zich in de realiteit mogelijk niet voordoet. Er wordt dus een eerder conservatieve houding aangenomen waarbij verondersteld wordt dat de transportvraag constant blijft bij stijgende transportkosten. Een sensitiviteitsanalyse kan deze assumptie evenwel relaxeren en kan het effect van een beperkte prijselasticiteit simuleren.

Bronnen :

- Beuthe, M., Jourquin, B. & Urbain, N. (2014) Estimating Freight Transport Price Elasticity in Multi-mode Studies: A Review and Additional Results from a Multimodal Network Model, *Transport Reviews*, 34:5, 626-644
- Borremans, Van Houwe, De Jong, Kienzler, 2015. Opbouw strategisch vrachtmodel Vlaanderen versie 4.1.1. Verkeerscentrum: Kenniscentrum Verkeer en Vervoer: dossiernummer 12030.
- CE Delft, 2017, STREAM Goederenvervoer 2016 - Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer
- De Jong, Schrotten., Van Essen, Otten, Bucci (Significance & CE Delft) (2010), Price Sensitivity of European road freight transport – Towards a better understanding of existing results. A report for Transport & Environment, Report 9012-1,
- Federaal Planbureau & Vito, 2012, Working paper 11-12: De milieu-impact van de evolutie van de transportvraag tegen 2030
- Stiglitz en Walsh (2006), *Economics*, New York: Norton
- TML, 2007, Emissiemodel voor Spoorverkeer en Scheepvaart in Vlaanderen: EMMOSS

01.5. Elektrisch energieverbruik

Korte beschrijving

Verschillende maatregelen die onderzocht worden in deze roadmap hebben een impact op het elektrisch energieverbruik. Het gaat dan enerzijds om maatregelen die modale verschuiving naar het (elektrisch) spoorvervoer teweegbrengen en anderzijds om maatregelen die alternatieve energiedragers in het vrachttransport stimuleren waarbij elektrische energie vereist is, zoals het gebruik van batterij elektrische voertuigen (BEV's) of het gebruik van duurzame waterstof op basis van hernieuwbare elektrische energie. In deze fiche wordt kort besproken welke factoren hiervoor gebruikt werden.

Wegvervoer

Voor BEV's werden waarden afgeleid uit een aantal bronnen. Voor lichte en zware vrachtwagens zijn deze waarden hoofdzakelijk gebaseerd op waarden uit de CARB, 2018 studie (zie onderstaande tabel).

Voor een klasse 8 vrachtwagen (met lading van 32 ton) schommelt dit verbruik tussen de 2,1 kWh en 7 kWh per mijl, wat overeenkomt met 130 kWh per 100km bij lage snelheden op vlak terrein tot 435 kWh per 100 km bij helling van 7%

Voor klasse 5 voertuig (met lading van 7,5 ton) schommelde dit rond 0.7 kWh/mile wat overeenkomt met 43,5 kWh/100 km.

E-Force On geeft voor zijn batterij-elektrische 18-44-tons vrachtwagen⁵ (die kan uitgerust worden met batterijpakketten van 120 kWh tot 310 kWh) volgende verbruiken aan⁶:

- Stedelijk: 80-120 kWh/100 km (26-40 ton) met een bereik tot 300 km
- Snelweg: 130-180 kWh/100 km (26-40 ton) met een bereik tot 180 km

Prof J. Van Mierlo (hoofd MOBI-onderzoeksgroep en expert BEV's) gaf aan dat verbruikscijfers van elektrische bussen tussen de 90 en 140 kWh/100 km liggen voor een standaard bus. Een zware vrachtwagen wordt verwacht eerder een 200 kWh/100 km te verbruiken.

Met betrekking tot kleine bestelwagens (< 2,5 ton) geven Camilleri en Dabanc volgende verbruikscijfers op voor een 22 kWh elektrische bestelwagen:

- gemiddeld stedelijk verbruik: 17,5 kWh/100 km
- gemiddeld verbruik weg: 19,5 kWh/100 km
- gemiddeld verbruik snelweg: 24,0 kWh/100km

Deze waarden lijken in lijn te liggen met de verbruikswaarden voor de zwaarste categorie van personenwagens⁷.

Tabel 14: Test Cycle Vehicle Energy Efficiency Ratio at Different Average Speeds

Data Source	Route/Test Cycle	Average	Diesel	Electric	Electric	EER Ratio
		Speed (mph)	(mpdge)	(kWhr/mi)	(mpdge)	
UC Riverside - Class 8 Drayage Tractor	Drayage Near Dock	6,6	3,3	2,1	18,3	5,5
UC Riverside - Class 8 Drayage Tractor	Drayage Local	9,5	3,5	2,1	18	5,1
CalStart - Class 5 Step Van	OCBC	12,3	9,5	0,7	52,3	5,5
Altoona - Class 8 40' Bus	Bus CBD	12,7	3,9	1,8	21,3	5,4
CalStart - Class 5 Step Van	HTUF4	14	11,7	0,7	56,2	4,8
UC Riverside - Class 8 Drayage Tractor	UDDS	19,1	3,8	2,4	15,5	4,1
UC Riverside - Class 8 Drayage Tractor	Drayage Regional	23,4	4,9	2,1	17,9	3,7
Altoona - Class 8 40' Bus	Arterial	27	4,2	2,3	16,3	3,9
Altoona - Class 8 40' Bus	Commuter	38	7,5	1,5	26	3,5
UC Riverside - Class 8 Drayage Tractor	Drayage Cruise	50,2	5,5	2	19,2	3,5
UC Riverside - Class 8 Drayage Tractor	7% Grade Test	34,4	1,7	7	5,4	3,2

⁵ EFORCE 18-44t elkw factsheet < http://eforce.ch/uploads/1/1/7/1/117106312/e44_fact_sheet_d.pdf>

⁶ Het gaat hier om waarden opgegeven door de fabrikant, dus enige voorzichtigheid is hier aangewezen.

⁷ Ter info: Canals et al. (2016) geven verbruikscijfers voor personenwagens tussen de 10 kWh/100 km en 24 kWh/100 km.

Aangezien de categorie bestelwagens ook zwaardere voertuigen omvat (tot 3,5 ton) wordt een iets hogere waarde voor het gemiddelde van deze categorie aangewend, namelijk 30 kWh.

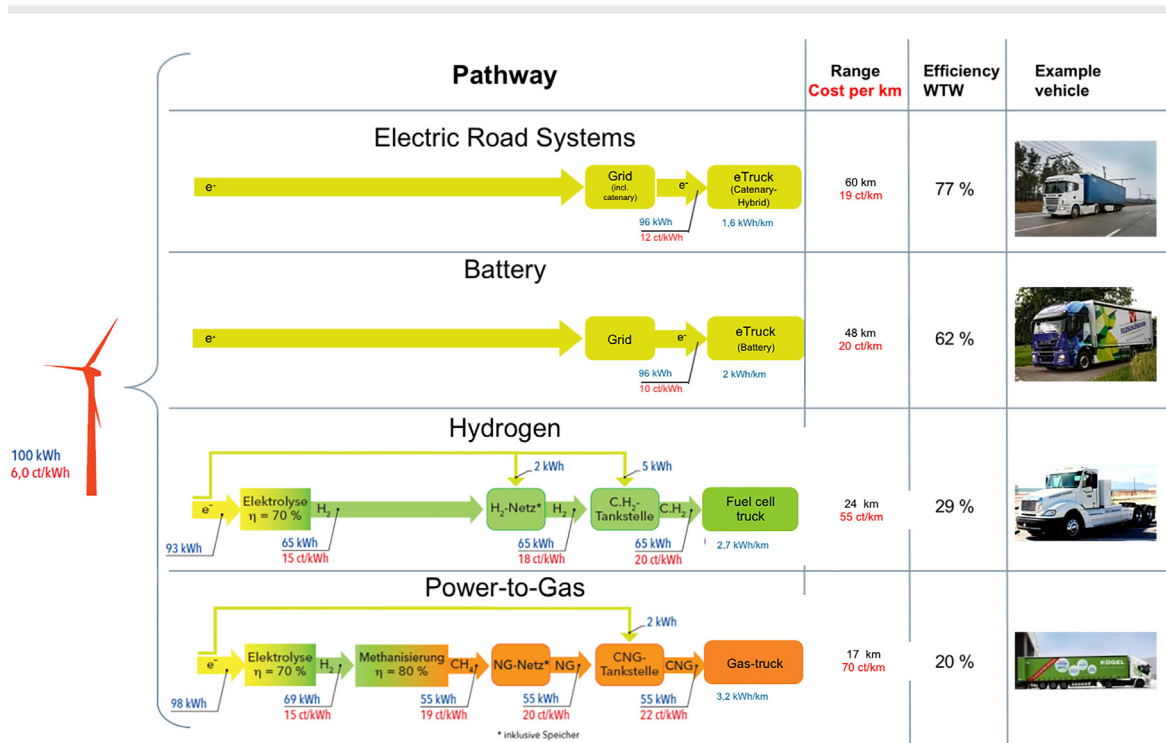
Op basis van de bovenstaande gegevens werd voor de inschatting van het elektrisch verbruik van wegvoertuigen volgende verbruikscijfers gehanteerd:

- Bestelwagen BEV: 30 kWh/100 km
- Lichte vrachtwagen BEV: 75 kWh/100 km
- Zware vrachtwagen BEV: 200 kWh/100 km

Dit geeft natuurlijk wel slechts een eerste ruwe raming van het elektrisch energieverbruik aangezien deze waardes afhankelijk zijn van tal van factoren (waaronder rijgedrag, beladingsgraad, gebruiksprofiel, hellingsgraden, weersomstandigheden, enz.).

Voor het elektrisch energieverbruik van andere alternatieve technologieën zijn de elektrische energieverbruikscijfers afgeleid uit onderstaande figuur (Siemens, 2015). Hierin wordt de waarde van 200 kWh/100 km voor zware vrachtwagen BEV's bevestigd. Daarnaast wordt voor (Electric Road systems) ERS een waarde van 160 kWh/100 km opgegeven, voor waterstof op 270 kWh/100 km en voor Power-to-Gas 320 kWh/100 km. Interessant is de WTW-efficiëntie die voor de verschillende technologieën werd berekend, vertrekkende van hernieuwbare windenergie. Daaruit blijkt dat ERS-technologie 20% efficiënter zou zijn, daar de elektromotor in de EV's de energie rechtstreeks van de ERS ontvangt, waardoor het efficiëntieverlies dat optreedt bij batterijopslag wordt overbrugd. De andere vormen zijn momenteel duidelijk minder energie-efficiënt.

Figuur 15: Bron: Siemens AG / MO TI EH / Akerman (2015)



Binnenvaart

Een gemiddeld binnenvaartschip is voorzien van een vermogen van 1 MW.⁷ Een accupakket in een 20-voets container (ook wel e-Powerbox genaamd)⁸ heeft een capaciteit van 1,5 MWh, een 40-voets container heeft een dubbele capaciteit en dus 3 MWh. Een schip vaart doorgaans tijdens de vaart op zo'n 30-40% van zijn vol vermogen en vraagt dus tussen de 0,3 en 0,4 MW per uur.

Dit zijn natuurlijk slechts indicatieve cijfers, die in de praktijk zeer afhankelijk zijn van scheepstype, beladingsgraad, vaaromstandigheden, etc.. Aangezien dergelijke volledig elektrische batterij-aangedreven schepen nog in aanbouw zijn ontbreekt momenteel operationele data van het effectieve elektrisch energieverbruik.

Spoorvervoer

De energieverbruiksfactor voor spoorvervoer, noodzakelijk om het elektrisch energieverbruik van vrachttransport per spoor via elektrische tractie te begroten, werd reeds besproken in de fiche "Emissiefactoren". Voor elektrisch spoorvervoer wordt op basis van EMMOSS v3.2 een **energieverbruiksfactor (inclusief bijkomende rangeeractiviteit) van 0,0573 kWh per beladen tonkilometer** berekend. Hierin zit ook een aandeel van onbeladen voertuigkilometers vervat (het totale energieverbruik voor beladen en onbeladen treinkilometers wordt dus verdeeld over de beladen tonkilometers).

Bronnen

- CARB (California Air Resources Board), 2018, Battery Electric Truck and Bus Energy Efficiency Compared to Conventional Diesel Vehicles. Update: mei, 2018
- Camilleri, Dabanc, (2017) An assessment of present and future competitiveness of electric commercial vans. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 7(1), 337-364
- Canals, Martinez-Laserna, Amante, Nieto (2016) Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO2 emissions reduction. *Journal of Cleaner Production*, 127, 425-437
- Fetene (2014) A Report on Energy consumption and Range of Battery Electric Vehicles Based on Real-World Driving Data
- Interview Joeri Van Mierlo (VUB-MOBI), april 2018
- Siemens, 2015, Electric Road Systems. An option for Future of Core Network Corridors.
- TML, 2007, Emissiemodel voor Spoorverkeer en Scheepvaart in Vlaanderen: EMMOSS
- CE Delft, 2017, STREAM Goederenvervoer 2016 - Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer
- Wikipedia, Electric Truck, geraadpleegd 1 augustus 2018

⁷ <http://siebeschootstra.nl/vrachtboot-met-powerbank/>

⁸ Een e-Powerbox is een speciaal ontwikkelde schok- en trillingvrije container voor energieopslag. Een e-Powerbox kan zowel batterijen als diesel- of gasgeneratoren bevatten. Op termijn zullen ook waterstofgeneratoren beschikbaar komen. (Werkina Werkendam Magazine juni 2018: De toekomst is elektrisch)

01.6. Well-to-Tank analyse energiedragers

Korte beschrijving

In deze fiche wordt een inleidend overzicht gegeven van de impact van de well-to-tank (WTT) emissies op de totale CO₂-uitstoot van de verschillende energiedragers die gebruikt worden in de transportsector. Dit is essentieel om een goed inzicht te krijgen in het totale CO₂-besparingseffect van de verschillende energiedragers. Deze info is daarom gerelateerd aan verschillende maatregelenfiches, in het bijzonder deze van "Waterstof", "CNG/LNG & CBM/LBM voertuigen", "Combinatie biodiesel en biomethaan", en al de fiches die te maken hebben met elektrificatie. Vanwege het huidige debat omtrent hun potentiële bijdrage tot CO₂-emissiereductie wordt in deze sectie bijzondere aandacht gegeven aan de huidige stand van zaken op vlak van biobrandstoffen en hernieuwbaar gas. Dit resulteert in een aantal beleidsaanbevelingen.

Inleiding

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de link tussen de verschillende brandstoffen en (natuurlijke) hulpbronnen. Daaruit wordt meteen duidelijk dat er een zeer divers aanbod is aan brandstoffen, vaak op basis van verschillende hulpbronnen. Elektriciteit wordt zowel als een brandstof en als een hulpbron beschouwd. De waterstofroute via elektrolyse is daarom een combinatie van één route voor de productie van elektriciteit waarop de productie van waterstof volgt.

Tabel 15: Brandstoffen en hulpbronnen (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014))

Fuel Resource	Gasoline, Diesel (2010 quality)	CNG/CBG/SNG	LPG	Hydrogen (comp., liquid)	Synthetic diesel	DME	Ethanol	MT/ETBE	FAME/FAEE	HVO	Methanol	Electricity	Heat
Crude oil	X											X ⁽⁵⁾	X ⁽⁶⁾
Coal				X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X					X	X	
Natural gas: Piped		X		X ⁽¹⁾	X	X					X	X	X
Remote		X ⁽¹⁾		X	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾		X			X	X	X
Shale gas		X											
LPG Remote ⁽³⁾			X					X					
Biomass													
Sugar beet							X						
Wheat							X	X					
Barley/rye							X						
Maize (Corn)							X ⁽⁴⁾						
Wheat straw							X						
Sugar cane							X						
Rapeseed									X	X			
Sunflower									X	X			
Soy beans									X	X			
Palm fruit									X	X			
Woody waste				X									X
Farmed wood				X	X	X	X				X	X	X
Waste veg oils									X	X			
Tallow									X	X			
Organic waste		X ⁽²⁾										X	X
Black liquor				X	X	X					X	X	
Wind		X			X							X	
Nuclear												X	
Electricity				X									

(1) met/zonder CCS (2) Biogas (3) Associated with natural gas production (4) EU and US sources (5) Heavy Fuel Oil (6) Heating Oil

CBG: Compressed Biogas / CNG: Compressed Natural Gas / DME: Di-Methyl-Ether / ETBE: Ethyl-Tertiary-Butyl Ether / FAEE: Fatty Acid Ethyl Ester / FAME: Fatty Acid Methyl Ester / HVO: Hydrogenated (or Hydro-treated) Vegetable Oils (and animal fats) / LPG: Liquefied Petroleum Gas / MTBE: Methyl-Tertiary-Butyl Ether

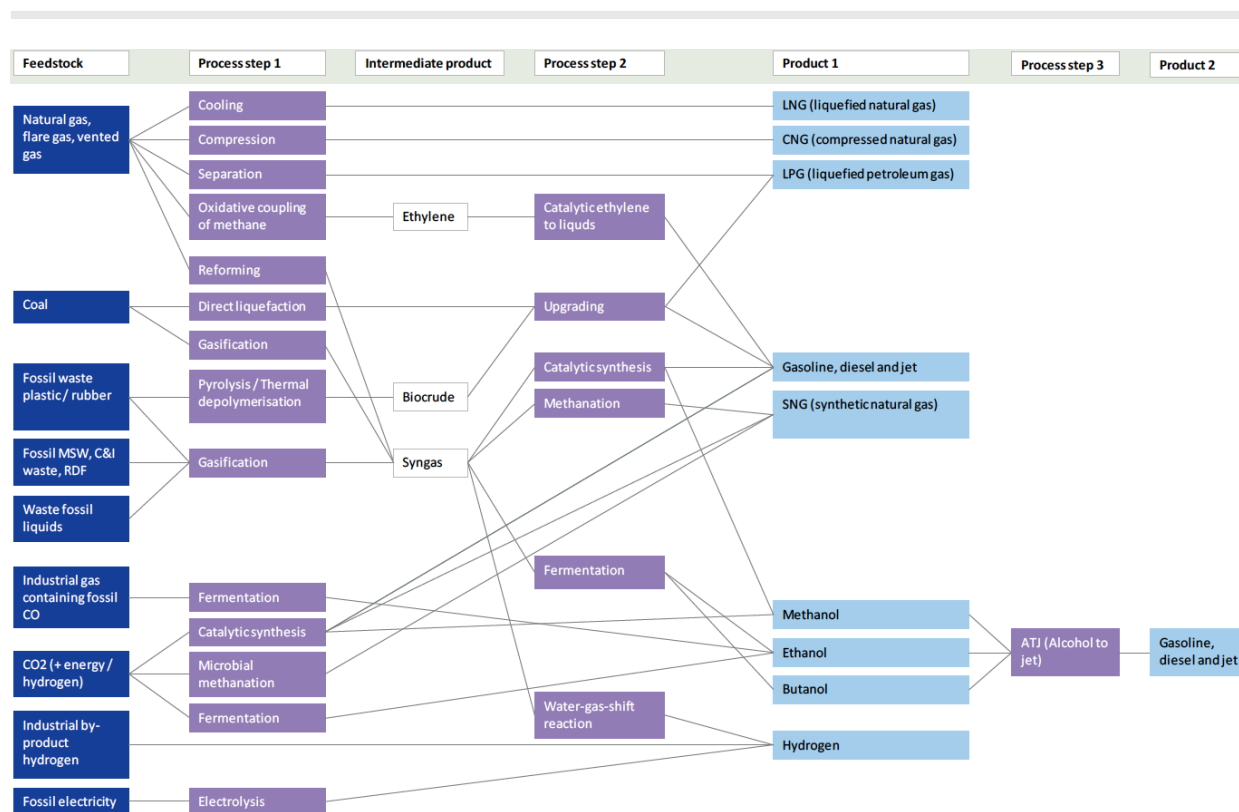
Een categorie die in bovenstaande tabel ontbreekt zijn de zogenaamde *recycled carbon fuels*. Zo zal bijvoorbeeld methanol, ethanol en methaan (CNG) gemaakt kunnen worden van CO₂ en H₂.

Alvorens een aantal specifieke energiedragers afzonderlijk te bespreken, wordt hier kort op de zogenaamde alternatieve fossiele brandstoffen ingegaan. Dit zijn fossiele brandstoffen uit een verscheidenheid aan grondstoffen die het potentieel hebben om lagere broeikasgasemissies te realiseren dan de typische broeikasgasemissies die overeenstemmen met de gewogen levenscyclus broeikasgasintensiteit van diesel en benzine. Bijvoorbeeld door CO₂-afvang en opslag (CCS of *carbon capture and storage*) in combinatie met een verwerking in grondstoffen). Indien een alternatieve fossiele brandstof hieronder valt kan men (in meer of mindere mate) spreken van Low Carbon Fossil Fuels (LCFF's). Een onderzoek van E4Tech heeft onderstaande potentiële productieroutes voor deze LCFF's geïdentificeerd.

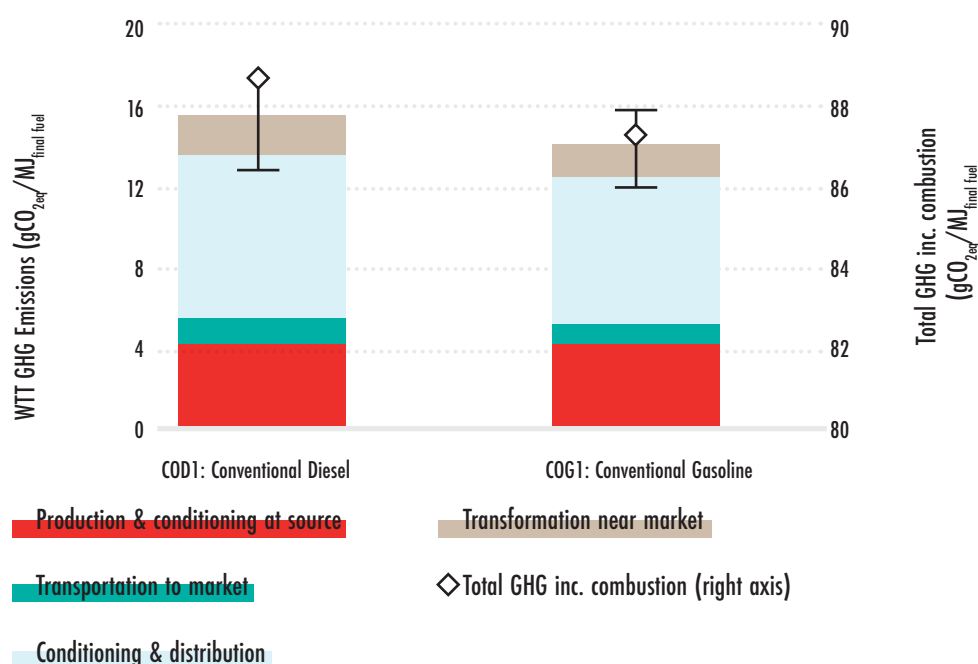
Uit deze figuur blijkt dat brandstoffen voor transport ook op basis van afval van niet-hernieuwbare afkomst (zoals plastics) geproduceerd kunnen worden. Het nieuwe Europese akkoord rond de hernieuwbare energierichtlijn (juni 2018), welke ook beslissingen met betrekking tot energiewinning uit afval bevat, voorziet de mogelijkheid om dergelijke brandstoffen afkomstig van plastic mee te laten tellen bij de verplichte doelstellingen voor 'geavanceerde brandstoffen' in transport. Door ze mee op te nemen in de definitie van de zogenaamde 'recycled carbon fuels' worden deze brandstoffen echter in dezelfde categorie geplaatste als duurzame biobrandstoffen en hernieuwbare elektriciteit. Vanuit duurzaamheidsperspectief lijkt dit echter niet verdedigbaar, aangezien deze beslissing in tegenstrijd is met maatregelen om plasticvervuiling terug te dringen door het wegnemen van de incentive om in te zetten op de preventie en recyclage van plastic.

Alvorens de alternatieve energiedragers per categorie te bespreken, wordt als referentiekader in onderstaande figuur 3 de BKG-emissiebalans voor WTT gegeven voor op ruwe olie gebaseerde fossiele brandstoffen (namelijk 15,4 g CO₂eq/MJ finale brandstof).

Figuur 16: Overzicht van potentiële LCFF-productieroutes (E4Tech, 2018)



Figuur 17: BKG WTT-emissiebalans voor op ruwe olie gebaseerde brandstoffen (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)



Biobrandstoffen

Dierlijke of plantaardige oliën en vetten kunnen relatief simpel omgezet worden tot vetzuur methyl esters (FAME) of 'biodiesel' door verestering met methanol. Naast verestering betaamt ook de mogelijkheid om de oliën en vetten te behandelen met waterstof om te komen tot 'Hydrotreated vegetable oils' (HVO).⁹ Voorwaarde is de beschikbaarheid van voldoende hoeveelheden waterstof, wat verklaart waarom de meeste HVO productie-eenheden in de buurt van petroleumraffinaderijen geplaatst worden. Biodiesel en HVO kunnen als transportbrandstof gebruikt worden in dieselmotoren en tellen mee voor het opgelegde quotum van 10% hernieuwbare brandstof in transport in Europa tegen 2020, mits ze voldoen aan bepaalde opgelegde duurzaamheidscriteria (zie ook verder). Biodiesel kan in bestaande dieselloertuigen gebruikt worden indien het slechts een bijmenging is tot 7%. Bij hogere percentages moet eerst goedkeuring van de constructeur gevraagd worden, aangezien aanpassing van dichtingen en leidingen mogelijk vereist zijn. De toepassing van HVO in bestaande dieselloertuigen stelt geen problemen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen biodiesel/HVO op basis van voedingsgewassen (bijvoorbeeld koolzaad, soja of palmolie), en biodiesel/HVO op basis van reststromen en afvalstromen, zoals ingezameld frituurvet. De laatste categorie wordt dubbelgeteld voor de Europese doelstelling van 10% hernieuwbare energie in transport.

Een andere belangrijke biobrandstof is bio-ethanol. Bio-ethanol wordt geproduceerd via fermentatie van suikers of zetmeel, gevolgd door een zuivering via distillatie. Grond-

stoffen zijn suikerhoudende gewassen zoals suikerriet en suikerbiet, of zetmeelhoudende gewassen zoals maïs en tarwe. Ook biomassa-reststromen die een hoog gehalte cel-lulose bevatten (hout en gras) kunnen gebruikt worden voor de productie van ethanol. Dit zijn de zogenoemde 2de generatie-technologieën voor bio-ethanol. De biomassa moet daarvoor wel eerst worden voorbehandeld om de cellulose tot eenvoudige suikers af te breken.¹⁰ Mits voldaan wordt aan de opgelegde duurzaamheidscriteria, kan bio-ethanol eveneens meetellen voor het opgelegde quotum van 10% hernieuwbare transportbrandstof in Europa tegen 2020. Bio-ethanol kan toegevoegd worden in bestaande dieselloertuigen indien het slechts een bijmenging is tot 5-10%, maar bij hogere percentages kan er mogelijk schade via corrosie en aantasting van kunststoffen optreden. Op zuivere ethanol rijden is mogelijk maar vereist daarom specifieke motoren.

Het bijmengen van biobrandstoffen wordt reeds geruime tijd toegepast in de transportsector. Voor het bepalen van de met de verschillende pathways gepaard gaande broeikas-gasemissies wordt een gedetailleerde analyse verricht in het kader van de CONCAWE studie *Well-to-Wheel analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context* (2014) maar deze houdt echter geen rekening met de zogenaamde ILUC (*Indirect land-use change* of indirect landgebruik)-effecten.¹¹ Onderzoek in 2011 (IFPRI, 2011) bracht voor het eerst de ILUC-effecten van het EU-beleid voor biobrandstoffen in kaart en diende als een basis voor de hervorming van dat beleid. Het belangrijkste resultaat van de drie jaar durende ILUC-discussie was dat biobrandstoffen op basis van voedselgewassen (zgn. biobrandstoffen van de eerste generatie) slechts voor maximaal 7%

⁹ Voor meer informatie, zie Kennisplatform Energie Conversie Parken <<http://ecp-biomass.eu/kennisplatform>>

¹⁰ Voor meer informatie, zie eveneens Kennisplatform Energie Conversie Parken <<http://ecp-biomass.eu/kennisplatform>>

¹¹ Veranderingen in het landgebruik kunnen indirect worden beïnvloed door biobrandstoffen, door de uitbreiding van de akkerlanden ter vervanging van het land dat niet meer voor voedselproductie ingezet kan worden omdat er biobrandstoffen worden geproduceerd. Broeikasgasemissies kunnen het gevolg zijn van verwijdering van bestaande bossen of andere vegetatie, evenals veranderingen in het koolstofreservoir in de bodem van het nieuwe land dat in cultuur gebracht wordt. Deze effecten worden aangeduid als Indirect Land Use Change (ILUC)

konden meetellen voor het streefcijfer van 10%, en dat de rest, d.w.z. ten minste 3%, afkomstig zou moeten zijn van andere opties zoals geavanceerde biobrandstoffen¹² of brandstof op basis van hernieuwbare elektriciteit.

Een meer recente studie, het zogenaamde Globiom-rapport, uitgevoerd door IIASA, Ecofys en E4tech in 2015 (het eerste grote door de EU gesponsorde rapport over de klimaatimpact van haar biobrandstoffenbeleid sinds 2011) toonde evenwel bijna gelijktijdig aan dat het fenomeen van indirecte veranderingen in landgebruik (ILUC) een nog grotere oorzaak van emissies van reguliere biobrandstoffen was dan eerst ingeschat. De toegenomen consumptie van biobrandstoffen betekent immers dat meer land moet worden ingezet om voedselgewassen te telen, wat vaak leidt tot de verlies van koolstofopslag (*carbon sinks*) in de bodems en de bovengrondse biomassa. In het Globiom rapport wordt de totale directe en indirecte emissie van landgebruiksveranderingen door extra biobrandstofteelten geanalyseerd om te verifiëren of ze effectief beter scoren dan fossiele brandstoffen en dus in welke mate de verschillende biobrandstoffen in lijn zijn met de betrachtingen van een effectief klimaatbeleid. De ILUC emissies blijken daaruit echter voor al de eerste generatie biobrandstoffen slechter te scoren dan oorspronkelijk gedacht in de studie van IFPRI (2011). Voor palmolie en soja zou dit liefst respectievelijk 177% en 94% hoger liggen, uitgedrukt in gram CO₂ eq per MJ finale energie. Gemiddeld zou het voor de eerste generatie biodiesels 68% hoger liggen en voor eerste generatie bio-ethanol 11%.

Op basis van dit Globiom rapport werd door Transport & Environment (2016) een inschatting gemaakt van de som van de directe¹³ en ILUC-broeikasgasemissies van de verschillende types biobrandstof in vergelijking met op ruwe olie gebaseerde fossiele brandstoffen (zie figuur 4 hieronder). Daaruit blijkt dat eerste generatie biodiesel (uit koolzaad, palm, soja en zonnebloem), die bijna 70% van de EU-markt voor biobrandstoffen uitmaakt, gemiddeld tot ongeveer 80% meer emissies leidt dan de fossiele diesel. Palm- en soja-gebaseerde biodiesels zijn respectievelijk zelfs drie en twee keer slechter. Op voedsel gebaseerde ethanol (op basis van bijvoorbeeld tarwe en suikerbieten) heeft gemiddeld een broeikas-effect die 30% hoger is ten opzichte van op ruwe olie

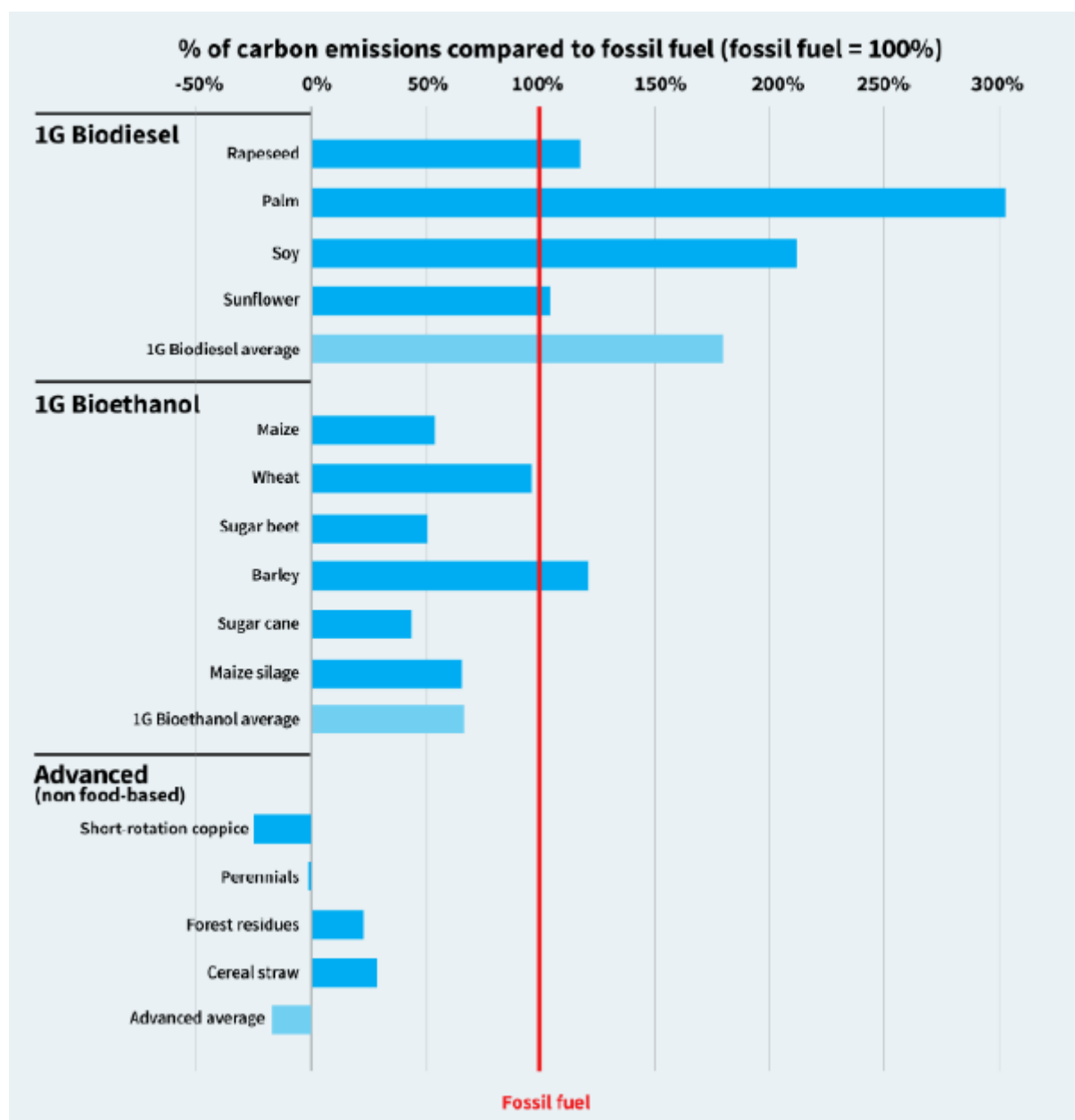
gebaseerde fossiele brandstof, met opmerkelijke variaties - bio-ethanol gemaakt van tarwe en gerst scoort zoals fossiele brandstof of slechter, terwijl op maïs en suiker gebaseerde bio-ethanol ongeveer 50% minder emissies veroorzaakt dan fossiele brandstof. Gemiddeld stoot biodiesel per geproduceerde energie-eenheid bijna drie keer meer uit dan bio-ethanol. Gemiddeld hebben biobrandstoffen van de eerste generatie (gewogen gemiddelde van eerste generatie biodiesel en eerste generatie bio-ethanol) ongeveer 50% meer levenscyclusemissies dan hun fossiele equivalenten.

Met inbegrip van de slecht presterende bio-ethanol uit tarwe en gerst, is de inschatting dat 76% van de biobrandstoffen die in 2020 in Europa worden verwacht, vergelijkbare of slechter presteren dan de fossiele brandstoffen die ze vervangen.

¹² Conventionele biobrandstoffen worden gemaakt van voedselgewassen zoals suiker, zetmeel en plantaardige oliën en dus van grondstoffen waarvoor land wordt gebruikt dat ook voor de teelt van voedsel en voeder kan worden gebruikt. Geavanceerde biobrandstoffen daarentegen worden gemaakt van grondstoffen die niet rechtstreeks met voedsel- en voederplanten concurreren, zoals afval en landbouwreststoffen. (Persmededeling Raad van Europa, 234/15)

¹³ De directe emissies (uitgedrukt in gram CO₂-equivalent per MJ brandstof) omvatten de totale emissies ten gevolge van het gebruik van de brandstof en worden weergegeven als 'typische waarden' (*typical values*) in de Renewable Energy Directive (Bijlage V.D) (Europese Commissie, (2009)). Ze omvatten de emissies ten gevolge van de teelt of het ontginnen van grondstoffen, de op jaarbasis berekende emissies van wijzigingen in koolstofvoorraden door veranderingen in landgebruik, emissies ten gevolge van verwerkende activiteiten, emissies ten gevolge van vervoer en distributie, emissies ten gevolge van de gebruikte brandstof, emissiereductie door koolstofaccumulatie in de bodem als gevolg van beter landbouwbeheer, emissiereductie door het afvangen en geologisch opslaan van koolstof, emissiereductie door het afvangen en vervangen van koolstof, en emissiereductie door extra elektriciteit door warmtekraftkoppeling. Met de (indirecte) emissies ten gevolge van de productie van machines en apparatuur wordt geen rekening gehouden. In de voorgestelde herschikking van de richtlijn (Europese Commissie, 2016) wordt emissiereductie door extra elektriciteit door warmtekraftkoppeling niet meer meegeteld bij de directe emissies.

Figuur 18: Levenscyclus broeikasgasemissies op basis van Globiom en de richtlijn hernieuwbare energie in vergelijking met de basislijn van fossiele brandstoffen (Bron: Transport & Environment, 2016)



Een andere belangrijke bevinding in de studie van Transport & Environment (2016) is dat geavanceerde biobrandstoffen gemaakt van gewassen die niet-jaarlijks geoogst worden (wilg, populier, bepaalde grassoorten zoals miscanthus en vingergras) zeer goed scoren. De wortels van deze planten kunnen zich immers verder ontwikkelen en zodoende koolstof opslaan. Volgens Globiom hebben deze biobrandstoffen zelfs negatieve LUC (land use change)-emissies, wat betekent dat de teelt van deze planten meestal meer koolstof opslaat dan wanneer het land onaangetast gelaten wordt. Gezien de huidige stagnatie in de markt van deze duurzame biobrandstoffen adviseert Transport & Environment (2016) een stimulerend beleid om hun aandelen te verhogen, wat best kan samengaan met de stopzetting van het ondersteunend beleid voor biobrandstoffen van de eerste generatie. De Europese Commissie heeft in eerdere com-

municaties (EC, 2014) al wel aangegeven dat, naast de verplichte afbouw van eerste generatie biobrandstoffen tot maximaal 7% in het streefcijfer van 10% hernieuwbare energie in de vervoersector, biobrandstoffen op basis van voedselgewassen na 2020 geen overheidssteun meer zouden mogen ontvangen, wat een noodzakelijke beleidsaanpassing is in het kader van de vermindering van transportemissies.

Voor de roadmap is het aanbevolen dat tegen 2030 de voertuigen die op biobrandstof (CBM of LBM) of een combinatie van biobrandstof en biogas rijden gebruik maken van geavanceerde biobrandstoffen met de laagst mogelijke emissies vanuit levenscyclusperspectief. Gelet op de huidige kennis van zaken lijken dus vooral gewassen die niet jaarlijks geoogst worden hiervoor het meest in aanmerking te komen.

Toch moeten bovenstaande resultaten met enige voorzichtigheid bekeken worden. Een kritische literatuuranalyse met betrekking tot ILUC-effecten uit 2017 (Woltjer et al., 2017) heeft immers aangetoond dat er veel onzekerheden zijn met betrekking tot het schatten van de broeikasgasemissies als gevolg van de ILUC-effecten van biobrandstoffen en dat deze onzekerheden sinds 2012 niet zijn verminderd. ILUC kan immers niet direct worden gemeten of gekwantificeerd en moet daarom worden gemodelleerd, maar de modelresultaten verschillen vanwege verschillen in aanpak, basis data, model parameters, scenario aannames en regionale dekking. Het resultaat is dat schattingen van de emissies van ILUC van biobrandstoffen aanzienlijk variëren tussen typen biobrandstof en de gebruikte grondstoffen en tussen onderzoeken. Dit wordt weergegeven in onderstaande figuur 5.

Uit de analyse bleek ook dat het moeilijk is om de wetenschappelijke onzekerheden die gepaard gaan met het schatten van de ILUC-effecten van biobrandstoffen in de nabije toekomst verder te verminderen. Certificering van biobrandstoffen met een laag ILUC-risico, zoals gedefinieerd in de EU-richtlijn 2015/1513, wordt als mogelijke strategie aanbevolen (Woltjer et al., 2017). Studies die deze opties onderzoeken gaan er evenwel van uit dat land of bijproducten uit de land- en bosbouw voldoende beschikbaar zijn voor de productie van biobrandstoffen zonder dat het gebruik ten koste gaat van alternatieve toepassingen. Echter, empirische informatie over de hoeveelheid verlaten en laagproductieve landbouwgrond die beschikbaar is voor de productie van geavanceerde biobrandstoffen is zeer onzeker. Verder is het onwaarschijnlijk dat alle negatieve effecten kunnen worden vermeden, en zijn aanvullende maatregelen nodig die

buiten het bereik van certificering vallen, zoals geïntegreerde planning van landgebruik en bescherming van natuurlijke vegetatie (Woltjer et al., 2017). Het literatuuronderzoek toont ook aan dat er weinig of geen informatie beschikbaar is over de gevolgen van ander EU-beleid op de ILUC-effecten van biobrandstoffen.

Figuur 19: Analyse van onzekerheid ILUC-effecten (Bron: Woltjer et al., 2017)

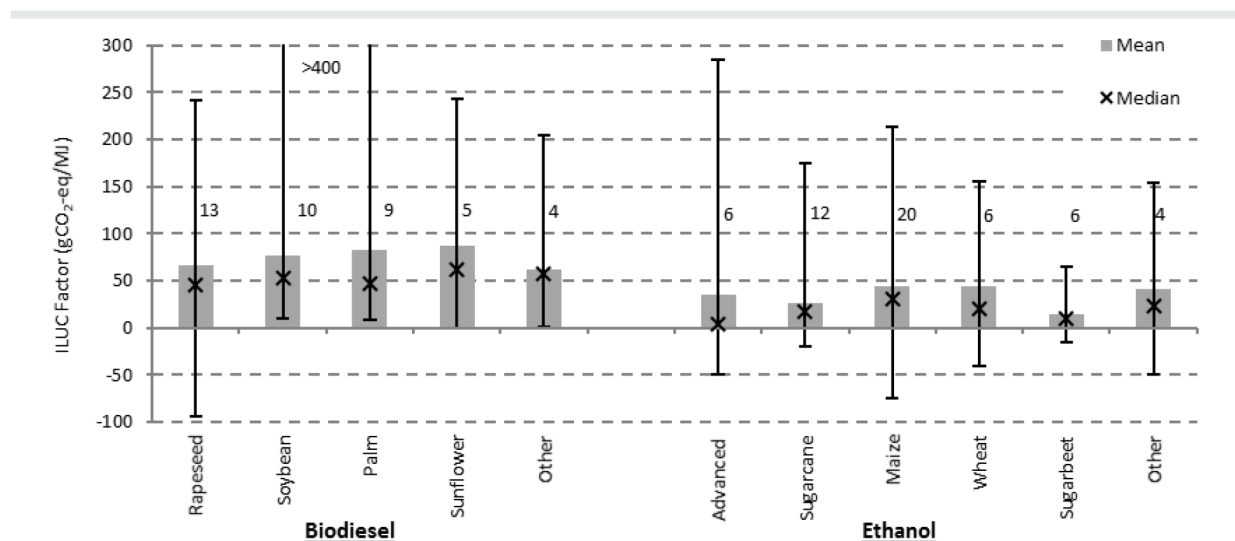


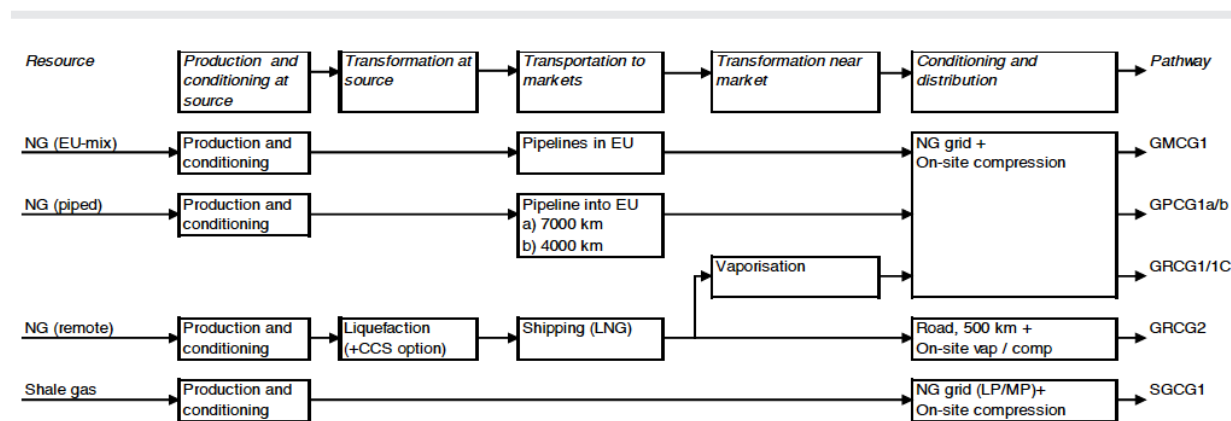
Figure 1 Summary of ILUC factors found in literature for biodiesel and ethanol. Grey bars: Mean, Black crosses: Median, Whiskers: Maximum-Minimum, number of studies quantifying ILUC factors written above each column. All ILUC factors have been harmonized to represent a 20 year amortization period. Note: a given study may include multiple scenarios or feedstocks. **Source:** Own work.

Aardgas

De EU is een belangrijke gasproducent (voornamelijk Nederland en Verenigd Koninkrijk (Noordzee) met kleinere producties in Denemarken, Duitsland, Italië en Roemenië). De vraag is echter veel groter dan deze binnenlandse productie wat leidt tot aanzienlijke invoer. De binnenlandse productie is bovendien aan het afnemen, zodat een steeds groter deel van de totale consumptie ingevoerd moet worden. Deze invoer vindt voornamelijk plaats via pijpleidingen over lange afstanden uit Noorwegen, Rusland en Noord-Afrika. In de afgelopen jaren, is de invoer van LNG uit bevoorradingsbronnen in Afrika en het Midden-Oosten steeds belangrijker geworden.

In figuur 6 werden de belangrijkste routes geselecteerd om de CNG en LNG-voorziening voor voertuigaandrijving weer te geven. Deze weerspiegelen de verschillende toevorroutes die beschikbaar zijn, d.w.z. pijplein op middel-lange en lange afstand of verscheping via LNG. De LNG kan terug omgezet worden naar CNG of rechtstreeks als LNG gebruikt worden voor de aandrijving van voertuigen. Ook werd in de figuur een route opgenomen voor het schaliegas dat in de EU wordt geproduceerd.¹⁴ In het geval van LNG werd een CCS-optie opgenomen. Voor België komt het meeste aardgas via leidingen tot bij ons maar gelet op de complexiteit en veelvoud aan mogelijke combinaties is het niet eenvoudig om uitspraken te doen over de gemiddelde levenscyclusemissies van voertuigen op aardgas. Wel kan gesteld worden dat deze energiedrager vanwege zijn fossiele oorsprong enkel een tussenoplossing kan zijn in het reduceren van broeikasgas- en luchtvervuilende emissies, maar dat enkel duurzaam hernieuwbaar gas een lange termijn oplossing kan geven.

Figuur 20: CNG en LNG Pathways (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)

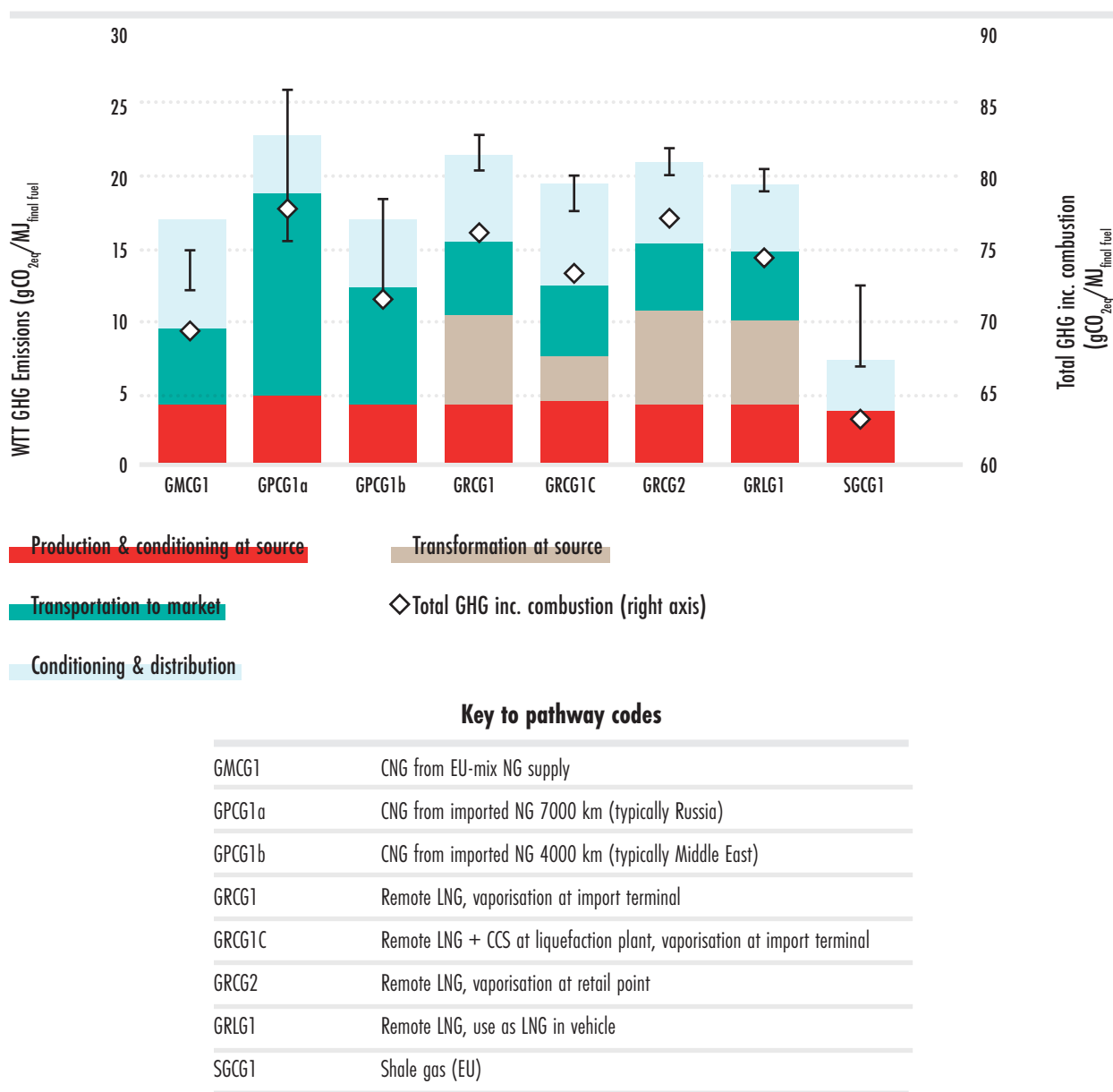


CCS: CO2 Capture and Storage / LNG Liquefied Natural Gas / NG: Natural Gas

¹⁴ De productie van schaliegas in Europa staat nog in de kinderschoenen, dus JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE (2014) presenteren enkel voorlopige schattingen. Er is rekening gehouden met een zekere gasafgifte en flaring in productie. Lokale Europese productie betekent echter dat vervoer naar Europa wordt vermeden en dit is de reden voor het lagere energieverbruik en uitstoot van broeikasgassen in vergelijking met andere aardgasbronnen.

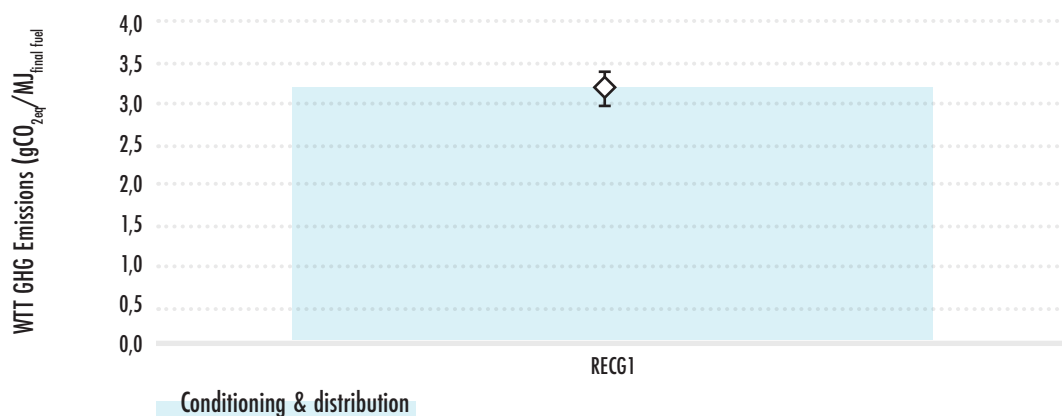
In onderstaande figuur worden de met deze CNG en LNG pathways gerelateerde broeikasgassen WTT-emissiebalansen gegeven. Voor een gedetailleerd overzicht en bespreking wordt verwezen naar JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration (2014)¹⁵. Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Als we dit vergelijken met de WTT-emissiebalans van op ruwe olie gebaseerde fossiel brandstoffen van 15,4 g CO₂eq/MJ finale brandstof dan zien we dat voor alle pathways waar LNG een rol vervult de WTT emissies significant hoger liggen, evenals voor de pathways waar aardgas via leidingen over langere afstand wordt aangevoerd. Voor CNG op basis van de EU-mix van aardgas zijn de WTT-emissies licht lager, maar zoals hierboven beschreven neemt dit aandeel af ten nadele van import via gasleidingen over langere afstand.

Figuur 21: Broeikasgas-emissiebalans voor CNG WTT pathways (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)



Een duurzamer alternatief voor CNG op basis van aardgas is bijvoorbeeld de productie van duurzaam (synthetisch) methaan op basis van windenergie, welke in weze koolstofvrij is. De enige mogelijke emissies zijn gerelateerd aan gascompressie in het tankstation (figuur 8). De energie die wordt verbruikt, hoewel hernieuwbaar bij windenergie, is relatief groot vanwege de (beperkte) efficiëntie van de elektrolyse en de energiebehoefte van het syntheseproces. De WTT emissiebalans wordt gegeven in figuur 8.

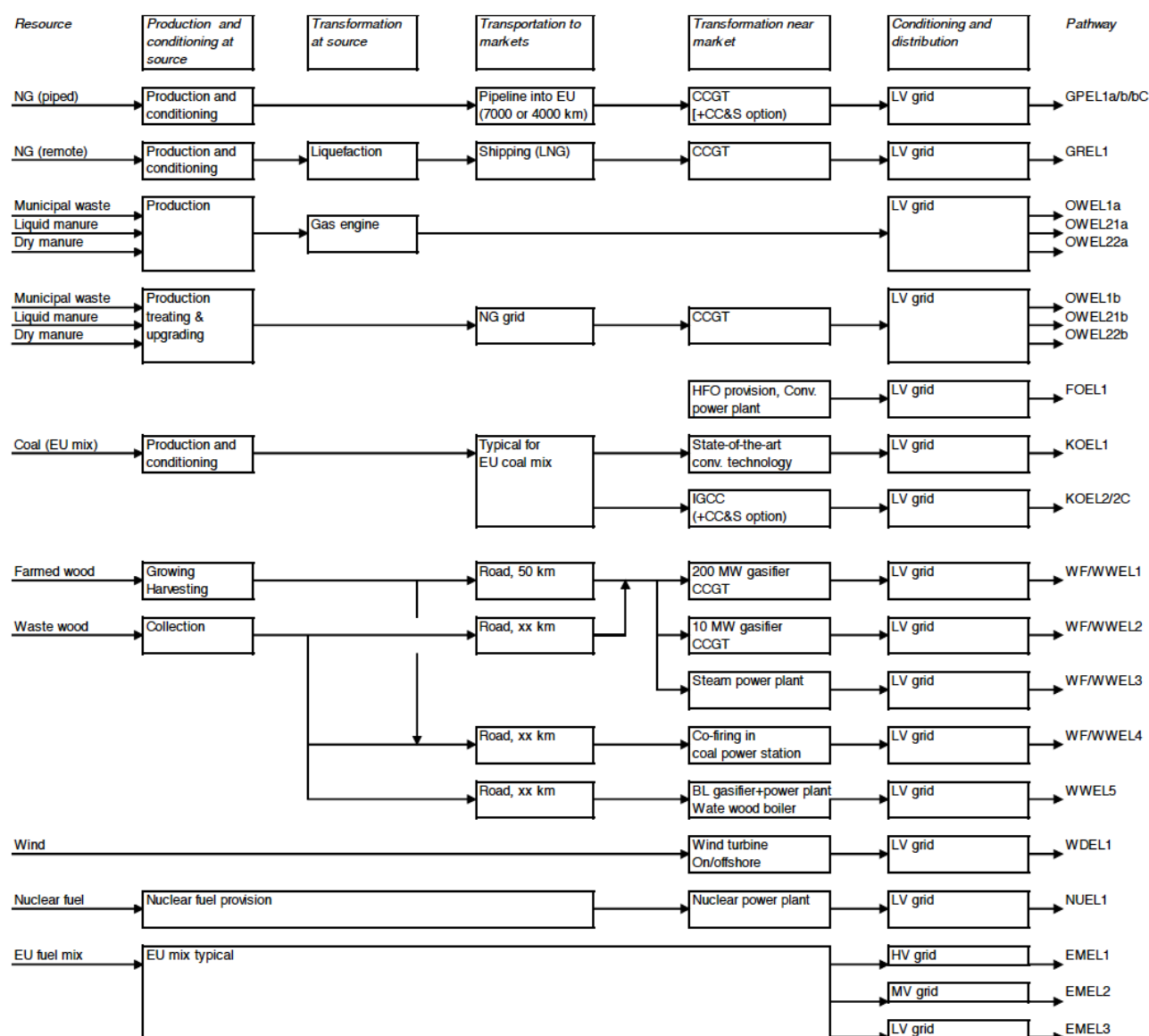
Figuur 22: Broeikasgas-emissiebalans voor synthetisch methaan op basis van windenergie
(Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)



Elektriciteit

Elektriciteit is de energiedrager voor elektrische voertuigen (EV) en ook voor *Plug-in Hybrid Electric Vehicles* (PHEV). Elektriciteit wordt daarnaast ook gebruikt voor de productie van waterstof via elektrolyse, maar ook voor de productie van andere brandstoffen. Elektriciteit kan worden geproduceerd vanuit vrijwel elke energiebron en er zijn dus ook hier een veelvoud aan pathways, die in onderstaande figuur 9 worden weergegeven. Het gaat hier om de meest praktische opties, namelijk aardgas, steenkool, biomassa (in de vorm van hout), wind en nucleaire energie.

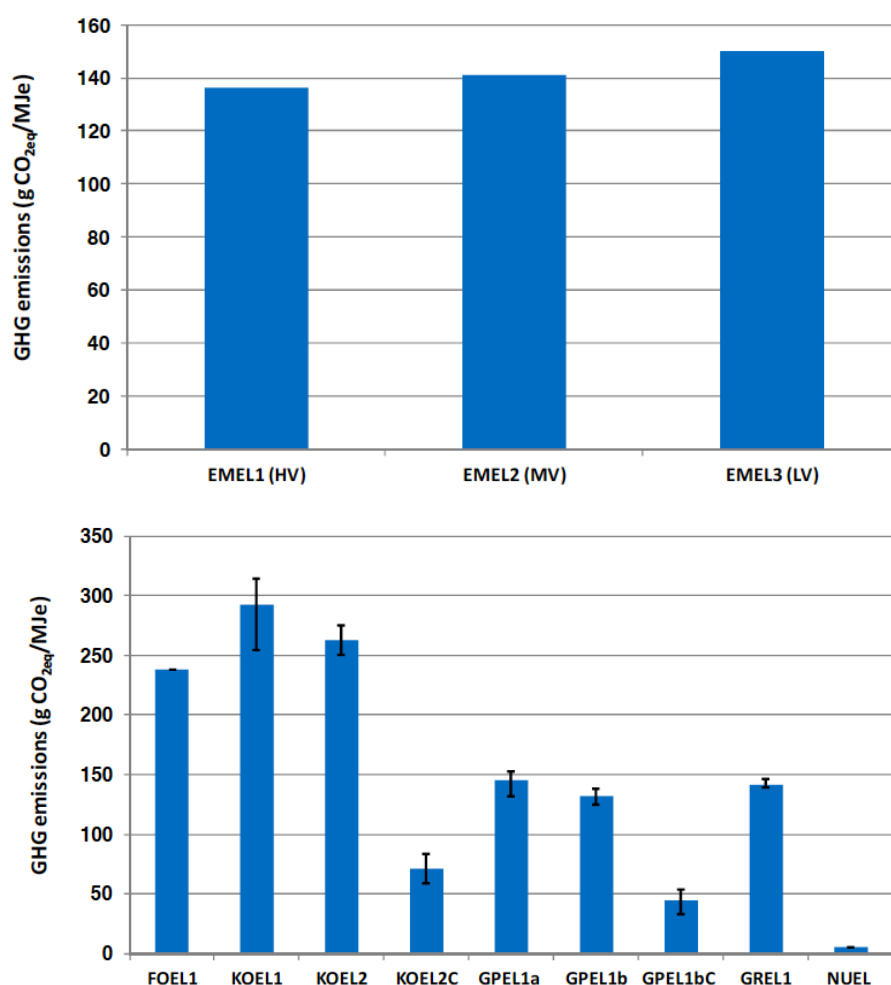
Figuur 23: Pathways voor elektriciteit (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)



CCGT: Combined Cycle Gas Turbine / CCS: CO2 Capture and Storage / CH2: Compressed Hydrogen / LH2 Liquid (or Liquefied) Hydrogen / LNG Liquefied Natural Gas / LPG Liquefied Petroleum Gas / NG: Natural Gas

Hieronder wordt voor een aantal van de belangrijkste traditionele pathways voor de productie van elektriciteit de broeikasgassen WTT-emissiebalans gegeven (figuur 10). Voor hernieuwbare elektriciteit op basis van windenergie zijn er geen WTT-emissies (figuur 11), en in geval van elektriciteitsproductie op basis van biogas zijn er pathways op basis van organisch afval en mest die negatieve WTT-emissies realiseren (figuur 12). Voor een gedetailleerd overzicht en bespreking wordt opnieuw verwezen naar JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration (2014).

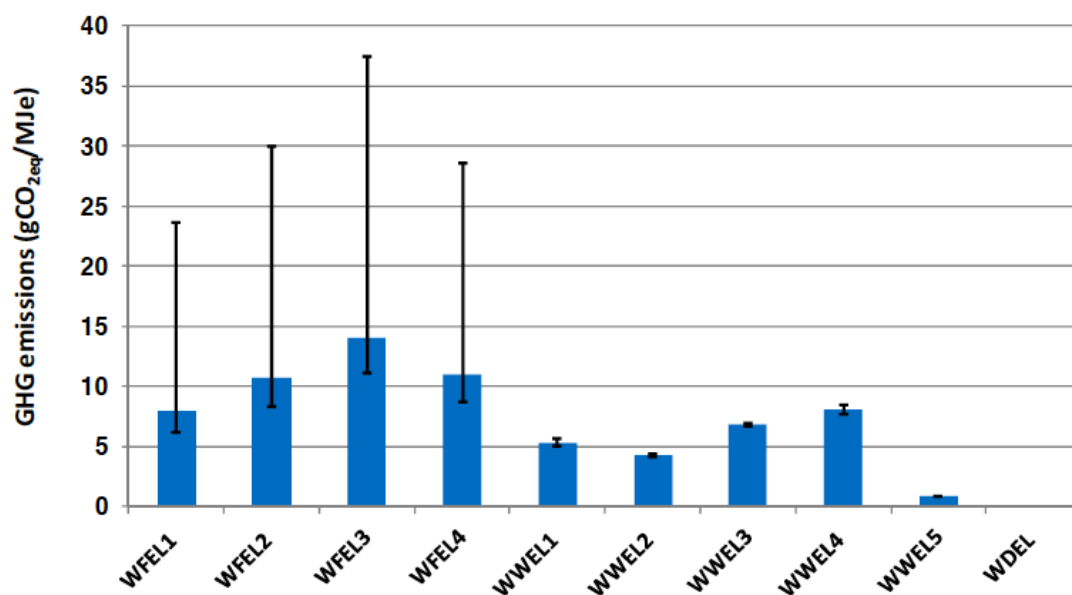
Figuur 24: Broeikasgas-emissiebalans voor fossiele en nucleaire elektriciteit WTT pathways
(Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)



Key to pathway codes

EMEL3	EU-mix LV
KOEL1	Coal (hard), conventional
KOEL2	Coal (hard), IGCC
GPEL1a	NG. pipe 7000 km. CCGT
GPEL1b	NG. pipe 4000 km. CCGT
GREL1	LNG. CCGT
NUEL	Nuclear

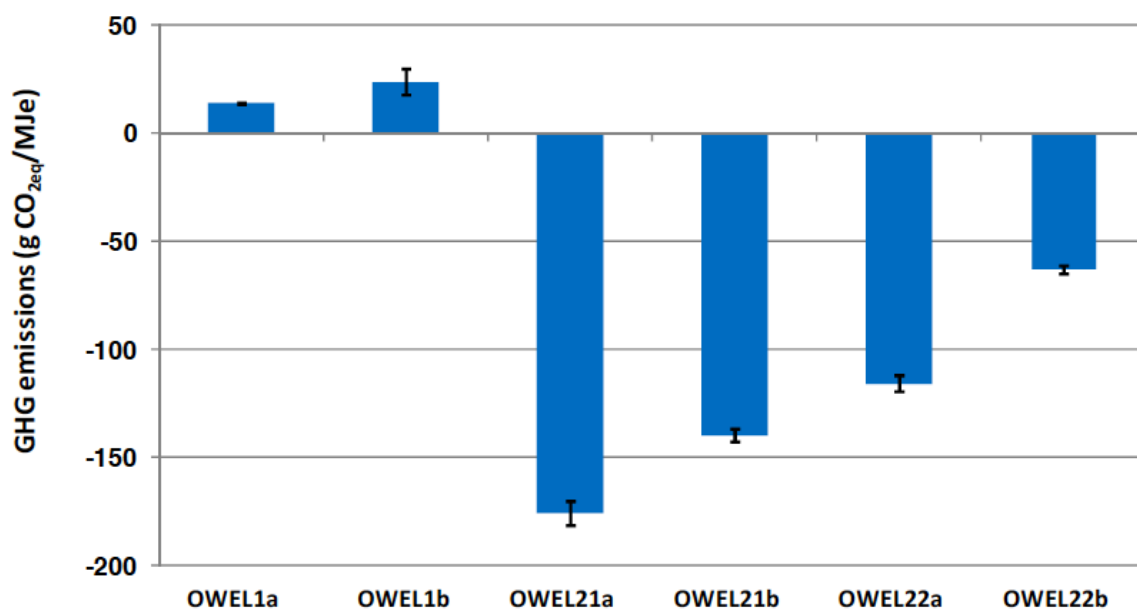
Figuur 25: Broeikasgas-emissiebalans voor hernieuwbare elektriciteit op basis van hout en wind WTT pathways
(Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)



Key to pathway codes

WFEL1	Wood (farmed), large IGCC
WFEL2	Wood (farmed), small IGCC
WFEL3	Wood (farmed), small conventional
WFEL4	Wood (farmed), cofiring in coal plant
WWEL1	Wood (waste), large IGCC
WWEL2	Wood (waste), small IGCC
WWEL3	Wood (waste), small conventional
WWEL4	Wood (waste), cofiring in coal plant
WWEL5	Wood (waste), via black liquor
WDEL	Wind

Figuur 26: Broeikasgas-emissiebalans voor biogas tot elektriciteit WTT pathways
(Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)



Key to pathway codes

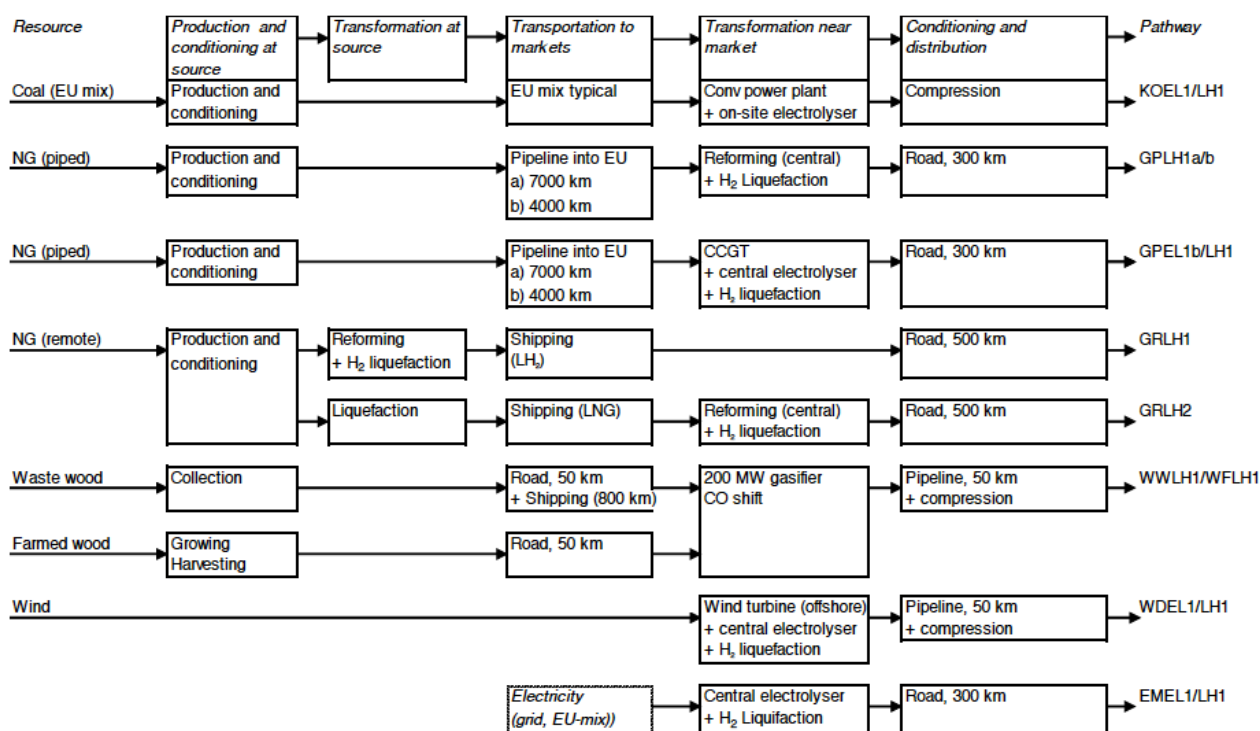
OWEL1a	Municipal waste (closed digestate storage), small CHP
OWEL2b	Municipal waste (closed digestate storage), co-firing in large CCGT
OWEL21a	Manure (closed digestate storage), small CHP
OWEL21b	Manure (closed digestate storage), co-firing in large CCGT
OWEL22a	Manure (open digestate storage), small CHP
OWEL22b	Manure (open digestate storage), co-firing in large CCGT

Waterstof

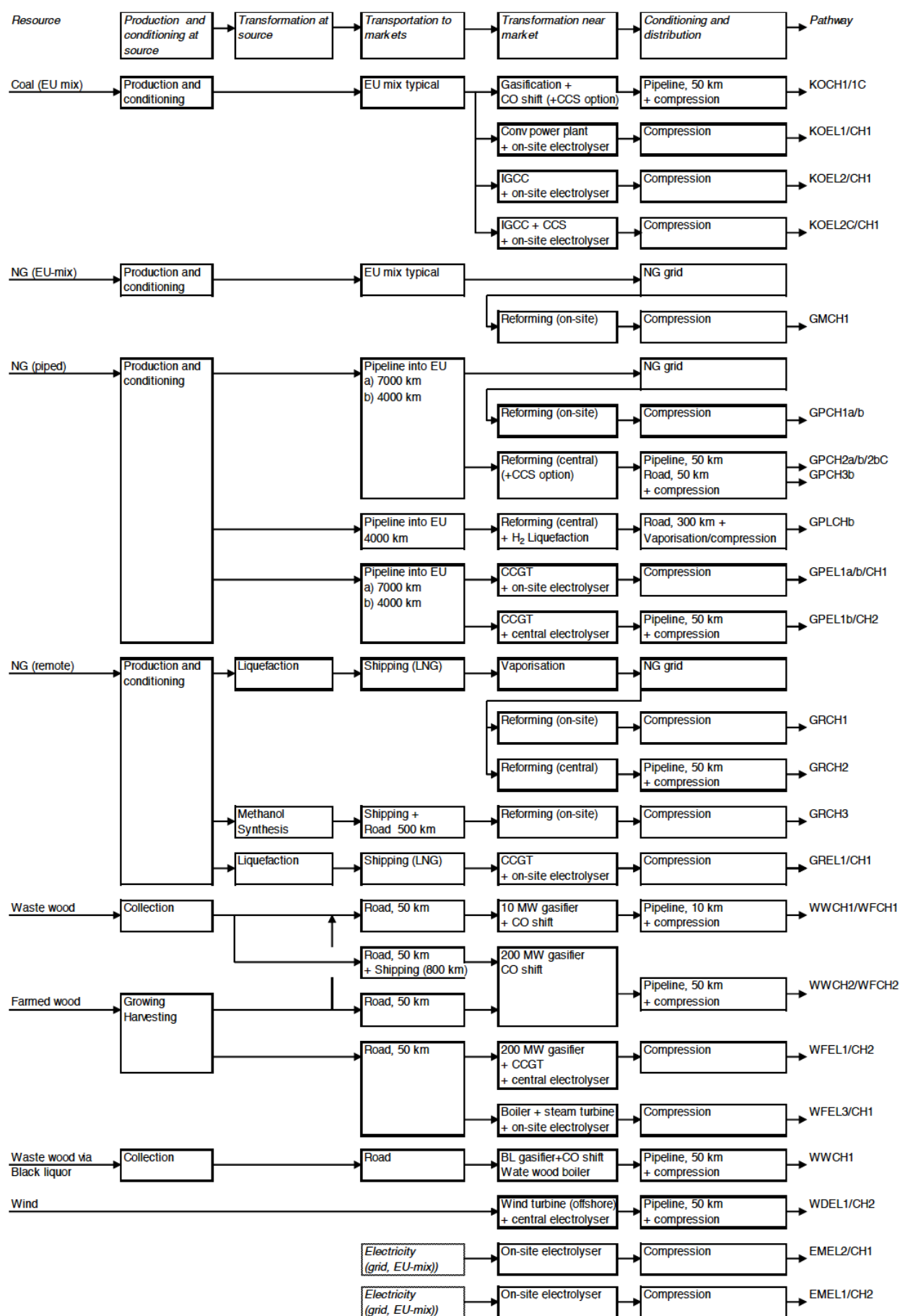
Een van de voordelen van waterstof is dat het in principe uit vrijwel elke primaire energiebron kan worden geproduceerd. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren via een chemisch transformatieproces waarbij doorgaans een koolwaterstof koolstofvrij gemaakt wordt of via elektrolyse. De elektrolyse van water naar waterstof en zuurstof is een reeds lang gekend proces. Het is mogelijk om elektrolyse-installaties te bouwen van zeer kleine tot zeer grote schaal. De efficiëntie van het elektrolyseproces is grotendeels onafhankelijk van de schaal, maar de randbenodigheden en operationele druk kunnen een significante impact hebben op de algemene efficiëntie. Er dient dus vaak een trade-off te gebeuren tussen het produceren van waterstof in grote "centrale" faciliteiten of in kleine "gedecentraliseerde" faciliteiten (dicht bij een tankstation).

Onderstaande figuren 13 en 14 geven respectievelijk de pathways voor gecomprimeerde waterstof en vloeibare waterstof. Ook hier wordt voor een gedetailleerd overzicht en beschrijving van de WTT-emissies per pathway verwezen naar JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration (2014).

Figuur 27: Pathways voor vloeibaar waterstof (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)



Figuur 28: Pathways voor gecompriemd waterstof (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)

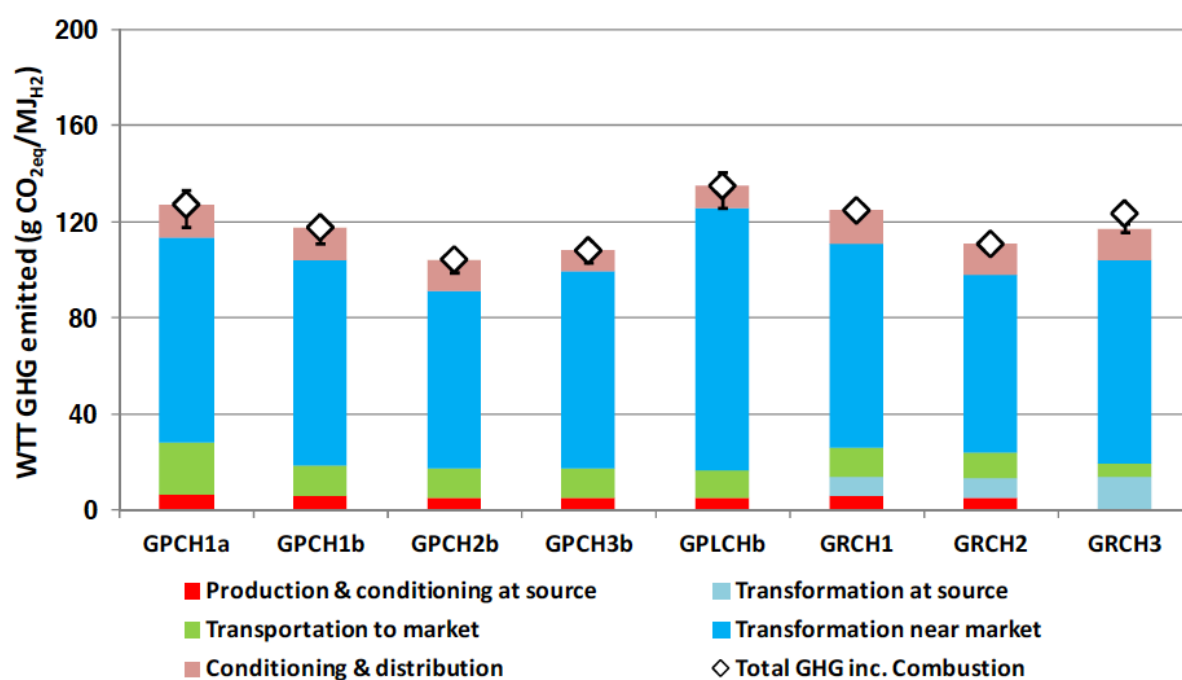


In onderstaande figuren worden achtereenvolgens de WTT-emissiebalansen van broeikasgassen gegeven voor:

- pathways voor de productie van gecomprimeerd en vloeibaar waterstof uit aardgas (Figuur 15).
- pathways voor de productie van gecomprimeerd waterstof uit steenkool en hout (Figuur 16).
- pathways voor de productie van gecomprimeerd waterstof via elektrolyse (Figuur 17).

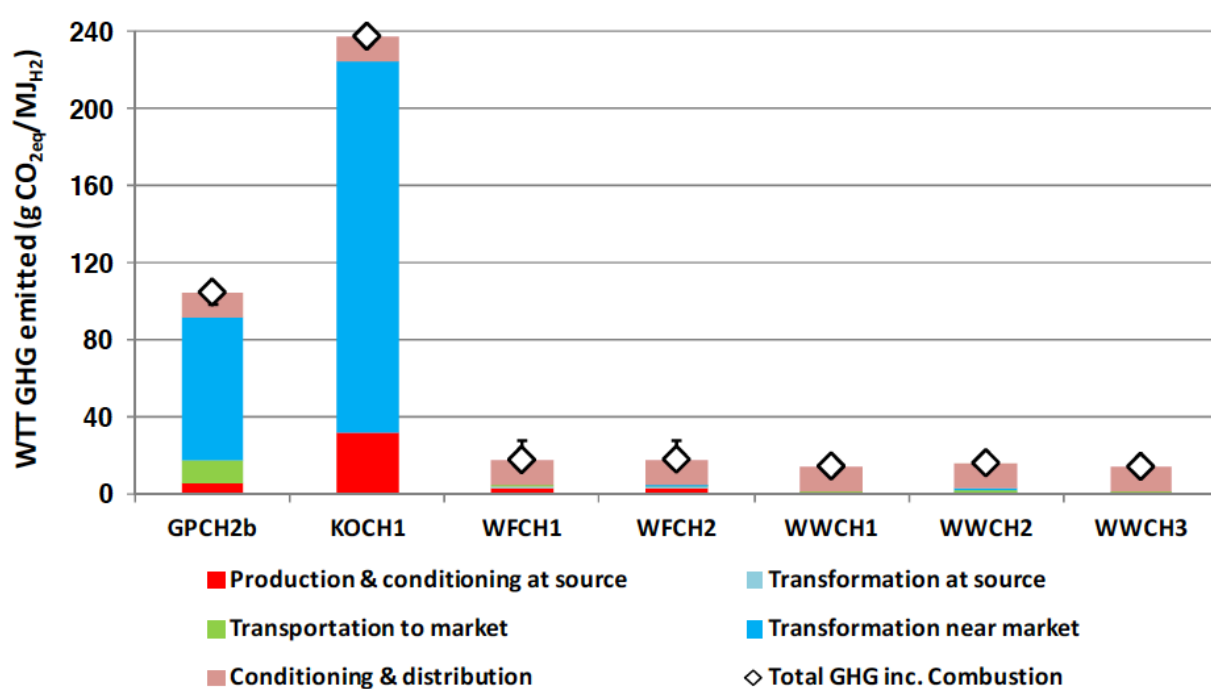
Voor een gedetailleerd overzicht en bespreking wordt verwezen naar JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration (2014).

Figuur 29: WTT broeikasgas-emissiebalansen voor geselecteerde pathways van gecomprimeerd waterstof uit aardgas
(Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)



De mogelijkheid om methanol als energiedrager (in plaats van gas) te gebruiken (GRCH3), lijkt vanuit het oogpunt van energieverbruik en broeikasgasemissie geen enkel voordeel te bieden, vooral omdat het schema alleen kan worden gerechtvaardigd met relatief inefficiënte kleinschalige hervormers. Zoals we hebben gezien bij de CNG pathways scoort de LNG-route op gelijke hoogte met CNG op lange-re pijplijnafstanden. De energie die nodig is voor het vloeibaar maken van waterstof bestraft deze optie op vlak van WTT-emissies (de aantrekkelijkheid van vloeibaar waterstof komt eerder voort uit praktische en economische overwegingen). Als we deze resultaten vergelijken met de WTT-emissiebalans van op ruwe olie gebaseerde fossiel brandstoffen van 15,4 g CO₂eq/MJ finale brandstof dan zien we dat bij alle pathways de WTT emissies significant hoger liggen.

Figuur 30: WTT broeikasgas-emissiebalans voor geselecteerde pathways van gecomprimeerd waterstof uit steenkool en hout
(Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)

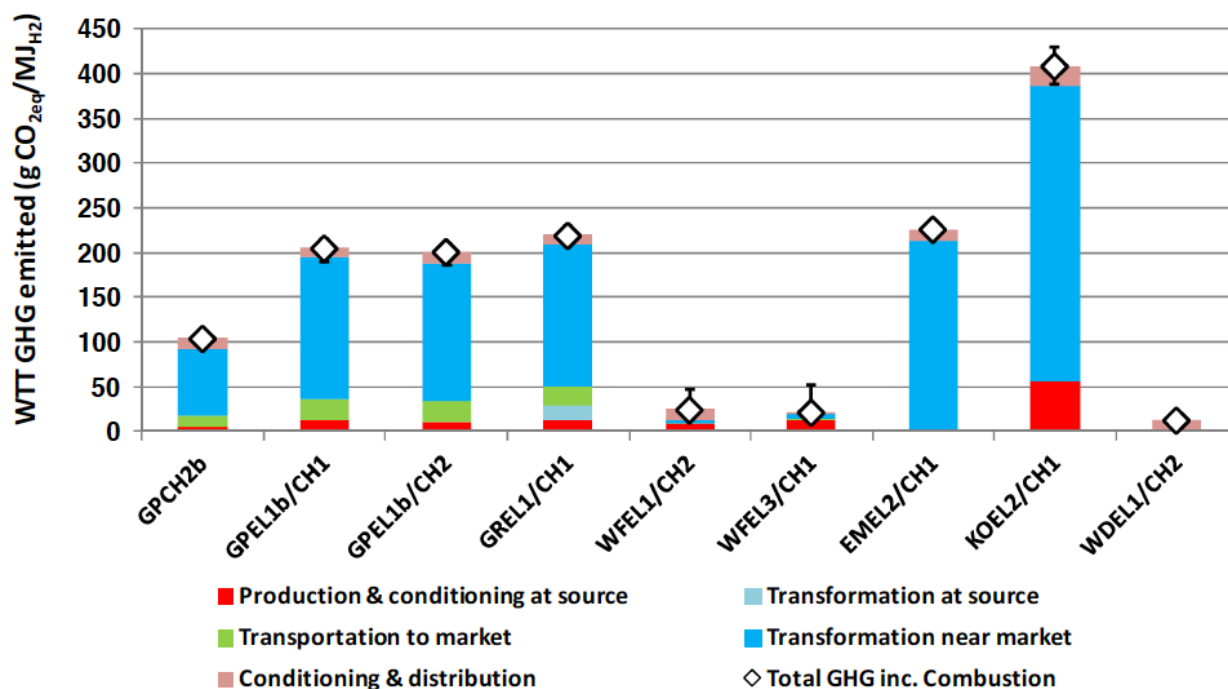


Key to pathway codes

GPCH2b	NG 4000 km, Central reforming,
KOCH1	Pipeline transport Coal EU-mix, Cen gasification, Pipeline transport
WFCH1	Farmed Wood,on-site gasification
WFCH2	Farmed Wood, Central gasification, Pipeline transport
WWCH1	Waste Wood,on-site gasification
WWCH2	Waste Wood, Central gasification, Pipeline transport
WWCH3 (BLCH1)	Waste Wood, via Black Liquor

De route met steenkool is energie-intensiever dan de gas-route (omdat het vergassingsproces minder efficiënt is). Het verschil is nog groter als het gaat om broeikasgassen vanwege het hogere koolstofgehalte van steenkool. Houtvergassing is ook minder energie-efficiënt dan het aardgas pathway maar de WTT-broeikasgasemissies zijn hier wel erg klein, omdat het hoofdconversieproces enkel hout als energiebron gebruikt.

Figuur 31: WTT broeikasgas-emissiebalans voor geselecteerde pathways van gecomprimeerd waterstof via elektrolyse
(Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)



Key to pathway codes (all compressed hydrogen)

GPCH2b	NG 4000 km, Central reforming, Pipeline transport
GPEL1b/CH1	NG 4000 km, CCGT, on-site electrolysis
GPEL1b/CH2	NG 4000 km, CCGT, central electrolysis, pipeline transport
GREL1/CH1	LNG, CCGT, on-site electrolysis
WFEL1/CH2	Farmed Wood, 200 MW gasification, CCGT, Central electrolysis, pipeline transport
WFEL3/CH1	Farmed Wood, Conventional power plant, on-site electrolysis
EMEL2/CH1	Elec EU-mix, on-site electrolysis
KOEL2/CH1	Coal EU-mix, IGCC, on-site electrolysis
WDEL1/CH2	Wind, Central electrolysis, pipeline transport

Voor een gegeven elektriciteitsbron leveren centrale en gedecentraliseerde elektrolyse bijna gelijke resultaten in geval van gecombineerde waterstof. De relatieve verdiensten van de verschillende energiebronnen zijn natuurlijk hetzelfde als besproken voor elektriciteitsopwekking hierboven. Het lage energieverbruik van windenergie (WDEL1/CH2) weerspiegelt de enigszins arbitraire aanname dat de winning van windenergie 100% efficiënt is. Aangezien deze energie hernieuwbaar is en voor alle praktische doeleinden onbeperkt, is dit hoe dan ook een enigszins academisch debat. Redelijkerwijs dient aangenomen te worden dat de energie voor waterstofcompressie geleverd zal worden door elektriciteit uit de EU-mix eerder dan door elektriciteit uit windenergie. De pathway vertoont daarom toch enkele broeikasgasemissies. Ook hier zijn de broeikasgasemissies voor hout pathways (WFEL1-3/CH1) erg laag omdat het grootste deel van de gebruikte energie hernieuwbaar is.

Vergelijking van de WTT-emissies van de eenvoudige aardgaswaterstofroute (GPCH1b, 118 gCO₂eq/MJ) met de vergelijkbare elektrolyseweg (GPEL1b/CH1, 205 gCO₂eq/MJ) illustreert de slechte energie-efficiëntie van de elektrolyseroute. Bruikbare elektriciteit omzetten in waterstof lijkt weinig zinvol vanuit een globaal energie- of broeikasgasstandpunt. Hernieuwbare elektriciteit is hiervan een goed voorbeeld. Het echte probleem is niet of deze routes een gunstig broeikasgasprofiel hebben, wat overduidelijk het geval is, maar eerder onder welke omstandigheden het zinvol zou zijn om dit hiervoor te gebruiken. Dat vereist een volledige well-to-wheel analyse.

Hernieuwbaar gas

Vanuit het oogpunt van de roadmap, waar de focus ligt op een duurzame decarbonisatie van de sector van het vrachtovervoer, is het potentieel van duurzaam hernieuwbaar gas zeer relevant. Er dient immers bekeken te worden in welke mate de verschillende opties om hernieuwbaar gas te produceren tegen 2030 een bijdrage kunnen leveren tot het decarboniseren van het vrachtovervoer. De huidige stand van zaken van de verschillende opties, met hun potentieel en beperkingen, wordt hieronder kort besproken. Voor diepgaandere analyse wordt verwezen naar de referenties in de bronnenlijst achteraan, meer in het bijzonder de recente studie van Fischer (2018).

Uit deze studie van Fischer (2018) komen twee opties naar voor als meest beloftevol om hernieuwbaar of gedecarboniseerd gas voor toekomstige toepassingen in de transportsector te produceren:

- Biomethaan opgewerkt vanuit biogas (geproduceerd via anaerobe vergisting van organisch materiaal) door CO₂ te verwijderen uit het gasmengsel.
- Waterstof via Power-to-gas (P2G) waarbij water in waterstof en zuurstof wordt gesplitst door elektrolyse.

Daarnaast wordt waterstof via stoomreforming van methaan (SMR)¹⁵, waarbij fossiel gas chemisch wordt omgezet naar waterstof (H₂) en CO₂, in combinatie met koolstof afvang en-opslag door Fischer (2018) als een waardevolle piste voor de productie van gedecarboniseerd gas vermeld.

De eindproducten die met deze processen gerealiseerd kunnen worden voor toepassingen in de transportsector zijn waterstof, synthetisch methaan en biomethaan. De SMR en PtG-methodes produceren waterstof, wat een veel kleinere molecule is dan methaan. Een enorm kostennadeel van waterstof is dat pijpleidingen, opslag en eindtoepassingen (zoals voertuigen) aangepast moeten worden om de veiligheid te garanderen en lekverliezen te voorkomen. Om dit op te vangen kan waterstof door toevoeging van CO₂ ook omgezet worden naar synthetisch methaan. Deze omzetting gaat echter gepaard met efficiëntieverliezen van ongeveer 20% en significante meerkosten. Het proces vereist ook grote hoeveelheden CO₂. CO₂ afkomstig van industriële processen biedt de mogelijkheid om dit als een restproduct te recyclen (wat een troef kan zijn voor moeilijk te decarboniseren sectoren zoals de petrochemie), maar deze CO₂ zal wel terug vrijkomen bij verbranding zodat dit niet compatibel is met een zero-emissie doelstelling. Daarnaast dienen, om de bouw van CO₂ transportinfrastructuur te vermijden, deze methaan omzettingen gebouwd te worden naast de CO₂-productiefaciliteiten. Een alternatief is het gebruik van *direct air capture* waarbij CO₂ rechtstreeks uit de lucht wordt onttrekken, maar deze techniek is momenteel nog duur en heeft een disproportioneel hoog energiegebruik (Fischer, 2018).

Fischer (2018) heeft de drie opties meer in detail bestudeerd en komt tot volgende inzichten.

Steam Methane Reforming

Dit proces vertrekt van fossiel aardgas en vereist veel energie om waterstof te produceren. Hierdoor stoot het gemiddeld meer emissies uit (288 tot 347g CO₂eq/kWh) dan bij directe verbranding van aardgas (230 tot 328g CO₂eq/kWh). SMR moet daarom in theorie gecombineerd worden met CO₂-afvang en -opslag (*carbon capture and storage* of CCS) of beter nog met CO₂-afvang en -gebruik (*carbon capture and usage* of CCU). De eerste grootschalige SMR + CCS-pilootprojecten vingen 80-90% van de CO₂-emissies op (maar zero-emissie realiseren lijkt moeilijk) (Fischer, 2018). Een bijkomend nadeel bij SMR zijn de lekverliezen bij ontginning en transport van methaan (methaanlekage), wat problematisch is aangezien methaan een sterk broeikasgas is met een *Global Warming Potential* (GWP) van 25. De lagere CO₂-uitstoot tijdens de aandrijving kan dus (deels?) tenietgedaan worden door de verhoogde uitstoot tijdens de rest van het productie-, transport- en opslagproces. Zelfs in combinatie met CCS blijft er zo een resterende emissie van 71-150g CO₂eq/kWh.

Wanneer het gecombineerd wordt met CCS wordt het proces ook minder competitief: CCS maakt het proces immers maar liefst 30% duurder. Waterstof geproduceerd uit SMR met CCS wordt dan ook best gebruikt voor die sectoren die moeilijk te decarboniseren zijn, zoals bepaalde takken van de industrie, scheepvaart en luchtvaart. SMR (zonder CCS) is momenteel wel de goedkoopste productiemethode van waterstof, maar technologieën gebaseerd op fossiele brandstoffen hebben een veel beperkter kostenreductiepotentieel dan processen uit elektrolyse of biomassa (Sustainable Gas Institute, 2017).

¹⁵ Dit is één van de gecombineerde waterstof pathways die hierboven in figuur 13 vervat zit (GRCH1-GRCH2-GRCH3).

Er dient een keuze gemaakt te worden tussen SMR en CCS dicht bij het punt van productie of het punt van consumptie te lokaliseren. In het geval van de eerste optie zou het gasnetwerk worden gebruikt om waterstof te transporteren, in het laatste geval voor het transport van fossiel gas. Het kan efficiënter zijn om te voldoen aan niet-elektrificeerbare warmtevraag via de levering van biomethaan dan om het gasnetwerk en de eindtoepassingen (zoals voertuigen) in heel Europa te moeten aanpassen om waterstof-compatibel te worden. In die context lijkt het aangewezen om de waterstoftoevoer te concentreren op sectoren waar momenteel geen decarbonisatie-alternatief voorhanden is, bijvoorbeeld voor industrieën met hoge hitteprocessen of segmenten van de transportsector die moeilijk te elektrificeren zijn. In dat geval zou het gebruik van gasnetwerken en de noodzaak van aanpassingen aanzienlijk worden verminderd. Voor het gebruik van waterstof in vrachtwagens is immers geen bevoorrading via het aardgasnet vereist.

Biogas en biomethaan

Het inschatten van de klimaatimpact van biogas en biomethaan is complex. Enerzijds vormt biomassa een opslagplaats voor koolstof doordat het CO₂ absorbeert, maar anderzijds kan vergisting ook zorgen voor méér uitstoot van broeikasgassen. Ook bij biogas of biomethaan kunnen lekverliezen van methaan optreden en bij verbranding van het gas komt opnieuw CO₂ vrij.

Zoals hierboven reeds besproken heeft de keuze van de grondstof om te vergisten een belangrijke impact: groenafval is bijvoorbeeld een betere keuze dan energiegewassen. De impact van biomassavergisting varieert van -371 (in combinatie met CCS en als de koolstofopslag in de plant meegerekend wordt) tot 504g CO₂eq/kWh (zelfs slechter dan aardgas). Door de gelimiteerde beschikbaarheid van land (zeker in Vlaanderen) is het technische potentieel van biogas en biomethaan bovendien beperkt voor toepassingen op grote schaal. Volgens Fischer (2018) is op Europees niveau 10 tot 20% van het huidige gasverbruik (510 miljard m³ of 17,9TJ) het maximum haalbare. Deels kan dit opgevangen worden door de mogelijkheid om twee gewassen te zaaien per seizoen, of biomethaan te importeren, maar de duurzaamheid van het landgebruik blijft een heikel punt.

Economisch is het rechtstreeks gebruik van biogas (hetgeen naast methaan ook nog CO₂ en andere gassen bevat) uiteraard goedkoper dan de opwaardering tot biomethaan (afhankelijk van type grondstof voor vergisting, en het transport van die grondstoffen). De kost van biomethaanproductie zou tegen 2050 kunnen halveren tot 50 €/MWh, maar dat is nog steeds meer dan tweemaal zo duur als de huidige groothandelsprijs voor fossiel gas, die in Europa momenteel schommelt tussen 15 €/MWh en 23 €/MWh. Volgens de huidige inschattingen zal biomethaan slechts competitief zijn bij een (impliciete) CO₂-prijs van 100 €/ton CO₂eq.

Belangrijk voordeel is wel dat biomethaan opgewaardeerd uit biogas in het bestaande gasnetwerk kan geïnjecteerd worden met beperkte aanpassingen in de infrastructuur. Maar omwille van de kostprijs van de opwaardering en efficiëntieverliezen, zal het in veel gevallen beter zijn om het biogas op de plaats van de opwekking te gebruiken. Biomethaan kan wel een oplossing zijn waar de productie ho-

ger ligt dan de lokale vraag. In dat geval kan een gebruik voor moeilijk te decarboniseren sectoren (zoals bepaalde takken van de industrie) nuttig zijn. Maar biomethaan alleen zal volgens Fischer (2018) nooit volstaan om de huidige consumptie van aardgas te dekken.

Power-to-gas (P2G)¹⁶

Het betreft hier P2G waarbij water in waterstof en zuurstof wordt gesplitst door elektrolyse. De WTT-emissie van H₂ via Power-to-Gas is grotendeels een functie van de koolstofintensiteit van de gebruikte elektriciteitsbron. Zoals hierboven reeds weergegeven kan de productie van hernieuwbaar gas via elektrolyse immers door middel van hernieuwbare energie, maar even goed met fossiele energie. Bij de huidige elektriciteitsmix in Europa, bedragen de broeikasgasemissies in het tweede geval 276g CO₂eq/kWh, wat vergelijkbaar is met het direct gebruik van aardgas. De broeikasgasemissies van synthetisch gas op basis van hernieuwbare energie ligt tussen de 25 en 178g CO₂eq/kWh (Fischer, 2018). Door steeds verdere decarbonisatie van de productieprocessen van hernieuwbare elektriciteit, dalen ook de eraan verbonden emissies. Op die manier zou P2G compatibel kunnen zijn met een klimaatneutraal energiesysteem.

De hoeveelheid beschikbare hernieuwbare elektriciteit bepaalt in grote mate het technisch potentieel van hernieuwbaar P2G. Hierbij zijn de nagestreefde interconnectie tussen de EU-landen en vraagsturing erg belangrijke parameters, omdat deze het aanbod van excess energie voor waterstofproductie reduceren. Er dient dus waarschijnlijk specifieke capaciteit aan hernieuwbare elektriciteitsproductie voorzien te worden wil men voldoende groene stroom hebben voor productie van duurzaam waterstof via P2G. Fischer (2018) schat het potentieel van P2G op 24 tot 30 miljard m³, amper 6% van het huidige gasverbruik (voor zowel verwarming, energieproductie, transport). Import van groene waterstof uit bijvoorbeeld het Midden-Oosten of Noord-Afrika via installeren van zonnepanelen in de woestijn en vervoer naar Europa met tankers is theoretisch gezien een optie maar botst mogelijk met de decarbonisatie doelstellingen in die landen zelf.

Momenteel bestaan er in Europa nog geen P2G-projecten op commerciële schaal, er staan enkel verschillende pilootprojecten op stapel. Hernieuwbaar gas (H₂) via elektrolyse is waarschijnlijk alleen economisch haalbaar indien het gebaseerd is op specifiek toegewezen bronnen van hernieuwbare energie (die een continue aanvoer kunnen garanderen) en dus niet enkel op overschotten van hernieuwbare energie (Fischer, 2018). Dit kan eventueel via grote windparken midden op de Noordzee. P2G zal evenwel enkel kunnen concurreren met het veel goedkopere SMR-proces mits een sterk stimulerend beleid. De kosten van hernieuwbare energie dalen wel sterk, maar het elektrolyseproces en het transport en de opslag van waterstof met eventueel bijhorende aanpassingen van het gasnet, zijn kostelijk. Met betrekking tot de netwerkkosten is de keuze om decentraal of centraal waterstof op te wekken, of te kiezen voor import immers opnieuw bepalend. Ook hier is het opnieuw kostenefficiënter om waterstof te gebruiken dicht bij de plaats van waterstofproductie. Omzetten van waterstof naar methaan, is net als bij SMR een optie om de kosten aan het

¹⁶ Voor een beschrijving van de verschillende valorisatiepaden van Power-to-X, zie fiche "Waterstof".

gasnetwerk lager te houden, maar geeft dezelfde nadelen als hierboven vermeld (efficiëntieverlies en noodzaak aan (kostelijke) direct air capture). Voor de transportsector is evenwel geen bevoorrading via het gasnetwerk vereist, waardoor het zwaar vrachttransport, dat moeilijk volledig te decarboniseren is via BEV's, zeer in aanmerking komt voor deze energiedrager.

Beleidsaanbevelingen

Het toekomstige aardgasverbruik zal in een klimaatneutrale economie, hetgeen de doelstelling is tegen de tweede helft van de eeuw, stevig moeten dalen. Want zelfs wanneer alle vormen van hernieuwbaar gas (inclusief waterstof) tot hun maximale productiepotentieel ontwikkelen, zal de productie ervan nog maar op 30 tot 40% van het huidige gasverbruik in Europa uitkomen (Fischer, 2018). De huidige aardgas-exporterende landen met pijpleidingen naar Europa tonen voorlopig nog geen grootschalige ontwikkelingsplannen voor hernieuwbaar gas. In het kader van de import-pijpleidingen zou dit betekenen dat deze in een klimaatneutrale toekomst grotendeels ongebruikt zouden kunnen blijven, indien het aanbod aan importeerbaar hernieuwbaar gas onvoldoende stijgt. Clarysse (2018) stelt dat de huidige gas-importcapaciteiten nu al tweemaal zo groot zijn als het geïmporteerde volume, wat investeringen in bijkomende aanvoerleidingen in kader van bevoorradingszekerheid zinloos zou maken.

Uit de analyse van 3EG (Fischer, 2018) blijkt dat hernieuwbaar gas niet al de (huidige) noden zal kunnen invullen voor zowel transport, gebouwverwarming als industrie. Het beleid zal dus keuzes moeten maken over hoe ze de toekomst naar een koolstofarme economie ziet voor Vlaanderen. Dat is niet alleen nodig om de verschillende sectoren zicht te geven op hoe ze zich moeten ontwikkelen, maar dit is ook cruciaal om overheidsinvesteringen in gasinfrastructuur intelligent aan te wenden. Volgende zaken zijn daarbij van belang:

- Productie van hernieuwbaar waterstof (H_2): lokaal produceren, centraal via offshore windenergie of via import? Deze verhouding zal bepalen hoeveelheid gas er door de transmissie- en distributieleidingen zal stromen.
- Beperkt aanbod hernieuwbaar gas: welke gebruikstoepassingen bieden de grootste meerwaarde en waar zijn die dan gelegen? Welke sectoren zijn moeilijk te elektrificeren? En welke gevolgen heeft dit voor het gasnet?
- Keuze tussen waterstof of methaan: waterstof leidt tot hogere netkosten indien het op het aardgasnet gezet zou worden maar het opwaarderen van biogas of waterstof tot methaan maakt de proceskost dan weer duurder en leidt tot efficiëntieverliezen.
- Keuze technologie: kostenreductiepotentieel van P2G, biomethaan, CCS en direct air capture zijn momenteel nog heel onduidelijk (technieken zitten nog in de pilootfase en het is onduidelijk hoe opschaalbaar ze zijn).

Bovendien moet dit alles bekeken worden vanuit het breder perspectief van de energietransitie. Er is daarom nood aan beleids- en infrastructuurtrajecten voor zowel het gas- als het elektriciteitsnetwerk. Voor het gasnetwerk vereist dit, zoals aangegeven door Clarysse (2018), duidelijke beslissingspunten wanneer bepaalde subsystemen overschakelen op waterstof of warmtenetten. De keuze om hernieuwbare gassen te gebruiken voor bepaalde sectoren, moet naast de klimaatdoelstellingen uiteraard ook rekening houden met andere maatschappelijke parameters. Het leidende principe zou moeten zijn dat hernieuwbaar gas moet dienen voor sectoren die moeilijk op een andere manier te decarboniseren zijn. Zwaar vrachttransport zou hiervoor een mogelijke kandidaat kunnen zijn aangezien toepassing van BEV's hier afhankelijk is van ontwikkelingen in batterijtechnologie. Ten slotte moet de overheid zorgen voor duurzaamheidscriteria (met inbegrip van de well-to-tank uitstoot) voor biogas en biobrandstoffen en het bijhorende landgebruik.

Bronnen

- Clarysee (2018) Longread: hernieuwbaar gas in een klimaatneutrale toekomst
- E4Tech (2018) Low Carbon Fossil Fuels Sustainability Risks and Accounting Methodology. Final Report <http://www.e4tech.com/wp-content/uploads/2018/02/LCFF_Sustainability-FinalReport.pdf>
- Ecofys-IIASA-E4Tech (2015) The land use change impact of biofuels consumed in the EU. Quantification of area and greenhouse gas impacts. Globiom Report.
- Europese Commissie (2009) Richtlijn 2009/28/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 april 2009 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen en houdende wijziging en intrekking van Richtlijn 2001/77/EG en Richtlijn 2003/30/EG
- Europese Commissie (2014) A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030, COM(2014) 15.
- Europese Commissie (2016) Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen (herschikking), COM(2016) 767.
- Fischer (2018) Renewable and Decarbonised Gas. Options for a Zero-Emission Society, E3G rapport, Juni 2018.
- International Food Policy Institute (IFPRI) (2011) Assessing the Land Use Change Consequences of European Biofuel Policies. Final report.
- JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration (2014) WELL-TO-TANK Report Version 4.a JEC Well-To-Wheels analysis. Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context.
- JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration (2014) WELL-TO-WHEELS Appendix 1 - 4.a, Summary of WTW Energy and GHG balances.
- JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration (2014) EU renewable energy targets in 2020: Revised analysis of scenarios for transport fuels. JEC Biofuels Programme
- Sustainable Gas Institute (2017), A greener gas grid – What are the options?
- Transport & environment, 2016, Globiom: the basis for biofuel policy post-2020.
- van Melle, Peters, Cherkasky, Wessels, Rehman Mir, Hofsteenge (Ecofys), 2018, Gas for Climate. How gas can help to achieve the Paris Agreement target in an affordable way.
- Woltjer, Daioglou, Elbersen, Ibanez, Smeets, Gonzalez, Barno PBL, Wageningen Environmental Research & CENER) (2017) Study Report on Reporting requirements on biofuels and bioliquids stemming from Directive (EU) 2015/1513.

02.

Maat- regelen- fiches

02. Maatregelenfiches

Dit tweede deel van de Roadmap bundelt de informatie uit stakeholderconsultatie, uit de vervoersmodellering en uit het literatuuronderzoek samen tot een selectie van CO₂-emissie-reducerende maatregelen die het kader kunnen vormen voor de opstap naar de ontwikkeling van een strategie voor de vermindering van de emissies van broeikasgassen en lucht-polluenten afkomstig van het goederentransport. De onderzochte maatregelen worden in fichevorm beschreven en de belangrijkste resultaten van het onderzoek worden in deze fiches opgelijst. De fiches hebben steeds dezelfde opbouw:

- Bespreking van het CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030. Hierbij wordt telkens de vergelijking gemaakt met de situatie in 2013 en het 'business as usual' scenario.
- Toelichting bij de aannames die in de vervoersmodellen werden opgenomen
- Kwalitatieve bespreking van het effect van de maatregel op luchtvervuiling, secundaire effecten, mogelijke lock-ins,...
- Toelichting bij een eventuele modale verschuiving als gevolg van deze maatregel
- Aanduiding van het toepassingsgebied van de maatregel: sommige maatregelen zijn enkel van toepassing op korte- dan wel lange-afstandstransport en/of stedelijk dan wel eerder buitengebied.
- Bespreking van de kosteneffectiviteit van de maatregel
- Timing van de maatregel: wanneer kan ze geïmplementeerd worden en/of vanaf wanneer kan een effect verwacht worden?
- Bespreking van voorwaarden om deze maatregel te kunnen realiseren en eventuele barrières die overwonnen moeten worden vooraleer deze maatregel gerealiseerd kan worden.
- Besluit over het al dan niet opnemen van deze maatregel in het voorkeursscenario en de eventuele vertaling van deze maatregel in dit voorkeursscenario.
- Elke fiche verwijst ook naar bronmateriaal met betrekking tot deze maatregel.

Na deze fiches wordt in het derde deel van de Roadmap het voorkeursscenario afzonderlijk toegelicht in een samenvattende fiche waar het CO₂-besparingspotentieel van de gecombineerde maatregelen op een stapsgewijze manier wordt toegelicht. In het voorkeursscenario wordt tevens aandacht besteed aan mogelijke cross-over effecten (bijvoorbeeld dubbeltellingen) en interacties tussen de verschillende maatregelen.

02.1. Koolstofbijdrage

Korte beschrijving :

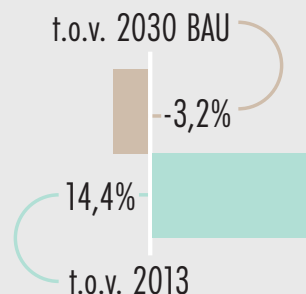
Een bijdrage geheven op wegvervoer, spoorvervoer en binnenvaart per verbruikte energiedrager op tank-to-wheel basis. Deze bijdrage is rechtstreeks gekoppeld aan de veroorzaakte emissies aangezien de heffing betaald wordt naargelang de hoeveelheid verbruikte brandstof/energiedrager.

Model : Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen

- Tarieven met inputwaarde € 100/ton CO₂ in gecombineerd voorkeurscenario (waarde gebaseerd op Delhay et al., 2017, die op haar beurt gebaseerd is op Gibson et al., 2014)
- Om dubbeltelling te vermijden is de externe kost van broeikasgasemissies verwijderd uit de tarieven van de kilometerheffing ter internalisering van de externe transportkosten (zie fiche "kilometerheffing").

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Individuele simulatie met €40/ton CO₂:



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

Vertaling naar Voorkeurscenario: heffing gebaseerd op een koolstofprijs van € 100 per ton CO₂. Dit is de waarde uit het meest recente rapport rond externe transportkosten voor Vlaanderen (MIRA), waarbij er een volledige internalisering is van de broeikasgasemissies (Delhay et al., 2017). De reden om € 100/ton te nemen wordt verder toegelicht.

Tabel 16: Sensitiviteitsanalyse kostenverlaging (koolstofbijdrage)

Weg	Tijd (€/uur)	Afstand (€/km)	Laden/Lossen (€)	Overladen (€)
Bestelwagen (1-3,5 ton)	/	+0,02371	/	/
Licht (3,5 - 12 ton)	/	+0,03814	/	/
Zwaar (>12,5 ton)	/	+0,07330	/	/
Binnenvaart	Tijd (€/uur)	Afstand (€/km)	Laden/Lossen (€)	Overladen (€)
Klein, bulk & container	/	0,560	/	/
Medium, bulk & container	/	1,841	/	/
Groot, bulk & container	/	+3,252	/	/
Spoorvervoer	Tijd (€/uur)	Afstand (€/km)	Laden/Lossen (€)	Overladen (€)
Goederentrein	/	+0,578	/	/

Monetaire waardering klimaatverandering

Voor de oorspronkelijke simulatie met SVRM werd eerst geopteerd voor een monetaire waardering van € 40 per ton CO₂ op basis van een analyse door Climact/pwc (2017) met betrekking tot de Belgische transportsector en het Belgische nationale debat rond koolstofbeprijzing. Deze analyse was echter eerder fiscaal geïnspireerd dan gebaseerd op een waardering van de impact van broeikasgasemissies. Daarom werd er in tweede instantie voor de simulatie in het voorkeurscenario een hogere waarde voor CO₂ toegepast die meer in overeenstemming is met de huidige inzichten in de wetenschappelijke literatuur omtrent de impact van klimaatverandering.

Wat de waarde van de uiteindelijk weerhouden € 100 per ton CO₂ betreft, wordt hieronder een korte toelichting gegeven met betrekking tot de waardering van broeikasgasemissies. De inschatting van de kosten van klimaatverandering wordt gekenmerkt door een hoge mate van complexiteit bij het voorspellen van langetermijneffecten op wereldschaal en risicopatronen die moeilijk te voorzien zijn. Als gevolg hiervan is het zeer moeilijk om de schade die gealloceerd moet worden aan nationale transportmodi te waarderen. Daarom is een gedifferentieerde benadering, waarbij zowel wordt gekeken naar de veroorzaakte schade als naar de kosten van een vermijdingsstrategie, aangewezen. Bijkomend dienen lange termijn risico's opgenomen te worden. Sociale kosten van klimaatverandering worden in de literatuur beschreven als stijgende zeespiegels, aangepast energieverbruik (veranderingen in de behoefte aan koeling en verwarming), agrarische impact, behoefte aan drinkwater, gezondheidseffecten, ecosystemen en biodiversiteit, extreme wintersituaties en een toename van «grote gebeurtenissen». Het gaat bijvoorbeeld over een verandering in de Golfstroom, de instabiliteit of ineenstorting van het Amazonewoud, methaanlekage uit permafrost, wijziging van het moessonseizoen, enz.¹ (Mai-bach et al., 2008).

Bickel et al. (2006, p. 393) stellen dat de monetarisatie van klimaatverandering op basis van een schadekostenbenadering zeer onzeker en controversieel is. Door deze onzekerheid zal men bij berekeningen niet alle kosten in rekening kunnen nemen. Wat men niet met een bepaalde zekerheid of nauwkeurigheid kan schatten, zou men dan eigenlijk niet in rekening mogen nemen.² Daarom schat men de klimaatveranderingskosten dikwijls via een ontwijkings- of verminderingskostenmethode. Ook deze methode is aan kritiek onderhevig. Ze hangt onder andere af van veronderstellingen over de gebruikte technieken, hun potentieel en kosten, alsook van het doel waar men naar streeft. Dit was in vroegere studies doorgaans de reductiedoelstelling opgenomen in het Kyoto-protocol³. Op basis hiervan werd lange tijd een gemiddelde Europese schaduwwaarde op de korte termijn van € 20 per ton CO₂ vooropgesteld (ExternE-onderzoek kwam tot een waarde van € 18 per ton CO₂)⁴. Sinds het Klimaatakkoord van Parijs, waarbij werd afgesproken om de opwarming van de Aarde te beperken tot 1,5 graad Celsius, dient de EU haar emissies tegen 2030 te verminderen met zeker 40% tegenover 1990 en moet er in de tweede helft van de 21ste eeuw een evenwicht zijn tussen alle uitstoot van broeikasgassen en het vermogen van de natuur om ze te absorberen. Dit resulteert in veel hogere vermijdingskosten. Reeds daarvoor kon men al vaststellen dat binnen de EU tal van initiatieven binnen de transportsector werden gelanceerd om de toepassing van bepaalde technologieën te promoten met bestrijdingskosten die significant hoger zijn dan € 20 per ton CO₂.

Recentere studies maken daarom gebruik van externe kostenfactoren op basis van schadekosten in plaats van vermijdingskosten. Tezelfdertijd leidt een verbeterd inzicht in de impact van klimaatverandering tot hogere ramingen voor deze schadekosten. Er is behoefte aan een gedifferentieerde aanpak, waarbij zowel een schadekostenbenadering wordt gebruikt als een aanpak vanuit vermijdingskosten, gebaseerd op specifieke (politieke en wetenschappelijke) reductiedoelstellingen. Maar fundamentele vragen en onzekerheden blijven bestaan bij het bepalen van eenheidswaarden voor klimaatveranderingskosten.

¹ De gevolgen van «grote gebeurtenissen» zijn zeer omvangrijk, maar deze categorie heeft het hoogste niveau van onzekerheid en daarom worden ze doorgaans niet opgenomen in modellen.

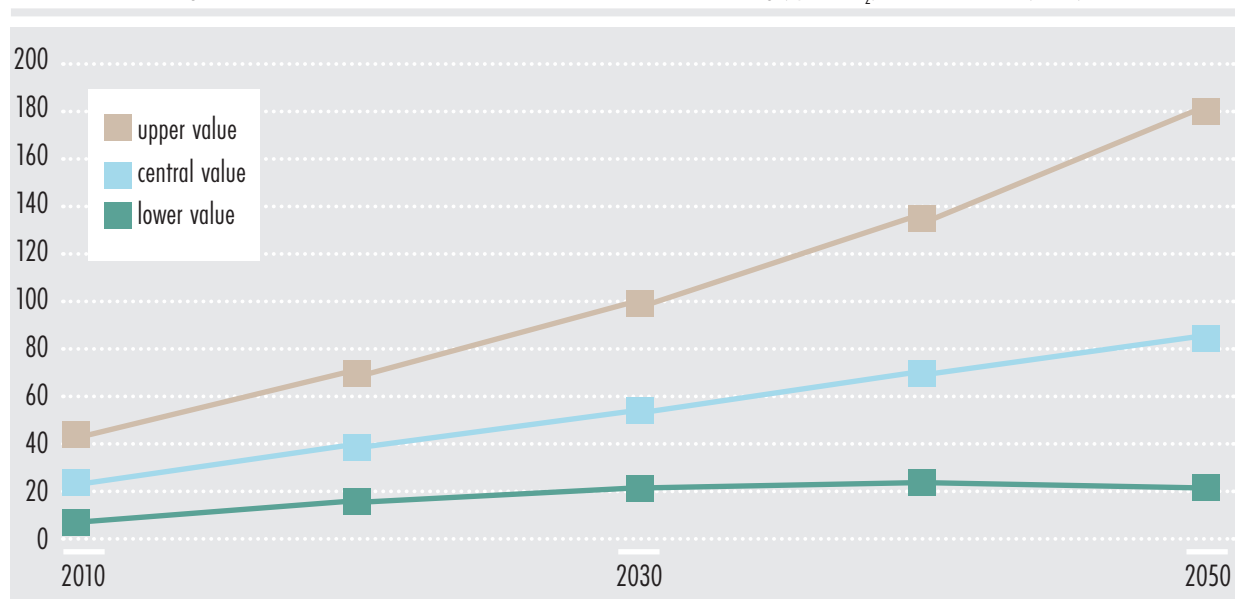
² Bickel et al. geven als voorbeeld het aantal orkanen. De relatie tussen de kracht van en het aantal orkanen en de opwarming van de aarde is bijvoorbeeld nog niet voldoende gedocumenteerd. Deze kosten mag men uit conservatieve overwegingen dan ook niet opnemen.

³ Het Protocol van Kyoto of Verdrag van Kyoto valt onder het Klimaatverdrag en werd in 1997 opgesteld in de Japanse stad Kyoto om de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen te regelen. Met het Kyoto protocol kwamen de industrielanden overeen om de uitstoot van broeikasgassen – onder andere koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en een aantal fluorverbindingen (HFK's, PFK's en zwavelhexafluoride (SF₆)) – in de periode 2008-2012 (ondertussen verlengd tot 2020) met gemiddeld 5,2% te verminderen ten opzichte van het niveau in 1990.

⁴ Eigenlijk gaat het om CO₂-equivalenten waarbij ook de andere broeikasgassen die in het verkeer worden uitgestoten in rekening worden genomen.

Onderstaande figuur geeft de in de overzichtsstudie van Maibach et al. (2007) aanbevolen waarden voor de externe kosten van klimaatverandering (in €/ton CO₂), uitgedrukt als enige waarde voor een centrale raming met boven- en ondergrenswaarden. Voor de korte termijn (2010-2020) werden deze waarden gebaseerd op studies die gebruik maken van vermijdingskosten, omdat deze voor dergelijke tijdshorizon uit politiek en praktisch oogpunt realistischer zijn. Voor de lange termijn worden de aanbevolen waarden gebaseerd op schadekosten, daar dit meer consistent is met het perspectief van externe kostwaarderingen.

Figuur 32: Aanbevolen waarden voor externe kosten van klimaatverandering (€/ton CO₂) in Maibach et al. (2008)



In de update van de IMPACT-studie gebruiken Gibson et al. (2014) voor de kosten van klimaatverandering evenwel een discontovoet van 3% en zetten ze het cijfer in de meta-studie van Kuik et al. (2009) om van prijzen van 2005 tot prijzen van 2010 met behulp van de inflatie in de eurozone (bbp-deflator) om te komen tot een veel hoger waardenbereik van € 48 - € 168 per ton CO₂, met een centrale waarde van € 90 per ton CO₂ voor 2010.

Tabel 17: Update aanbevolen waarden voor externe kosten van klimaatverandering (€/ton CO₂) gebaseerd op Gibson et al. (2014) en Delhaye et al. (2017)

euro per ton CO ₂		
Waarde	Ricardo et al. (2014)	Delhaye et al. (2017)
Bovengrens	€ 168	
Centrale waarde	€ 90	€ 100
Ondergrens	€ 48	

Merk op dat in het vorige rapport van Maibach et al. (2008) dat hierboven werd besproken de centrale waarde slechts geschat werd op € 25 per ton CO₂ in prijzen van 2010. Vertrekkende van deze waarde van Gibson et al. komen Delhaye et al. (2017) in het MIRA-rapport na verdiscontering uit op een waarde van € 100 per ton CO₂. Merk op dat € 100 ook de bovengrens is voor 2030 in de figuur van Maibach et al. (2008). Op zich zou een verdiscontering van de MIRA-waarde van € 100 naar 2030 een nog hogere kost voor klimaatverandering opleveren en het is goed mogelijk dat in de volgende update van de Gibson et al (2014) een hogere waarde wordt aanbevolen, maar op basis van de huidige kennis, en in lijn met het MIRA-rapport voor externe kosten in Vlaanderen opteren we voor een waarde van € 100 per ton CO₂ voor het vaststellen van de koolstofbijdrage in 2030. Deze koolstofbijdrage zou geleidelijk en gradueel ingevoerd kunnen worden en de hoogte ervan dient mogelijk dan ook herzien te worden in het licht van voortschrijdend wetenschappelijk inzicht met betrekking tot de vermijdings- en schadekosten van klimaatverandering.

Effect op luchtvervuiling :

Bepaalde positieve impact (via modal shift weg - spoor)

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving: zeer beperkte effecten in zowel tonnage, tonkilometer en voertuigkilometer. Voor voertuigkilometers is er een lichte stijging van het spoortransport, en een lichte daling voor weg en binnenvaart. De daling van voertuigkilometers is evenwel sterker voor weg dan voor binnenvaart, dus relatief wordt er meer met multimodale transportmodi vervoerd dan zonder de koolstofbijdrage. Uit de simulatie blijkt ook dat er een beperkte modal shift is van binnenvaart naar spoor, door de relatief lagere koolstofbijdrage voor het groten-deels elektrische spoorvervoer.
- Secundaire effecten:
 - geen verschuiving van hoofdwegennet naar onderliggend wegennet

Lock-in:

Niet van toepassing

Toepassingsgebied:

- Stedelijk en buitengebied
- Lange en korte afstandstransport

Kosteneffectiviteit :

Vanuit overheidsperspectief is deze maatregel kostenefficiënt, gezien een koolstofbijdrage geregeld kan worden via de reeds bestaande brandstofbijdrage. Dit betekent dat de besparing van 146.481 ton CO₂ tegen een zeer lage implementatiekost kan gerealiseerd worden. Bovendien brengt deze bijdrage, uitgaande van een prijsinelastische transportvraag, onmiddellijk ontvangsten voor de staat op. Op zich zijn de meeropbrengsten voor de overheid, abstractie makend van de vraageffecten, evenwel gelijk aan de kosten voor de consument, dus maatschappelijk neutraal. Vanuit economisch oogpunt worden deze opbrengsten het best aangewend voor investeringen met de hoogste maatschappelijke baten. Om het benodigde draagvlak in de sector (en eventueel de maatschappij bij gelijktijdige introductie van koolstofbijdrage op personenvervoer) te creëren worden deze ontvangsten kunnen deze opbrengsten eventueel ook geïnvesteerd worden in het duurzamer maken van het transportsysteem. Zodoende zouden deze opbrengsten kunnen aangewend worden om de implementatie van andere maatregelen in het voorkeurscenario welke (in de opstart-fase) subsidiemechanismen vereisen te ondersteunen. Maar indien lastenverlaging op bijv. arbeid, BTW of energie hogere maatschappelijke baten zou opleveren, dan is dit economisch niet optimaal.

Timing:

- Technische implementeerbaarheid: tegen 2020 haalbaar indien voldoende maatschappelijk en politiek draagvlak

Voorwaarden en barrières :

- Implementatie relatief eenvoudig
- *Level playing field* tussen vrachtmodi aan de landzijde gerespecteerd in voorkeurscenario (koolstofbijdrage op wegvervoer, spoorvervoer en binnenvaart).
- *Level playing field* met personenvervoer relatief eenvoudig te realiseren via heffing koolstofbijdrage met zelfde koolstofprijs.
- *Level playing field* met andere sectoren (die onder ETS vallen) wordt ook gemaakt.
- *Level playing field* met andere landen wordt enkel gerealiseerd wanneer dit internationaal (Europees of zelfs globaal) wordt ingevoerd. Indien deze maatregel enkel in België wordt ingevoerd, kan de hogere brandstofprijs in België een concurrentienadeel opleveren voor Belgische transporteurs en resulteren in gewijzigd tankgedrag (tanktoerisme naar het buitenland). Daarmee zouden ook wijzigingen in de fiscale ontvangsten gepaard kunnen gaan, die een deel van de opbrengsten van de koolstofbijdrage teniet zouden doen. Invoering van deze maatregel kan zodoende ook niet los gezien worden van de effecten van een eventuele fiscale kostenverhoging van het wegvervoer daar het bestaande systeem van professionele diesel momenteel nog tot een omgekeerde situatie leidt, namelijk tanktoerisme naar België (zie fiche "Fiscale kostenverhoging wegvervoer").

Conclusies:

Gezien de relatief eenvoudige implementatie, de rechtsreeke link met broeikasgasemissies, het inherente "de vervuiler betaalt" principe en het groeiende draagvlak voor een dergelijke maatregel in de strijd tegen klimaatverandering, wordt deze maatregel opgenomen in de basis van het voorkeurscenario. De waarde die aan de kost van klimaatverandering zal toegekend worden in 2030 is onderhevig aan het voortschrijdende wetenschappelijke inzicht en de hoogte van het uiteindelijke tarief van de koolstofbijdrage is moeilijker te bepalen. Er wordt aanbevolen om niet te vertrekken van de marktprijs van een ton CO₂ in het emissiehandelsstelsel (ETS)⁵, aangezien deze waarde niet noodzakelijk overeenkomt met de werkelijke schadeprijs van klimaatverandering.

⁵ Om de uitstoot van broeikasgassen kosteneffectief terug te dringen is de Europese Unie in 2005 gestart met een emissiehandelsstelsel (Emission Trading Scheme of ETS). De CO₂-prijs bereikte een piek van 30 euro per ton in 2008, schommelde tussen 2012 en 2017 tussen de 3 en 9 euro per ton, maar is in 2018 terug gestegen tot 21 euro per ton (21,47 euro op 30 augustus 2018).

Bronnen :

- Bickel P., Friedrich R., Link H., Stewart L. & Nash C. (2006) Introducing Environmental Externalities into Transport Pricing: Measurement and Implications. *Transport Reviews*, 26 (4), 389-415
- Climact/pwc (2017) Belgian national debate on carbon pricing. Workshop on the transport sector. Brussel 07/12/2017. In opdracht van de Federale Overheid.
- Delhaye E., De Ceuster G., Vanhove F., Maerivoet S. (2017) *Internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen: actualisering 2016*, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, door Transport & Mobility Leuven.
- Kuik, O., Brander, L., and Tol, R. S. (2009). Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: A meta-analysis. *Energy Policy*, 37(4), 1395-1403
- Gibson, G., Varma, A., Cox, V. (Ricardo-AEA), Korzhenevych, A., Dehnen, N. (DIW econ), Bröcker, J., Holtkamp, M. and Meier, H. (CAU) (2014) *Update of the Handbook on External Costs of Transport*. Final Report for the European Commission – DG Mobility and Transport, London, UK.

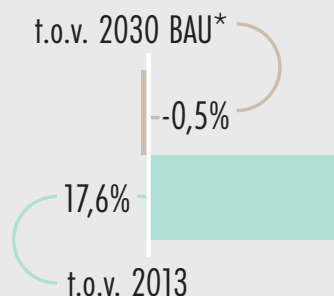
02.2. Fiscale kostenverhoging wegvervoer (o.a. aanpassing professionele diesel)

Korte beschrijving:

In deze maatregel wordt er bekeken wat een aanpassing van de fiscaliteit in het wegvervoer zou kunnen realiseren op vlak van CO₂ besparing. Momenteel kunnen professionele dieselgebruikers (zoals transportbedrijven, taxibedrijven e.d.) een gedeelte van de bijzondere accijns terugkrijgen van de Staat (art. 429, § 5, programmawet van 27 december 2004). In april 2018 bedroeg deze teruggave € 213,3094 per 1.000 liter diesel, o.a. toepasselijk voor zware vrachtwagens (MTM > 7,5 ton). Het te recupereren bedrag aan accijnzen is afhankelijk van het accijnstarief op het moment van de aankoop van de diesel. Zowel de nationale eindgebruikers als de eindgebruikers gevestigd in een andere lidstaat komen in aanmerking voor deze vrijstelling van de verhoging van de bijzondere accijns. Een rechtstreekse vertaling van de afschaffing van deze fiscale gunstmaatregel in SVRM is niet zo eenvoudig, aangezien het brandstofverbruik per kilometer en per voertuigtype niet constant is. Om toch een inschatting te kunnen maken, wordt in het SVRM-scenario doorgerekend waarbij deze fiscale aanpassing verondersteld wordt te resulteren in een stijging van +10% van de afstandskost in SVRM.⁶

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Individuele simulatie met €40/ton CO₂:



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)
(& zonder aanpassing voor tanktoerisme, zie verder)

Vertaling naar Voorkeurscenario: daar het politieke en maatschappelijke draagvlak voor deze maatregel momenteel laag wordt ingeschat op basis van de in deze studie uitgevoerde MAMCA workshop en stakeholder bevraging, wordt deze niet meegenomen in de modellering van het voorkeurscenario in SVRM. Dit betekent niet dat de onderzoekers vinden dat deze maatregel niet zou moeten opgenomen worden in een roadmap tot decarbonisatie van het vrachtovervoer. Vanuit een realistische en conservatieve inschatting van de CO₂-besparing naar 2030 toe kan het effect van een afschaffing van de terugvordering van de accijnzen echter niet zomaar (samen met de andere in het voorkeurscenario opgenomen maatregelen) als realiseerbaar beschouwd worden. Wel wordt ze door de onderzoekers als wenselijk bestempeld, wat betekent dat er dient ingezet te worden op draagvlakcreatie. Mogelijk dient een stapsgewijze afbouw van dit systeem overwogen te worden, waarbij andere ondersteunende maatregelen aan de transportsector overwogen kunnen worden (bijvoorbeeld via loonlastenverlaging en/of innovatiesteun). Zodoende zou deze maatregel tegen 2030 toch al (deels) kunnen bijdragen aan CO₂-emissiereductie.

⁶ Dit is dus slechts een benadering van het effect van het afschaffen van professionele diesel. Om het exacte effect van een volledige afschaffing van de gedeeltelijke recuperatie van de bijzondere accijns te kunnen inschatten zijn meer gedetailleerde doorrekeningen vereist in het SVRM (waarbij de wijziging in dieselvebruik wordt vertaald naar een wijziging in de afstandskost per voertuigklasse en wegtype).

Effect op de Belgische en Vlaamse broeikasgasinventarissen:

In het kader van een opdracht ter voorbereiding van het Vlaams Klimaatplan heeft TML, als onderaannemer voor VITO, een aantal transportmaatregelen geëvalueerd, onder meer de inperking van het systeem van professionele diesel. Daaruit bleek het effect op de transportvraag, gezien de lage prijselasticiteit van vrachtvervoer, zeer gering (grootteorde 1%). Ook de ermee gerelateerde CO₂-besparing blijft dus relatief beperkt.

Deze maatregel zou echter wel een significant effect kunnen hebben op de Belgische en Vlaamse broeikasgasinventaris, waarop men zich zal baseren om te bepalen of de broeikasgasdoelstellingen onder de *Effort Sharing Regulation* al dan niet behaald worden. Ter herinnering, doelstelling voor non-ETS sectoren in België is -35% tegen 2030 ten opzichte van 2005 en de recent vastgestelde doelstelling in het ontwerp Vlaamse klimaatbeleidsplan 2021-2030 legt een minimale reductie van broeikasgasemissies tegen 2030 met minstens 27% ten opzichte van 2005 op, waarbij specifiek voor goederenvervoer nog een beperkte toename van +3% vooropgesteld wordt (Vlaamse Overheid, 2018).

De fiscale regeling met betrekking tot professionele diesel in België zorgt voor een aanzienlijk relatief prijsvoordeel voor de aankoop van diesel in België ten opzichte van de buurlanden. Dit fiscale voordeel geeft aanleiding tot een hogere brandstofverkoop als gevolg van tanktoerisme en een aanzuigeffect als transitland. Tanktoerisme ontstaat doordat Belgische en buitenlandse vrachtwagens bij het afleggen van een internationaal traject beloond worden om zo veel mogelijk in België te tanken. Er wordt hierdoor meer brandstof getankt dan noodzakelijk om de kilometers in België te rijden. Een gedeelte van de in België getankte diesel wordt dus uitgestoten in het buitenland maar komt toch op de Belgische emissie-inventaris. Voor de klimaatrapportage maken de lidstaten verplicht gebruik van de brandstofverkoop cijfers. Een tweede effect van het fiscale regime van professionele diesel is dat België een interessant transitland is, waardoor er meer vrachtwagens dan strikt noodzakelijk het wegennet gebruiken zonder gebruik te maken van de logistieke diensten. Een derde effect van deze korting op de brandstofkosten is een competitief voordeel voor Belgische bedrijven aangezien ze goedkoper bereikbaar zijn. Een afschaffing van professionele diesel zou de feitelijke brandstofprijzen laten toenemen van 1,065 €/L naar 1,243 €/L. Dit maakt de prijs duurder dan in Duitsland (1,155 €/L), Frankrijk (1,105 €/L) en Luxemburg (987 €/L) en ongeveer gelijk met Nederland (1,214 €/L) (FOD Gezondheid, 2018)⁷.

In dit scenario wordt het (gedeeltelijk) wegvallen van dit fiscale voordeel benaderend gemodelleerd. Dit gebeurt door de afstandskost in het SVRM met 10% te verhogen (zie verder). Dit resulteert in een daling van het aantal voertuigkilometers met 0,6%, hetgeen overeen komt met 0,5% van de CO₂-emissies. Dit geeft aan dat de impact van de maatregel geen grote verandering met zich mee brengt op vlak van gebruik van de weginfrastructuur.

Bovenstaande doorrekening in het SVRM houdt echter geen rekening met de plaats van brandstofverkoop. Door het afschaffen van de recuperatie van accijnzen op diesel zou immers de plaats waar getankt wordt kunnen wijzigen en de discrepantie tussen in België getankte en gereden kilometers kunnen verdwijnen.

Bij het volledig wegvallen van het prijsverschil tussen België en de buurlanden, door bijkomende fiscale aanpassingen, kan men veronderstellen dat dit tanktoerisme en een deel van het transitverkeer zal verdwijnen. Om de impact van een aanpassing van het fiscale systeem te kwantificeren, worden daarom twee mogelijke effecten op de verkoop van diesel-brandstof doorgerekend. Beide scenario's gaan uit van een afschaffing van de maatregel, met elk een ander effect op de in België gereden voertuigkilometers. Deze benadering laat toe om het onzekere effect van deze maatregel te kwantificeren.

Bij een beperkt effect van de maatregel daalt de brandstofverkoop met 7%. Deze hoeveelheid komt overeen met het verschil tussen de hoeveelheid brandstof die jaarlijks aangemeld wordt in de regeling van professionele diesel en het berekende brandstofverbruik.⁸ Er wordt verondersteld dat deze daling een gevolg is van het niet afstemmen van het tankgedrag op de landsgrenzen, zodat er in België niet meer getankt wordt dan er gereden wordt.

Indien de maatregel een groot effect zou hebben, daalt de brandstofverkoop met 18%. Deze daling komt voort uit het hierboven beschreven effect op het tankgedrag en een afname van transitverkeer. Dit gezamenlijke effect wordt benaderd op basis van het scenario 2 uit de fiche van de kilometerheffing. De kilometerheffing in dit scenario werd enkel ingevoerd in België (op alle wegen en voor alle modi) en leidde tot een daling in voertuigkilometers (-12%) door een verplaatsing naar de buurlanden en een beperkte modale verschuiving. Dit effect werd vervolgens geëxtrapoleerd van Vlaanderen naar België. Merk op dat de modeldoorrekening gebaseerd is op de situatie in 2030 en dat de afname aan voertuigkilometers een eerder ruwe en zeker voorlopige benadering vormt.

In beide scenario's wordt verondersteld dat de Belgische staat geen terugvordering van accijnzen voorziet en dat prijsstijging relatief is tegenover de buurlanden. De resultaten van deze effecten worden gebruikt om de fiscale gevolgen en de impact op klimaatboekhouding in kaart te brengen (zie tabel).

Op basis van historische data en huidige brandstofprijzen blijkt dat er ongeveer 2 miljard liter diesel verkocht wordt aan vrachtwagens die gebruik maken van het systeem van professionele diesel. De opbrengst aan accijnzen, BTW en Apetra-bijdrage wordt weergegeven in de kolom "ongewijzigde situatie" van onderstaande tabel. De tweede en derde kolom komen overeen met scenario's waarin door aanpassingen aan het fiscale systeem de brandstofverkoop aan buitenlandse en Belgische vrachtwagens met respectievelijk 7% en 18% daalt.

⁷ De teruggave onder de regeling van professionele diesel wordt voortdurend aangepast aan de werkelijke dieselprijs en varieert sterk in tijd. In 2018 nam dit met 33% toe, van 185,9094 €/1000 l tot 247,6158 €/1000 l. De dieselprijs (B7) nam in dezelfde periode toe met 7%, van 1,40 €/l tot 1,51 €/l (incl. BTW) FOD Economie (2018).

⁸ Het berekende brandstofverbruik wordt bepaald door de jaarlijkse voertuigkilometers (Fod Mobiliteit, 2018) en het gemiddelde brandstofverbruik (rekening houdend met het type weg en de massa van de vrachtwagen) (op basis van emissiefactoren Departement Omgeving (zie fiche "Emissiefactoren").

De impact van de verschillende scenario's op de opbrengst voor de federale staat en op de gewestelijke broeikasgasinventarissen wordt weergegeven. Voorts wordt er een inschatting gemaakt van de kost die de gewesten zouden moeten dragen voor de aankoop van emissierechten tegen een (onzekere) koolstofprijs van 10-40 €/ton CO₂.

Tabel 18: Prognose fiscaal systeem

	Huidige situatie	Afschaffing professionele diesel - Beperkt effect -	Afschaffing professionele diesel - Sterk effect -
Effect op logistieke activiteiten		Daling van tanktoerisme Geen modale verschuiving Geen afname transit	Daling van tanktoerisme Modale verschuiving Afname van transitverkeer
netto dieselprijs (€/L)	1,065	1,243	1,065
brandstofprijs per vkm (€/vkm)	0,233	0,271	0,233
km'heffing (gewogen gemiddelde) (€/km)	0,079	0,079	0,110
prijs per kilometer (gewogen gemiddelde) (€/km)	0,312	0,350 (+11%)	0,343 (+9%)
vkm (Miljoen km)	8.559	8.559	7.559 (-12%)
brandstofverbruik obv kilometers (Miljoen L)	1.869	1.869	1.651
Brandstof verbruik obv regeling professionele			
diesel (miljoen L)	2.020		
Opbrengst belastingen (M€)	1.730	1.601	1.414
waarvan accijnzen	1.190	1.101	972
waarvan BTW	530	490	433
waarvan Apetra ⁹	15	14	12
Terugbetaling accijnzen (M€)	430	0	0
Netto-opbrengst federale staat (M€)	1.300	1.601	1.414
gerapporteerde emissies (kton CO ₂ -eq)	5.331	4.933	4.356
daling CO ₂ -emissie zware en lichte vrachtwagens			
(kton)		398 (-7%)	975 (-18%)
Kost emissierechten voor de drie gewesten samen			
(M€)	53 - 213	49 - 197	44 - 174

Uit de vergelijkende tabel blijkt dat het afschaffen van de regeling rond professionele diesel een verhoging van de overheidsinkomsten verzorgt van 1.300 M€ in het huidige systeem naar 1.414 M€ tot maximaal 1.601 M€. De Belgische klimaatemissies zouden met respectievelijk 975 kton en 398 kton dalen. Verder is er ook een substantiële daling van de emissierechten die België mogelijk dient te betalen.

Het wegvallen van het fiscale voordeel van professionele diesel zou dus zowel een impact kunnen hebben op het tankgedrag als het aantal gereden voertuigkilometers. Er is evenwel slechts een deel van de informatie beschikbaar, dus voor een meer exacte berekening en analyse van de impact van deze maatregel is een meer diepgaande studie nodig.

Model : STRATEGISCH VRACHTMODEL

In de modellering wordt de maatregel van fiscale kostenverhoging vertaald in een verhoging van de afstandskost (€/km) voor wegvervoer in SVRM met 10% (voor spoor en binnenvaart blijft de afstandskost ongewijzigd). Deze afstandskost wordt hoofdzakelijk bepaald door brandstof- en personeelskosten.

Tabel 19: Sensitiviteitsanalyse kostenverlaging (logistieke efficiëntie)

Weg	Tijd (€/uur)	Afstand (€/km)	Laden/Lossen (€)	Overladen (€)
Bestelwagen (1-3,5 ton)	/	/	/	/
Licht (3,5 - 12 ton)	/	10%	/	/
Zwaar (>12,5 ton)	/	10%	/	/
Binnenvaart	Tijd (€/uur)	Afstand (€/km)	Laden/Lossen (€)	Overladen (€)
Klein, bulk & container	/	/	/	/
Medium, bulk & container	/	/	/	/
Groot, bulk & container	/	/	/	/
Spoorvervoer	Tijd (€/uur)	Afstand (€/km)	Laden/Lossen (€)	Overladen (€)
Goederentrein	/	/	/	/

Als we kijken naar de wijze waarop de afstandskosten in SVRM zijn opgenomen (zie onderstaande tabel), dan blijkt uit een raming op basis van de brandstofverbruiken in de verschillende klassen dat de afschaffing van de recuperatie van de accijnzen de afstandskost in SVRM tussen de 10% en 16% zou verhogen. De modeldoorrekening is dus eerder conservatief opgevat.

Tabel 20: Kosten wegvervoer

		Tijd (€/uur)	Afstand (€/km)	Laden/Lossen (€)	Overladen (€)
Bestelwagen (1-3,5 ton)	Niet gecont	30.1	0.129	21.6	21.6
Licht (3,5 - 12 ton)	Niet gecont	37.5	0.227	32.4	32.4
	Container	35.5	0.225	26.0	18.0
Zwaar (12,5-40 ton)	Niet gecont	47.0	0.370	40.0	40.0
	Container	44.7	0.370	41.6	26.2
>40 ton (mega)	Niet gecont	53.7	0.463	46.0	46.0
	Container	51.1	0.463	67.6	40.0

Effect op luchtvervuiling :

Zeer beperkte impact, evenredig met de (beperkte) werkelijke daling van de voertuig- en tonkilometers en de gelimiteerde modale verschuiving (in SVRM wordt de transportvraag constant verondersteld¹⁰).

¹⁰ Via de dynamische Excel kan een effect van prijselasticiteit op de transportvraag worden geanalyseerd

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving:
 - Beperkte modale verschuivingseffecten (minieme impact op voertuigkilometers en tonkilometers).
- Secundaire effecten: mogelijk zijn er reboundeffecten door wijzigingen in omrijkilometers indien tanken relatief aantrekkelijker wordt in andere landen (of minder aantrekkelijk in België). Daarnaast zal het duurder maken van fossiele brandstof de optie van alternatieve aandrijvingen vanuit kostenperspectief relatief aantrekkelijker maken.

Lock-in:

Niet van toepassing

Toepassingsgebied:

- Stedelijk en buitengebied
- korte en lange afstandstransport

Kosteneffectiviteit :

Uit de in deze studie uitgevoerde analyse van de twee bestudeerde scenario's met betrekking tot de afschaffing van het fiscale voordeel van recuperatie van accijnzen op diesel blijkt dat dit zou resulteren in een stijging van de federale fiscale ontvangsten. De daling in fiscale ontvangsten door het wegvallen van tanktoerisme door buitenlandse transporteurs en de ermee gepaard gaande daling in voertuigkilometers en dus ook in brandstofverbruik zou immers meer dan gecompenseerd worden door de daling in overheidsuitgaven vanwege het wegvallen van de terug te storten accijnzen. Dit zou een bijkomende argument kunnen zijn om het systeem van recuperatie van accijnzen te herzien, maar gelet op de databeperkingen van de hier uitgevoerde analyse is een meer diepgaande studie met bijkomende dataverzameling vereist om exacter de impact van deze maatregel te analyseren.

Daarnaast wordt er geen impact verwacht op de gewestelijke inkomsten maar de maatregel zou de vereiste aankoop van emissierechten wel kunnen drukken.

Timing:

- Technische implementeerbaarheid: in principe onmiddellijk, maar een stapsgewijze afbouw lijkt politiek en maatschappelijk haalbaarder.

Voorwaarden en barrières :

- Het maatschappelijke draagvlak bij de economische actoren en de politieke haalbaarheid van een onmiddellijke en volledige afschaffing van het systeem van recuperatie van accijnzen lijkt problematisch. Enkel een stapsgewijze invoering lijkt mogelijk, maar zelfs daarvan lijkt de realisatie niet zeker.
- Anderzijds is het draagvlak voor een dergelijke afschaffing bij andere bredere maatschappelijke actoren hoger, en werkt het huidige systeem van subsidiëring van fossiele brandstoffen negatief in op de effectiviteit en efficiëntie van al de andere maatregelen.
- Internationale organisaties zoals OESO pleiten reeds geruime tijd voor een afschaffing van het systeem van professionele diesel in België en een verhoging van de accijnzen op diesel (Schmitz, 2012). Ook de Europese Commissie heeft zich al in die zin uitgesproken over het huidige Belgisch beleid met betrekking tot fossiele brandstoffen en subsidies.

Besluit:

Het rechtstreekse CO₂-besparingseffect door modale verschuiving en daling van voertuigkilometers van een fiscale kostenverhoging met 10% door de gehele of gedeeltelijke afschaffing van recuperatie van accijnzen is relatief beperkt gezien de veronderstelde prijsinelasticiteit van vrachtvervoer. Een afschaffing van de fiscale voordelen voor professionele diesel heeft wel een significant effect de Belgische en Vlaamse broeikasgasinventaris en dus op het behalen van de broeikasgasdoelstellingen onder de Effort Sharing Regulation door het afbouwen van de discrepantie tussen in België getankte brandstof en gereden kilometers. Daarnaast kan er ook een positief effect zijn door de afbouw van transport dat geen gebruik maakt van de Vlaamse logistieke infrastructuur en dus geen meerwaarde creëert. Bovendien werkt het systeem van subsidiëring van fossiele brandstoffen contraproductief in op de andere maatregelen in de roadmap. Daar het huidige politieke en economische draagvlak voor het afschaffen van het huidige systeem op basis van de stakeholderbevraging beperkt blijkt te zijn, wordt vanuit een realistische en conservatieve inschatting van de CO₂ besparing naar 2030 het effect van een afschaffing van de terugvordering van de accijnzen niet mee opgenomen in de modeldoorrekening van het gecombineerde voorkeurscenario in SVRM en wordt de afschaffing niet als gerealiseerd maar wel als wenselijk beschouwd. Enkel een stapsgewijze afbouw van dit systeem lijkt politiek en maatschappelijk haalbaar, waarbij de transportsector en andere sectoren met hoog dieselverbruik (bijv. de bouwsector) eventueel op een andere manier ondersteund zou kunnen worden dan via korting op de brandstof (via bijvoorbeeld investeringssteun, loonlastenverlaging, innovatiesteun,...). Gelet op de ingeschatte uitdaging om de CO₂-besparingsdoelstellingen te realiseren wordt deze maatregel wel optioneel aan de roadmap toegevoegd.

Bronnen :

- art. 429, § 5, programmawet van 27 december 2004
- Climact/pwc (2017) Belgian national debate on carbon pricing. Workshop on the transport sector. Brussel 07/12/2017. In opdracht van de Federale Overheid.
- Departement Mobiliteit en Openbare Werken (2015) Opbouw strategisch vrachtmodel Vlaanderen versie 4.1.1
- Federale Overheidsdienst Financiën, Algemene Administratie van de Douane en Accijnzen, Handleiding PDIE Professionele Diesel
- FOD Mobiliteit en Vervoer (2018), Kilometers afgelegd op het Belgische wegennet in 2016
- FOD gezondheid, voedselveiligheid, veiligheid en milieu (2018), Belgian National Debate on Carbon Pricing – final report.
- FOD Economie (2018), officieel tarief van de dieselprijzen, <https://economie.fgov.be>
- Schmitz, T. (2012) Greenhouse Gas Emissions and Price Elasticities of Transport Fuel Demand in Belgium, OECD Economics Department Working Papers, No. 955, OECD Publishing
- Vlaamse Overheid Departement Omgeving (2018) Werkdocument Fiscaliteit Diesel
- Vlaamse Overheid (2018) Vlaams klimaatbeleidsplan 2021-2030. VR 2018 2007 DOC.0830/2TER

02.3. Ruimtelijke planning

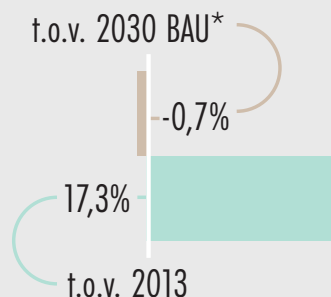
Korte beschrijving:

Versnippering en sterke verspreiding van functies zorgen voor grotere afstanden in woon-werkverkeer en transport. Dit scenario bekijkt een verhoogde concentratie van (toekomstige) bedrijvigheid langs internationale (zeehavens, luchthaven) en regionale logistieke knooppunten. Deze regionale logistieke knooppunten (RLK) liggen op strategische, multimodaal ontsloten locaties nabij bestaande bedrijvigheid en bewoning. Dit conform de visie van het beleidsplan Ruimte Vlaanderen (BRV) inzake verdichting en verweving van functies.

Het netwerk in dit scenario heeft een zekere overlap met het scenario 'Multimodale infrastructuur', maar het Ruimtelijke-Planningsscenario gaat uit van een verschuiving van de werkgelegenheid naar de internationale en regionale knooppunten, daar waar het scenario 'Multimodale infrastructuur' uitgaat van een uitbreiding van het netwerk aan overslagpunten en de opwaardering van de capaciteit van water- en spoorwegen, zonder een verschuiving van de werkgelegenheid in het model.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Individuele simulatie met €100/ton CO₂:



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

Vertaling naar Voorkeursscenario: Meegenomen vanwege realiseerbaar en effectief, zij het mogelijk deels voorbij tijdshorizon 2030.

Tabel 21: Vervoerswijze/scenario

	Ref 2013	Ref 2030 SO	Ruimtelijke planning
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer zware vrachtwagens	2.824	3.445	3.429
Wegvervoer lichte vrachtwagens	497	524	523
Wegvervoer bestelwagens	430	421	407
Weg totaal	3.750	4.390	4.358
Binnenvaart	71	118	119
Spoor	71	118	119
Totaal	3.844	4.543	4.509
% verschil tov 2030 BAU			-0,7%
% verschil tov 2013		18,2%	17,3%

Model : STRATEGISCH VRACHTMODEL

- Uitbreiden huidige infrastructuurnetwerk met bestaande en geplande overslagpunten
 - Aanduiden internationale logistieke knooppunten, én regionale logistieke knooppunten (RKP) type 1 en type 3, conform definitie en ambitieniveau BRV.
 - Toevoegen van intermodale verbinding in RKP 3 indien afwezig
 - Toepassing NACE-codes in model:
 - Toename van 10% van industriële tewerkstelling in RKP1 en RKP3
 - Daling in andere zones (maar niet in de zeehavens)
- Komt overeen met 20% daling in andere zones

Effect op luchtvervuiling:

- (-) Noodzaak tot toename van aandeel duurzame energiedragers in wegverkeer: logistieke knooppunten en omgeving kennen geconcentreerde bewoning en bedrijvigheid, en daardoor meer hogere concentraties fijn stof, roet en stikstofdioxide, mede door street-canyon effecten..
- (+) Bundelen en concentreren van toekomstige groei ter hoogte van RLK levert wel de potentie binnen RLK gerichte leefbaarheidsprojecten en regelgeving op te starten, conform principes BRV: (groenblauwe dooradering en buffering, verweving en ontharding, internaliseren milieueffecten,...) (bron: witboek BRV).
- (+) Modal shift naar spoor en binnenvaart in de knooppunten levert mogelijk positieve effecten inzake congestie en pollutieconcentraties langs dicht bebouwde en bewoonde netwerken van het wegverkeer. De netwerken van het spoor en de binnenvaart zijn meer in openruimtegebied gelegen. Hier spelen street canyon effecten minder.
- (+) De ruimtelijke bundeling van verkeersstromen heeft positieve effecten op de luchtkwaliteit in het ontlaste buitengebied.

Model verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving:
 - op basis van de modellering wordt volgende modale split bereikt:

Tabel 22: Modale verdeling - Ruimtelijke planning

	Ref 2013	Ref 2030 BAU	-30% totaal BV en spoor	Ruimtelijke planning
Tonkilometer per dag in Vlaanderen	1000 Tonkm	1000 Tonkm	1000 Tonkm	1000 Tonkm
Weg	316,147	450,236	413,491	449,694
Spoor	41,070	63,515	64,943	57,676
Binnenvaart	43,578	71,996	89,410	73,597
Totaal	400,794	585,747	570,940	580,966
	%	%	%	%
Weg	79%	77%	72%	77%
Spoor	10%	11%	11%	10%
Binnenvaart	11%	12%	16%	13%

- Secundaire effecten:
 - Door het vrijmaken van meer capaciteit op spoor en binnenvaart en de aanvankelijke realisatie van modale verdeling komt meer capaciteit vrij op de wegen, waardoor die toekomstige groei opvangen.

Lock-in:

Geen rechtstreekse lock-in.

Toepassingsgebied:

- Stedelijk en buitengebied. Logistieke knooppunten zijn vaak in de randzone van steden en het buitengebied gelegen. Lange afstandstransport

Kosteneffectiviteit:

- Sturen van toekomstige logistieke groei, financiering aanpassingen netwerk (overslagcentra en dergelijke) opgenomen in financiële plannen water-, weg- en spoorwegbeheerders. Lokaal is publiek private samenwerking mogelijk.
- Afzonderlijke actoren kunnen besparen op brandstof- en congestiekosten door geoptimaliseerde ligging en eventuele synergiën met andere actoren in en rond de knooppunten.

Timing:

- Uitbouw van infrastructuur is inbegrepen in bestaande beleidsplannen, meerdere projecten zijn reeds lopende en ten dele gerealiseerd. In de loop van deze studie keurde de Vlaamse Regering op 20 juli 2018 de strategische visie van het nieuwe Beleidsplan Ruimte Vlaanderen goed. De strategische visie omvat een toekomstbeeld en een overzicht van voorname beleidsopties op lange termijn, met name de strategische doelstellingen. Ze bepleit de duurzame en multimodale uitbouw van de logistieke draaischijf Vlaanderen (Departement Omgeving, 2018)
 - Dergelijke aanpassingen hebben een grote maatschappelijke en ruimtelijke impact, waardoor het vervullen van het netwerk van regionale knooppunten tegen 2030 mogelijk niet realistisch is.
- Kans dat realiseren van dit scenario tijdshorizon 2030 overstijgt
- Gericht lokaliseren toekomstige groei: grote zichtbare effecten eveneens op lange termijn te verwachten

Voorwaarden en barrières:

- Vlaanderen is een logistieke hotspot in Europa. Op heden is de logistieke activiteit in Vlaanderen reeds zeer sterk verspreid. Herlokalisatie van bestaande logistiek is evenwel niet vanzelfsprekend en/of maatschappelijk wenselijk. Hierbij is een gedragsshift noodzakelijk. Deze mentale shift dient op verschillende niveaus plaats te vinden om enig effect te hebben. Vanuit het beleid dient ingezet te worden op flankerend, stimulerend beleid gericht op het vestigen van ondernemingen op goed (multimodaal) ontsloten sites. Maar daarnaast is ook vanuit de bedrijven zelf een mentale shift bij bedrijfsleiders nodig om multimodale opties te overwegen. Verschillende projecten zoals o.a. het Multimodaal Platform van VIL behoren tot het soort acties ter bevordering van een mentale shift.
- Het realiseren van bijkomende overslagcentra naar spoor en binnenvaart is noodzakelijk om een verbeterde modale verdeling te realiseren conform visie RLK's uit het BRV.
- De havendoelstellingen dienen te worden gerealiseerd. Hier liggen de grootste en meest realiseerbare mogelijkheden voor multimodaal transport naar het hinterland (zie fiche "Havenscenario").
- Logistiek optimalisatiepotentieel is momenteel beperkt. Het bundelen van logistieke activiteiten en ontwikkelen van synergiën wordt immers eenvoudiger wanneer verschillende bedrijven meer geconcentreerd zijn gelegen. Het uitbouwen van de regionale logistieke knooppunten is dus noodzakelijk voor het inzetten op verhoogde beladingsgraden, de uitbouw van deeleconomie en de creatie van efficiënte logistieke hubs (als voorbeeld kan de zone Tilburg-Eindhoven-Venlo in Nederland aangehaald worden).

Conclusie:

Het uitbouwen van Regionale Logistieke Knooppunten is conform de visie van het beleidsplan Ruimte Vlaanderen (BRV) inzake verdichting en verweving van functies, en is een noodzakelijk element in het verduurzamen van het transportsysteem in een bredere context. Ondanks dat de door deze individuele maatregel gerealiseerde CO₂ besparing in de modelrun vrij beperkt is, maakt deze maatregel een essentieel onderdeel uit van de roadmap, waarvan de effecten vooral op de langere termijn, met doorkijk naar 2050, belangrijk zal zijn. Bepaalde effecten zoals betere multimodale opportuniteiten en bundelingspotentieel van goederenstromen resulteren mogelijk in een sterkere CO₂ besparing dan uit de individuele en gecombineerde modelsimulatie naar voor komt. Deze maatregel wordt dan ook opgenomen in de basis van het voorkeursscenario.

Bronnen :

- Witboek beleidsplan Ruimte Vlaanderen
- Strategisch Meerjareninvesterings-plan 2018-2031 (SMIP)

02.4. Multimodaal vervoer - subsidie

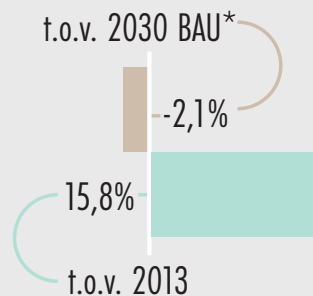
Korte beschrijving :

Multimodaal transport – een transportketen van goederen waarbij minstens twee verschillende transport modi gebruikt worden – wordt omwille van zijn voordelen ondersteund door de overheid. De overheid investeert enerzijds in het onderhoud en de verdere uitbouw van de transport infrastructuur. Anderzijds schrijft de overheid ook subsidies uit ter ondersteuning van transport, waaronder subsidies ter bevordering van een modale verschuiving naar spoor en/of binnenvaart van bepaalde transportstromen. In dit scenario wordt de financiële steun ten voordele van een modale verschuiving van goederenstromen beschouwd. De standaard manier van werken voor deze steun is dat hij uitgereikt wordt onder een subsidie-vorm. Hij dient aangevraagd te worden en mits aan de voorwaarden voldaan wordt krijgt de betrokken operator subsidies.

Voor de samenstelling van dit scenario werd vertrokken van de huidige subsidies ter bevordering van een modale verschuiving (en dus abstractie makend van steun voor infrastructuur uitbouw). Hierbij dient genoteerd te worden dat spoorvervoer een federale materie is terwijl binnenvaart onder gewestelijke bevoegdheid valt. Een volledig overzicht van de steun die de Vlaamse Overheid in het basisjaar 2013 aan binnenvaart en spoorvervoer gaf kon niet bezorgd worden. Daarom is er op basis van de huidige situatie (2018) gewerkt waarbij de drie steunmaatregelen voor de binnenvaart elk een budget van anderhalf miljoen euro toegeschreven kregen. Daarenboven is de ondersteuning door de Vlaamse Overheid en de Haven van Antwerpen van 15 projecten die een modale verschuiving beogen meegenomen. Dit gaat om een budget van 2 miljoen euro. Samen geeft dat 4,5 miljoen euro, dewelke gedeeld door het aantal voertuigkilometers van spoor en binnenvaart een ratio geeft 0,48 euro aan subsidiesteun per voertuigkilometer.¹¹ De reductie van de transportkost met 0,48 euro per vkm zit impliciet vervat in de huidige utiliteitsfuncties die in de modellering in SVRM gebruikt wordt. De gehanteerde kosten in het SVRM zelf zijn gebaseerd op verschillende wetenschappelijke bronnen en kostenbarometers uit binnen- en buitenland. De utiliteitsfuncties – dewelke de kosten gebruiken – zijn zo opgebouwd dat ze de realiteit zo nauwkeurig mogelijk beschrijven, inclusief dus het effect van subsidies die de modale keuze in de realiteit beïnvloeden. Een groei in steun tegen 2030 zal de kostenfunctie beïnvloeden. Er werd in samenspraak met de Vlaamse Overheid departement MOW geopteerd om een verdrievoudiging van de steun voor intermodaal vervoer (infrastructuur buiten beschouwing genomen) door te rekenen. Dit zou de afstandskost voor intermodaal vervoer in 2030 verlagen met 11,29%.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Individuele modeldoorrekening met maximaal toegelaten steunmaatregel voor (intermodaal) transport in EU ten belope van 30% van de totale transportkost:



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

Er werden twee modeldoorrekeningen uitgevoerd, waarvan 1 individuele doorrekening om het maximale potentieel in te schatten, en 1 aangepaste doorrekening met een subsidiepercentage die een verdrievoudiging van het huidige gehanteerde subsidiepercentage bedraagt. Deze tweede doorrekening werd opgenomen in de SVRM run met het gecombineerde voorkeursscenario.¹²

Modeldoorrekening met aangepast subsidiepercentage overeenkomend met verdrievoudiging van budget van bestaande federale en gewestelijke steunmaatregelen wat resulteert in reductie in afstandskost in SVRM van -11,27%.

Model : STRATEGISCH VRACHTMODEL

De gehanteerde steunmaatregelen (drie steunmaatregelen binnenvaart van anderhalf miljoen euro elk en steun van 15 projecten ter bevordering van modal shift door Vlaamse Overheid en Haven van Antwerpen van twee miljoen euro) zijn impliciet al opgenomen in de utiliteitsfuncties van het vrachtmodel. Er wordt in de modeldoorrekening dus van uitgegaan dat de (federale en gewestelijke) overheid een extra subsidie inspanning doet. Indien de overheid haar budget vermeerdert volgens onderstaande tabel, dan daalt de afstandskost in het SVRM volgens het aangegeven percentage.

ASSUMPTIE	Kostenreductie op afstandskost in vrachtmodel
stel 1,5x budget tegen 2030	2,69 %
stel 2x budget tegen 2030	5,55 %
stel 3x budget tegen 2030	11,27 %
stel 4x budget tegen 2030	16,99%
stel 5x budget tegen 2030	22,71 %

Het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen modelleert in het voorkeurscenario het transportsysteem met een verlaging van afstandskost voor spoor en binnenvaart met 11,29%.

¹¹ Bovenstaande benaderende berekeningen werden gepresenteerd op en gevalideerd door de projectwerkgroep.

¹² Hiervoor zijn dus geen individuele modelresultaten beschikbaar zodat het geïsoleerde effect van deze aangepaste maatregel ten opzichte van de eerste modeldoorrekening van deze maatregel moeilijk kan ingeschat worden.

Effect op luchtvervuiling:

Sterk positief effect voor modale verschuiving naar spoor, zeker voor gedeelte op elektrische tractie.

Genuanceerd beeld voor modale verschuivingen naar binnenvaart: naar 2030 toe zal het vrachtwagenpark voor het overgrote deel EURO VI zijn. Bestaande binnenschepen kunnen deze emissienormen voor luchtvervuilende emissies waaronder NO_x en fijnstof niet halen met conventionele scheepsmotoren, vaak zelfs niet rekening houdende met de schaalgrootte (uitgedrukt per tonkilometer). Met de invoering van de NRMM-richtlijn (stage V), die verplichtingen oplegt naar emissies van luchtpolluenten is hier evenwel een inhaalbeweging in gang gezet. Deze is van toepassing op nieuwe motoren en gaat op 1 januari 2019 van kracht voor kleine motoren, en vanaf 1 januari 2020 voor grotere motoren. Daarnaast wordt er ook ingezet op het aanpassen van EURO VI vrachtwagenmotoren zodat deze kunnen ingezet worden voor binnenvaart. Door de eigendomsstructuur van de binnenvaart en de beperkte investeringsmogelijkheden in de sector, loopt de vergroening van de binnenvaart echter veel gestager (zie ook fiche "CO₂-emissiereductie binnenvaart"). Er dienen dus sterkere inspanningen geleverd te worden om de binnenvaart te vergroenen en zodoende positieve effecten te realiseren op vlak van luchtvervuiling. Een bijkomend element dat in het voordeel van binnenvaart kan spelen, is dat voor polluenten met beperkte verspreidingspatronen (zoals fijn stof) de receptordensiteit voor binnenvaart kleiner kan zijn door de relatief grotere afstand tussen vervuilsbron en receptor (van Wee et al., 2007). Voertuigkilometers via de binnenvaart worden vaak in minder bevolkte gebieden afgelegd vergeleken met wegtransport en er speelt daarenboven geen canyoning effect.

Modale verschuiving en secundaire effecten:

Modale verschuiving: de SVRM-modeldoorrekening van het scenario multimodaal subsidie (-30%) geeft significante modale verschuivingen. Uitgedrukt in tonkilometers wordt de modale verdeling weg 73,0% (daling met 7,5%), spoor 11,4% (stijging met 2,3%) en binnenvaart 15,7% (stijging met 24,2%).¹³

Door het verplaatsen van goederenvervoer over de weg naar binnenvaart en spoor zal de congestie op het wegen-netwerk (uitgedrukt in aantal kilometers met saturatiegraad hoger dan 85%) dalen met 4% ten opzichte van de BAU 2030, voornamelijk in de avondspits.

• Secundaire effecten:

- Subsidiering van multimodaal transport trekt overheidsmiddelen weg van andere investeringsmogelijkheden, dus maatschappelijke impact van weggeven investeringen zou vergeleken moeten worden (opportuniteitskost).
- Het effect is mogelijk enkel tijdelijk: in verleden werd vastgesteld dat het effect vaak verdween na het stopzetten van de subsidiemaatregel. Deze maatregel moet dus gepaard gaan met een mental shift bij de economische operatoren en het verbeteren van variabelen die de keuze van het multimodaal vervoer sturen.

Lock-in:

Beperkte lock-in effecten, tenzij de economische operatoren deze modale verschuiving koppelen aan flankerende investeringen bijvoorbeeld via uitbouw van kaaimuur via het Kaaimurenprogramma, met na te komen verplichtingen op vlak van overslag via binnenvaart.

In het kader van emissiereductie zouden steunmaatregelen zoals subsidies gekoppeld kunnen worden aan de milieuprestaties van de betrokken operatoren. Binnenschepen met lagere (CO₂-) emissiewaarden zouden dan bijvoorbeeld een hoger subsidiepercentage kunnen ontvangen om zo transitie naar duurzamere schepen te stimuleren.

Tabel 23: Modale verdeling - Multimodaal vervoer - subsidie

Transportodus	WEG	SPOOR	BINNENVAART
Modale verdeling BAU (in tonkm)	76,9%	10,8%	12,3%
Modale verdeling scenario (in tonkm)	73,0%	11,4%	15,7%
Tonnage per jaar scenario	713.705.542	76.759.377	214.064.058
Tonkm per jaar scenario (x 100 000)	416.586	64.943	89.410

¹³ Voor een gedetailleerde bespreking van de modeldoorrekeningen met SVRM wordt verwezen naar het rapport "Doorrekeningen roadmap vrachtvervoer met Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen" in bijlage.

Toepassingsgebied:

- Binnenvaart en spoorvervoer in Vlaanderen
- Lange afstandstransport
- Vooral buitengebied (maar ook gedeelte stedelijk)

Kosteneffectiviteit:

- Wat spoorvervoer betreft wordt gesteld dat het gecombineerd vervoer (vervoer van "intermodale transporteenheden" zoals containers of wissellaadbakken en opleggers die op verschillende vervoersmiddelen kunnen geladen worden) en verspreid spoorvervoer (vervoer van wagens waarbij vooral kleine zendingen via verschillende treinen worden vervoerd naar binnen- en/of buitenland) zonder financiële steun zullen verdwijnen (FOD Mobiliteit en Vervoer, 2015). Daar waar het inzetten van bloktreinen voor het goederenvervoer winstgevend is, blijken deze twee andere types verlieslatend. De specifieke link met de havens en de flexibiliteit van deze vervoerstypes maken dat zij een belangrijke rol spelen in het terugdringen van het goederenvervoer over de weg. In 2015 en 2016 werd respectievelijk € 4,5 mio en € 10,5 mio steun gegeven aan gecombineerd en verspreid vervoer.
- De subsidies die nodig zijn om de resultaten van de doorrekening te bekomen voor het scenario -11,27% zijn van een grootorde van € 30 mio per jaar aan directe steun ter bevordering van een modal shift van goederen naar spoor of binnenvaart. Dit bedrag kan (deels) gefinancierd worden door inkomsten van een kilometerheffing of koolstof-taks. Aangezien dit scenario enkel in het gecombineerde voorkeurscenario werd gesimuleerd kan de kosteneffectiviteit hiervan niet becijferd worden (omdat er geen directe CO₂-besparing van deze maatregel werd becijferd). Voor het -30% scenario is de berekening wel mogelijk en kan deze als indicatief beschouwd worden voor het -11,27% scenario, ook al is de relatie waarschijnlijk niet lineair. In het -30% scenario staat er tegenover een investering van € 62,75 mio per jaar een CO₂-besparing van 93.208 ton, wat resulteert in een kosteneffectiviteit van **€ 673 per ton CO₂**. Hiertbij dient de belangrijke nuance gemaakt te worden dat de modale verschuivingen en dus ook de ermee gepaard gaande CO₂-besparingen in de SVRM modeldoorrekeningen eerder aan de beperkte kant zijn door de inherente lage kruiselasticiteiten in SVRM¹⁴. Deze CO₂-besparing is dan ook een mogelijke onderschatting of ondergrens van het potentieel. Daarnaast zijn er aan deze modale verschuiving ook nog andere niet gekwantificeerde voordelen verbonden; zoals een verbeterde capaciteitsbenutting van het transportnetwerk, aangezien voertuigkilometers van de verzadigde weginfrastructuur naar spoor en de bevaarbare

waterwegen geleid worden waar beide modi nog over capaciteit beschikken.¹⁵ Daarnaast scoort sopoor en binnenvaart veel beter op het vlak van ongevallen. Ook kan overheidssteun het ondernemingsklimaat in de binnenvaart en spoorvervoer versterken, hetgeen op haar beurt kan leiden tot innovaties en duurzaamheidsbaten via vlootvernieuwing (bijvoorbeeld op vlak van emissies en geluid).

- Op EU niveau zou de totale kostprijs voor de overheid van de aanvullende steunmaatregelen (voor de exploitatie en investeringen) in de periode 2022-2030 moeten oplopen tot 2,9 miljard EUR voor het bereiken van de beoogde modal shift van 30 % van het goederenvervoer (> 300 km) in 2030. Voor het bedrijfsleven zouden dankzij duidelijker voorwaarden bij de tenuitvoerlegging van de richtlijn, het gebruik van elektronische vervoersdocumenten en middelen, uitgebreide economische steun, enz. besparingen (lagere kosten) volgens ramingen ongeveer 64,6 miljard EUR bedragen in de periode 2022-2030. Externe kosten zouden door de modal shift dalen met ongeveer 1,62 miljard euro in de periode 2022-2030. De verwachte jobcreatie dankzij de verhoogde investeringen in terminals zou naar schatting 361,41 miljoen EUR economische baten in de periode 2020-2030 opleveren. Dit gaat evenwel gepaard met extra handhavingskosten voor de nationale autoriteiten (maar die zijn veel kleiner dan de besparingen voor het bedrijfsleven).

Timing:

Deze maatregel is direct implementeerbaar, indien budget beschikbaar is en steunmaatregelen goedgekeurd worden door de Europa.

Voorwaarden en barrières :

- Het maximum aan subsidiesteun voor binnenvaart en spoor is Europees vastgelegd op 30% van de transportkost. Voordere de lokale overheid dergelijke steunmaatregelen mag toekennen, moet de Europese Commissie zijn goedkeuring geven. Deze subsidies worden immers als staatssteun beschouwd en die zijn in de Europese Unie slechts toegelaten onder strikte voorwaarden.
- Ondanks de bijdrage aan de modale verschuiving door de Europese richtlijn gecombineerd vervoer is het intermodaal vervoer in Europa niet sterk genoeg gegroeid om de modal-shiftdoelstelling van het Witboek van 2011 te halen (Europese Commissie, 2017a). Dit komt door:
 - een gebrek aan investeringen in intermodale infrastructuur, en vooral in overslagterminals, en een aantal tekortkomingen in de richtlijn gecombineerd vervoer die aan het licht zijn gekomen bij de REFIT-evaluatie:

¹⁴ Voor een gedetailleerde bespreking van de modeldoorrekeningen en de elasticiteiten in SVRM wordt verwezen naar het rapport "Doorrekeningen roadmap vrachtovervoer met Strategisch Vrachtovervoermodel Vlaanderen" in bijlage.

¹⁵ Dit dient wel genuanceerd te worden in functie van de beschikbare rijpaden voor spoorvervoer en de eventuele wachttijden aan de (zee)haventerminals voor binnenvaart.

1. Problemen bij de tenuitvoerlegging van de richtlijn als gevolg van de complexe en restrictieve subsidiabiliteitscriteria en een gebrek aan doeltreffende handhaving;
 2. Ondoeltreffende en ontoereikende economische steun: beperkte werkingssfeer van de steunmaatregelen, onvoldoende economische steun, beperkte monitoring en het ontbreken van een evaluatiemechanisme.
- De Europese Commissie werkt daarom momenteel aan maatregelen om de definitie van gecombineerd vervoer te verduidelijken, de handhaving te vergemakkelijken en de steunmaatregelen uit te breiden. Een geactualiseerde gemeenschappelijke definitie en gemeenschappelijke criteria dienen ervoor te zorgen dat de voordelen waarin de richtlijn voorziet in de hele Unie op dezelfde manier gelden aangezien 81 % van alle intermodaal vervoer in de EU internationaal vervoer is (Europese Commissie, 2017a). Wanneer de lidstaten verschillende definities hanteren, de richtlijn op verschillende manieren handhaven en verschillende steunregelingen toepassen, bestaat het gevaar dat vervoerders niet tijdens de volledige vervoersketen een beroep op steunmaatregelen kunnen doen. Er

worden drie mogelijke beleidsopties voorzien waarbij optie 2B uit de effectbeoordeling als voorkeuroptie naar voren gekomen is¹⁶ (zie (Europese Commissie, 2017b).

- Er is in de modeldoorrekening geen onderscheid gemaakt naar type van goederen en laadeenheid maar sommige goederen (zoals bouwmaterialen) en laadeenheden (zoals containers en bulkgoederen) verlenen zich beter tot een modale verschuiving dan andere goederen.

Conclusie

De financiële ondersteuning van spoor en binnenvaart door de overheid is niet nieuw. Regionaal en Europees beleid over goederenvervoer focust al twee decennia op de modale verschuiving van goederen naar binnenvaart en spoor om tot een duurzamer goederenvervoer te komen. Dit heeft echter niet geleid tot grote veranderingen in de modale verdeling in Europa en België. Ook de doorrekening van een scenario waarbij spoor en binnenvaart maximaal (30% van de kost) gesubsidieerd worden leidt op basis van de SVRM modeldoorrekening niet tot significant grote veranderingen in de modale verdeling in Vlaanderen, en de daaraan gekoppelde CO₂ besparingen blijven daardoor ook relatief beperkt. Daarenboven riskeert de snellere technologische vooruitgang in het wegvervoer, het voordeel van spoor en binnenvaart in termen van uitstoot te verkleinen. Een inzet op modale verschuiving dient bijgevolg ook idealiter gepaard te gaan met investeringen in het vergroenen van de binnenvaart en verdere elektrificatie van het spoorvervoer. Desalniettemin is een maatregel die een verdere vereenvoudiging van de huidige subsidies inhoudt, meegenomen als basismaatregel in het voorkeurscenario, aangezien deze subsidies essentieel geacht worden om bepaalde vormen van intermodaal vervoer economisch haalbaar te houden. Daarnaast lijkt het becijferde CO₂-besparingspotentieel gelet op de beperkte kruiselasticiteiten in SVRM een ondergrens te zijn. Inkomsten uit kilometerheffing of koolstofbijdrage kunnen eventueel gebruikt worden om deze steunmaatregelen te financieren, idealiter gekoppeld aan incentives tot verduurzaming van spoor en binnenvaart.

Bronnen :

- Departement Omgeving (2017) Witboek beleidsplan Ruimte Vlaanderen
- Departement Omgeving (2018) Beleidsplan Ruimte Vlaanderen. Strategische visie
- Infrabel, NMBS (2017) Strategisch Meerjareninvesteringsplan 2018-2031 (SMIP)
- Vannieuwenhuyse, Van Breedam (2017), "Ontwikkelen van regionale logistieke knooppunten (RLK)" - in kader Beleidsplan Ruimte Vlaanderen (BRV), uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. Emissiemodel voor spoorverkeer en scheepvaart in Vlaanderen (EMMOSS) v3.2, VMM
- W&Z en De Scheepvaart (2014) Masterplan 2020

¹⁶ Beleids optie 2 is gericht op vereenvoudiging van de subsidiabiliteitscriteria, een betere omschrijving van de handhavingsvoorwaarden en de verbreding van de financiële steunmaatregelen. Deze optie is onderverdeeld in twee subopties, afhankelijk van het ambitieniveau:

- In suboptie 2A wordt het toepassingsgebied uitgebreid tot binnenlands gecombineerd vervoer. Er komt een gemeenschappelijke definitie van het wegtraject, ongeacht de andere vervoerswijze waarmee wordt gecombineerd (150 km of, indien dat meer is, 20 %). Alleen intermodale laadeenheden met een ISO/ILU-aanduiding worden aanvaard. Er zijn nieuwe gegevensvereisten gespecificeerd om de naleving van de subsidiabiliteitsvoorwaarden te bewijzen, gekoppeld aan het aanvaarden van elektronische gegevens, waarvan het formaat kan worden herzien. Er worden ook een reeks verschillende economische steunopties aangeboden.
- Suboptie 2B bevat, bovenop de in suboptie 2A beschreven maatregelen, een definitie van gecombineerd vervoer. Voor het wegtraject geldt een zekere flexibiliteit, zodat lidstaten het „dichtstbij gelegen geschikte station” als grens mogen hanteren. Alle formaten van laadeenheden worden aanvaard. Van alle economische steunmaatregelen, wordt die inzake investeringen in terminals verplicht.

02.5. Multimodale infrastructuur

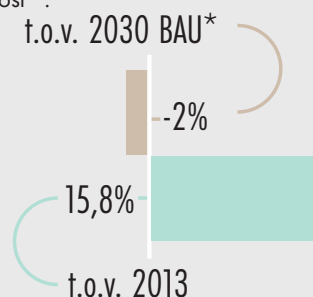
Korte beschrijving :

Om bereikbaarheid te optimaliseren, en reisafstanden en congestie te kunnen minimaliseren is een goed transportnetwerk nodig. Vlaanderen beschikt over een dicht netwerk voor wat wegverkeer betreft, maar missing links en capaciteitstekorten in het spoorwegennet en de binnenvaart staan een verdere modale verschuiving van de weg naar het spoor en de binnenvaart in de weg. Dit scenario gaat na welke impact het vervullen van de netwerken voor spoor en binnenvaart tegen 2030 hebben, rekening houdende met de emissiefactoren voor alle vervoersmodi.

De volledige lijst met aanpassingen aan het huidige netwerk is terug te vinden in Bijlage.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Het multimodaal infrastructuurscenario werd doorgerekend in combinatie met het scenario waarin een multimodale subsidie wordt voorzien van 30% van de totale transportkost¹⁷:



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

Vertaling naar Voorkeurscenario: Multimodale infrastructuraanpassingen worden **meegenomen** vanwege de technische realiseerbaarheid en hun bijdrage aan de modale verschuiving, zij het dat mogelijk een deel van de geplande infrastructuraanpassingen slechts voorbij tijdshorizon 2030 volledig gefinaliseerd wordt.¹⁸ Het tarief van de multimodale subsidie die wordt meegenomen in het voorkeurscenario werd aangepast ten opzichte van de hierboven beschreven individuele modeldoorrekening (zie fiche "Multimodaal vervoer - subsidie")¹⁹.

Model : STRATEGISCH VRACHTMODEL

Om een beeld te kunnen scheppen van een verbeterd vaarwegennetwerk tegen 2030 wordt voor het modelleren van deze maatregel uitgegaan van het uitbreiden van het huidige infrastructuurnetwerk voor spoor en binnenvaart op basis van het Masterplan binnenvaart, (inclusief het Seine Schelde-project) en de meerjareninvesteringsplannen van de spoorwegen (zie lijst in bijlage). Het Masterplan is een wensbeeld en in die zin niet vergelijkbaar met een meerjareninvesteringsplan. Toch bleken beide documenten goede bronnen om een invulling te geven aan dit scenario waarbij een inschatting gemaakt wordt van het CO₂-emissiereductiepotentieel van het inzetten op het uitbreiden van multimodale infrastructuur. Belangrijk is om op te merken dat wat de infrastructuur betreft in het multimodaal scenario, volgende maatregelen reeds opgenomen werden in het 2030 business-as-usual scenario: de verbreding vaarweg/verhoging bruggen van het Albertkanaal en Zeekanaal Schelde-Brussel.

Modeldoorrekening met emissiefactoren Omgeving/VITO voor spoor en EMMOSS v3.2 voor binnenvaart voor uitstoot per tonkilometer (zie fiche "Emissiefactoren").

¹⁷ In samenspraak met de opdrachtgever werd beslist dat een gezamenlijke doorrekening nauwer aansluit bij het huidige en toekomstige beleid rond synchromodaal vervoer.

¹⁸ Vanwege de uitdagingen waarmee grotere infrastructuurwerken geconfronteerd worden.

¹⁹ Aangepast subsidiepercentage overeenkomend met verdriedubbeling van budget van bestaande federale en gewestelijke steunmaatregelen wat resulteert in reductie in afstandskost in SVRM van -11,27% (in plaats van -30% van de totale transportkost).

Effect op luchtvervuiling:

- Beperkte positieve impact: modale verschuiving naar spoor en binnenvaart levert mogelijk positieve effecten op congestie en pollutieconcentraties langs dicht bebouwde en bewoonde netwerken van het wegverkeer. De netwerken van het spoor en de binnenvaart zijn meer in openruimtegebied gelegen, waar canyoning veel minder speelt
- Verdere elektrificatie van het spoor en verduurzamen van binnenvaart is een aandachtspunt bij de vergroening van alternatieve transportmodi:
 - Het huidige aandeel van dieseltractie voor goederenvervoer per spoor bedraagt 23,6% (Delhay et al., 2017). Verdere elektrificatie of het inzetten van alternatieve aandrijvingen bij locomotieven kunnen de luchtvervuilende emissies verminderen.
 - Binnenvaart vaart momenteel op enkele uitzonderingen na op diesel en gebruikt oudere motoren. Luchtemissies kunnen dalen door hermotorisatie (cf. NRMM stage V emissienormen). Daarnaast kan het gebruik van LNG/CNG en elektrificatie (ook voor wals-troom) of het gebruik van brandstofcellen een positieve impact hebben.
 - Deze aspecten wordt uitgebreider besproken in de fiches "CO₂-emissiereductie binnenvaart" en "CO₂-emissiereductie spoorvervoer".
- Zie ook de fiche "Multimodaal vervoer - subsidie"

Model verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving:
 - Op basis van de individuele modellering (combinatie infrastructuraanpassing en maximale subsidie -30%) wordt volgende modale verdeling bereikt op onderstaande tabel.
 - Op basis van de modeldoorrekening kan vastgesteld worden dat het gecombineerde scenario met infrastructuraanpassingen en een multimodale subsidie die overeenkomt met een reductie in afstandskost van -11,27% een verdere modale verschuiving realiseert van de weg naar intermodaal vervoer, maar dat dit vooral ten goede komt van de binnenvaart vergeleken met de modeldoorrekening waarbij er enkel een multimodale subsidie van -30% wordt toegepast.²¹
- Secundaire effecten:
 - Door het realiseren van meer capaciteit op spoor en binnenvaart en de aanvankelijke realisatie van modale verschuiving komt meer capaciteit vrij op de wegen, waardoor die de toekomstige groei kunnen opvangen
 - Economische prestatie van multimodaal transport kan verbeteren door toename in tonkilometer, wat op zijn beurt een stimulans kan zijn voor vergroening spoor en binnenvaart.

Tabel 24: Modale verdeling - Multimodaal vervoer - infrastructuur

Tonkilometer per jaar in Vlaanderen	Ref 2013	Ref 2030 BAU	-30% totaal BV en spoor	Multimodaal en -30% totaal BV en spoor
	100.000 Tonkm	100.000 Tonkm	100.000 Tonkm	100.000 Tonkm
Weg	316.147	450.236	416.586	413.491
Spoor	41.070	63.515	64.943	64.474
Binnenvaart	43.578	71.996	89.410	92.506
Totaal	400.794	585.747	570.940	570.472
	%	%	%	%
Weg	78,9%	76,9%	73,0%	72,5%
Spoor	10,2%	10,8%	11,4%	11,3%
Binnenvaart	10,9%	12,3%	15,7%	16,2%
			% Verschil tov BAU	% Verschil tov BAU
Weg			-7,5%	-8,2%
Spoor			2,2%	1,5%
Binnenvaart			24,2%	28,5%

²¹ Op basis van eerdere analyses met het SVRM wordt ingeschat dat een aparte doorrekening van enkel multimodale infrastructuraanpassingen ook een modale verschuiving zal genereren, maar dat verwacht wordt dat deze beperkter uitvalt dan bij de kostenaanpassing via subsidiëring. Het is evenwel moeilijk te voorspellen hoe de combinatie van scenario's op elkaar inspeelt. Dit vereist bijkomende analyses met o.a. aparte doorrekeningen van enerzijds het infrastructuurscenario en anderzijds het subsidiescenario met reductie in afstandskost van -11,27%.

Lock-in:

Er zijn geen rechtstreekse lock-ins: infrastructuurontwikkeling spoor en binnenvaart kan parallel aan ontwikkelingen inzake wegverkeer, en is niet rechtstreeks afhankelijk van brandstofkeuze. Anderzijds betekenen de aanzienlijke investeringen in multimodale infrastructuur dat verdere ontwikkeling in verduurzamen van spoor en zeker binnenvaart en dus ook technologische innovaties simultaan vereist zijn om het transportsysteem duurzamer te maken.

Toepassingsgebied:

- Stedelijk en buitengebied.
Het toepassingsgebied blijft ruimtelijk beperkt tot het opschalen en beperkt uitbreiden van het bestaande netwerk

Kosteneffectiviteit:

- Implementatie van infrastructuurwerken vraagt enorm veel inspanningen inzake financiering voor de spoor- en waterwegbeheerder. Deze zijn onderwerp van lange termijnplanning. Gezien deze deel uit maken van het Europese TENT netwerk kunnen de hieraan gebonden EU subsidiemogelijkheden (tot 40-50%) maximaal worden benut. Mogelijk kan er ook gebruik worden gemaakt van inkomsten uit de gedifferentieerde kilometerheffing voor vrachtvervoer, publiek private samenwerkingen, internalisering van externe kosten,... (bron: Masterplan Binnenvaart 2020).
- Wat de waterwegen betreft, wordt een inschatting van de vereiste investeringen voor de geplande infrastructuraanpassingen gegeven in het Masterplan 2020. Vertrekkende van de rubriek "het gericht uitbouwen van het waterwegennet" wordt een investering van (afgerond) € 3 miljard vooropgezet. Ten opzichte van het Masterplan zijn er al een aantal investeringen uitgevoerd (startend vanaf 2015) maar voor een aantal van de projecten wordt de planning niet gehaald en blijken de voorziene budgetten niet toereikend²¹. Het uiteindelijk vereiste totaalbedrag voor de uitvoering van al de voorziene projecten zal waarschijnlijk hoger liggen. Vertrekkende van de budgettering in het Masterplan wordt verondersteld dat er momenteel nog voor € 2,8 miljard investeringen vereist zijn voor de periode 2018-2030. Bij deze investeringen is het belangrijk te vermelden dat waterwegen ook nog andere functies hebben dan vrachtvervoer faciliteren (recreatievaart, waterhuishouding,...), dus deze investeringsbedragen mogen niet volledig aan het vrachtvervoer toegerekend worden.

- Wat spoorwegen betreft worden de geplande infrastructuraanpassingen gebaseerd op het Strategisch Meerjareninvesteringsplan 2018-2031 voor het spoor (Infrabel & NMBS, 2017). Daarbij is het niet evident om te bepalen in welke mate deze investeringen in infrastructuur specifiek het goederenvervoer ten goede komen. Op basis van de relatief beperkte informatie van NMBS en Infrabel lijken volgende elementen indicatief:
 - Meerjareninvesteringsplan 2017-2020: totaal € 4,3 miljard, waarvan € 0,5 miljard voor capaciteitsuitbreiding (oa. spoorbypass Mechelen, 3de en 4de spoor tussen Gent en Brugge en vormingsstation Luik)
 - Strategisch meerjareninvesteringsplan 2018-2031: € 1,362 miljard + € 132,5 miljoen van de gewesten (dus samen € 1,5 miljard, bovenop de € 0,5 miljard) voor 'GEN' en 'regionale prioriteiten'.
- Bij de kosteneffectiviteit van deze maatregel dient men ook rekening te houden met het feit dat een aantal infrastructuraanpassingen reeds vervat zitten in het 2030 *business-as-usual* scenario. Het gaat hierbij om de optimalisatie van het waterwegennet met aanpassingen aan het Zeekanaal Schelde-Brussel en het Albertkanaal (verbreding van vaarweg/verhoging bruggen). De kosten van deze investeringen dienen uit de bovenstaande budgetten geïsoleerd te worden voor een correcte berekening.
- De kosteneffectiviteit van een shift van wegvervoer naar transport over spoor of binnenvaart voor afzonderlijke actoren is sterk gevalsafhankelijk: de ligging ten opzichte van overslagcentra en multimodale knooppunten speelt een grote rol.
- Aangezien het infrastructuurscenario niet afzonderlijk doorgerekend werd, maar enkel gecombineerd met het multimodale subsidiescenario, is een rechtstreekse berekening van de kosteneffectiviteit van deze maatregel niet mogelijk. Op basis van eerdere modeldoorrekeningen met het SVRM wordt ingeschat dat het model minder responsief is voor een infrastructuurscenario dan voor een subsidiescenario. Naast de transportkosten beïnvloeden evenwel ook andere (niet-kosten gerelateerde) elementen deze modale verschuiving. Deze elementen zoals het imago van een modus worden in het model ondervangen door de zogenaamde aantrekkelijkheidsparameters. Voor de doorrekening van het havenscenario werd er met deze constanten gewerkt (zie fiche "Havenscenario").

²¹ Uit een beperkte analyse van de in het Masterplan geplande projecten blijkt dat er in 2017 al voor een begroot budget van € 200 miljoen werken zijn gefinaliseerd. De eigenlijke kostprijs van de uitvoering van deze projecten bedraagt € 450 miljoen.

- Kosteneffectiviteitsstudies rond broeikasgasemissiereductie en infrastructuurinvesteringen voor vrachtovervoer per spoor en binnenvaart vormen een lacune in de wetenschappelijke literatuur. Voor spoor zijn er enkele indicatieve studies maar deze focussen op passagiersvervoer en in het bijzonder op hogesnelheidslijnen.²²
- Een studie van CE Delft (den Boer et al., 2011) bekeek het modale verschuivingspotentieel van spoorvervoer maar berekende niet specifiek de kosteneffectiviteit van infrastructuurinvesteringen. Wel wordt er op basis van de visie voor 2050 van toenmalig EU-commissaris Kallas een modaal aandeel van 38% in het vrachtovervoer en een aandeel van 27% in het personenvervoer vooropgesteld. Dit zou resulteren in een broeikasgasreductie van 238 Mton CO₂-eq. Het in praktijk brengen van deze visie veronderstelt een reeks politieke maatregelen, waaronder een gecoördineerde en sterke investering in spoorweginfrastructuur tussen de € 1.300 en € 2.000 miljard en verdere verbetering van het aanbod. Op basis van deze indicatieve ramingen zou de kosteneffectiviteit van deze verbetering van het spooraanbod liggen tussen de € 5,46 en € 8,40 per ton CO₂-eq. Deze waarde is evenwel niet te vergelijken met de andere kosteneffectiviteitsberekeningen in de overige fiches van deze studie aangezien deze CO₂-besparing niet gebaseerd is op een modeldoorrekening met SVRM (gekenmerkt door een inelastische transportvraag). Bovendien is bovenstaande berekening becijferd op Europese schaal, omvat ze de combinatie van vrachten personenvervoer per spoor en is het onvoldoende duidelijk in welke mate deze kosten een realistische weergave zijn van de vereiste investeringen om een dergelijke significante modale verschuiving te realiseren. Andere studies geven eveneens weinig bruikbaar cijfermateriaal²³, zodat een relevante kosteneffectiviteitsberekening van deze maatregel verdere studie vereist.

Timing:

- Uitbouw infrastructuur is inbegrepen in bestaande beleidsplannen, meerdere projecten zijn reeds lopende en ten dele gerealiseerd.
- Er is een significante maatschappelijke en ruimtelijke impact. Het vervolledigen van het netwerk tegen 2030 is mogelijk niet realistisch. De kans bestaat dat de realisatie van dit scenario de tijdshorizon 2030 overstijgt.

Voorwaarden en barrières:

- De havendoelstellingen op vlak van modale verschuiving dienen te worden gerealiseerd, aangezien hier de grootste en meest realiseerbare mogelijkheden voor multimodaal transport naar het hinterland liggen. In het bijzonder vanwege de sterke stijging van de havengerelateerde containerstromen, die het meest geschikt geacht worden voor modale verschuiving (zie fiche "Havenscenario"). De voorspelde groei van het containervervoer opvangen via een modal shift is, zo stellen experts, mogelijk met de bestaande infrastructuur. De Haven van Antwerpen, de tweede grootste zeehaven van Europa, beschikt op dit moment al over een spoornetwerk van 1000 km. Dat is bijzonder veel in vergelijking met andere havens binnen dezelfde range. Ook de Vlaamse waterwegen hebben hun maximale capaciteit nog niet bereikt. Enkel de diepzeeterminals in de Haven van Antwerpen staan onder druk door het grote aantal vaarbewegingen op de Schelde, wat soms leidt tot lange wachttijden voor binnenschepen. Er kan gesteld worden dat ook zonder grote investeringen het extra vrachtovervoer beter afgehandeld kan worden. De havenbedrijven zien vooral opportuniteiten in een betere organisatie van het vervoer. Dit kan o.a. bereikt worden door middel van een aangepast concessiebeleid (bv. het voorzien van dedicated ligplaatsen voor binnenschepen). De logistieke sector op zijn beurt gelooft sterk in de digitale revolutie die zich de komende 5 à 10 jaar zal doorzetten.

²² Matute en Chester (2014) onderzochten bijvoorbeeld de kosteneffectiviteit van broeikasgasemissiereducties van de geplande Californische hogesnelheidslijn in vergelijking met andere stedelijke transportprojecten (zoals een light-rail verbinding een snelle bustransitlijn en een fiets- en voetgangersinfrastructuur). Uit de analyse bleek dat kosteneffectiviteit van de hogesnelheidslijn minder goed scoorde omdat dit een relatief hogere investeringskost vereist (rekening houdende met de kostenbesparingen door de gebruikers was het zelfs de enige optie die geen nettobesparingen realiseerde). Door de verschillende context en de onvergelykbare modale keuzemogelijkheden kunnen hier echter weinig zinvolle conclusies met betrekking tot vrachtovervoer aan verbonden worden. publieke fondsen) de gerelateerde broeikasgasemissies met 44% hebben kunnen doen dalen tussen de start in 1989 en 2008 en een bijkomende 20,5% tussen 2008 en 2010, maar het betrokken tonnage CO₂ wordt niet opgegeven, evenmin als de berekeningswijze van dit percentage. Een andere studie door OECD (2012) geeft aan dat voor de vrachtoverstromen gerelateerd aan de Haven van Rotterdam in 2030 (die geraamd worden op zo'n 600 à 750 miljoen ton) de modale verschuivingsmaatregelen voor spoor en binnenvaart zouden kunnen resulteren in CO₂ besparingen rond de 20 miljoen ton per jaar, maar daarnaast geeft de studie enkel aan dat hier zeer significante investeringen voor vereist zijn (zonder een raming te vermelden).

²³ Doll et al. (2015) hebben bijvoorbeeld becijferd dat de investering in de Eurotunnel onder het Kanaal van € 5,8 miljard (waarvan € 3 miljard publieke fondsen) de gerelateerde broeikasgasemissies met 44% hebben kunnen doen dalen tussen de start in 1989 en 2008 en een bijkomende 20,5% tussen 2008 en 2010, maar het betrokken tonnage CO₂ wordt niet opgegeven, evenmin als de berekeningswijze van dit percentage. Een andere studie door OECD (2012) geeft aan dat voor de vrachtoverstromen gerelateerd aan de Haven van Rotterdam in 2030 (die geraamd worden op zo'n 600 à 750 miljoen ton) de modale verschuivingsmaatregelen voor spoor en binnenvaart zouden kunnen resulteren in CO₂-besparingen rond de 20 miljoen ton per jaar, maar daarnaast geeft de studie enkel aan dat hier zeer significante investeringen voor vereist zijn (zonder een raming te vermelden).

- Er blijkt een voorkeur voor transport over de weg uit de modellering
 - Het gebruikte Strategisch Vrachtmodel houdt geen rekening met gedragswijziging, noch voor wat de keuze voor vervoersmodus betreft, noch voor de keuze voor een koolstofarme brandstoftechnologie. Inzetten op deze incentives kan de effectiviteit van de maatregel vergroten
 - Vlaanderen is beperkt in oppervlakte terwijl het grootste potentieel voor spoor en binnenvaart zich bevindt in vervoer op grotere afstanden. Stimuleren van multimodaal transport vereist dus ook maatregelen op Europees niveau om meer effect te hebben.
 - Het netwerk voor wegvervoer is veel fijner dan dat van spoor en binnenvaart. Vaak blijft voor en natransport over de weg noodzakelijk. Voldoende overslagcentra en ruimtelijke bundeling zijn bijgevolg van belang. Binnen het concept van synchromodaal transport worden al de modi op hun respectievelijke sterktes uitgespeeld.
- Er dient rekening mee gehouden te worden dat de op het Masterplan voor de binnenvaart gebaseerde infrastructuraanpassingen in de modeldoorrekening een wensbeeld vertegenwoordigen en in die zin niet vergelijkbaar zijn met deze die opgenomen zijn in het meerjareninvesteringsplan van het spoor. De effectieve realisatie van de opgenomen maatregelen op vlak van binnenvaart vereist dus mogelijk een aanpassing van de te voorziene meerjareninvesteringen.
- Inzetten op vergroening energiedragers spoor- en binnenvaart is simultaan vereist om bredere duurzaamheidsdoelstellingen van het transportsysteem te realiseren.
- Er is in de modeldoorrekening geen onderscheid gemaakt naar type van goederen en laadeenheid maar sommige goederen (zoals bouwmaterialen) en laadeenheden (zoals containers en bulkgoederen) lenen zich beter tot een modale verschuiving dan andere.

Conclusie:

Op basis van de beschikbare kennis is het moeilijk om de kosteneffectiviteit van investeringen in multimodale infrastructuur op vlak van CO₂-emissies te becijferen. Vanuit een brede optiek blijkt het verder uitbouwen van multimodale infrastructuur echter vereist om de verwachte groei in transport op te vangen en multimodaal transport verder te stimuleren. Deze maatregel wordt dan ook opgenomen in het voorkeurscenario. Vanuit een CO₂-emissiereductieperspectief dient hierbij aangestipt te worden dat een modale verschuiving naar ge-elektrificeerd spoorvervoer (met zero-emissies CO₂ tank-to-wheel) bij een modale verschuiving momenteel de grootste CO₂-emissiereducerende baten genereert. Los van de vereiste investeringen in multimodale infrastructuuruitbreiding dient ook beklemtoond te worden dat de huidige aanwezige multimodale infrastructuur in grote mate voldoende is om de komende jaren de modale verschuiving naar spoor en binnenvaart nog te laten toenemen (via andere faciliterende maatregelen).

Bronnen:

- Delhay E., De Ceuster G., Vanhove F., Maerivoet S. (2017) Internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen: actualisering 2016, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, door Transport & Mobility Leuven
- Den Boer, van Essen, Brouwer, Pastori, Moizo (CE Delft) (2011) Potential of modal shift to rail transport. Study on the projected effects on GHG emissions and transport volumes
- Doll, Rothengatter, Schade (2015) The results and efficiency of railway infrastructure financing within the EU. Study for European Parliament's Committee on Budgetary Control
- Infrabel, NMBS (2017) Strategisch Meerjareninvesterings-plan 2018-2031 (SMIP)
- Matute, Chester (2014) Cost-Effectiveness of Reductions in Greenhouse Gas Emissions from California High-Speed Rail and Urban Transportation Projects. Working paper.
- OECD (2012) Strategic transport infrastructure need to 2030. OECD Publishing
- TML, 2007, Emissiemodel voor spoorverkeer en scheepvaart in Vlaanderen (EMMOSS) v3.2, VMM
- W&Z en De Sccheepvaart (2014) Masterplan 2020

02.6. Havenscenario

Korte beschrijving :

Deze fiche bespreekt de wijze waarop de impact van de modale verdeling (*modal split*) streefcijfers van de havens naar 2030 toe op het reduceren van emissies werd meegenomen in dit onderzoeksproject. Dit gebeurt door de streefcijfers die door de havens zelf als realistisch haalbaar naar voor werden geschoven als ambitiedoelstellingen naar 2030 toe in de modellering in het SVRM op te nemen. Het gaat dus niet zozeer om het modelleren van specifieke maatregelen, maar wel om het opnemen van deze doelstellingen in de resultaten van de modeldoorrekeningen van het voorkeurscenario. Een deel van de modale verschuiving wordt hierbij gerealiseerd door de andere maatregelen uit het voorkeurscenario, in het bijzonder de maatregelen met betrekking tot multimodale infrastructuur en multimodale subsidies. Deze moeten evenwel nog aangevuld worden met bijkomende maatregelen (zowel algemeen als specifiek per zeehaven), uitgewerkt in concrete actieplannen, om de streefcijfers in 2030 te realiseren.

Model : STRATEGISCH VRACHTMODEL

De aan het havenscenario gekoppelde modale verschuiving werd toegevoegd aan het voorkeurscenario dat in het SVRM doorgerekend werd.

De verschillende zeehavens hebben doelstellingen voor het gebruik van spoor en binnenvaart voor het transporteren van goederen naar hun hinterland. De maatregelen die nodig zijn om dit te bereiken zijn nog in onderzoek of kunnen niet opgenomen worden in het SVRM omdat ze op acties slaan die niet vertaald zijn in het vrachtmodel. Een voorbeeld is het verhogen van de betrouwbaarheid of betere interne organisaties om de kosten te verlagen of de transporttijd te verkorten. De modale verdeling wordt in wat volgt altijd uitgedrukt op basis van tonnen.

Voor de havens van Antwerpen en Gent zijn er concrete doelstellingen ter beschikking. In beide havens ligt de focus op een toename van het spoorvervoer en een afname van het vervoer via de weg. De doelstellingen voor binnenvaart sluiten voor beide havens nauw aan bij de huidige aandelen van de binnenvaart. Omdat er voor Zeebrugge geen concrete doelen gekend waren, zijn dezelfde doelstellingen als voor Gent overgenomen.

De wijziging in de modale verdeling ten opzichte van de huidige situatie zou er in 2030 dan als volgt uitzien voor de drie belangrijkste havens:²⁴

Tabel 25: Overzicht gewenste wijziging in modale verdeling

	Antwerpen	Gent ¹⁸	Zeebrugge
Weg	-10%	-8%	-9%
Binnenvaart	-2%	1%	3%
Spoor	12%	6%	6%

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Er werd geen afzonderlijke individuele modeldoorrekening uitgevoerd. Het scenario werd enkel meegenomen in het voorkeurscenario door de beoogde modale verdeling voor 2030 als gerealiseerde doelstelling te integreren in de modeldoorrekening van de gecombineerde maatregelen in SVRM.

Concreet wil de haven van Antwerpen tussen 2014 en 2030 het aandeel van het wegvervoer doen dalen met 10% en dat van het spoor doen stijgen met 12%. Niettegenstaande dit een daling van het aandeel van binnenvaart met 2% betekent, stijgt het binnenvaartvolume in absolute termen nog steeds tussen 2014 en 2030. Voor de haven van Gent zijn cijfers van 2013 en de doelstellingen voor 2020 gekend. Het aandeel van het wegvervoer moet afnemen met 8% terwijl de aandelen van spoor en binnenvaart respectievelijk met 6% en 2% moeten toenemen. Omdat geen verdere prognoses (tot 2030) beschikbaar zijn, is gewerkt met de prognoses tot 2020. Tabel 4 geeft de modale splits weer waarnaar gestreefd is. Voor de haven van Antwerpen is abstractie gemaakt van het feit dat de modale split van 2014 is en niet van 2013.

Tabel 26: Overzicht gewenste wijziging in modale verdeling voor de haven van Antwerpen

	2014	2030	VERSCHIL
Weg	50%	40%	-10%
Binnenvaart	42%	40%	-2%
Spoor	8%	20%	12%

Tabel 27: Overzicht gewenste wijziging in modale verdeling voor de haven van Gent

	2014	2030	VERSCHIL
Weg	43%	35%	-8%
Binnenvaart	48%	50%	2%
Spoor	9%	15%	6%

²⁴ Dit is de ambitie van het Gentse Havenbedrijf voorafgaand aan de fusie met het Nederlandse Zeeland Seaports tot North Sea Port.

Om de doelstellingen te bereiken, is de aantrekkelijkheid van spoor en binnenvaart aangepast binnen de zeehavens totdat de doelstellingen bereikt waren. Hierbij is wel gestart van een scenario waarbij alle hiervoor opgesomde maatregelen reeds opgenomen waren. Door het uitbouwen van het binnenvaartnetwerk en het aantrekkelijker maken van het verspreid vervoer, was er al een toename van de modale aandelen van binnenvaart en spoor in de havens.

Op het totaal van Vlaanderen resulteert het aantrekkelijker maken van de zeehavens in een daling van het vervoer over de weg met 2,3% (in tonnen). Het spoorvervoer is toegenomen met 3%, terwijl binnenvaart is afgenomen met 0.7%. Bij dit laatste cijfer is het belangrijk op te merken dat de doelstellingen voor binnenvaart al behaald waren door andere maatregelen die de binnenvaart stimuleren, en er in het SVRM geen bijkomende stimulans voor de binnenvaart in de havens nodig is.

Een deel van deze modale verschuivingen worden dus gerealiseerd door de reeds in het voorkeurscenario opgenomen maatregelen (zie o.a. fiches "Multimodaal infrastructuur" en "Multimodaal subsidies"). De bijkomende modale verschuivingen die in het modelresultaat nog nodig waren om deze streefcijfers te halen werden vervolgens gerealiseerd door de alternatief-specifieke-constanten van de verschillende havens afzonderlijk zodanig aan te passen tot het resultaat per haven overeenkwam met het streefcijfer. Dit betekent dat eerder kunstmatig aan de 'aantrekkelijkheidsconstanten' van spoor en binnenvaart in het SVRM gesleuteld werd tot de gewenste modale verdeling werd bereikt, eerder dan dat dit het resultaat is van een klassieke modeldoorrekening. De 'constanten' worden immers niet direct gelinkt aan concrete parameters zoals kosten maar eerder aan niet kwantificeerbare, kwalitatieve zaken zoals imago en voorkeur.

Effect op luchtvervuiling:

- Sterk positief effect voor modale verschuiving naar spoor, zeker voor gedeelte op elektrische tractie wat resulteert in zero-emissie TTW.
- Genuanceerd beeld voor modale verschuivingen naar binnenvaart: naar 2030 toe zal het vrachtwagenpark voor het overgrote deel EURO VI zijn. Klassieke binnenschepen kunnen deze emissienormen niet halen met conventionele motoren, zelfs niet rekening houdende met de schaalgrootte (uitgedrukt per tonkilometer). De strengere emissienormen voor binnenvaartmotoren zal hier op termijn voor verbetering zorgen²⁵, maar de snelheid van vervanging is veel trager bij de binnenvaartvloot dan bij het vrachtwagenpark. Enkel wanneer er bijkomende inspanningen geleverd worden om de binnenvaart te vergroenen kan er sprake zijn van een positief effect op vlak van luchtvervuiling. Voor pollutanten met beperkte verspreidingspatronen, zoals fijnstof, biedt de verschuiving naar binnenvaart wel een voordeel. Doordat de voertuigkilometers vaak in minder bevolkte gebieden maar in de onmiddellijke nabijheid van de waterweg afgelegd worden en er geen canyoning effect speelt, is de receptordensiteit voor binnenvaart lager.

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving:
 - Sterke effecten aangezien de maatregelen specifiek gericht zijn om modale verschuiving te realiseren.
- Secundaire effecten: optimalisatie van hinterlandverbindingen wordt een steeds belangrijkere component bij (grote) rederijen om de aantrekkelijkheid van zeehavens in te schatten. Het garanderen van vlotte hinterlandverbindingen is dus een cruciale factor om de concurrentiepositie van de Vlaamse Zeehavens te verzekeren. Door het dichtslibbende wegennet zijn vlotte intermodale verbindingen essentieel;

Lock-in:

Niet rechtstreeks van toepassing maar natuurlijk zullen belangrijke infrastructurele aanpassingen aan het spoor- en waterwegennet (zoals bijv. wegwerken van missing links of aanleggen wachtdok voor lichters) enkel economisch relevant zijn als deze infrastructuur nadien voldoende capaciteit verwerkt.

Toepassingsgebied:

- Binnenvaart en spoorvervoer in Vlaanderen
- Lange afstand transport
- Vooral buitengebied (maar ook gedeelte stedelijk)

Kosteneffectiviteit :

Daar de concrete maatregelen en actieplannen nog geconcretiseerd moeten worden, is het moeilijk de kosteneffectiviteit van dit scenario in te schatten, temeer daar dit scenario niet individueel gesimuleerd werd en de specifieke bijkomende CO₂ besparing van deze maatregel niet becijferd werd.

Timing:

Het bereiken van de gewenste modale verdeling vereist maatregelen die nog niet duidelijk gedefinieerd zijn. De inschatting binnen de havens zelfs is evenwel dat de doelstellingen ambitieus maar haalbaar zijn tegen 2030. Anderzijds dient opgemerkt te worden dat streefcijfers voor modale verdeling in het verleden vaak niet of moeilijk gehaald werden, dus concrete actieplannen en opvolging lijken een vereiste om dit te realiseren.

²⁵ Zie fiche 'CO₂-emissiereductie binnenvaart'

Voorwaarden en barrières:

In grote lijnen kan gesteld worden dat:

- Er wordt verondersteld dat indien de nodige maatregelen genomen worden, de havens de aangegeven streefcijfers kunnen bereiken. Wat die nodige maatregelen (algemeen en per zeehaven) zijn wordt voorlopig nergens concreet beschreven. Het lijkt een noodzaak om hier concrete maatregelen in een actieplan (algemeen en per haven) te definiëren, met een duidelijk tijds kader en tussentijdse streefdoelen, die kunnen opgevolgd worden met KPI's (Key Performance Indicators).
- Mogelijke maatregelen die hiertoe kunnen bijdragen worden hieronder opgesomd, maar verder onderzoek naar de invulling van concrete maatregelen (algemeen en per haven) in gedetailleerde actieplannen is vereist:
 - toename van het gebruik van de *extended gateways*²⁶ d.m.v. verschillende "wortel en stok" maatregelen;
 - verbeteren van de kwaliteit van intermodale/multimodale transportmodi door het verhogen van de gemiddelde snelheid via het optimaliseren van de overslag en het garanderen van een vlottere doorstroming zowel op spoor als binnenwateren, bijvoorbeeld door communicatie tussen schip en infrastructuur om zo de sluisen aan te sturen;
 - ruimtelijk beleid met betere ruimtelijke afstemming van intermodale functies (zie ook fiche "Ruimtelijke planning");
 - *mental shift* bewerkstelligen bij modale keuze van bedrijven binnen en buiten de haven, door in te spelen op bewustwording rond duurzaamheidsaspecten (cf. link met km-heffing en internalisering externe kosten);
 - analyse en verbetertraject opstellen om modale keuze variabelen van multimodale transportopties positief te beïnvloeden: tijd en kost zijn doorgaans belangrijkste afwegingsfactoren voor economische actoren maar ook frequentie, betrouwbaarheid, flexibiliteit, transportduur, feedback van informatie (*track and trace*) en risico op verlies of schade spelen mee;
 - concept van synchromodaliteit verder uitwerken en implementeren zodat complementariteit en synergie tussen transportmodi optimaal wordt uitgespeeld in een competitieve marktomgeving;
 - sturend optreden om economische, sociale en milieuduurzaamheid te verbeteren aan de hand van een geharmoniseerde regionale, nationale en Europese regelgeving. Dit kan door het verder wegwerken administratieve knelpunten en het verbeteren van de aantrekkelijkheid van het beroep van binnenvaarschipper.
- De modale verschuiving wordt vooral verwacht plaats te vinden binnen het containervervoer. De andere stromen (bulk, liquid bulk, gevaarlijke goederen) zijn immers reeds toegewezen aan een bepaalde modus en dit zal waarschijnlijk niet wijzigen (minder keuzevrijheid).
- Voor de haven van Zeebrugge betekent binnenvaart vooral kustvaart.
- Wat benodigde capaciteit betreft, zijn er geen aanwijzingen dat de reeds bestaande infrastructuur (spoor en binnenvaart) vandaag onvoldoende aanwezig is om de vermelde shift op te vangen. Er zijn signalen dat er in de diepzee terminals momenteel een tekort is aan ligplaatsen voor binnenvaart maar de verwachting is dat dit oplosbaar is binnen een termijn van 10 jaar. Er wordt dus gesteld dat op zich geen grote bijkomende investeringen nodig zijn om de geponeerde modale verdelingscijfers die vooropgesteld zijn voor de zeehavens te halen. Vanuit een bredere optiek blijken er wel bijkomende investeringen vereist om multimodaal transport te stimuleren (zie fiche "Multimodale infrastructuur").
- De bijkomende maatregelen die in het bredere kader van spoor en binnenvaart zijn meegenomen in het voorkeurscenario (zie fiches "Multimodaal infrastructuur" en "Multimodaal subsidies") kunnen vanzelfsprekend bijdragen aan het realiseren van de modale verdeling streefcijfers van de havens. Anderzijds kan op basis van bovenstaande ook geopperd worden dat hierdoor een ambitieuzere modale verdeling kan gerealiseerd worden via bijkomende ondersteuningsmaatregelen.

²⁶ Op initiatief van de Provinciale Ontwikkelingsmaatschappijen (POM's) werd door het Vlaams Instituut voor de Logistiek in 2008 het "extended gateways" concept uitgewerkt. Dit concept wil logistieke activiteiten clusteren en goederenstromen bundelen op bij voorkeur multimodaal ontsloten locaties (zogenaamde logistieke "hot spots"). Deze "extended gateways" kunnen gezien worden als economische poorten die de competitiviteit van de vier zeehavens en de luchthaven van Zaventem (de "gateways") verhogen. De bedoeling is om (industriële) logistieke activiteiten te vestigen op de plaats die minimale totale logistieke kosten genereert voor de bedrijven, gekoppeld aan de minste maatschappelijke hinder. De logistieke goederenstromen die via de extended gateways lopen, dienen een maximale toegevoegde waarde te creëren. Om de verankering van dit concept te realiseren zijn zowel stimulerende (bijvoorbeeld wegwerken missing links op vlak van infrastructuurvoorziening) als sturende maatregelen (bijvoorbeeld verplichte streefdoelen modale verschuiving bij financiële ondersteuning van extended gateways) vereist.

Conclusie

De in dit scenario gehanteerde modale verdeling streefcijfers voor de havens worden haalbaar geacht tegen 2030, ook al zijn de maatregelen om dit te realiseren nog niet concreet uitgewerkt. Vanwege het belang van de goederenstromen die via de havens passeren, en de grote impact op de bredere duurzaamheid van de transportsector, werd de impact van dit havenscenario meegenomen in het voorkeurscenario. Daarbij dient wel opgemerkt te worden dat er naast de maatregelen uit het voorkeurscenario (zoals multimodale infrastructuur en multimodale subsidies) ook nog andere actiepunten moeten opgenomen worden om dit te realiseren (vb wachtdok voor lichters, dienstverlening intermodale toepassingen (bijv. snelheid), imagoverbetering spoor en binnenvaart, optimaliseren overslag,...).

Bronnen :

- Mailconversatie met departement MOW Vlaanderen, 26 april 2018
- 'Duurzame economische groei'-scenario uit de plan MER voor de afbakening van de haven van Antwerpen
- MORA (2009) Goederenvervoer: comodaliteit versus modal shift. Achtergrondpaper.
- MOW Vlaanderen (2017) Projectoproep Hinterland-connectiviteit. Nieuwe en innovatieve impulsen voor het Vlaamse hinterland.
- Somers & Tissen (2015) Synchromodaliteit literatuuronderzoek
- Strategisch havenplan van het havenbedrijf Gent
- VIL (2008) Extended Gateways Vlaanderen
- Interne inschatting Beleid

02.7. Stedelijke logistiek

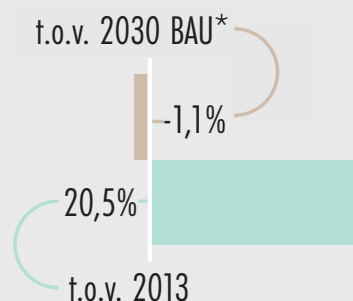
Korte beschrijving:

Tien tot twintig procent van de voertuigen in steden zijn bestelwagens of vrachtwagens die ingezet worden voor logistiek. Hun proportioneel aandeel in ongewenste emissies is echter een stuk hoger. Ze zijn verantwoordelijk voor ongeveer een kwart van de transport-gerelateerde CO₂-uitstoot in steden. Voor andere emissies zoals stikstofoxiden en fijnstof loopt dat op tot 30 of zelfs 50% (Lebeau, 2016). Om de doelstelling van emissievrije steden te bereiken (2030) kan er, onder andere, meer of beter gebundeld worden. Een deel van het last mile vervoer kent immers lage beladingsgraden (net zoals first mile en reverse logistics). Bovendien zorgt onder andere e-commerce voor toenemende versnippering en bijkomende vervoerbewegingen (retourzending, gemiste leveringen).

Bundelen kan op verschillende manieren. Handelaars, vervoerders en distributeurs kunnen onderling gaan samenwerken (horizontaal en/of verticaal) en zo beladingsgraden optimaliseren. Een andere optie is om een overslagpunt toe te voegen aan supply chains van en naar stedelijk gebied. In zo'n overslagpunt of stedelijk distributiecentrum (SDC) worden goederenstromen van verschillende verzenders gebundeld en door middel van minder voertuigen geleverd aan ontvangers die binnen éénzelfde gebied actief zijn. De schaal van dat gebied kan de volledige stad zijn of een deelgebied (in dat geval spreekt men ook van micro-consolidatie) waarbij dan eventueel meerdere SDC's een volledig stedelijk gebied dekken. De meeste SDC's zijn een privaat initiatief van een onafhankelijke logistieke dienstverlener dat tijdelijke opstartsteun kreeg van de lokale overheid.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

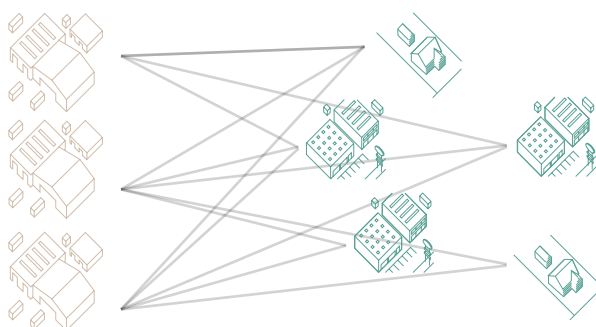
Individuele modeldoorrekening stedelijk distributiecentrum (met de geprojecteerde basis voertuigvloot 2030):



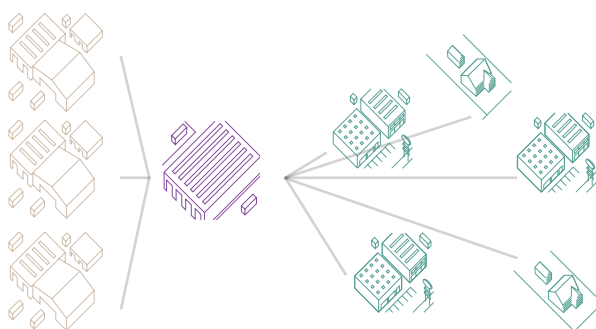
* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

Vertaling naar Voorkeursscenario: Het gecombineerd effect van stedelijke distributiecentra en stedelijke phase-out van verbrandingsmotoren werd onderzocht door het voorkeurscenario twee maal door te rekenen, éénmaal **met** SDC's en éénmaal **zonder** om zo de bijdrage van de SDC's in het voorkeurscenario te kunnen inschatten (zie fiche "Voorkeurscenario"). De vorm waaronder deze maatregel in de praktijk kan opgenomen worden, vereist evenwel verdere analyse. De huidige modellering is zeer geaggregeerd en het is weinig realistisch om stedelijke logistiek op deze manier te implementeren naar bepaalde stromen (zie verder).

Zonder stedelijk distributiecentrum



Met stedelijk distributiecentrum

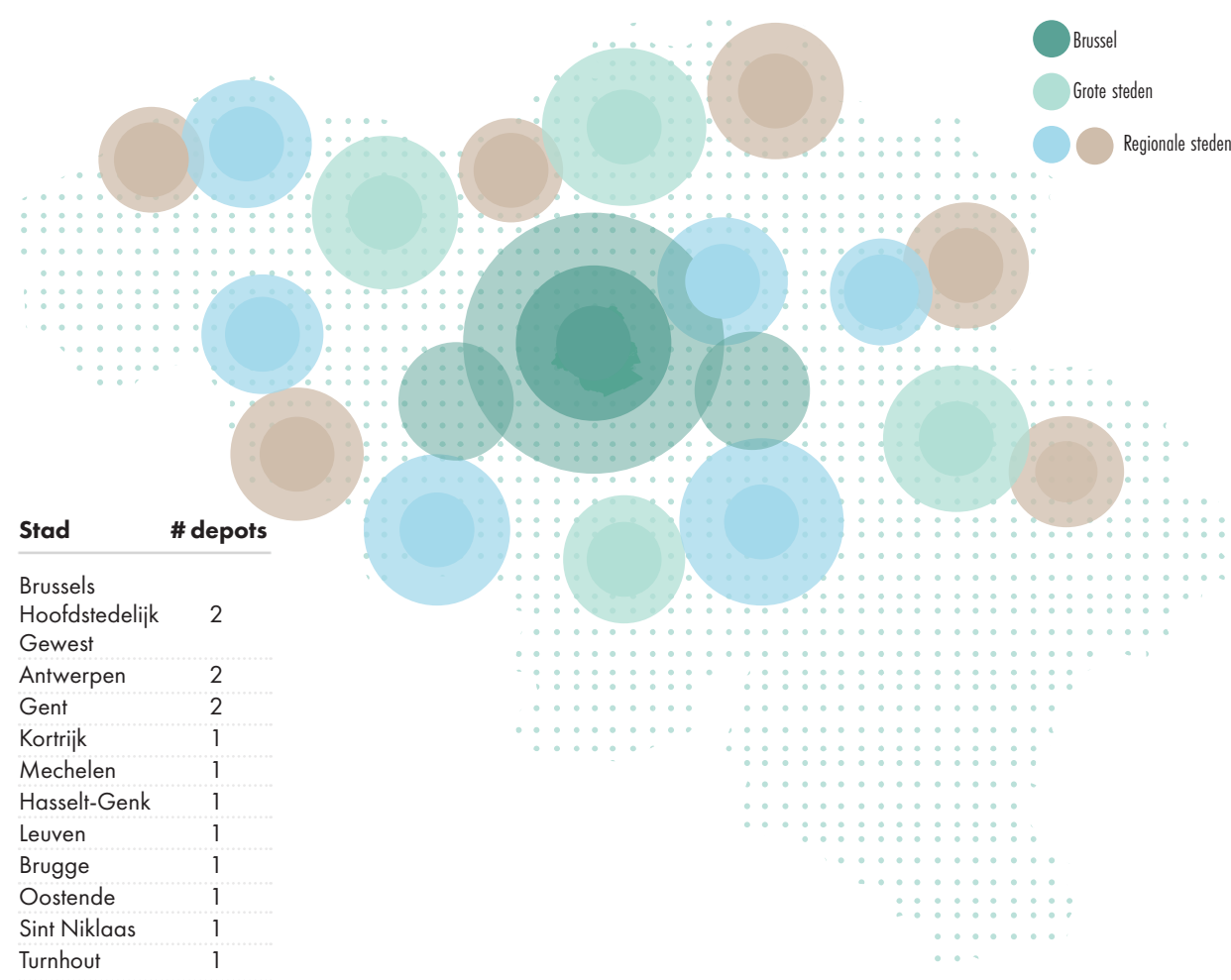


Model : TRABAM

In de modeldoorrekening van stedelijke logistiek werd geopteerd om een verplicht systeem van stedelijke logistiek via SDC's te analyseren. In het modelscenario worden hiertoe bestemmingen voor de geselecteerde steden verplicht ingesteld naar één of meerdere stedelijke distributiecentra per stad, alvorens uitlevering naar de eindbestemming. De geselecteerde steden en de betrokken bestemmingen zijn gebaseerd op de Vlaamse stadsgewesten zoals gedefinieerd door Luyten en Van Hecke (2007).²⁸ Het aantal depots is zo vastgelegd dat ieder stadsgewest over minstens één stedelijk distributiecentrum beschikt. Daarnaast worden de grootste steden Brussels Hoofdstedelijk Gewest, Antwerpen en

Gent voorzien van twee stedelijke distributiecentra, omwille van hun hoger inwonersaantal, economische activiteit en de transportvraag die ze genereren. De indicatieve locatie in de modeldoorrekening is geselecteerd op basis van de locatie van de huidige City Depots, en indien nodig werd door de onderzoekers via Google Maps satellietbeelden en rekening houdend met nabijheid van logistieke activiteit en de afstand tot het stadscentrum, een bijkomende locatie gekozen²⁹. Vanuit elk stedelijk distributiecentrum volgt op zijn beurt in TRABAM een optimalisatieproces op dagbasis, waarbij rekening gehouden wordt met voertuigkeuze, routekeuze, vertrektijd³⁰, welke verzendingen in dat voertuig gestoken worden en indien meerdere verzendingen volgt ook de stop-sequentie.

Figuur 33: Stadsgewesten (Van Hecke & Luyten, 2009)



²⁸ Hierbij dient opgemerkt te worden dat Vlaanderen evalueert naar een systeem met vervoerregio's. Naast personenvervoer zullen deze ook een rol spelen in de sturing van goederenvervoer. De afbakening van de vervoerregio's is in voorontwerp van decreet goedgekeurd door de Vlaamse Regering. (VR 2018 2007 DOC.0864/1BIS) <<https://www.basisbereikbaarheid.be/>> Voor onze analyse van stedelijke logistiek via SDC hebben we evenwel de gemeentelijke grenzen van de betrokken steden gehanteerd.

²⁹ Deze locaties werden louter indicatief geselecteerd voor de modeldoorrekening. In de realiteit zullen verschillende factoren een rol spelen bij de effectieve selectie van een locatie (bijvoorbeeld beschikbaarheid en (huur)prijzen van pand of grond, (magazijn)faciliteiten, (multimodale) transportinfrastructuur, inplanting in de buurt, acceptatie omwonenden,...) en komen dus mogelijk andere locaties als geprefereerd naar voren. Voor verdere detailanalyses op basis van locatiefactoren (en die ook rekening houden met de in aanmerking komende stromen) zijn bijkomende modeldoorrekeningen vereist die buiten de scope van deze studie vallen.

³⁰ Deze locaties werden louter indicatief geselecteerd voor de modeldoorrekening. In de realiteit zullen verschillende factoren een rol spelen bij de effectieve selectie van een locatie (bijvoorbeeld beschikbaarheid en (huur)prijzen van pand of grond, (magazijn)faciliteiten, (multimodale) transportinfrastructuur, inplanting in de buurt, acceptatie omwonenden,...) en komen dus mogelijk andere locaties als geprefereerd naar voren. Voor verdere detailanalyses op basis van locatiefactoren (en die ook rekening houden met de in aanmerking komende stromen) zijn bijkomende modeldoorrekeningen vereist die buiten de scope van deze studie vallen.

Effect op luchtvervuiling:

- Positief effect: inperking aantal vervoersbewegingen in stedelijk gebied, de zone bij uitstek waar hoge concentraties fijn stof, roet en NO_x relevant zijn door hoge receptordensiteiten en street-canyon effecten. Mogelijkheid tot het faciliteren van zero-emissie voertuigen binnen de stad voor vrachtvervoer vanuit de stedelijke distributiecentra (zie ook fiche "Stedelijke phase-out").
- Door slimme locatiekeuze en locatie specifieke maatregelen kan mogelijk toegenomen uitstoot ter hoogte van de distributiecentra zelf gericht worden aangepakt, ook synergie met zero emissie voertuigen binnen stedelijk weefsel mogelijk.

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving:
 - effect is onzeker want afhankelijk van de uiteindelijke locatie van het distributiecentrum, de aard van de te transporteren goederen en de mogelijkheden tot multimodale ontsluiting is een shift naar het bevoorraden van de distributiecentra via spoor of binnenvaart mogelijk. Deze werd niet gemodelleerd maar zou wel een bijkomende CO₂ besparing kunnen realiseren, zeker bij modale verschuiving naar spoor of emissie-arme binnenvaartschepen.
 - Ook voor de last-mile is een modale verschuiving naar meer duurzame modi zoals cargobikes of zero-emissie wegvoertuigen (batterij-elektrisch, waterstof, biomethaan,...) mogelijk. Dit is eveneens afhankelijk van de uiteindelijke locatie van het SDC en de aard van de te transporteren goederen. In de optiek van lichte elektrische voertuigen, waaronder cargo-bikes, kunnen micro-consolidatie-initiatieven een faciliterende rol spelen. De modale verschuiving naar zero-emissie voertuigen wordt gemodelleerd in de fiche "Stedelijke phase-out".
 - Daarnaast zullen naar verwachting tegen 2030 ook Autonome Logistieke Elektrische Eenheden voor Steden (ALEES) een rol spelen in stedelijke logistiek (VIL, 2018). Deze hebben het potentieel om de efficiëntie van de aan- en aflevering van goederen in de stad te verhogen via betere belading, flexibele routeplanning en 24/7 beschikbaarheid. Ook kunnen ze een positief effect hebben op duurzaamheid (minder voertuigen en zero-emissie) en veiligheid (autonoom, continue monitoring van omstandigheden, vermijden van obstakels). Uit de VIL-studie bleek dat om autonome voertuigen maximaal te benutten, er een hypergeconnecteerd netwerk nodig is, met een distributiecentrum aan de rand van de stad en verschillende micromagazijnen in de stad. Om de implementatie van autonome voertuigen mogelijk te maken is dus samenwerking tussen verschillende partijen zoals bedrijven en overheden vereist.

• Secundaire effecten:

- Bepaalde goederenstromen (zoals belevring van (grote) filialen van supermarktketens) gebeurt al op geoptimaliseerde wijze met hoge beladingsgraden. Deze stromen worden in dit scenario ook geacht om via het stedelijk distributiecentrum te passeren. Hetgeen voor fragmentatie en bijgevolg extra voertuigkilometers en de daaraan gerelateerde uitstoot kan zorgen. Om dit te vermijden zou een minimale beladingsgraad voor vervoer in de stad kunnen opgelegd worden maar dit is niet eenvoudig te controleren en dus af te dwingen (cf beladingsgraad op basis van volume versus gewicht).
- Het aantal goederenvoertuigen in steden zou met deze maatregelen afnemen. De hiermee samenhangende daling in het aantal voertuigkilometers levert enerzijds een brandstofbesparing met emissiereductie op, naast andere maatschappelijke baten op vlak van congestie, geluidsoverlast en verkeersveiligheid. De daling van emissies (zowel lucht- als geluidsemissies) zal nog vergroten bij het combineren van SDC's met stedelijke phase-out door inzet van cargobikes en elektrische voertuigen.

Lock-in:

Geen grote lock-in effecten. Mogelijk positief cumulatief effect met stedelijke phase-out. Distributiecentra aan de stadtrand kunnen stadsspecifiek zero emissie vrachtverkeer mogelijk faciliteren.

Toepassingsgebied:

- Hoofdzakelijk stedelijk gebied
- Licht en zwaar vrachtvervoer
- Korte afstand: impact op first en last-mile transport in stedelijk gebied

Kosteneffectiviteit :

- Het stimuleren of opleggen van stedelijke logistiek over SDC's genereert enerzijds kosten voor het opstarten en uitbaten van het SDC wat resulteert in een vergoeding die betaalt wordt bij het gebruik van het SDC, en anderzijds in kostenbesparingen door tijdswinst en brandstofbesparing door transportoperators. Als deze besparingen de kosten van het gebruik van et SDC overtreffen, is er geen economische noodzaak tot het subsidiëren van het SDC door de overheid. Het kwantificeren van deze baten voor individuele operators is evenwel niet eenvoudig, en zal afhangen van tal van factoren (getransporteerde volumes, beladingsgraden met en zonder SDC, afstanden van oorsprong tot SDC en eindbestemming, gebruikte voertuigen, verschillen in toegangsbeperkingen met en zonder SDC,...). Het is evident dat deze baten groter zullen zijn bij gefragmenteerde stromen, en dat het voor goederenstromen die reeds hoge beladingsgraden en dropdensiteiten realiseren, de bijkomende kosten van het gebruik van het SDC deze baten zullen overtreffen. Bovendien zijn de maatschappelijke baten hier ook veel beperkter. De rationale om deze stromen over het SDC te laten gaan is dus twijfelachtig. Een voldoende stimulerend overheidsbeleid met flankerende maatregelen die ondernemers ertoe aanzet om gebruik te maken van de SDC's zal vermijden dat dergelijke gebundelde stromen onnodig over het SDC lopen (zie ook verder bij voorwaarden en barrières).
- In het totaal worden er op basis van de modeldoorrekening 24.000 voertuigkilometers minder gereden op dagbasis³¹. Dat resulteert in een CO₂-besparing op jaarbasis van 50.073 ton, wat overeenstemt met zo'n 19 miljoen liter diesel. Samen met de tijdsbesparing die transporteurs kunnen realiseren door niet meer de stad binnen te rijden en daar tijd te verliezen, kan deze brandstofbesparing zo de last-mile goedkoper maken. Bovendien resulteren die uitgespaarde voertuigkilometers naast economische baten ook in bijkomende maatschappelijke baten op vlak van luchtvervuilende emissies, geluidsemissies, ongevallen, congestie, visuele hinder en ruimtebeslag.
- Daartegenover staan de economische kosten voor het opzetten en uitbaten van het SDC, die geheel of gedeeltelijk kunnen doorgerekend worden aan de gebruikers. (Tijdelijke) subsidiëring en/of steun door lokale overheid of opzetten publiek privaat samenwerking zijn mogelijkheden om de doorgerekende kosten van het SDC voor de gebruikers te drukken. Steun kan bijvoorbeeld de vorm aannemen van het ter beschikking stellen van een locatie om een SDC op te starten. Daarnaast kunnen ook flankerende maatregelen het gebruik van een SDC ondersteunen, zoals het toelaten van ruimere levertijden voor leveringen die via een SDC lopen of doorgang voorzien waar dit voor regulier vervoer niet toegelaten is.³²
- Maatschappelijke en economische baten moeten opwegen tegen hogere consolidatiekosten en verlies aan autonomie van de afzonderlijke bedrijven.
- Probleem met huidige wetenschappelijke onderzoek naar SDC's is het gebrek aan (kosten)data, vooral met betrekking tot de vaste kosten voor het uitbaten (huur, ICT-systemen, voertuigen, etc.). Vanwege de commerciële gevoeligheid van deze informatie weigeren marktpartijen deze kenbaar te maken. Op basis van Nederlandse onderzoek worden vaste kosten per maand van 3.000 € vermeld maar het is onduidelijk op wat dit cijfer gebaseerd is. Operationele kosten zijn er wel te vinden (Kin en Macharis, 2015). In een recente studie van Kin (nog niet gepubliceerd) voor Brussel worden de maandelijkse huurkosten vastgezet op 4,46€ per m² en de loonkosten op 22€ per uur.
- In de studie van Kin & Macharis (2015) naar een operationeel SDC van een private operator in Antwerpen kwam uit de economische analyse naar voor dat het toenmalige gemiddelde aantal van 75 drops per dag met een factor 4,5 moest stijgen tot 335 drops per dag om een financieel rendabel SDC te hebben op basis van een aantal operationele parameters (zoals 12 leveringen per voertuig, afstand van 3,7 km per levering, enz.) en niet vrijgegeven kostendata.

Timing:

Concept van SDC's wordt reeds toegepast en verder ontwikkeld/gestimuleerd.

Er is een beleidskader stedelijke logistiek beschikbaar (MOW, 2017).

³¹ Er kunnen in het kader van deze studie enkel bepaalde geaggregeerde en dus indicatieve kosten en baten meegegeven worden, maar voor een gedetailleerde analyse zijn verdere modeldoorrekeningen en becijferingen noodzakelijk.

³² Dit kan bijvoorbeeld via verzinkbare paaltjes waarvoor een toegangscode vereist is of via vaste paaltjes die door hun afmetingen enkel bepaalde voertuigen of cargofietsen doorgang verschaffen

Voorwaarden en barrières:

- Duidelijk ruimtelijk beleid is vereist waarbij er samenhang is met regionale logistieke knooppunten. Idealiter worden SDC's ook gelokaliseerd ter hoogte van multimodaal ontsloten knooppunten (zie ook fiche 'Ruimtelijke planning', Witboek Beleidsplan Ruimte Vlaanderen en beleidsnota stedelijke logistiek MOW)
- Deze maatregel impliceert een consolidatiekosten en operationele gedragswijziging voor de verschillende betrokken bedrijven.
- Uitdaging is het implementeren van een duurzaam economisch model voor uitbating van SDC's: uitbatingkosten moeten gefactureerd kunnen worden en SDC's dienen dus voor gebruikers voldoende economische waarde te genereren (kostenreductie door goederenbundeling, gedeeld gebruik zero-emissie voertuigen, haalbare toegangsbeperkingen, verhoogde leverfrequentie, toegevoegde waarde activiteiten zoals e-fulfillment of opslag op afstand, ...).
- Het SDC moet anderzijds heel breed gebruikt worden om de positieve effecten te bereiken, vooral voor de kleine volumes die in afzonderlijke voertuigen de stad binnenkomen. Dat kan enerzijds door een overheid die het gebruik van een stedelijk distributiecentrum oplegt voor gefragmenteerde stromen en dat ook controleert. Het risico daarbij is dat reeds geoptimaliseerde transporten onnodig bijkomende overslagkosten en omrijkilometers opgelegd krijgen, waardoor net meer emissies veroorzaakt worden. Een tweede optie kan er in bestaan om het via voorwaarden rond beladingsgraad en/of aantal stops in het gebied waar het SDC actief is voor transporteurs en leveranciers met slecht gebundelde volumes minder kostenefficiënt te maken om zelf de stad in te rijden. Deze aanpak kan ondersteund worden door het SDC bredere venstertijden te gunnen. Daarnaast kan ook doorgang verschaft worden voor voertuigen die via het SDC werken op plaatsen waar regulier vervoer niet is toegelaten (zie hoger). Transport operatoren en integratoren die met lage- of zero-emissievoertuigen stedelijke logistiek verzorgen met hoge beladingsgraden en voldoende hoge dropdensiteit zouden, wanneer ze aan deze en eventueel bijkomende voorwaarden zoals bepaalde toegangsbeperkingen in tijd en ruimte voldoen, rechtstreeks kunnen blijven werken, zonder over een SDC te gaan.
- Dit moet kaderen in een breder beleid waarbij ingezet wordt op duurzaam stedelijk transport naar en van het SDC: fietskoeriers, elektrificatie (middel) zwaar transport, modale verschuiving naar elektrisch spoorvervoer en emissiearme binnenvaart, ... Hierbij kunnen ondersteunende maatregelen en incentives voor duurzame bestelwagens en lichte vrachtwagens voorzien worden (zie ook fiche "Stedelijke phase-out"):
 - *Sustainable Urban Logistics Plan (SULP)* waarbij tegen 2020 gebruik van zero-emissie bestelwagens en lichte vrachtwagens gestimuleerd wordt, evenals mobiliteitsplannen op niveau van vervoerregio.
 - Ontwikkelen van voldoende laadinfrastructuur voor bestelwagens en lichte vrachtwagens tegen 2020
 - ZEV exclusieve laad- en losplaatsen voor bestelwagens en lichte vrachtwagens tegen 2020
 - Lokaal consolidatiecentrum voor pakketjes vanuit SDC met ZEV *last- en first mile* levering tegen 2025

Conclusie

De implementatie van Stedelijke Distributiecentra speelt verder in op reeds bestaande initiatieven maar een verplicht gebruik van SDC's voor al de stedelijke stromen lijkt moeilijk haalbaar en niet optimaal. Directe levering van optimaal gebundelde stromen met zero-emissievoertuigen zou mogelijk moeten blijven. Voor de andere leveringen zou gebruik van een SDC wel maatschappelijke baten kunnen opleveren. Het CO₂-besparingspotentieel is hierbij niet verwaarloosbaar, zeker niet wanneer dat ingepast wordt in een stedelijke phase-out scenario. Uit de draagvlakanalyse (enquête en MAMCA workshop) bleek wel dat de weerstand tegen het verplicht gebruik van SDC's relatief groot was bij de verschillende stakeholders vanwege de ingeschatte impact op hun kosten en operationele organisatie. De implementatie van deze maatregel vereist dan ook een economisch efficiënte werking van het SDC en een stimulatie van het optimaal benutten van het waardetoevoegende potentieel van het gebruik van SDC's voor de betrokken partijen. Gelet op de uitdagingen die gepaard gaan met het invoeren van deze maatregel werd geopteerd om deze optioneel mee op te nemen in het voorkeursscenario. Het voorkeursscenario wordt dus doorgerekend met en zonder deze maatregel om de impact ervan te kunnen inschatten (zie fiche "Voorkeursscenario").

Bronnen :

- Björklund, M., Johansson, H. (2018) 'Urban consolidation centre – a literature review, categorisation, and a future research agenda'. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 48 Issue: 8, pp.745-764. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2017-0050>
- Kin & Macharis, 2015, Beleidsondersteunende paper. Social Cost-Benefit Analysis of a Private Urban Consolidation Centre in Antwerp. Steunpunt Goederen- en personenvervoer (MOBILO).
- Lebeau P. (2016). 'Towards the Electrification of City Logistics'. PhD thesis, Free University of Brussels, Belgium.
- Luyten S., Van Hecke E. (2007) 'De Belgische Stadsgewesten 2001' [The Belgian Citydistricts 2001], Statistics Belgium, Working Paper, FOD Economie, Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie, Leuven, KULeuven, Instituut voor Sociale en Economische Geografie.
- Mobiliteitsbrief voor duurzaam mobiliteitsbeleid, nr 155 januari 2015, MOW
- Nota Vlaams beleidskader stedelijke logistiek, 7 november 2017, MOW
- Verlinde S. (2015). 'Promising but challenging urban freight transport solutions: freight flow consolidation and off-hour deliveries'. PhD thesis, Free University of Brussels, University of Ghent, Belgium.
- VIL (2018) Rapport Autonome Logistieke Elektrische Eenheden voor Steden (ALEES)
- Witboek beleidsplan Ruimte Vlaanderen, Departement Omgeving, 2017

02.8. Stedelijke phase-out verbrandingsmotoren

Korte beschrijving :

Om tegen 2030 de in het Witboek Transport van de Europese Commissie beoogde doelstelling van emissievrije stedelijke logistiek te bereiken (Europese Commissie, 2011)³², wordt in dit scenario een stedelijke phase-out van op fossiele brandstoffen gebaseerd vrachtvervoer over de weg voorzien en worden enkel nog emissievrije (vracht)voertuigen toegelaten tot stedelijke gebieden. Het gaat dus om het instellen van zero-emissie zones (ZEZ) voor vrachtvervoer in de stadsgewesten in Vlaanderen³³. In het hier beschouwde scenario wordt de phase-out beperkt tot wegvervoertuigen³⁴.

Vertaling naar voorkeurscenario: invoering van stedelijke phase-out in voorkeurscenario waarbij in 2030 enkel zero-emissie voertuigen de stad in mogen. Om alle transportvraag te beantwoorden worden hybride voertuigen (zero-emissie in stedelijk gebied, benzine/diesel op niet-stedelijk traject) aanvullend in het optimalisatieproces betrokken. Voor zware vrachtwagens is dit scenario tegen 2030 mogelijk (te) ambitieus, maar met doorkijk naar 2050 is deze maatregel een noodzaak en daarom wordt hij nu reeds volledig opgenomen in het standaard voorkeurscenario..

Elektrisch energieverbruik: wordt niet afzonderlijk berekend voor dit scenario, maar zit vervat in het elektrificatieverhaal van het voorkeurscenario (zie Fiche voorkeurscenario).

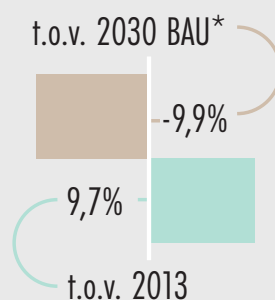
Model : TRABAM

In dit scenario worden transportstromen die vertrekken, toekomen of door de Vlaamse stadsgewesten lopen verplicht om zero-emissie voertuigen te gebruiken. Deze steden zijn Antwerpen, Brussels Hoofdstedelijk Gewest, Gent, Kortrijk, Mechelen, Hasselt-Genk, Leuven, Brugge, Oostende, Sint-Niklaas en Turnhout (Luyten en Van Hecke, 2007). De ZEZ's vallen samen met de zone binnen de administratieve grenzen van deze steden, zijnde de gemeentegrenzen. Voor Brussel zijn de grenzen van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest gebruikt. Het voertuigpark van de transporteurs wordt zo aangepast dat ze aan deze voorwaarde kunnen voldoen. Twee varianten worden gesimuleerd.

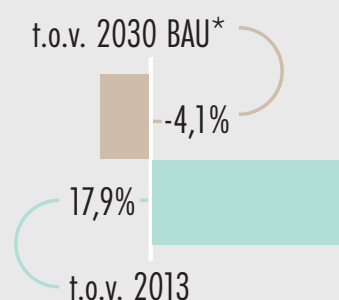
CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

In de modeldoorrekeningen worden twee scenario's beschouwd.

Individuele modeldoorrekening 1: stedelijke phase-out met zero-emissievoertuigen op het gehele traject (enkel wegvervoer):



Individuele modeldoorrekening 2: stedelijke phase-out met hybride voertuigen (zero-emissie in stedelijk gebied, benzine/diesel in niet-stedelijk traject) (enkel wegvervoer):



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

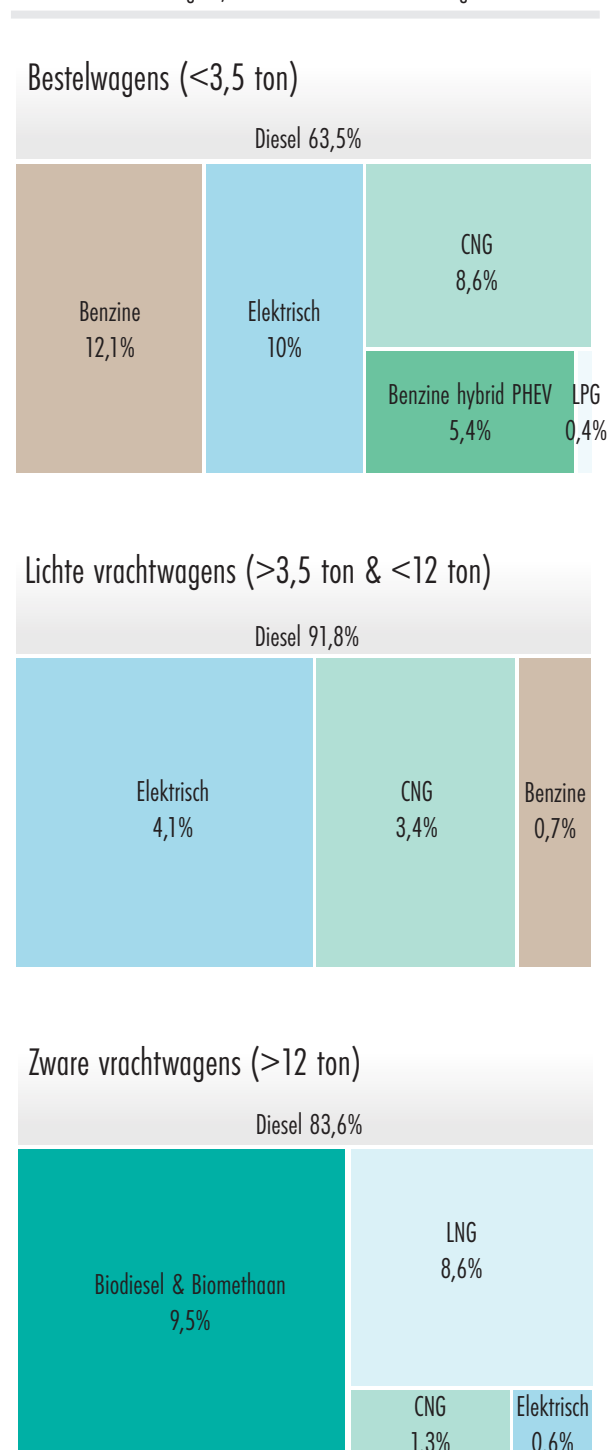
³² In het Witboek wordt de doelstelling met betrekking tot stedelijke emissies als volgt geformuleerd: "het gebruik van voertuigen op klassieke brandstoffen in de stad halveren tegen 2030; en volledig verbieden tegen 2050; de stadsdistributie tegen 2030 grotendeels CO₂-vrij maken".

³³ Hierbij dient opgemerkt te worden dat Vlaanderen evalueert naar een systeem met vervoerregio's. Naast personenvervoer zullen deze ook een rol spelen in de sturing van goederenvervoer. De afbakening van de vervoerregio's is in voorontwerp van decreet goedgekeurd door de Vlaamse Regering. (VR 2018 2007 DOC.0864/1BIS) <<https://www.basisbereikbaarheid.be/>> Voor onze analyse van de phase-out hebben we evenwel de gemeentelijke grenzen van de betrokken steden gehanteerd.

³⁴ In de modelsimulaties wordt dus enkel gefocust op wegvervoer. Voor binnenvaart is het realiseren van zero-emissievaart in stedelijk gebied tegen 2030 weinig haalbaar, maar kan er wel een impact zijn van het instellen van milieuzones. Zo voorziet men in Nederland milieuzones (bijvoorbeeld in de haven van Rotterdam) waar alleen schepen met een CCR 2-motor (of beter) in 2025 nog mogen komen. Als de hiermee gepaard gaande vlootvernieuwing ook resulteert in introductie van brandstof besparende technologieën (zie fiche "CO₂-emissiereductie binnenvaart") kan er ook een CO₂-emissiereductie-effect optreden. Voor spoorvervoer wordt verondersteld dat het stedelijk gedeelte geëlektrificeerd is en dus reeds zero-emissie. In zoverre haven- en industrie-gebonden rangeeractiviteit met dieseltractie tot in het stedelijk gebied zou uitgevoerd worden, kan een bijkomende besparing gerealiseerd worden in het spoorgedeelte door dit zero-emissie te maken (zie fiche "CO₂-emissiereductie binnenvaart"), maar dit aandeel wordt zeer beperkt geacht.

Simulatie 1 met zero-emissievoertuigen waarbij voertuigen op gehele traject zero-emissie beschouwd worden (best case scenario).

Figuur 34: Aandeel van de voertuigvloot in 2030 volgens aandrijving voor bestelwagens, lichte en zware vrachtoertuigen.



Simulatie 2 met zero-emissievoertuigen: waarbij de stromen door hybride voertuigen uitgevoerd worden enkel binnen de zero-emissie gebieden als emissievrij beschouwd worden. Op het niet-stedelijk gedeelte van traject worden ze verondersteld op diesel te rijden (hybride scenario).

Effect op luchtvervuiling :

- Sterk positief effect in scenario 1 want zero-emissievoertuigen op gehele traject: geen uitlaatemissies van luchtverontreinigende polluenten. Vooral sterk effect op NO_x emissies. Voor fijnstof is effect iets minder sterk vanwege de reeds lage uitlaatemissiewaarden van EURO V en VI trucks en het relatief grote aandeel van niet-uitlaat emissies voor fijnstof.
- Positief effect in scenario 2 want zero-emissievoertuigen op stedelijk gedeelte van traject waar uitlaatemissies van luchtverontreinigende polluenten de sterkste effecten hebben vanwege de grotere receptordensiteit (hogere bevolkingsdichtheid in de stedelijke gebieden). Wel ongewijzigde luchtverontreinigende emissies op niet-stedelijk gedeelte van traject in de mate dat hybride voertuigen daar overschakelen op benzine/diesel modus.

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving: afhankelijk van de kostimpact van de *total cost of ownership* van zero-emissievoertuigen voor transportoperator. Bij duurder worden van wegvervoer ontstaat er mogelijk modale verschuiving van weg naar spoor en/of binnenvaart. Voor elektrisch spoorvervoer zou de invoering van deze maatregel positieve effecten kunnen hebben aangezien elektrische tractie vanuit TTW perspectief reeds emissievrij is (deze modale verschuiving werd niet gemodelleerd in TRABAM en dit zou dus een bijkomende positieve emissiebesparing van deze maatregel kunnen opleveren).
- Secundaire effecten:
 - onzekerheid met betrekking tot modale verschuiving: afhankelijk van totale kost van eigenaarschap (TCO) van deze maatregel voor de transportoperatoren;
 - impact op energiesector: verhoogde elektriciteitsvraag, verlaagde vraag naar fossiele brandstoffen (mogelijk fiscale implicaties);
 - sterke stimulans voor omschakeling naar zero-emissie voertuigen.

Lock-in:

Geen of beperkte lock-in van op fossiele brandstof gebaseerde technologie: de maatregel vereist wel investeringen in vlootvernieuwing en aanpassingen aan tank- en/of laadinfrastructuur maar deze is gericht op introductie van zero-emissievoertuigen (en dus weg van fossiele brandstof-technologie). De mogelijkheid om hybride voertuigen te kunnen blijven gebruiken zou wel de omschakeling naar zuivere zero-emissievoertuigen kunnen vertragen. De keuze van zero-emissietechnologie zelf kan mogelijk ook wel een lock-in veroorzaken in voertuigen en vooral tank- en/of laadinfrastructuur wanneer het potentieel van een specifieke technologie zich niet doorzet op langere termijn, en de infrastructuur niet compatibel is met de optie die zich wel doorzet.

Indien gecombineerd met andere vereisten rond stedelijke logistiek (zoals het verplichte gebruik van stedelijke consolidatiecentra) zijn er mogelijk bijkomende kosten en operationele supply chain aanpassingen vereist.

Toepassingsgebied:

- Hoofdzakelijk stedelijk gebied (maar mogelijk ook effecten in buitengebied indien niet-hybride zero-emissievoertuigen)
- Licht en zwaar vrachtvervoer
- Lange en korte afstand (tenzij er wordt overgelden aan rand van de stad van fossiele brandstofvoertuig naar zero-emissievoertuig, in dat geval speelt het enkel op het stedelijke korte afstand-transport)

Kosteneffectiviteit :

- De implementatie van ZEZ's heeft volgende (kosten)implicaties:
 - Kosten van vervanging van voertuigen: de initiële en lopende (onderhouds- en energiekosten) die gepaard gaan met aanschaf en gebruik van het ZEZ-conforme voertuig. De kosten van het upgraden van (vracht)voertuigen zullen in eerste instantie waarschijnlijk rechtstreeks bij de voertuigeigenaars liggen, d.w.z. bedrijven zowel binnen als buiten ZEZ's. Wanneer (bestaande en/of nieuwe) subsidies worden gebruikt om de introductie te ondersteunen, zal een deel van deze kosten aan de overheid worden overdragen. In de praktijk zal dit ook worden beïnvloed door bijkomende flankerende en ondersteunende maatregelen die worden geïmplementeerd.
 - Infrastructuurkosten: kosten van het installeren van voldoende oplaadinfrastructuur om de introductie van ZEV's te ondersteunen. Voor vrachtauto's zijn er relatief grotere infra-

structuurbehoeften en dus hogere kosten per voertuig verondersteld aangezien daarvoor een mix van snelle en relatief dure snelladers vereist is, in plaats van goedkopere standaardladers die geschikt zijn voor kleinere voertuigen. Deze infrastructuurkosten zullen in de loop van de tijd stijgen naarmate de omvang van de ZEZ's wordt uitgebreid gezien meer oplaadpunten vereist zijn. Op wie de infrastructuurkosten zullen vallen hangt af van de implementatiemodaliteiten. In de praktijk zullen de kosten van laadpalen bij de bedrijven zelf in eerste instantie waarschijnlijk bij de eigenaars van voertuigen vallen, maar dit is natuurlijk afhankelijk van de ondersteunde maatregelen die worden getroffen. Oplaadpunten op sommige openbare plaatsen kunnen mogelijk een subsidie verantwoorden, gezien het publieke karakter ervan, maar indien ze op een bepaalde locatie een zekere gebruiksturnover realiseren is er voldoende incentive voor marktpelers om deze zelf te voorzien. Dergelijke publieke of private investeringskosten zijn natuurlijk niet exclusief voor de ZEZ maatregel, maar passen binnen het bredere elektrificatiescenario.

- Uitvoeringskosten: kosten van de technologie en systemen om de zones te bewaken en handhaving te realiseren. Dit kan op verschillende manieren geïmplementeerd worden. De kosten voor een raamwerk van Automatic Number Plate Recognition (ANPR) camera's, bewegwijzering, informatieborden en 'backoffice'-ondersteuning worden door Ricardo-AEA (2017) relatief beperkt ingeschat ten opzichte van de andere impacts.³⁵ Deze kosten vallen wel ten laste van de overheid maar in veel van de betrokken steden kan in meer of mindere mate verder gebouwd worden op de reeds bestaande ANPR netwerken³⁶ en in sommige van de steden ook op de voorzieningen voor de lage-emissiezones (reeds in Antwerpen (2017) en Brussel (2018), voorzien in Gent (2020), Hasselt (2020) en Mechelen (ten vroegste 2021)).
- De opbrengst van boetes bij niet-naleving van de regelgeving kunnen voor bijkomende inkomsten zorgen, maar vergen anderzijds ook handhavingskosten.
- Verminderde gezondheidskosten door verbeterde luchtkwaliteit: verminderde chronische blootstelling door reductie van uitstoot luchtverontreinigende stoffen resulteert in lagere gezondheidskosten en minder ziekenhuisopnames. Voor een correcte inschatting van deze effecten zijn specifieke lokale

³⁵ Ricardo-AEA (2017) ramen deze implementatiekosten voor Oxford voor een "ruime" zone in het stadscentrum op £99.900 (€111.900). Dit is evenwel nog steeds op een relatief beperkte geografische schaal. Een simpele extrapolatie naar de grotere Vlaamse stadsgewesten is bovendien niet zo eenvoudig omdat in sommige stadsgewesten een deel van de vereiste elementen (zoals ANPR camera's) al (gedeeltelijk) aanwezig is.

³⁶ Aantal ANPR-camera's in de betrokken steden in oktober 2017: Antwerpen (80), Brussels Hoofdstedelijk Gewest, Gent (33), Kortrijk (38), Mechelen (95), Hasselt (4), Genk (2), Leuven (4), Brugge (0), Oostende (0), Sint-Niklaas (4) en Turnhout (168).

modelsimulaties vereist.³⁷

- Broeikasgasreductie: verminderde uitstoot van broeikasgassen ter ondersteuning van bereiken klimaatdoelstellingen.
- Ricardo-AEA (2017) stelt in een studie voor Oxford dat in de beginjaren de voordelen van alle ZEZ-opties niet opwegen tegen de kosten. Tegen 2035 beginnen alle opties evenwel een sterk netto voordeel te behalen door (a) expansie van de zones en het aantal ZEV voertuigen (waardoor voordelen van luchtverontreiniging en broeikasgasemissiereductie toenemen) en (b) significante daling van de kosten van ZEV's ten opzichte van de stijgende kosten van conventionele voertuigen, zodat er in 2030/2035 een netto voordeel is bij het upgraden naar sommige ZEV-voertuigen. Op de langere termijn lijkt een ZEZ-maatregel dus een goed idee.
- Een tragere, meer afgemeten expansie van ZEZ's lijkt vanuit kostenperspectief een betere optie vanwege de lagere nettokost over de periode heen door (a) de dalende kosten van de aanschaf van ZEV's tijdens de implementatieperiode en (b) het lagere aantal voertuigen dat moet worden opgevoerd (wat voornamelijk wordt aangestuurd door de geografische dekking van de zones) (Ricardo-AEA, 2017). Maar hierdoor zal de CO₂ reductie natuurlijk trager gerealiseerd worden. Theoretisch zou men de snelheid en omvang van de ZEZ dus kunnen laten afhangen van de mate waarin men op schema zit om de globale besparingsdoelstellingen te realiseren, maar in de praktijk is een duidelijke communicatie van de lange termijnplanning van de invoering van de ZEZ vereist om de betrokken partijen de tijd te geven de nodige vloot en/of operationele aanpassingen te doen.

Timing:

- Technische implementeerbaarheid: op basis van beschikbare technologie (ANPR camera's, OBU's³⁸, geofencing³⁹) is de invoering reeds nu mogelijk, maar dit is pas realistisch na significante aanpassing van de voertuigvloot en uitbouw van de noodzakelijke tank- en laadinfrastructuur (zie de respectievelijke fiches met betrekking tot relevante aandrijftechnologieën).
- Gefaseerde invoering vereist vanwege marktintroductie ZEV's: voor bestelwagens en lichte vrachtwagens vanaf 2025, voor zware vrachtwagens vanaf 2030.

Voorwaarden en barrières :

- Tegen 2020 slechts een zeer beperkte ZEZ mogelijk vanwege niveau van technologische paraatheid, vereiste vlootvernieuwing en noodzaak om voldoende oplaadinfrastructuur uit te rollen.
- Aanbeveling om te starten met kleine ZEZ's die uitbreiden in geografische reikwijdte en voertuigrestricties vanaf 2020 tot 2030/2035.
- De analyse houdt geen rekening met eventuele veranderingen in gedrag of reispatronen gerelateerd aan oplaadpatronen van ZEV's.
- Volgende ondersteunende maatregelen en incentives voor bestelwagens en lichte vrachtwagens worden aanbevolen:
 - Sustainable Urban Logistics Plan (SULP) waarbij tegen 2020 gebruik van zero emissie bestelwagens en lichte vrachtwagens gestimuleerd wordt
 - ontwikkelen van voldoende laadinfrastructuur voor bestelwagens en lichte vrachtwagens tegen 2020
 - exclusieve ZEV laad- en losplaatsen voor bestelwagens en lichte vrachtwagens tegen 2020
 - Lokaal parcel consolidatiecentrum met ZEV last- en first mile levering tegen 2025
- Volgende ondersteunende maatregelen en incentives voor zware vrachtwagens worden aanbevolen:
 - Sustainable Urban Logistics Plan (SULP) waarbij tegen 2025 gebruik van zero emissie zware vrachtwagens gestimuleerd wordt
 - ontwikkelen van voldoende laadinfrastructuur voor zware vrachtwagens tegen 2025
 - exclusieve ZEV laad- en losplaatsen voor zware vrachtwagens tegen 2025
 - Geïntegreerd stedelijk consolidatiecentrum waar bepaalde goederenstromen gebundeld kunnen worden voor last- en first mile levering met ZEV's tegen 2030⁴⁰

³⁷ Dit is natuurlijk ook zo bij de andere maatregelen. Specifiek voor deze maatregel ramen Ricardo-AEA (2017) de gezondheidsopbrengsten bij de geleidelijke invoering van een ZEZ in Oxford tegen 2030 op £301.000 (€ 338.000) op basis van een monetaire waardering van deze milieubaat (maar dit is niet zomaar rechtstreeks te vertalen in een tastbare transfer van cash-flow tussen economische agenten).

³⁸ On Board Units : apparaat dat elke vrachtwagen aan boord moet hebben in kader van de kilometerheffing. De OBU zendt de locatie en identificatiegegevens van de vrachtwagen door.

³⁹ Geofencing is het virtueel afbakenen van een geografisch gebied door middel van GPS.

⁴⁰ Voor de bespreking van vrachtstromen die meest in aanmerking komen om via stedelijk consolidatiecentrum te werken: zie fiche "Stedelijke logistiek".

Conclusie:

De invoering van ZEZ's op de schaal van de Vlaamse stadsgewesten resulteert in significante reducties van broeikasgasemissies en heeft als bijkomend voordeel dat het uitlaatge-deelte van luchtvervuilende emissies geëlimineerd worden daar waar ze de meeste impact hebben (stedelijk gebied). De invoering van dergelijke maatregel op zo'n geografische schaal is erg ambitieus en vereist een arsenaal aan ondersteunende elementen (zoals laadinfrastructuur, exclusieve laad- en losplaatsen, Sulp's, camera's) en communicatie naar betrokken partijen voor de benodigde draagvlakcreatie. Om dit tegen 2030 op deze schaal verwezenlijkt te krijgen dienen de voorbereidende stappen voor een geleidelijke invoering van ZEZ's reeds opgestart te worden. Uit de bestaande literatuur kan afgeleid worden dat een tragere, meer afgemeten expansie van ZEZ's vanuit kostenperspectief een betere optie lijkt, maar in dat geval zou het CO₂-besparingspotentieel pas gerealiseerd worden tegen 2035 of later. Een implementatie tegen 2030 vereist dus een hogere investeringskost. Vanwege de significante emissiereductie en de stimulerende bijdrage tot de elektrificatie van wegtransport wordt deze maatregel mee opgenomen in het voorkeurscenario.

Bronnen :

- Europese Commissie (2011) Witboek Transport - Stappenplan voor een interne Europese vervoersruimte – werken aan een concurrerend en zuinig vervoerssysteem (COM(2011) 144), Brussel
- Luyten S., Van Hecke E. (2007) 'De Belgische Stadsgewesten 2001' [The Belgian Citydistricts 2001], Statistics Belgium, Working Paper, FOD Economie, Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie, Leuven, KULeuven, Instituut voor Sociale en Economische Geografie.
- Ricardo-AEA, 2017, Oxford Zero Emission Zone. Feasibility and Implementation Study
- Transport For London, 2015, Ultra Low Emission Zone <https://tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/ultra-low-emission-zone>

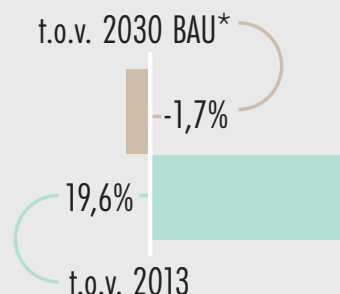
02.9. Batterij-elektrische voertuigen voor wegtransport

Korte beschrijving:

Dit scenario beschrijft de introductie van plug-in batterij-elektrische vrachtvoertuigen (BEV's) voor het wegvervoer. Momenteel zijn er al verschillende modellen op de markt beschikbaar voor elektrische bestelwagens en lichte vrachtvoertuigen. Voor zware vrachtvoertuigen verschijnen ook steeds meer modellen op de markt, maar wel nog hoofdzakelijk voor nichetoeepassingen met specifieke gebruiksprofielen zoals bijvoorbeeld terminalvoertuigen, betonmixers en vuilniswagens.⁴¹ Algemeen gebruik van elektrisch aangedreven zware vrachtvoertuigen voor goederenvervoer over de weg is nog uitdagend vanwege de ontoereikende huidige batterijtechnologie, waardoor het behouden van voldoende beschikbaar netto-laadvermogen bij zware BEV's een barrière vormt. Er wordt aangenomen dat door de evolutie in batterijtechnologie, ook meer algemene toepassingen met zware vrachtvoertuigen mogelijk worden tegen 2030 maar het aandeel BEV in de vloot van zware vrachtwagens blijft door de verwachte latere invoering relatief beperkt. Elektrische voertuigen zijn in de doorrekeningen verondersteld om zero-emissie (CO₂-neutraal) te zijn vanuit een tank-to-wheel perspectief. Vanuit een well-to-wheel perspectief gaat zero-emissie uit van de impliciete veronderstelling dat de elektriciteit die de voertuigen zal aandrijven in 2030 afkomstig zal zijn van CO₂-neutrale (hernieuwbare) oorsprong.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Individuele modeldoorrekening (enkel wegvervoer):



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

- De belangrijkste verklaring voor deze eerder beperkte CO₂-reductie is het kleine aandeel BEV's bij de zware vrachtwagens (zie hieronder). De besparing wordt vooral gerealiseerd door introductie van BEV's bij bestelwagens en lichte vrachtwagens, en deze zijn verantwoordelijk voor een relatief klein aandeel van de CO₂-emissies van vrachttransport over de weg.⁴²
- Vertaling naar Voorkeursscenario: BEV voertuigen zijn meegenomen in het voorkeursscenario (met gelijke vlootsamenstelling als in individuele modeldoorrekening). Deze maatregel staat in voor 9,3% van de CO₂-reductie in het gecombineerde voorkeursscenario 2 in TRABAM (zie fiche "Voorkeursscenario").⁴³ Ondanks het significante aandeel van BEV's in de voertuigvloot van bestelwagens en lichte vrachtwagens in de CPT doelstellingen voor 2030, en het opnemen van BEV's als zero-emissie voertuigen in de emissieberekening blijft deze bijdrage relatief beperkt door het lage voorziene percentage BEV's bij de zware vrachtwagens. De veronderstelling van zero-emissie vervoer vereist vanuit een WTW-perspectief een zero-emissie energieproductie tegen 2030 voor het opladen van BEV's.

⁴¹ Voor een overzicht van huidige en geplande modellen, zie bijvoorbeeld <https://cleantechnica.com/2017/12/16/electric-semi-trucks-heavy-duty-trucks-available-models-planned-models/>

⁴² In het 2030 BAU scenario zijn de relatieve aandelen van de drie categorieën in de totale CO₂-emissies van wegvervoer de volgende: zware vrachtwagens 78,5%, lichte vrachtwagens 11,9% en bestelwagens 9,6%.

⁴³ Afhankelijk van het gehanteerde voorkeursscenario in TRABAM bedraagt de bijdrage van BEV's respectievelijk 18,72%, 9,25%, 9,73% of 10,13% van de CO₂-reductie ten opzichte van BAU 2030

- **Energieverbruik elektriciteit:** voor de maatregelen die resulteren in elektrificatie van transport wordt op basis van de modellering een inschatting gegeven van het bijkomende elektrische verbruik. Deze berekening is gebaseerd op de elektrische verbruikscijfers die bepaald werden voor de verschillende BEV voertuigcategorieën (zie fiche “Elektrisch energieverbruik”):

- Bestelwagen BEV: 30 kWh/100 km
- Lichte vrachtwagens BEV: 75 kWh/100 km
- Zware vrachtwagens BEV: 200 kWh/100 km

Op basis van de modeldoorrekening werden deze verbruikscijfers toegepast op de betrokken voertuigkilometers afgelegd door de verschillende categorieën BEV's om het totale elektrisch energieverbruik door de BEV's te becijferen.

- Totaal elektrisch energieverbruik BEV's in jaar 2030: **146,1 GWh**
- Daarnaast werd hier ook nog het energieverbruik gerelateerd aan het elektrische aandeel gereden door hybride voertuigen toegevoegd. Het aandeel dat deze voertuigen in 2030 elektrisch rijden werd verondersteld op 30%.⁴⁴
 - Totaal elektrisch energieverbruik BEV's en hybrides in jaar 2030: : **170,7 GWh**
- Daarbij is het opvallend dat het elektriciteitsverbruik bij de zware vrachtwagencategorie (53,4 GWh) maar licht lager is dan dat voor de categorie bestelwagens (60,0 GWh) en de categorie lichte vrachtwagens (57,3 GWh) (incl hybride voertuigen), terwijl de BEV's in 2030 in de modeldoorrekening maar 0,6% van de voertuigvloot van zware vrachtwagens uitmaken (zie hieronder). Het verhogen van dit percentage zal het elektriciteitsverbruik dan ook sterk doen toenemen.

Model : TRABAM

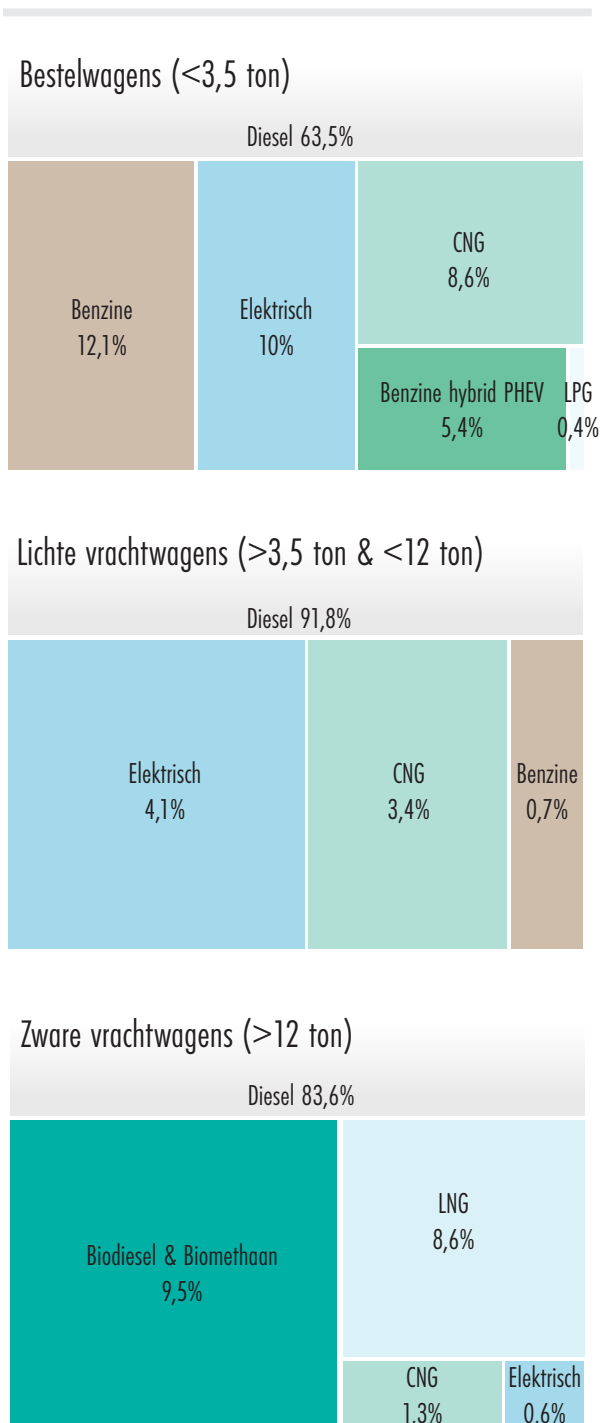
- TRABAM simulatie (aanpassing voertuigpark): In dit scenario wordt de voertuigvloot van transporteurs in TRABAM aangepast zodoende dat ze BEV mee opnemen in hun optimalisatieproces. Hierbij wordt uitgegaan van een vlootsamenstelling van bestelwagens (10% elektrisch, 5,4% hybride) en lichte vrachtwagens (1,3% elektrisch). Deze percentages werden gebaseerd op de cijfers die in de loop van deze studie circuleerden in het kader van de opmaak van de Clean Power for Transport (CPT) doelstellingen. Als randvoorwaarden worden elektrische voertuigen geacht een rij bereik te hebben van 6 uur (hetgeen overeenkomt met 300 tal kilometers). Er is verondersteld dat er tegen 2030 voldoende laadinfrastructuur aanwezig is, zodat er geen omrij-kilometers nodig zijn.⁴⁵
- Relatieve groei in aantal bestelwagens is meegenomen in de potentiële vloot waarover de agents/transporteurs beschikken. Voertuigkeuze (incl. aandrijvingstype) maakt deel uit van het optimalisatieproces dat de transporteur doorloopt, zodoende zijn transport activiteiten zo economisch succesvol uit te voeren. De afstandskost (€/vkm) is 20% lager voor elektrische voertuigen t.o.v. dezelfde voertuigtypes met een diesel verbrandingsmotor.⁴⁶ Er wordt dus ook rekening gehouden met de beperktere reikwijdte van elektrische voertuigen, hetgeen ze voor sommige toepassingen minder interessant maakt.

⁴⁴ Dit is gebaseerd op het verschil tussen de CO₂-emissiefactoren voor een plug-in hybride en een conventionele lichte vrachtwagen. Dit verschil van 30% is toegerekend aan het elektrisch rijden. In kader van een stedelijke phase-out (zie fiche “Stedelijke phase-out”) zal het aandeel elektrisch rijden trouwens opgelegd worden voor hybride voertuigen die deze steden willen binnen rijden.

⁴⁵ Het belang van de beschikbaarheid van laadinfrastructuur voor de groei van de markt voor elektrische vrachtovertuigen vereist steun voor de uitrol van opladers, in eerste instantie voor bestelwagens en lichte vrachtwagens die worden gebruikt voor korte-afstandstoepassingen en in stedelijke omgevingen. De uitrol van opladers kan in eerste instantie samenvallen met de noden van publieke wagenparken (zoals voertuigen van gemeente- of stadsdiensten), elektrische voertuigen met vooraf gedefinieerde vaste routes en elektrische voertuigen die worden gebruikt voor stedelijke distributie, omdat dit resulteert in hoge gebruikpercentages voor de geplaatste laadapparatuur en de voordelen maximaliseert, vooral wanneer dit gecombineerd wordt met belemmerend beleid voor conventioneel voertuiggebruik in steden (zie ook fiche “Stedelijke phase-out”). Algemeen gesteld vereist de noodzaak om implementatiekosten te minimaliseren dat de inzet van laadinfrastructuur afgestemd wordt op de evolutie in de groei van elektrische voertuigen en de locatie geoptimaliseerd wordt op basis van de geografische inzet van elektrische voertuigen (IEA, 2017).

⁴⁶ Dit werd gebaseerd op het huidige verschil in marktprijzen. Momenteel zijn deze 1,57€ per liter diesel versus 0,22€ per kWh (prijzen september 2018). Bij een benaderend gemiddeld verbruik van respectievelijk 32 liter en 200 kWh per 100 km voor een zware vrachtwagen resulteert dit in 50,24€ versus 40€ per 100 km, en dus een prijsverschil van 20%. Vanzelfsprekend zal dit prijsverschil fluctueren met (toekomstige) wijzigingen in de energieprijzen. TNO (2018) verwacht dat het relatieve prijsverschil tussen diesel en elektriciteit tegen 2030 verder zal toenemen, maar voor de modeldoorrekening was 20% verschil voldoende om de operatoren voor BEV's te laten opteren als ze in hun vloot aanwezig waren.

Tabel 28: Aandeel van de voertuigvloot in 2030 volgens aandrijving voor bestelwagens, lichte en zware vrachtwagens.



Effect op luchtvervuiling:

Sterke positieve impact (geen tank-to-wheel emissies)

Wel afhankelijk van type diesel vrachtwagen dat vervangen worden (hoe lager EURO norm, hoe groter milieubaat)

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving: Deze is afhankelijk van kostimpact Total Cost of Ownership. bij gelijkblijvende kosten is er geen modal shift)
- Secundaire effecten:
 - geen of beperkte secundaire effecten (enkel indien kostenvoordeel elektrische voertuigen zou resulteren in toename voertuigkilometers)

Lock-in:

Geen lock-in effecten met betrekking tot fossiele brandstof-technologie. Wel sterke lock-in effecten binnen de mogelijke gangpaden naar zero-emissie vervoer. De noodzaak aan laadinfrastructuur en smart grid ontwikkeling, samen met de ontwikkeling van hernieuwbare elektriciteitsopwekking creëert immers een sterke lock-in. Maar inzetten op deze zero-emissie technologie conflicteert niet met de 2050 doelstellingen en maakt deze lock-in dus niet problematisch.

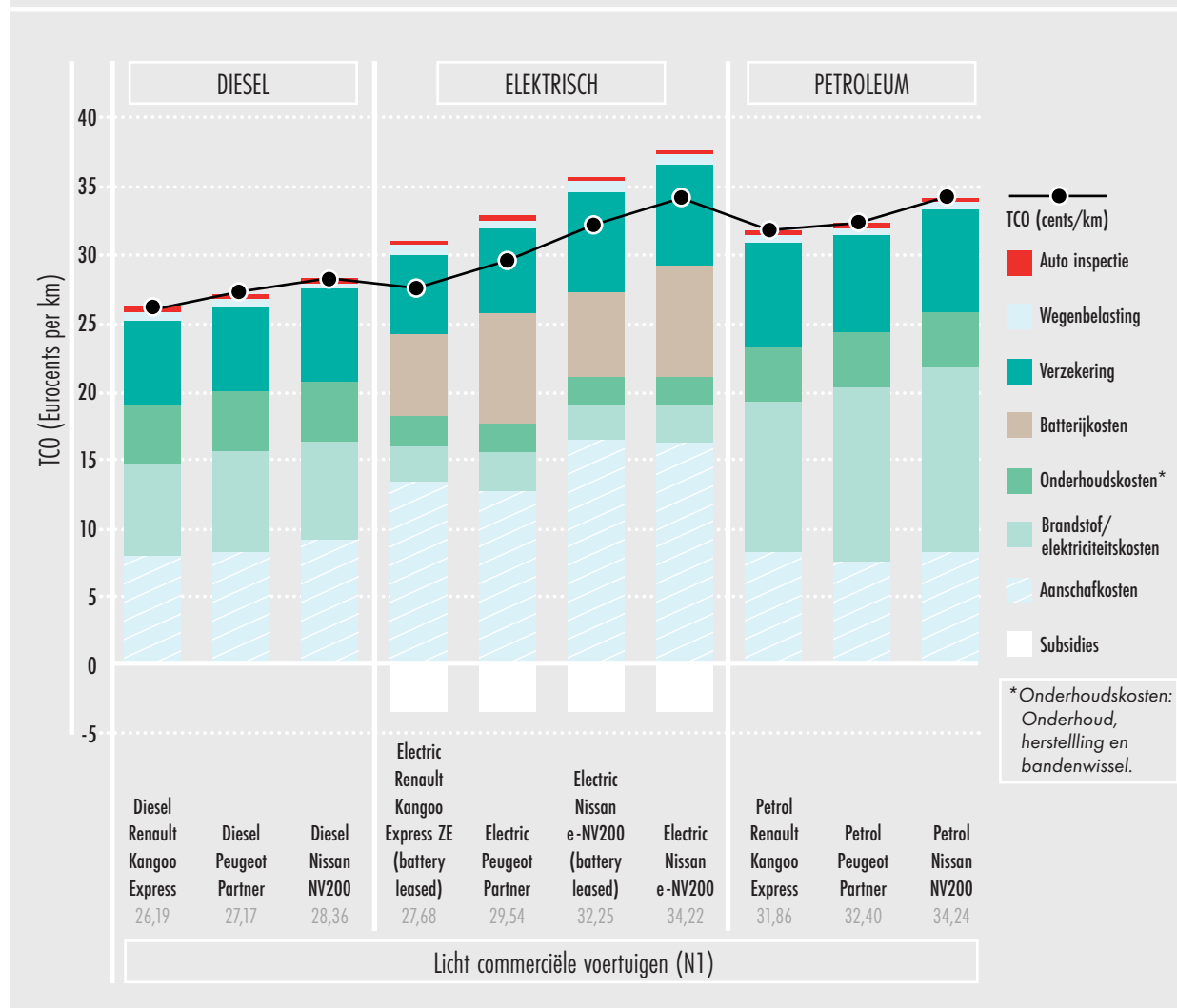
Toepassingsgebied:

- Stedelijk en buitengebied
- Vooral voor zwaar vrachtvervoer: enkel korte afstandstransport

Kosteneffectiviteit :

- "Totale kost van eigenaarschap" (total cost of ownership of TCO) van elektrische voertuigen wordt geleidelijk aan competitief met ICE voertuigen. Ondernemingen of transportoperatoren die een zero-emissievoertuig aanschaffen hebben te maken met aanzienlijke meerkosten voor de aanschaf. Daar staan besparing op brandstofkosten en onderhoudskosten tegenover, en diverse fiscale voordelen. Uit Nederlandse analyse (Daniëls en Koelemeijer, 2016) blijkt dat voor bepaalde categorieën van lichte voertuigen het vanuit TCO perspectief in 2020 aantrekkelijker wordt om een zero-emissievoertuig aan te schaffen in plaats van een voertuig met verbrandingsmotor. Maar daar staan ook belemmerende factoren tegenover, waaronder meerkosten bij aanschaf, beperkingen aan de actieradius, de tijd die het kost om op te laden, en onbekendheid met zero-emissievoertuigen. Voor vrachtwagens hangt dit evenwel heel sterk af van het type voertuig. Uit de analyse van Lebeau et al. (2015) bleek dat er voor batterij-elektrische lichte vrachtwagens in België nog een kostennadeel was ten opzichte van dieselveertuigen (zie figuur hieronder). Bovendien bleek uit de analyse dat wanneer de laadcapaciteit van de onderzochte voertuigen hoger is, de elektrische alternatieven minder concurrerend worden. Het verschil tussen de diesel- en elektrische voertuigen is daar groot, variërend tussen 15 en 34 eurocent per km (Lebeau et al., 2015). Via gericht overheidsbeleid van fiscale stimuli kan het huidige verschil voor lichte vrachtwagens overbrugd worden, en de vraag (en bijhorende investeringen en technologische ontwikkelingen) voor zware vrachtwagens

Figuur 35: Totale kost van eigenaarschap voor diesel, benzine en batterij-elektrische voertuigen in België (Lebeau, et al. 2015).



gestimuleerd worden. In die optiek dient vermeld te worden dat de Vlaamse Overheid vanaf aanslagjaar 2016 een onbeperkte vrijstelling voorziet op de jaarlijkse verkeersbelasting en belasting op inverkeerstelling (BIV) voor puur elektrische voertuigen (evenals voor puur waterstof voertuigen). In die zin wordt de TCO analyse in onderstaande figuur al licht verbeterd in het voordeel van de elektrische varianten.

- IEA (2017) heeft de meerkosten van BEV's door de vereiste batterijpakketkosten ten opzichte van conventionele dieselvrachtwagens becijferd. Voor lichte BEV vrachtwagens met een bereik van 200 km wordt deze meerkost in 2017 geschat op meer dan 70.000 dollar (uitgaande van een batterijpakketkost van 350 dollar per kWh)⁴⁷ tegen een benchmark van 50.000 dollar voor een conventionele dieselvrachtwagen. Op de lange termijn zou deze meerkost kunnen dalen tot 17.000 dollar, uitgaande van een daling van de batterijpakketkost tot 100 dollar per kWh⁴⁸ en verbeteringen in efficiëntie die leiden tot een bijkomende afname van het vereiste energieverbruik met

15%. Voor zware BEV vrachtwagens met een bereik van 400 km wordt deze meerkost in 2017 door IEA (2017) geschat op meer dan 250.000 dollar (uitgaande van de batterijpakketkost van 350 dollar per kWh) tegen een benchmark van 120.000 dollar voor een conventionele zware dieselvrachtwagen. Deze meerkost zou op de lange termijn kunnen afnemen tot 40.000 dollar (uitgaande van enerzijds een daling van de batterijpakketkost tot 100 dollar per kWh en verbeteringen in efficiëntie en anderzijds kostenstijgingen voor de ICE-benchmark als gevolg van de vereisten gesteld door emissiestandaarden).

- Het is bijgevolg hoofdzakelijk het prijsverschil tussen elektriciteit (in € per kWh) en diesel (in € per liter diesel) die samen met de afgelegde afstanden de terugverdienperiode zal bepalen voor de transportondernemer die een BEV aanschaft. Deze prijzen zijn evenwel niet constant doorheen de tijd en niet eenvoudig te voorspellen naar de toekomst toe, wat de investeringsbeslissing bemoeilijkt. IEA (2017) heeft becijferd dat redelijke terugverdienperiodes voor lichte vrachtwagens die gebruikt worden

⁴⁷ Omgerekend € 297,5 per kWh tegen een wisselkoers van 1 dollar = 0,85 EUR

⁴⁸ Omgerekend € 85 per kWh. Deze raming van 100 dollar per kWh wordt zeker mogelijk geacht tegen 2030 volgens IEA (2017).

Tabel 29: Batterij-elektrische voertuigen voor wegtransport (Bron: TNO, 2018)

Bron: TNO, 2018	2015	2025	2030
Energiedichtheid batterij (Wh/kg)	125	200	200
Batterijkost (€/kWh)	350	200	120
Kosten van andere EV componenten *	€ 5.860 + 26 €/kW	€ 3.050 + € 13,5 €/kW	€ 3.050 + 13,5 €/kW
Kosten van vervangen ICE componenten **	€ 50 + 65 €/kW	€ 50 + 65 €/kW	€ 50 + 65 €/kW
Onderhoudskosten (€/km): EV/ICE	0,11 / 0,12	0,11 / 0,12	0,11 / 0,12
Levensduur batterij (aantal cycli)	3.000	5.000	5.000

(*) O.a. elektrische motor, inverter, warmtepomp, controle-eenheid, veiligheidselementen, regeneratief remsysteem

(**) Interne verbrandingsmotor (ICE), nabehandelingsysteem, transmissie en brandstoftank

voor regionale leveringen bereikt worden wanneer de jaarlijkse brandstofkosten tussen de 10.000 en 16.000 dollar liggen en er ongeveer 40.000 km per jaar mee wordt gereden. Voor conventionele zware vrachtwagens worden deze bereikt wanneer de jaarlijkse brandstofkosten tussen de 60.000 en 95.000 dollar liggen en er ongeveer 100.000 km per jaar mee wordt gereden.

- TNO (2018) heeft recent voor Nederland een vergelijkende kostenstudie uitgevoerd met betrekking tot conventionele (ICE) en batterij-elektrische vrachtwagens. Daarbij werden bovenstaande veronderstellingen gehanteerd.

Voor de energieprijzen werden volgende cijfers en assumpties gehanteerd:

- Dieselprijzen: 1,07 €/l (2015), 1,27 €/l (2025) en 1,37 €/l (2030)
- Elektriciteitsprijzen: 0,35 €/kWh (2015), 0,36 €/kWh (2025) en 0,36 €/kWh (2030) (dit is telkens inclusief een additionele kost voor de snellader van 0,14 €/kWh)⁴⁹

Er werd een "totale kost van eigenaarschap" of TCO uitgevoerd voor twee BEV toepassingen:

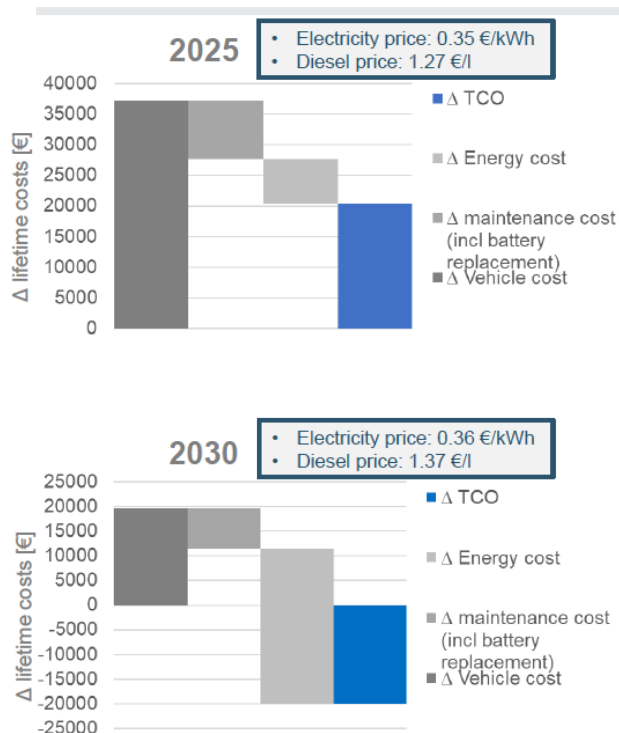
1. Lichte vrachtwagen (*medium rigid truck*): supermarktbelevering met een vaste combinatie (2.350 kg lading)

Daarbij werd uitgegaan van een gemiddelde snelheid van 25 km/h, rijtijd van 10,5 uur per dag (= 263 km/dag), een totale afstand van 630.000 km over een levensduur van 8 jaar, laadbeurten via een snellader van 50 kW, een vereiste batterij van 219 kWh en een energieverbruik van 1,4 kWh/km.

Het resultaat toont dat in 2025 het kostenvoordeel in energiekost en onderhoudskost de initiële meerinvestering nog niet kan compenseren (meerkost van € 20.000). In 2030 is de

TCO echter wel duidelijk in het voordeel van de BEV lichte vrachtwagen (minderkost van € 20.000). Sensitiviteitsanalyse toont aan dat een kleinere batterij (en dus lagere investering) met snellere oplaadbeurten de business case kan verbeteren, maar dat evoluties over tijd in dalende batterijkosten en stijgend relatief prijsverschil van diesel ten opzichte van elektriciteit een grotere impact hebben op de kosteneffectiviteit dan de batterijgrootte (TNO, 2018).

Figuur 36: TCO - BEV 1 (Bron: TNO, 2018)



⁴⁹ De kost van een 50 kW snellader (in €/kWh) varieert in functie van de benuttingsgraad (TNO, 2018):

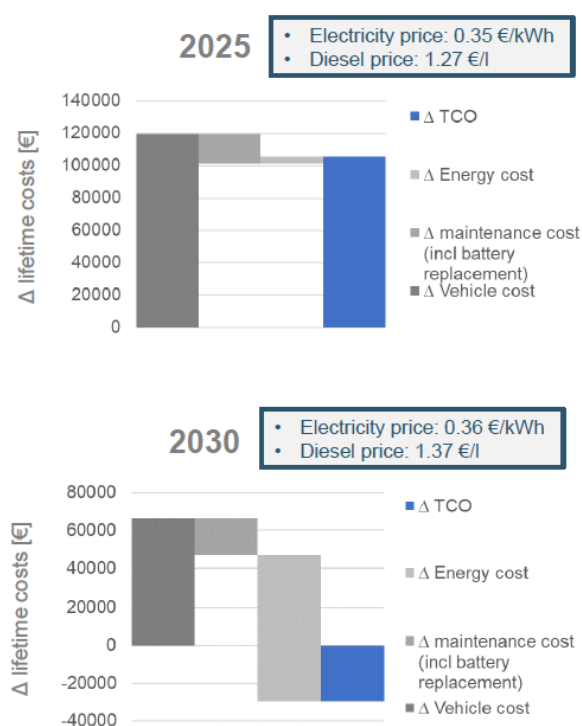
1 uur per dag: 1,10 €/kWh
 2 uur per dag: 0,55 €/kWh
 4 uur per dag: 0,28 €/kWh
 8 uur per dag: 0,14 €/kWh

2. Zware vrachtwagen: lange afstandtrekker op-
legger (24.270 kg lading)

In deze simulatie werd uitgegaan van een gemiddelde snelheid van 75 km/h, rijtijd van 10 uur per dag (= 750 km/dag), een totale afstand van 1,8 miljoen km over een levensduur van 8 jaar, laadbeurten via overnacht lader van 75 kW en snellader van 350 kW tijdens rustpauzes, een vereiste batterij van 663 kWh en een energieverbruik van 1,5 kWh/km.

Het TCO resultaat toont dat in 2025 het kostennadeel van de BEV nog erg hoog is (meerkost van € 105.000) maar dat deze wel positief wordt in 2030 (minderkost van € 30.000). Sensitiviteitsanalyse toont ook hier aan dat een kleinere batterij met snellere op-
laadbeurten de business case kan verbeteren maar dat dalende batterijkosten en stijgend relatief prijsverschil een grotere impact hebben op de kosteneffectiviteit (TNO, 2018).

Figuur 37: TCO - BEV 2 (Bron: TNO, 2018)



- De investering in voldoende laadinfrastructuur is een vereiste voor introductie van BEV's in vrachtvervoer maar voor lichte vrachtwagens en zeker bestelwagens kan gebruik gemaakt worden van laadinfrastructuur voor personenwagens. Voor zware voertuigen lijkt selectieve plaatsing van laadinfrastructuur langs corridors (vb vrachtwagenstops) en bij bedrijven aangewezen. Er bestaan momenteel plannen tot uitrol van snelladers op EU niveau vanuit de privésector (zie verder).
- Kosteneffectiviteit van maatregelen ter stimulering van introductie van elektrische vrachtvoertuigen berekenen is niet eenvoudig, vanwege de talrijke factoren die met een introductie van deze maatregel samenhangen⁵⁰. Zo zal de introductie van elektrische bestelwagens op vlak van noodzakelijke laadpalen en elektrische energievoorziening deels overlappen met deze van de introductie van elektrische personenvoertuigen (ook al is de optimale locatie van de publieke laadinfrastructuur niet compleet overlappend).
- Maatregelen gericht op het stimuleren van technologieën in een vroege fase van innovatie, scoren doorgaans ongunstig wat betreft kosteneffectiviteit op korte termijn, maar voor het leerproces van dergelijke technologieën is het cruciaal dat er ervaring mee wordt opgedaan en dat er ondersteuning is in deze fase van technologieontwikkeling (Daniëls en Koelemeijer, 2016). De hoogte van de vrijgemaakte beleidsmiddelen ter ondersteuning van de technologische ontwikkeling zal mee de snelheid van introductie bepalen.
- Meer algemeen bevestigt de studie van Daniëls en Koelemeijer (2016) het grote reductiepotentieel van introductie van zero-emissie voertuigen (elektrisch of waterstof) op lange termijn (voor Nederland is reductiepotentieel van 15-20 Mton CO₂ per jaar vooropgesteld als haalbaar).
- Tot slot dient aangestipt te worden dat het stimuleren van zero-emissievoertuigen leidt tot een afname van niet-ETS-emissies en tot een toename van ETS-emissies (in de mate dat de energieproductie emissies veroorzaakt). Omdat het emissieplafond binnen ETS vastligt, dient deze emissietoename elders en/of later gecompenseerd te worden door een emissieafname (het zogenaamde waterbed-effect).

⁵⁰ Een indicatie van de kostenefficiëntie van fiscaal stimuleren van introductie van elektrische (personen)voertuigen kan gehaald worden uit de analyses die in Nederland werden uitgevoerd door Daniëls & Koelemeijer (2016) in kader van beleidsmaatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies. De kosteneffectiviteit vanuit nationaal perspectief van een fiscaal stimuleringsbeleid werd hierin geraamd op 916 € per ton CO₂ in 2020 en tussen de 60€ en 90 € per ton CO₂ in 2030 (afhankelijk van de veronderstelde elektriciteitsmix in de WTW-benadering, aangezien er in deze analyse niet wordt uitgegaan van volledig hernieuwbare elektriciteitsgeneratie). Deze kosteneffectiviteit wordt wel als zeer onzeker aangemerkt, omdat zowel de teller (meerkosten van BEV ten opzichte van een auto met verbrandingsmotor) als de noemer (de emissiereductie als gevolg van BEV) onzeker zijn. De meerkosten van BEV's hangen sterk af van de veronderstelde prijs voor batterijen en de gewenste actieradius (die bepalend is voor de benodigde batterijcapaciteit). Deze analyse kan relevant zijn voor de introductie van batterij-elektrische bestelwagens en lichte vrachtwagens maar is dit waarschijnlijk minder voor zware vrachtwagens, waar andere technische vereisten aan voertuig en laadinfrastructuur worden gesteld.

Timing:

- Technische implementeerbaarheid:
 - Lichte vrachtwagens en bestelwagens (voor stedelijk transport): eerste modellen zijn nu reeds beschikbaar, vanaf 2025 wordt massaproductie verwacht.
 - Laadinfrastructuur verder uit te rollen.
 - Zware vrachtwagens:
 - 2025: demonstraties van plug-in hybride, hybride en volledig batterij-elektrische lange-afstandsvrachtwagens (afhankelijk van bereik en belading).
 - 2030: elektrische zware vrachtwagens op specifieke locaties en logistieke corridors in heel Europa, geïntegreerd in flexibele energiesystemen die potentieel van dynamische wegsystemen en laadpunten langs truckstops combineren.
 - Recente studie van TNO (2018) stelt dat BEV-vrachtwagens technisch en bijna economisch haalbaar zullen zijn tegen 2025 voor een beperkt aantal marktsegmenten (bijvoorbeeld lichte vrachtwagens in retail). Tegen 2030 wordt verwacht dat BEV lichte en ook zware vrachtwagens economisch competitief kunnen zijn voor een brede waaier van toepassingen.
 - Een marktanalyse door Frost & Sullivan van eind 2017 geeft een overzicht van de kansen op de wereldwijde markt voor middelzware elektrische vrachtwagens in de periode 2016-2025. Daaruit blijkt dat de Chinese markt voor elektrische vrachtwagens de wereldwijde leider op het gebied van elektrisch zwaar materieel zal zijn en naar verwachting zal worden gedomineerd door volledig elektrische vrachtwagens met een marktaandeel van nieuwe voertuigen van 61,1%, gevolgd door plug-in hybride met 28,5% en hybride met 10,4%, tegen 2025. De acceptatie van alternatieve aandrijvingen zal waarschijnlijk toenemen, vooral bij middelgrote en zware vrachtwagens in China. De studie verwacht dat de Europese markt voor elektrische vrachtwagens zal worden gedomineerd door volledig elektrische vrachtwagens met een marktaandeel van 54,6%, gevolgd door plug-in hybride vrachtwagens met 37,4% aandeel en hybride vrachtwagens met 8,0%, tegen 2025. Daarbij wordt ook verwezen naar het feit dat verschillende West-Europese landen van plan zijn om een ICE verbod in te voeren vanaf 2025-2030, met uitbreidende emissiearme zones om diesel- en benzinemotoren te verbieden.

Voorwaarden en barrières :

- De vijf grootste obstakels voor gebruikersacceptatie van elektrische voertuigen die aangepakt moeten worden zijn volgens ERTRAC (2017): hoge kosten, onhandig en traag opladen, beperkt bereik, waargenomen gebrek aan toegevoegde waarde en bezorgdheid omtrent beperkte/verminderde mobiliteit.
- Brede introductie van BEV-vrachtoertuigen vereist tevens verdere uitbouw van laadinfrastructuur om aan de oplaadbehoeftes te kunnen voldoen. Daarnaast is de financiering van de vereiste introductie van een smart grid structuur om het elektrisch energiesysteem te balanceren een mogelijke barrière voor de massale introductie van BEV's in het transportsysteem. De verwachte toename van BEV's op de weg vormt immers een uitdaging voor energiebedrijven. Hoewel BEV vrachtoertuigen tegen 2030 niet verwacht wordt te zullen leiden tot een substantiële toename van de vraag naar elektrische energie⁵¹, zullen ze wel de laadcurve mee hervormen en zo nieuwe uitdagingen aan het elektriciteitsnetwerk stellen. Dit komt vooral door drie effecten (McKinsey, 2018):
 - Massaal laden van vrachtoertuigen na de werkuren (bovenop de piekladingen door personenwagens 's avonds).⁵²
 - Piekladingen op lokaal niveau in bepaalde gebieden waar veel vrachtoertuigen gestationeerd zijn (bijvoorbeeld bij depots van transportondernemingen)
 - Snelladers voor zwaardere vrachtoertuigen stellen grotere eisen aan het netwerk.

Naast hogere piekbelastingen zullen ook de zeer volatile belastingprofielen van openbare snellaadstations extra systeembalans vereisen. Eén enkel snellaadstation kan immers snel de piekbelastingcapaciteit van een standaard transformator overschrijden. Piekbelastingen van lokale substations door toenemend opladen van BEV's zal ertoe leiden dat lokale transformatoren uiteindelijk hun capaciteit zullen overschrijden, waardoor upgrades nodig zijn. McKinsey (2018) heeft becijferd dat de kapitaaluitgaven als functie van de BEV-penetratie op nationaal niveau een S-curve volgen. Dit betekent dat initieel zeer weinig upgrades vereist zijn bij lage EV-penetraties, maar deze plots zeer snel kunnen stijgen als het aantal EV's toeneemt, om uiteindelijk weer af te vlakken bij hoge penetratieniveaus. Zonder sturende actie wordt geschat dat de cumulatieve behoefte aan

⁵¹ McKinsey (2018) heeft becijferd dat als passagiers-BEV's in Duitsland in 2030 7% van het wagenpark zouden uitmaken, dit slechts tot een bijkomende elektriciteitsvraag van 1% zou leiden. Naar 2050 toe met een penetratiegraad van 40% zou dit wel kunnen oplopen tot 4% bijkomende energievraag. De elektrificatie van het vrachtovervoer naar 2030 toe zou geen al te grote bijkomende elektriciteitsvraag genereren naar 2030 toe.

⁵² Dit kan eventueel deels opgevangen worden via het slim aansturen van laadgedrag, bijvoorbeeld door het geven van incentives om op andere uren (zoals later tijdens de nacht) op te laden.

netinvesteringen meer dan enkele honderden euro per BEV zouden kunnen bedragen. Als alternatief zoekt men daarom om via ontplooiing een smart grid meer lokale oplossingen te kunnen inzetten, zoals het co-lokaliseren van een energieopslagunit met transformator die kan opgeladen worden in tijden van lage energievraag.⁵³ De opslageenheid ontladt vervolgens in tijden van piekvraag, waardoor de piekbelasting wordt verminderd. Omdat de kosten van batterijen snel blijven dalen, wordt het gebruik van energieopslag om laadprofielen af te vlakken steeds aantrekkelijker. Via de smart grid kunnen daardoor aanpassingen aan het elektriciteitsnetwerk beperkt worden, maar de kosten voor de uitbouw van deze smart grid zouden wel (deels) bij de consumenten (bedrijven en private personen) gelegd kunnen worden. Er wordt daarom volop gezocht naar business modellen om dit economisch haalbaar te maken.

- Met betrekking tot laadinfrastructuur staat de uitrol gepland van een netwerk van meer dan 10.000 laadpunten met ultra-snelladers (van 350 kW) in de EU door consortia van energieleveranciers, met de steun van verschillende grote vrachtwagenfabrikanten. Dit zou de laadtijd van 900 kWh lange afstands-vrachtwagens herleiden tot 2,5 uur. Daarnaast heeft Tesla de uitrol van nog zwaardere 1 MW laadpunten aangekondigd (TNO, 2018).
- Onzekerheid omtrent de snelheid in technologische vooruitgang om elektrische zware vrachtwagens te ontwikkelen voor langere afstand-transport (evolutie batterijtechnologie of ontwikkeling waterstof) maakt de inschatting naar 2030 complex. De energie-efficiëntieverhouding van de batterij ten opzichte van diesel verbetert wanneer de gemiddelde snelheid afneemt dus voorlopig zijn BEV's meer geschikt voor stedelijke omgeving en korte afstandstransport.
- De groeiende penetratie van elektrische en hybride aandrijftechnologieën in bedrijfsvoertuigen, vooral binnen stadsgrenzen, stimuleert de vraag naar nieuwe soorten aandrijflijnen. Axles en motoren die naast wielnaven zijn gemonteerd, zijn nieuwe technologieën die intrede vinden bij elektrische zware vrachtwagens.
- De meeste gangbare technologieën in producten worden steeds kleiner, sneller en goedkoper, maar

batterijen zijn hier een opmerkelijke uitzondering. Het aantal transistors en de snelheden en algehele computerkracht van processoren verdubbelen elke twee jaar (cf wet van Moore), terwijl het bijna 20 jaar duurde om de energie-inhoud van een typische Li-ion batterij te verdrievoudigen. De batterijprijzen zijn sinds 2010 wel met ongeveer 50% gedaald en zullen naar verwachting in de komende 4 tot 6 jaar verder met 50% afnemen. In batterijen zal lithium-zwavel waarschijnlijk worden gebruikt als de volgende batterijchemie, maar er wordt ook nog vooruit-

gang geboekt in de lithium-ion-technologie. Op de langere termijn wordt gekeken naar de ontwikkeling van grafeen polymeer batterijtechnologie, die de mogelijkheid biedt om elektriciteit bijna tien keer efficiënter op te slaan dan de huidige 1000 W/kg, met de mogelijkheid om sneller op te laden en een veel langere levensduur te behouden. Het is evenwel twijfelachtig of vrachtwagens met dergelijke technologie op de markt beschikbaar zullen zijn tegen 2030.

- In vergelijking tot BEV's die ingeschakeld worden op ERS zijn de batterijvereisten en dus ook de benodigde (zeldzame) metalen voor onafhankelijke BEV vrachtwagens groter.
- Details met betrekking tot de implementatie van elektrische vrachtvoertuigen wordt gegeven in ETRAC European Roadmap Electrification of Road Transport (2017), waar een specifieke roadmap voor geëlektrificeerd lange-afstandstransport vrachtwagens in EU wordt uitgetekend.
- Om de TCO van BEV's aantrekkelijker te maken ten opzichte van conventionele vrachtwagens kunnen ondersteunende maatregelen vanuit de overheid geïntroduceerd worden. In 2018 kondigde de Duitse regering bijvoorbeeld aan dat met ingang van 1 januari 2019 de tol (LKW-Maut) verlaagd zal worden voor elektrische semi-vrachtwagens om de langzame elektrificatie van het vrachtwagenvervoer te stimuleren via de resulterende besparing voor transportbedrijven.
- Het integreren van een stimulans voor emissievrije en emissiearme voertuigen in de CO₂-emissiestandaarden voor vrachtwagenfabrikanten (zie fiche "CO₂-emissiestandaarden") is een cruciaal element voor de ontwikkeling en marktintroductie van dergelijke voertuigen. In het huidige voorstel van de Commissie is er sprake van een systeem van superkredieten waarbij dergelijke voertuigen meerdere keren geteld zouden mogen worden om de gemiddelde specifieke emissies van een fabrikant te bepalen. Maar ook andere systemen zijn mogelijk ter stimulering van zero-emissievoertuigen (ZEV), zoals zero-rating, ZEV credits en (al dan niet flexibele) ZEV-mandaten (waarbij fabrikanten verplicht of beloofd worden om een bepaald percentage ZEV's te verkopen per jaar).⁵⁴
- Naast het stimuleren van de aanbodzijde, dient er simultaan aan de vraagzijde gewerkt te worden. Daarbij kan een geleidelijke (stedelijke) phase-out van verbrandingsmotoren door het introduceren van zero-emissiezones een belangrijke factor zijn die economische actoren stimuleert om BEV's te integreren in hun operaties. Een andere maatregel is het promoten van carbon footprinting en al dan niet vrijwillige rapportering van logistieke emissies door bedrijven, eventueel gekoppeld aan bepaalde (fiscale) stimuli.

⁵³ In een smart grid kunnen BEV's zelf mee ingeschakeld worden als opslagmogelijkheid van stroom (bijvoorbeeld voor de opslag van overtollige windenergie) en zo mee bijdragen aan de stabilisering van het netwerk. Ze kunnen dan tevens bijvoorbeeld fungeren als reserve stroombron voor een huishouden.

⁵⁴ Voor een bespreking van de verschillende systemen en de implementatiemogelijkheden, zie TNO (2018).

Conclusie

De maatregel zet in op het gebruik van batterij-elektrische vrachtoertuigen. BEV voertuigen worden in deze analyse als zero-emissievoertuigen meegenomen vanuit een WTW perspectief. Dit veronderstelt dat erop termijn hernieuwbare elektriciteit wordt aangewend. De introductie van BEV's lijkt essentieel om op termijn de uitstoot van CO₂ door het goederenvervoer in Vlaanderen te reduceren, maar op basis van de huidige CPT-doelstellingen is de bijdrage aan de CO₂-reductiedoelstellingen voor 2030 relatief beperkt. Deze CPT doelstellingen hebben voor BEV's naar 2030 toe immers vooral een effect op de vloot van bestelwagens en lichte vrachtwagens tot 12 ton, welke slechts een relatief beperkt deel van de voertuigkilometers in vrachttransport over de weg voor hun rekening nemen. Voor zware vrachtwagens (>12 ton) is het potentieel van batterij-elektrische voertuigen tegen 2030 moeilijker in te schatten en daarom in de analyse in lijn met de huidige CPT-doelstellingen relatief gering gehouden. Om bijkomende CO₂-besparingen te realiseren zouden de in dit scenario opgenomen CPT-doelstellingen scherper gesteld kunnen worden. Dit lijkt in bepaalde segmenten realistisch indien de gepercipieerde barrières worden aangepakt. Het vervangen van voertuigen bij transportondernemingen gebeurt sowieso en vraagt in eerste instantie geen bijkomende aanmoediging indien TCO waarden economisch competitief zijn. Het aankopen en ook de total cost of ownership van BEV's zelf is momenteel nog (te) nadelig, maar verwachting is dat deze geleidelijk competitief gaan worden. Zeker voor bestelwagens en lichte vrachtoertuigen kan dat al in de komende jaren bereikt worden. Voor zware vrachtoertuigen dient er een groter verschil overbrugd te worden maar geven sommige studies naar 2030 toe economisch haalbare scenario's aan. Hier kan de overheid een ondersteunende rol spelen⁵⁵. Elektriciteit zelf, net als aandrijving, dient eveneens betaalbaar te zijn en laadinfrastructuur moet verder ontwikkeld worden. Kosteneffectiviteitsanalyses wijzen op lage effectiviteit in de beginfase maar langere termijn zouden significante nationale nettobaten gerealiseerd kunnen worden. Deze maatregel is bovendien in lijn met de doelstellingen van 2050 en wordt daarom mee opgenomen in de basis van het voorkeursscenario.

Bronnen :

- Clean Power for Transport prognose
- Daniëls, Koelemeijer (PBL) (2016) Kostenefficiëntie van beleidsmaatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies, Bijlage bij het IBO kostenefficiëntie CO₂-reductiemaatregelen
- den Boer, Aarnink, Kleiner, Pagenkopf (2013) Zero emission trucks. An overview of state-of-the-art technologies and their potential. CE Delft
- ERTRAC (2017) European Roadmap Electrification of Road Transport (version 3), https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id50/ERTRAC_ElectrificationRoadmap2017.pdf
- International Energy Agency (2017) The Future of Trucks: Implications for Energy and the Environment
- Lebeau, Macharis, Van Mierlo, Lebeau (2015) Electrifying light commercial vehicles for city logistics? A total cost of ownership analysis. *The European Journal of Transport and Infrastructure Research* 15 (4), 551-569
- Lebkowski (2017) Electric Vehicles Trucks – Overview of Technology and Research Selected Vehicle
- McKinsey (2018) The potential impact of electric vehicles on global energy systems
- Moultak, Lutsey, Hall (ICCT) (2017) Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles. White paper
- Verbeek, Van Gijlswijk, van Zyl, van Eijk, Vermeulen, Huismans, Smokers (TNO) (2018) Assessments with respect to the EU HDV CO₂ legislation. Work in support of the Dutch position on EU regulation on the CO₂ emissions of Heavy Duty vehicles. TNO 2018 P10214
- <https://cleantechnica.com/2017/12/16/electric-semi-trucks-heavy-duty-trucks-available-models-planned-models/>

⁵⁵ Dit kan op verschillende manieren bijvoorbeeld via een aangepaste kilometerheffing, verlaging van BTW op elektriciteit, subsidies bij de aanschaf van het voertuig of bij het voorzien van (publieke) laadpunten, invoering van zero-emissiezones, verplichte bedrijfsrapportering van logistieke emissies, enz.

02.10. Waterstof

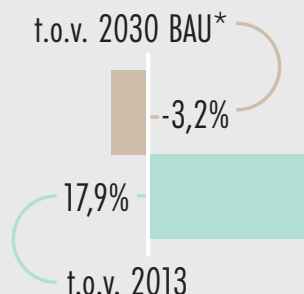
Korte beschrijving :

Deze maatregel bekijkt de introductie van vrachtoertuigen met brandstofcel die waterstof opgeslagen in een hoge-druk-tank aan boord van het voertuig omzet in elektriciteit om het voertuig aan te drijven. Hierdoor is deze wagen volledig uitstootvrij tijdens gebruik (TTW). Brandstofcelvoertuigen of Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) aandrijvingen zijn hybride, omdat de remenergie wordt gerecupereerd en opgeslagen in een batterij. De batterij vermindert ook de vraag van de brandstofcel tijdens acceleratie en maakt optimalisatie van de operationele efficiëntie mogelijk. In vergelijking met batterijen heeft waterstof op een druk van 70 megapascal (MPa) een veel hogere energiedichtheid (ongeveer zes keer hoger per volume-eenheid en ongeveer 300 keer hoger per gewichtseenheid). De actieradius en tanksnelheid zijn vergelijkbaar met die van voertuigen op traditionele brandstof, wat de operationele impact bij vervanging van bestaande benzine- en diesellootvoertuigen minimaliseert. Waterstof wordt momenteel reeds in beperkte mate toegepast in bussen, heftrucks, vuilniswagens, vaartuigen en personenwagens. Trucks voor lange afstandstransport zitten in ontwikkelingsfase.

In een analyse van mogelijke zero-emissie technologieën voor zware bedrijfsvoertuigen stelt ICCT (Moultak et al., 2017) dat waterstof vooral in aanmerking komt voor zware trekker-opleggers in lange-afstandsoperaties en trekkers voor havengebonden activiteiten (drayage⁵⁶). De belangrijkste barrières voor grootschalige introductie van deze technologie zijn momenteel de kosten van de tankinfrastructuur, de kost van duurzame waterstof en de voertuigkost (met name de brandstofcel), maar tegen 2030 wordt ingeschat dat deze technologie economisch rendabel zou kunnen zijn, mits aan bepaalde randvoorwaarden voldaan is (zie verder bij kosteneffectiviteit en barrières). Ook voor bestelwagens zijn FCEV's een potentiële zero-emissie oplossing, maar Kleiner et al. (2016) hebben berekend dat door de hoge kosten van de brandstofcel momenteel de totale kosten van eigenaarschap nog hoger zijn dan voor conventionele, hybride en batterij-elektrische bestelwagens.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

In de modeldoorrekeningen worden voertuigen op waterstof beschouwd als zero-emissie op basis van hernieuwbare elektriciteit (zie verder bij barrières).



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

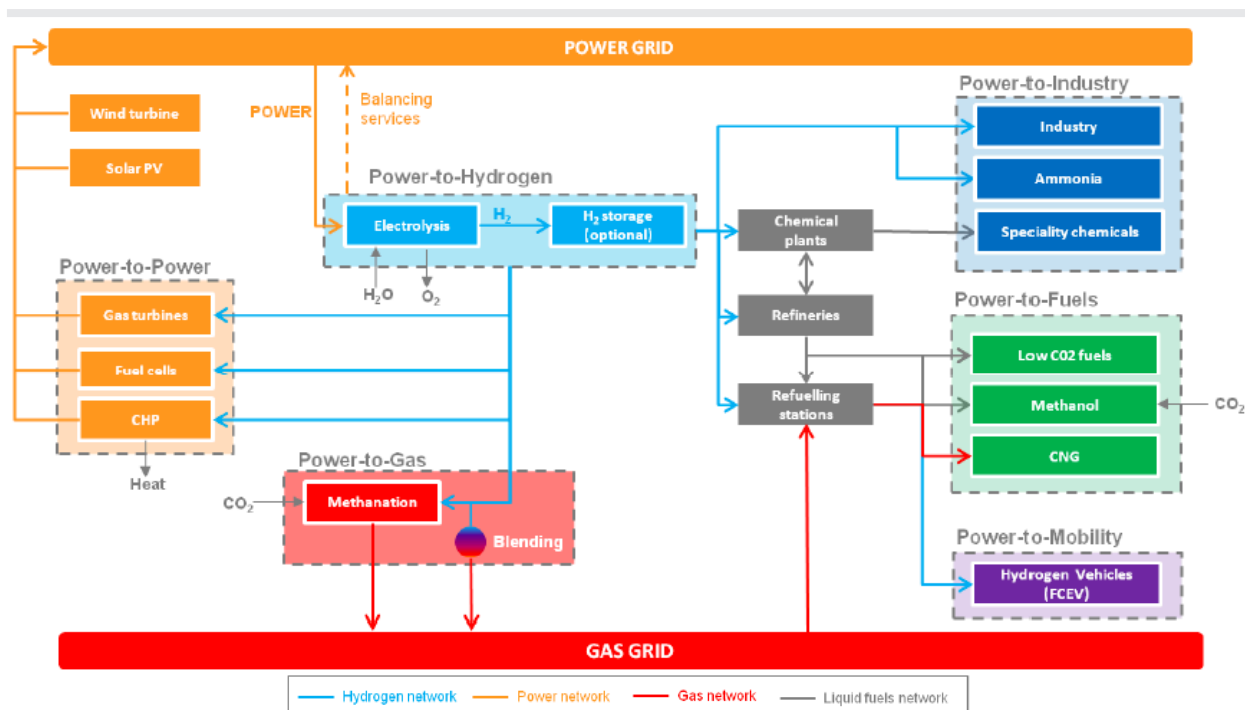
- **Vertaling naar Voorkeursscenario:** Een percentage aan zero-emissievoertuigen met brandstofcel uit de modeldoorrekening wordt in het voorkeurscenario meegenomen. Daarbij wordt opgemerkt dat de gehanteerde percentages mogelijk aan de optimistische kant zijn (zie verder). Belangrijkste oorzaak waarom dit scenario beter scoort dan het BEV scenario (zie fiche "Batterij-elektrische voertuigen voor wegtransport") is dat waterstof geschikter is voor zware vrachtwagens, en hun aandeel in deze simulatie dan ook significant hoger is (2,5% van de voertuigvloot versus 0,6%).
- **Energieverbruik elektriciteit:** voor de maatregelen die resulteren in elektrificatie van transport wordt op basis van de modeldoorrekening een inschatting gegeven van het bijkomende elektrische verbruik. Relevant bij deze maatregel is dat de efficiëntie bij de opwekking van waterstof voor gebruik in FCEV's lager ligt dan wanneer elektriciteit gebruikt wordt voor het laden van BEV's (zie fiche "Elektrisch energieverbruik"). Dit resulteert in een hoger energieverbruik per kilometer voor de voertuigen tijdens het rijden op waterstof ten opzichte van BEV's (270 kWh/100km bij FCEV's versus 200 kWh/100km bij BEV).
 - Totaal elektrisch energieverbruik FCEV's in jaar 2030: **692,6 GWh**
- Waterstof kan op verschillende manieren geproduceerd worden (zie fiche "Well-to-Tank analyse energiedragers"). Eén van de mogelijkheden om tot zero-emissietransport te komen vanuit WTW-perspectief is door het produceren van hernieuwbaar waterstof (en hernieuwbaar methaan) via de mogelijkheden geboden door Power-to-X. Via Power-to-X kan waterstof of methaan gebruikt worden voor grootschalige energieopslag (daar waar batterijsystemen meer voor kleinschalige elektriciteitsopslag geschikt zijn). Power-to-X is een energieopslagtech-

⁵⁶ Drayage is de vergoeding voor het transport van goederen over een korte afstand.

niek waarbij elektrische energie omgezet wordt in chemische energie in de vorm van waterstof of gas (wat makkelijker op te slaan is dan elektriciteit). Op deze manier kan overtollige elektriciteit van windturbines en zonnepanelen op momenten dat de vraag naar elektriciteit lager ligt dan de productie gebruikt worden voor de productie van hernieuwbare energiedragers. Dit zorgt voor evenwicht van vraag en aanbod op het elektriciteitsnet en laat toe om grote hoeveelheden elektrische energie (tijdelijk) op te slaan voor later gebruik. Het belangrijkste voordeel van Power-to-X op basis van hernieuwbare elektriciteit is dan ook het bekomen van een nieuwe emissievrije energiedrager/buffer die multi-inzetbaar is (particulier en industrieel) en getransporteerd kan worden (via pijpleidingen, zeevaart en wegverkeer). De onderstaande figuur geeft de mogelijke valorisatiepaden van Power-to-X, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen:

- Power-to-Power (P2P): waterstof kan gebruikt worden om elektriciteit te produceren die terug in het netwerk wordt gestuurd
- Power-to-Gas (P2G): onder bepaalde omstandigheden kan waterstof rechtstreeks geïnjecteerd worden in het gasnetwerk voor het verduurzamen van aardgas, al dan niet in combinatie met biogas, om zo CO₂-neutraal te zijn (TTW).
- Power-to-Mobility (P2M): gebruik van waterstof in voertuigen met brandstofcel (FCEV)
- Power-to-Fuels (P2F): waterstof kan ook in de mobiliteitssector gebruikt worden voor de productie van methanol, methaan en het verlagen van de koolstofafdruk van brandstoffen uit het traditionele raffinaderijproces⁵⁷.
- Power-to-Industry: waterstof is een belangrijk industrieel gas welke via deze weg gebruikt kan worden in de vergroening van de productie van ammoniak en specifieke chemicaliën ('specialty chemicals') en in de petrochemische sector.

Figuur 38: Power-to-X valorisatiepaden (Thomas et al., 2016)



⁵⁷ In dit proces wordt de CO₂-uitstoot van de raffinageprocessen afgevangen om deze chemisch te binden met H₂.

Model : TRABAM

In dit scenario wordt de voertuigvloot van transporteurs in TRABAM aangepast zodoende dat ze op waterstof aangedreven voertuigen mee opnemen in hun optimalisatieproces. Deze aanpassing gebeurt in functie van de huidige vloot kenmerken van de transporteur: hoe groter aandeel euro 6 in de voertuigvloot, hoe groter de kans dat een transporteur een voertuig zal vervangen door een vrachtoertuig op waterstof. Er wordt een aandeel van 6% gerekend voor lichte vrachtoertuigen tegen 2030, en 2,5% voor zware vrachtoertuigen tegen 2030. Deze percentages zijn gebaseerd op prognoses van de Hydrogen Council (2017). Dit scenario vanuit de sector geeft vermoedelijk wel een eerder optimistisch toekomstbeeld. Als randvoorwaarde wordt verondersteld dat er voldoende waterstof voor transport beschikbaar is en dat er voldoende tankinfrastructuur aanwezig is zodoende dat er geen extra kilometers afgelegd moeten worden voor het tanken.

Effect op luchtvervuiling :

Sterk positief effect want FCEV zijn TTW zero-emissievoertuigen en veroorzaken dus geen uitlaatemissies van luchtverontreinigende pollutanten. De totale WTW emissiereductie is wel sterk afhankelijk van de *pathway* van het geproduceerde waterstof (WTT emissies).

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving: afhankelijk van kostimpact van "totale kost van eigenaarschap" (TCO of *total cost of ownership*) van FCEV vrachtwagens voor transportoperator (bij duurdur worden van wegvervoer treedt er mogelijk modale verschuiving op van weg naar spoor en/of binnenvaart).
- Secundaire effecten:
 - impact op andere sectoren: de energiesector, industrie, verwarming zijn in competitie met transport voor het beschikbare hernieuwbare waterstof, dat best wordt aangewend in sectoren die het moeilijkst te decarboniseren zijn.
 - dalende vraag naar fossiele brandstoffen: mogelijk fiscale implicaties.

Lock-in:

Geen lock-in van op fossiele brandstof gebaseerde technologie: de maatregel vereist wel investeringen in vlootvernieuwing en aanpassingen aan tank- en/of laadinfrastructuur maar deze is gericht op introductie van zero-emissievoertuigen (en dus weg van fossiele brandstoftechnologie). De keuze van zero-emissietechnologie zelf kan mogelijk wel een lock-in veroorzaken: inzetten op waterstoftechnologie vereist de uitbouw van productiefaciliteiten, gespecialiseerde tankinfrastructuur en distributienetwerk, evenals investeringen in vlootvernieuwing (FCEV's). De impact is dus niet beperkt tot de transportsector en vereist fundamentele aanpassingen in de energiesector.

Toepassingsgebied:

- Stedelijk en buitengebied
- Licht en zwaar vrachtvervoer
- Korte en lange afstand
- Mogelijk het meest aangewezen voor zwaar vrachtransport over lange afstand omdat dit moeilijkst te decarboniseren is.

Kosteneffectiviteit :

- Ondanks aanzienlijke verminderingen in de kosten van brandstofcellen en waterstofopslagtanks in de afgelopen tien jaar, blijft de hoogte van deze kosten momenteel nog steeds een van de belangrijkste obstakels voor voertuigen met waterstofbrandstofcellen (inclusief vrachtwagens) (IEA, 2017). Er zijn evenwel veelbelovende vooruitzichten voor verdere kostenbesparingen voor zowel brandstofcellen als waterstofopslagsystemen. Zo wordt geschat dat het technologisch potentieel van grootschalige productie met technologie van de volgende generatie de productiekosten van brandstofcellen kan verlagen tot waarden tussen 34 €/kW tot 51 €/kW).⁵⁸ Zware transporttoepassingen kennen niet-lineaire kostencurves en uitgesproken leercurves, waarbij de grootste inspanningen in de startfase vereist zijn en er aanzienlijke onzekerheden zijn. Het realiseren van deze kostenbesparingen zal immers afhangen van de mate waarin deze technologieën zullen worden toegepast, wat op zijn beurt afhangt van de waarschijnlijkheid dat waterstof zal gebruikt worden als een energiedrager in het energiesysteem.
- Grootschalige Stoom Methaan Reformatie (SMR) is momenteel de goedkoopste optie voor waterstofproductie. De kosten hiervan werden in 2015 geschat op 26 €/MWh tot 60 €/MWh (0,03 €/kWh tot 0,06 €/kWh)⁵⁹ voor Europa (IEA, 2017). Samen met de vereiste transport- en distributiekosten vormt dit de maatstaf waartegen alternatieve, koolstofarme waterstofproductiepaden afgezet moeten worden.
- De kosten voor het produceren van duurzame waterstof door elektrolyse van water via hernieuwbare energie zijn in de eerste plaats afhankelijk van de elektriciteitsprijs en in de tweede plaats van de kosten en bezettingsgraad van de elektrolysetoestellen (Thomas et al., 2017). Voor de productie van waterstof hangen deze bezettingsgraden immers nauw samen met de elektriciteitsprijzen. Overtollige en goedkope elektriciteit uit hernieuwbare energie is onvoldoende beschikbaar om voldoende bezettingsgraad van de elektrolysetoestellen te garanderen, waardoor een goedkope productie van waterstof nog niet mogelijk is. Om de vereiste hoge capaciteiten van de elektrolysetoestellen te bereiken zal dus ook elektriciteitsproductie tegen hogere prijzen vereist zijn. De minimumprijs die consumenten van duurzame koolstofarme waterstof hierdoor aan de pomp zouden betalen wordt door IEA (2017) geschat op

⁵⁸ In IEA (2017) worden prijzen in US dollar gegeven. Deze werden omgerekend naar EUR aan een wisselkoers van 1\$ = 0,85€.

⁵⁹ Idem.

85 €/MWh (0,09 €/kWh)⁶⁰, wat dus aanzienlijk hoger is dan de kost op basis van SMR. Gezien de aannames van het Federaal Planbureau over de ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen in België tot 2050, wordt ook in Vlaanderen niet verwacht dat een overschot aan hernieuwbare energie de belangrijkste driver zal zijn voor Power-to-X-toepassingen (Thomas et al., 2016).

- In de Power-to-Gas roadmap voor Vlaanderen stellen Thomas et al. (2016) dat Power-to-Mobility de meest veelbelovende toepassing is voor het gebruik van duurzame waterstof. Voor waterstofvervoer blijft de inzet van waterstoftankstations (*Hydrogen Refueling Station* of HRS) echter zeer uitdagend (financiering) en het is cruciaal om de ontwikkeling van HRS te koppelen aan de ontwikkeling van FCEV-voertuigen om voldoende waterstofvraag en redelijke prijzen te genereren. Vloeibare brandstoffen die waterstof en CO₂ combineren, vereisen een extra processtap, wat resulteert in hogere productiekosten, maar kan voordelen hebben met betrekking tot transport en opslag.
- Het investeringsrisico bij de ontwikkeling van tankstations is voornamelijk te wijten aan hoge kapitaal- en operationele kosten en de onderbenutting van faciliteiten tijdens ontwikkelingsfase van de FCEV-markt. Bij vrachtwagens zorgt de hoge druk van waterstof (70 MPa) voor opwaartse druk op de kosten voor de benodigde compressoren in het tankstation. De mogelijkheid om voort te bouwen op de bestaande tankinfrastructuur voor conventionele brandstoffen kan enige kostenbesparingen realiseren (Hydrogen Council, 2017).
- In de Power-to-Gas roadmap voor Vlaanderen (Thomas et al., 2016) worden twee Power-to-Mobility business cases uitgewerkt: een voor een HRS voor personenwagens en een HRS voor bussen, waarbij telkens een inschatting gemaakt werd voor 2015, 2030 en 2050. Beide kunnen richting geven voor vrachtoepassingen, enerzijds voor bestelwagens en anderzijds voor vrachtwagens, aangezien daarvoor gelijkaardige faciliteiten vereist zijn. Voor meer details wordt verwezen naar de studie van Thomas et al. (2016). De belangrijkste elementen die mee werden opgenomen in de analyse voor 2030⁶¹ worden toegelicht:
 - Elektrolysetoestellen: tussen 2015 en 2030 wordt een significante kostendaling verwacht van 2.000 €/KW naar 1.200 €/kW, met een typische systeemgrootte van de elektrolysetoestellen gaande van 300 kW tot 1,5 MW.⁶²
 - Elektriciteitsprijzen 2030: de toekomstige prijzen voor België werden bepaald rekening houdende met intermitterende hernieuwbare energie (zon en wind). Prijsbereik tussen 83 €/MWh en 110 €/MWh met centrale waar-

de 95 €/MWh.

- Aardgasprijzen 2030: prijsbereik *low heating value* gas tussen 28,7 €/MWh en 36,3 €/MWh met centrale waarde 32,5 €/MWh en *high heating value* (HHV) gas tussen 25,9 €/MWh en 32,8 €/MWh met centrale waarde 29,3 €/MWh
- Dieselprijzen 2030: € 1,57 incl BTW, € 1,30 excl BTW (met 10% volumekorting voor bussen)
- Waterstofprijzen 2030: voor on site SMR 2,72 €/kg H₂; voor levering met tankwagen 6,71 €/kg H₂ (stijging ten opzichte van 2015 door stijgende aardgasprijzen en CO₂-emissierechten).
- Business case Power-to-Mobility: HRS voor personenwagens
 - Beschrijving: waterstof wordt lokaal (gedecentraliseerd) opgewekt met behulp van elektriciteit uit het laagspanningsnet bij traditionele tankstations. De gegenereerde waterstof wordt gedurende een paar uur gebufferd om te voldoen aan het variërende tankschema van klanten. De waterstof wordt uiteindelijk gebruikt in elektrische voertuigen met brandstofcellen (FCEV's). Referentie wordt gemaakt naar het waterstoftankstation Colruyt in Halle en tal van andere Europese projecten (Chic, High V.Lo City, ...)
 - Kostenfactoren:
 - Civiele werken: € 100.000
 - Connectie aan het laagspanningsnet: € 50.000
 - Elektrolysetoestel: elektrische power input van 500 kW (tegen 1.200 €/kW) geeft investeringskost van € 600.000.
 - Elektriciteitsprijs: waarde hierboven + 20% leveranciersmarge + 46,18 €/MWh (taksen en heffingen)
 - Verkoopsprijs waterstof: 8,5 €/kg in 2030 (bij verbruik wagen van 0,76 kg/100 km)
 - Vermeden dieselkost: 6,49 €/100 km in 2030⁶³
 - Vermeden CO₂-emissie: 1.032 ton per jaar (vermeden dieselverbruik wagen).
 - Op basis hiervan kan een kosteneffectiviteit van de HSR-investering van € 750.000 over

⁶⁰ Idem.

⁶¹ Bij de opgegeven cijfers wordt duidelijk vermeld dat het inschatten van toekomstige energieprijzen onderhevig is aan grote onzekerheden.

⁶² Periode van 20 jaar wordt gehanteerd in de studie van Thomas et al. (2016) voor de berekening van de internal rate of return.

⁶³ Voor een bestelwagen gaan waterstofverbruik en dieselverbruik hoger liggen, maar we veronderstellen dezelfde verhouding zodat de hoofdlijnen van de analyse geldig blijven.

- 20 jaar van € 36 per ton bespaarde CO₂ berekend worden.
- Economische haalbaarheid van HRS voor personenwagens/bestelwagens: tegen 2030 is de netto huidige waarde (*net present value* of NPV) nog niet negatief en dus is de investering niet rendabel. Om reeds winstgevend te zijn in 2030 zou de waterstof tegen een prijs van 9,1 €/kg H₂ in plaats van 8,5 €/kg H₂ verkocht moeten worden. Tegen 2050 zou de business case wel rendabel zijn met een NPV van € 1,25 mio.
 - Deze HRS-component is slechts een gedeelte van de vereiste randvoorwaarden om waterstof (bestel)wagentransport economisch haalbaar te maken. Naast het voorzien van voldoende betaalbare waterstof en tankinfrastructuur dient ook de eventuele meerkost bij aanschaf en opereren van het voertuig meegenomen te worden. Voor personenwagens hebben Offer et al. (2010) een vergelijkende kostenstudie gemaakt tussen FCEV's, FCHEV's⁶⁴ en BEV's, welke een indicatie kan geven voor bestelwagens. In de studie wordt ingeschat dat de kapitaalkosten van de aandrijving bij FCEV's, FCHEV's en BEV's significant dalen tussen 2010 en 2030 maar nog steeds hoger zijn dan de aandrijving van voertuigen met verbrandingsmotor (ICE's). De gemiddelde schatting voor 2030 geeft volgende waarden voor de kapitaalkosten van de aandrijving: ICE € 2.095; FCEV € 8.950; BEV € 6.685; FCHEV € 4.815.⁶⁵ Dit prijsverschil met ICE wordt evenwel verwacht gecompenseerd te worden door de lagere operationele kosten voor de FCEV, zodat in 2030 de levenscycluskost van beide types vergelijkbaar wordt.⁶⁶ Hiervoor gebruiken Offer et al. (2010) een prijs voor waterstof die evolueert van 5,1 €/kg H₂ naar gemiddeld 4,3 €/kg H₂, een daling met 16%.⁶⁷ De dieselprijs wordt daarentegen in het gemiddelde scenario verwacht te stijgen met 125% tussen 2010 en 2030.
 - Business case Power-to-Mobility: HRS voor busdepot
 - Beschrijving: waterstof wordt lokaal (gedecentraliseerd) opgewekt met behulp van elektriciteit uit het middenspanningsnet bij busdepots waar ongeveer 25 (of meer) bussen geparkeerd staan als ze niet op de weg zijn. Dit scenario zou dus ook gebruikt kunnen worden voor een vrachtwagenparking bij een transportoperator. De gegenereerde waterstof wordt gedurende een paar uur gebufferd om te voldoen aan het variëren van de tankschema van de bussen/vrachtwagens. De waterstof wordt uiteindelijk gebruikt in elektrische bussen/vrachtwagens met brandstofcellen (FCEV's). Referentie van toepassingsgebied wordt in Thomas et al. (2016) gemaakt naar stelpplaatsen van de Lijn.
 - Kostenfactoren:
 - Civiele werken: € 100.000
 - Connectie aan het laagspanningsnet: € 50.000
 - Elektrolysetoestel: elektrische power input van 2,2 MW (tegen 1.200 €/kW) geeft investeringskost van € 600.000.
 - Elektriciteitsprijs: waarde hierboven + 15% leveranciersmarge + 45,01 €/MWh (taksen en heffingen)
 - Verkoopprijs waterstof: 7,7 €/kg in 2030 (bij verbruik bus van 8,0 kg/100 km)
 - Vermeden dieselmotorkost: 62,0 €/100 km in 2030⁶⁸
 - Vermeden CO₂-emissie: 4.487 ton per jaar (vermeden dieselverbruik wagen).
 - Op basis hiervan kan een kosteneffectiviteit van de HSR-investering van € 750.000 over 20 jaar van 31 € per ton bespaarde CO₂ berekend worden
 - Economische haalbaarheid HRS voor busdepot/vrachtwagenparking: tegen 2030 is de NPV niet positief (€ 14.000) en dus is de investering niet rendabel. Tegen 2050 zou de business case sterk rendabel zijn met een NPV van € 1,25 mio.
 - Het voorzien van betaalbare waterstof en tankstations is evenwel slechts een deel van de vereisten om waterstof vrachtwagentransport mogelijk te maken. Daarnaast zijn er immers nog de kapitaal kosten van de waterstofvrachtwagen, die dienen vergeleken te worden met deze van een dieselvrachtwagen. Een ICCT-studie van Moultak et al. (2017) gaat hier dieper op in.
 - In de ICCT studie (Moultak et al., 2017) wordt een kostenanalyse uitgevoerd, specifiek voor zware vrachtwagen FCEV, opgedeeld in een "totale kost van eigenaarschap" (TCO) analyse en een analyse van de infrastructuurkosten.

⁶⁴ Hydrogen fuel cell plug-in hybrid electric vehicle: dit is een plug-in hybride voertuig waarbij de brandstofcel als range extender fungeert.

⁶⁵ Omgerekend van USD naar EUR aan een wisselkoers van \$ 1 = € 0,85

⁶⁶ Offer et al. (2010) spreken van levenscycluskostpariteit.

⁶⁷ Idem. De gemiddelde waarde ligt tussen een zogenaamde "optimistische" inschatting van 1,7 €/kg H₂ (SMR met CCS) en een "pessimistische" inschatting van 6,8 €/kg H₂ (elektrolyse).

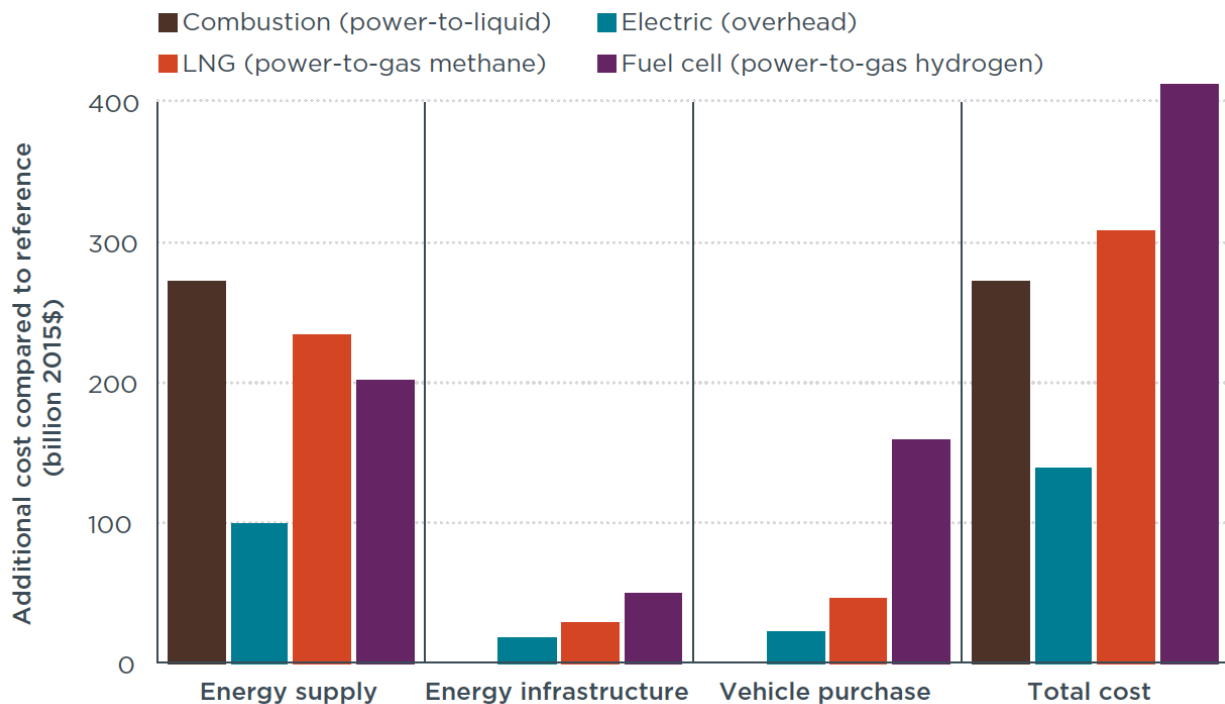
⁶⁸ Voor een bestelwagen gaan waterstofverbruik en dieselverbruik hoger liggen, maar we veronderstellen dezelfde verhouding zodat dit voor de analyse weinig verschil maakt.

- De TCO omvat de kapitaalkosten (trekker-oplegger aanschafprijs), onderhoudskosten en brandstofkosten en de berekening is gebaseerd op onderstaande waarden:
 - Levensduur voertuig: 10 jaar
 - Totale aanschafprijs Europese trekker-oplegger⁶⁹ FCEV in 2030: 200.600 (tegenover € 290.700 in 2015)⁷⁰. De dieselvariant wordt verondersteld € 212.500 te kosten in 2030 (tegenover € 178.500 in 2015). De dieselvoertuigen zijn dus initieel nog een stuk goedkoper, maar tegen 2030 verwachten Moultak et al. (2017) dat dit omgedraaid wordt door enerzijds de stijgende kosten van dieselvoertuigen vanwege de verplichting om aan de CO₂-emissienormen te moeten voldoen en anderzijds dalende kosten voor de alternatieve aandrijvingen door toenemende schaalvoordelen in productie. Dit is evenwel onderhevig aan de veronderstelling dat voertuigen op alternatieve aandrijvingen een voldoende marktaandeel kunnen verwerven tegen 2030 en dus de barrière van initiële hogere meerprijs bij aankoop en het huidige tekort aan tankinfrastructuur kunnen overwinnen (het zogenaamde 'kip en ei-probleem').
 - Kost brandstofcel aandrijving: van USD 240 per kW in 2015 naar USD 59 per kW in 2030 + additionele brandstofcel voor power electronics, batterij management systemen,... van USD 38 per kW in 2015 naar USD 28 per kW in 2030
 - Diesilverbruik: 34 liter/100 km in 2015 met vanaf 2012 een jaarlijkse afname van 2,5% onder invloed van CO₂-emissiestandaarden.
 - Elektrisch verbruik FCEV vrachtwagen: 9,5 MJ/km met jaarlijkse afname van 2% door efficiëntieverbeteringen.
 - De prijs van ruwe olie wordt verondersteld te stijgen van USD 50 per vat in 2015 naar USD 128 per vat in 2040.
 - Kost van waterstof wordt verwacht te dalen van USD 12 per kg in 2017 tot USD 4 in 2030 voor waterstof op basis van SMR. Daarnaast wordt een prijs van USD 5 gehanteerd in 2030 voor waterstof op basis van hernieuwbare energie.
 - Op basis van de TCO analyse stellen Moultak et al. (2017) dat tegen 2030 FCEV zware vrachtwagens minstens 5% tot 30% minder zullen kosten dan dieselvoertuigen in aanschaf, onderhoud en brandstofkosten maar
- enkel indien de waterstofbrandstofkosten dalen tot onder de energie eenheidskosten van diesel en de kosten van de bijbehorende infrastructuur in de loop van de tijd afnemen.
- Wat de infrastructuurkosten betreft, stellen Moultak et al. (2017) dat de kost van een HRS schommelt tussen de USD 350.000 en USD 5,3 mio. Zoals ook bij Thomas et al. (2016) gebleken is het bepalen van een infrastructuurkost op een per-voertuig basis niet eenvoudig aangezien dit afhankelijk is van de utilisatiegraad en waterstofverbruik in het station, wat moeilijk valt in te schatten. Daarnaast is de wijze van productie en distributie van belang (gecomprimeerd of vloeibaar waterstof, levering via pijpleiding of tankwagen).
 - Moultak et al. (2016) verwijzen naar een uitgebreid onderzoek uitgevoerd door Kasten et al. (2016) waarin de kosten van de energievoorziening, de infrastructuur voor de energievoorziening (investering, onderhoud en exploitatie en aansluitingskosten voor benzinestations of laadinfrastructuur) en de aanschafkosten van voertuigen voor alternatieve voertuigtechnologieën vergeleken worden met conventionele voertuigen op fossiele brandstof voor Duistland. In het onderzoek werden vier alternatieve scenario's vergeleken om de uitstoot van luchtverontreiniging door het Duitse vrachtwagenpark in de lan-geafstandsvrachsector te verminderen en koolstofarm te maken. Deze scenario's waren (a) interne verbranding, met Power-to-Liquid brandstoffen met zeer lage koolstofemissies gedurende de levenscyclus; (b) ERS met bovenleiding voor hybride diesel-elektrische aandrijving (c) LNG op basis van Power-to-Gas methaan met laag koolstofgehalte; en (d) brandstofcel met vloeibaar Power-to-Gas waterstof. De resultaten worden weergegeven in onderstaande figuur.

⁶⁹ In de analyse wordt 1 trekker aangeschaft met 3 opleggers.

⁷⁰ Omgerekend van USD naar EUR aan een wisselkoers van 1\$ = 0,85€

Figuur 39: Additionele kost voor vier broeikasgasreductiescenario's vergeleken met referentiescenario (enkel fossiele brandstoffen)
(Bron: Moultak et al., 2016 op basis van Kasten et al., 2016)⁷²



- De figuur toont dat de meerkosten van de alternatieve scenario's aanzienlijk zijn tegenover het fossiele brandstoffenscenario (€ 85 tot 340 miljard). Daar de vier scenario's een gelijkaardige broeikasgasreductie realiseren, heeft het ERS systeem met bovenleidingen volgens deze studie de laagste totale kost en dus de beste kosteneffectiviteit voor lange-termijn broeikasgasreductie. Het brandstofcelscenario scoort het minst goed, vanwege de relatief hoge energie-infrastructuur en voertuigaanschaffkosten. De analyse zegt echter niets over de praktische haalbaarheid van de verschillende scenario's. Wel staat vast dat ze er alle vier enkel kunnen komen met brede ondersteuning.

Timing:

- Technische implementeerbaarheid:
 - FCEV vrachtoertuigen zijn reeds beschikbaar in bepaalde segmenten zoals afvalophaling, drayage en bestelwagens, ook prototypes voor lange-afstandtransport zijn momenteel in ontwikkeling en in testfase (bijv. proefprojecten in haven van Houston, Los Angeles en Long Beach).⁷²
 - Tankinfrastructuur nog uit te bouwen
 - Economisch rendabele productie van duurzame waterstof op basis van vergassing van biomassa, SMR met koolstofafvang en -opslag (CCS) en elektrolyse moet nog op grote schaal worden aangetoond.
- Significante uptake wordt niet verwacht voor 2030 gelet op de vereiste randvoorwaarden maar lijkt wel mogelijk naar 2050 toe.

⁷¹ Bijkomende informatie bij figuur op basis van Kasten et al. (2016): de ERS vrachtwagens aangedreven door het bovenleidingsysteem worden verondersteld hybride te zijn, 75% van de tijd aangedreven door elektrische energie en de resterende 25% van de tijd door een interne verbrandingsmotor die wordt aangedreven Power-to-Fuel brandstof. De studie veronderstelt dat 4.000 km (ongeveer 30%) van de Duitse federale snelwegen geëlektrificeerd worden. De marktintroductie van de ERS vrachtwagens wordt verondersteld te beginnen in 2025 en te stijgen tot 90% van nieuw geregistreerde vrachtwagens tegen 2050. Voor het LNG-scenario betreden vrachtwagens in 2015 de markt en dringen ze volledig door in 2035. In het Power-to-Gas-waterstof scenario zouden brandstofcelvrachtwagens in 2020 op de markt worden geïntroduceerd en tegen 2035 volledig doordringen. In het interne verbrandingsscenario zouden de vrachtwagens volledig worden aangedreven door Power-to-Liquid brandstof met laag koolstofgehalte tegen 2050.

⁷² Zie Moultak et al. (2017 voor een overzicht van demonstratieprojecten met middelgrote en zware FCEV vrachtwagens op waterstof en een overzicht van de verschillende commerciële bedrijfsvoertuigen met zero-emissie in ontwikkeling of productie. Naast Toyota, Hyundai en Honda is bijvoorbeeld ook Nikola Motor Company bezig met de ontwikkeling van een FCEV zware vrachtwagen die een bereik zou hebben van meer dan 1.200 km.

Voorwaarden en barrières :

- FCEV's zijn een van de weinige technologische opties om tot zero emissies en decarbonisatie van zwaar vrachttransport over lange afstanden te komen maar dit is sterk afhankelijk van de koolstofintensiteit van de waterstofproductie, transport en distributietrajecten. Er zijn immers veel mogelijke routes naar een «waterstofalternatief» als transportbrandstof wat leidt tot een zeer breed scala aan energieverbruik en broeikasgasemissies. Deze WTW-benadering is essentieel voor waterstof waarbij een groot deel van het energieverbruik en alle broeikasgasemissies optreden in de productiefase (zie fiche "Well-to-tank analyse energiedragers").
- Als SMR waterstof geproduceerd uit aardgas gebruikt wordt als energiedrager voor FCEV's leidt dit niet tot aanzienlijke verminderingen in broeikasgasemissies ten opzichte van de op aardolie gebaseerde brandstoffen die in ICE's worden gebruikt (IEA, 2017).
- Voor waterstofproductie door elektrolyse hangen de resultaten sterk af van de koolstofintensiteit van de gebruikte elektriciteit. Door gebruik te maken van de huidige elektriciteitsmengeling van het EU-netwerk, inclusief compressie, worden de emissies per eenheid van finale energie bijna driemaal zo hoog als die van petroleumbrandstoffen. Wanneer waterstof wordt geproduceerd uit koolstofarme elektriciteit, biomassa of fossiele brandstoffen met koolstofopvang en -opslag, kan het koolstofgehalte van waterstof worden teruggebracht tot minder dan 20 g CO₂-equivalent/MJ, ongeveer een kwart van de emissies van WTW uit petroleumbrandstoffen. (IEA, 2017)
- Terwijl SMR en elektrolyse volwassen technologieën zijn, moet (economisch rendabele) vergassing van biomassa en SMR met koolstofopvang en -opslag nog op grote schaal worden aangetoond.
- Transport ligt in competitie met tal van andere sectoren (zoals industrie, verwarming, energieopslag) voor beschikbare duurzame waterstof. In opdracht van VEA (Vlaams Energieagentschap) werd een potentieelstudie voor groene waterstof in het Vlaamse energielandschap uitgewerkt. De studie behelst zowel het technische potentieel (o.a. beschikbare hoeveelheid waterstof om transportsector te decarboniseren) als de economische impact (o.a. implementatiekosten). Om de implementatie van waterstof te faciliteren worden een aantal beleidsvoorstellen geformuleerd. Deze studie is momenteel nog niet beschikbaar. Maar vanzelfsprekend is de hoeveelheid duurzame waterstof op basis van beschikbare hernieuwbare energie die aan de vrachttransportsector kan toegewezen worden een sleutelement in het bepalen van de bijdrage die waterstof kan leveren aan de emissiereductiedoelstellingen van vrachttransport.
- Publieke aanvaarding van waterstof is momenteel laag. Het algemene publiek is ook niet gewend om waterstof te gebruiken.
- Om gebruik van waterstof in het goederenvervoer over de weg te faciliteren, zijn maatregelen (markt-ondersteuningsmechanismen) nodig die gericht zijn op het uitbouwen van tankinfrastructuur (minimum-aantal stations) en het reduceren van kosten voor voertuigtechnologie. Verbeteringen in waterstofproductietechnologieën die de kosten verlagen en de energie-efficiëntie verhogen kunnen het gebruik van waterstof in voertuigen stimuleren. In het geval van gecentraliseerde waterstofproductie zijn er ook uitdagingen in het waterstoftransport- en distributienetwerk. Dit vereist enorme investeringen. Daarnaast is het probleem van lekkage van waterstof doorheen metalen een aandachtspunt. Elektrolyse vermijdt de risico's van complexe en kostbare transport- en distributietechnologieën voor waterstof, maar het economisch concurrentievermogen van elektrolyse moet verbeteren door maximalisatie van de bezettingsgraad van elektrolysetoestellen en de beschikbaarheid van (hernieuwbare) elektriciteit tegen lage kosten. Verder onderzoek is nodig op systeemniveau om de afweging te maken tussen de opties voor waterstofproductie en de opties voor waterstofafgifte. Het gaat om een afweging tussen twee opties: schaalvoordelen van grootschalige gecentraliseerde waterstofproductie in combinatie met een uitgebreid distributienetwerk versus kleinschalige maar kostelijkere gedecentraliseerde waterstofproductie met beperkter distributienetwerk.
- Waterstof moet tot 450 bar gecomprimeerd worden, is brandbaar en potentieel explosief indien het gas zich ophoopt. Het veiligheidsrisico is daarom een aandachtspunt (o.a. bij ongevallen en incidenten zoals brand).
- Een mogelijke rem op de ontwikkeling van waterstof voor transportdoeleinden is het gebruik van platina, een duur en zeldzaam edelmetaal, in de katalysator van brandstofcelvoertuigen. Door de opkomst van brandstofcellen in hybride auto's is er nu al meer behoefte aan platina dan het geval was bij het gebruik van de dieselskatalysator in auto's. Wetenschappelijk onderzoek spitst zich momenteel toe op het ontwikkelen van katalysatoren met relatief kleine hoeveelheden platina en palladium gemengd met goedkopere metalen zoals ijzer, nikkel en koper, evenals op het ontwikkelen van katalysatoren zonder platina (ISSO, 2016).
- Net zoals bij BEV's dient het kip- en ei probleem overwonnen te worden: aanbod van zowel FCEV's voor vrachtvervoer als aanwezigheid van de vereiste tankinfrastructuur is nodig om concrete toepassingen mogelijk te maken en zo op termijn voldoende vraag voor waterstof aan redelijke prijzen te genereren. Dit vereist ook aanpassingen aan het huidige wettelijke kader (o.a. milieuwetgeving) (zie Thomas et al., 2016). Daarnaast is de ondersteuning van demonstratieprojecten aangewezen om de praktische toepasbaarheid van waterstof voor vrachttransporttoepassingen te onderzoeken en expertise op te bouwen. Bestaande roadmaps voor waterstof in transport focussen hoofdzakelijk op personenwagens en bussen, het is belangrijk dat er ook aandacht

komt voor logistieke toepassingen.⁷³

- Duurzame waterstof en Power-to-X-opties bieden veel potentieel voor CO₂-emissiereductie (en ook economische opportuniteiten), maar ze zullen naar verwachting niet goedkoper zijn dan de traditionele waterstof uit SMR en fossiele brandstoffen (zonder de internalisering van externaliteiten) (Thomas et al., 2016). Deze oplossingen vereisen daarom een beleidsvisie en financiële steun om zichzelf duurzaam te kunnen vestigen in het toekomstige energiesysteem.
- Overheidsondersteuning gericht op het stimuleren van technologieën in een vroege fase van innovatie, scoort doorgaans ongunstig wat betreft kosteneffectiviteit op korte termijn, maar voor het leerproces van dergelijke technologieën is het cruciaal is dat er ervaring mee wordt opgedaan en dat er ondersteuning is in deze fase van technologieontwikkeling (Daniëls en Koelemeijer, 2016). De hoogte van de vrijgemaakte beleidsmiddelen ter ondersteuning van de technologische ontwikkeling zal mee de snelheid van introductie bepalen.

Conclusie

FCEV's zijn potentieel een zeer interessante toepassing om significante emissiereducties te bekomen in het wegverkeer, maar gelet op de talrijke uitdagingen om voldoende betaalbaar duurzame waterstof ter beschikking te stellen voor het wegvervoer tegen 2030 en de embryonale ontwikkelingsfase van zware vrachtoertuigen voor lange -afstandstransport wordt deze maatregel niet standaard mee opgenomen in het voorkeurscenario, maar wel als een optionele maatregel. Dit betekent dat de bijdrage van deze technologie aan de roadmap op een conservatieve wijze als optioneel beschouwd wordt. Vanwege het bredere potentieel van waterstoftechnologie voor tal van sectoren (o.a. energie en verwarming) lijkt het aangewezen de (internationale) technologische evolutie kort op te volgen en onderzoek en ontwikkeling naar toepassing van FCEV vrachtoertuigen te ondersteunen (o.a. via lokale demonstratieprojecten).

Bronnen :

- Daniëls, Koelemeijer (PBL) (2016) Kostenefficiëntie van beleidsmaatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies, Bijlage bij het IBO kostenefficiëntie CO₂-reductiemaatregelen
- EC, 2014, JEC Well-To-Wheels analysis, Report version 4.a, Well-To-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, JRC Technical Reports
- Hydrogen Council, 2017, Hydrogen scaling up. A sustainable pathway for the global energy transition.
- International Energy Agency, 2017, The Future of Trucks: Implications for Energy and the Environment
- ISSO (2016) Brandstofcellen. Een veelbelovende techniek. <<https://kennisbank.isso.nl/docs/white-paper/brandstofcellen>>
- Kasten, Mottschall, Köppel, Degünther, Schmied, Wüthrich. (2016) Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050: Endbericht. Umweltbundesamt (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit).
- Kleiner, Özdemir, Schmid, Beerman, Çatay, Moran, Friedrich (2015). Electrification of transport logistic vehicles: A technoeconomic assessment of battery and fuel cell electric transporter. EVS28.
- Moultak, Lutsey, Hall (ICCT) (2017) Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles. White paper.
- Offer, Howey, Contestabile, Clague, Brandon (2010) Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. Energy policy, 38, 24-29
- Thomas D. (Hydrogenics), Mertens D. (Colruyt), Meeus M. (Sustesco), Van der Laak W., Francois I. (WaterstofNet), 2016, Power-to-Gas Roadmap for Flanders. Final report. Brussels.
- US Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Hydrogen Delivery. Geraadpleegd op 5/8/2018 <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-delivery>
- WaterstofNet, 2015, National Implementation Plan. Hydrogen Refuelling Infrastructure Belgium.

⁷³ In kader van Clean Power for Transport zijn er in kader van de uitrol van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen in het Vlaamse actieplan 2015 tegen 2020 twintig waterstof vulstations voorzien.

02.11. CNG/LNG en CBM/LBM voertuigen

Korte beschrijving:

Deze fiche beschrijft in eerste instantie de impact van de inzet van “dedicated” of “mono-brandstof” CNG (*compressed natural gas*) en LNG (*liquefied natural gas*) vrachtwagens, samen ook wel aardgasvrachtwagens genoemd, als alternatief voor dieselveertuigen.⁷⁴ Het samenpersen van aardgas tot een druk van 200 bar tot 300 bar bij CNG of het vloeibaar maken van aardgas door het af te koelen tot -162 °C bij LNG verhoogt de volumetrische energiedichtheid tot een drempelwaarde waardoor gebruik in vrachtwagens haalbaar wordt. CNG- en LNG-vrachtwagens slaan hun brandstoffen op in cilinders aan boord. LNG-trucks hebben cryogene cilinders nodig om de lage temperaturen te handhaven en verdamping te voorkomen (wat meestal start binnen vijf dagen als de tank niet wordt ontlucht). De keuze voor CNG of LNG is hoofdzakelijk een functie van voertuig grootte en missie:

LNG is meer geschikt voor grotere voertuigen met een hoog jaarlijks aantal kilometers (meestal 100 000 km of meer), en dus voor regionaal en langeafstandstransport. Vanwege het verdampingsrisico moet LNG ook worden gebruikt in vrachtwagens die regelmatig rijden.

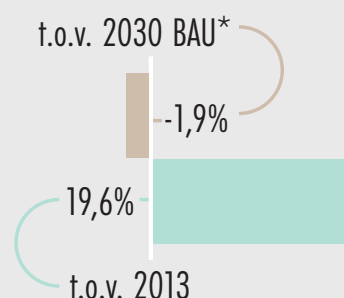
CNG is meer geschikt voor kleinere vrachtwagens met lagere jaarlijkse kilometers en/of minder reguliere operaties.

In tweede instantie wordt ook gekeken naar de overschakeling op biomethaan. Immers, voertuigen op CNG en LNG zijn ook volledig compatibel met tot biomethaan opgewekt biogas (zie fiche “Combinatie van biodiesel en biomethaan”) in respectievelijk gecompriëerde (*compressed biomethane* of CBM) of vloeibare (*liquefied biomethane* of LBM) vorm. Dit is potentieel een veel duurzamere optie op vlak van CO₂-emissiereductie (TNO/CE Delft, 2014) en lijkt op langere termijn zelfs tot klimaatneutraal transport te kunnen leiden, mits aan een aantal uitdagende randvoorwaarden voldaan is.⁷⁵

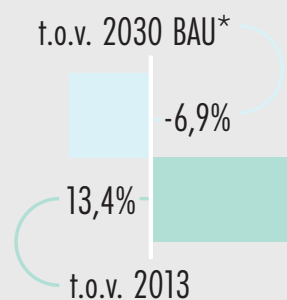
Omdat beide types van gasaangedreven voertuigen methaan als brandstof hebben, spreken we hieronder in de analyses dan ook soms van methaanvoertuigen om het geheel aan voertuigen op CNG, LNG, CBM en LBM aan te duiden.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Individuele modeldoorrekening met introductie van CNG en LNG voertuigen⁷⁷ (enkel wegvervoer):



Individuele modeldoorrekening best-case scenario met overschakeling naar klimaatneutraal CBM en LBM-voertuigen (enkel wegvervoer):



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

Ondanks het lagere koolstofgehalte van aardgas in vergelijking met diesel, resulteert overschakeling op aardgasvoertuigen slechts in een geringe reductie van de CO₂-emissies (well-to-wheel). Aardgas (methaan) heeft een hoog *global warming potential* (aardopwarmingsvermogen) op de korte termijn. Methaan komt vrij door lekkage (*methane slip*) bij de productie, verwerking, transmissie en distributie (zie verder bij “Voorwaarden en barrières”). Bovendien gaat het samendrukken van aardgas tot een tankdruk van 200 tot 300 bar bij CNG en het vloeibaar maken van aardgas gepaard met energieverlies. Bij grootschalige liquefactie-installaties bijvoorbeeld wordt ca. 10% van de energetische waarde van het geproduceerde LNG gebruikt voor de productie van het LNG (Marynissen et al., 2018).⁷⁷

⁷⁴ Aardgas (CNG of LNG) kan ook in combinatie met conventionele diesel gebruikt worden in vrachtwagens met een gemengd brandstofsysteem (zogenamde *dual fuel* vrachtwagens). In deze fiche concentreren we ons hoofdzakelijk op “mono-brandstof” aardgasvoertuigen die volledig op CNG/CMB of LNG/LMB opereren, maar sommige aspecten (zoals bijvoorbeeld methaanlekkage en kosteneffectiviteit) hebben ook betrekking op vrachtwagens met gemengd brandstofsysteem. Vrachtwagens met een gemengd brandstofsysteem van biodiesel en biomethaan worden meer in detail besproken in fiche “Combinatie van biobrandstof en biomethaan”

⁷⁵ Klimaatneutraal transport doelt op alternatieven waarbij er geen bijkomende broeikasgassen worden uitgestoten maar waar door de interne verbrandingsmotoren wel nog NOX en fijn stof aanwezig blijven in de uitlaatgassen.

⁷⁶ Zie fiche “Emissiefactoren” voor de gehanteerde emissiefactoren voor CNG en LNG-voertuigen.

⁷⁷ Marynissen et al. (2018) beklemtonen dat dit een louter indicatieve grootteorde van het energieverbruik is, daar het effectieve energieverbruik onder andere afhangt van wat in de berekening meegenomen wordt, en tot welke temperatuur het LNG gekoeld wordt. Voor een kleinschalige li-

Aan de voertuigkant compenseren de lagere efficiëntie van de meeste zware motoren op aardgas ten opzichte van diesel en problemen met methaanlekage (zie verder) de potentiële voordelen van de lagere koolstofintensiteit van aardgas (zie IEA, 2017, p. 85). In een kritische analyse van Ricardo-AEA (Kollamdhori et al. (2016) voor Transport & Environment werd gesteld dat voor kleinere vrachtwagens en bestelwagens een verschuiving naar gasmotoren zou resulteren in aanzienlijk hogere algemene uitstoot van broeikasgasemissies op WTW basis (voor de WTT emissies, zie ook fiche “Well-to-tank analyse energiedragers”). Voor grotere (gelede) vrachtwagens zou een overschakeling naar LNG-aangedreven vrachtwagens in alle gevallen resulteren in hogere totale WTW broeikasgasemissies. In vergelijking met moderne EURO VI-trucks presteren op gas werkende vrachtwagens (CNG of LNG) volgens Kollamdhori et al. (2016) ook slechts marginaal beter als het gaat om luchtvervuiling.

Op TTW basis wordt in de door Departement Omgeving aangeleverde emissiefactoren verwacht dat CNG en LNG vrachtwagens tegen 2030 6 à 7% minder CO₂ zouden uitstoten (zie fiche “Emissiefactoren”) tegenover een klassieke vrachtwagen. Kollamdhori et al. (2016) schatten dat de TTW broeikasgasemissiereductie van mono-brandstof aardgasvoertuigen in 2020 door methaanlekage gereduceerd wordt van 7% naar 4,9% (zie ‘voorwaarden en barrières’). Naar 2030 toe wordt wel verwacht dat methaanlekage verder gereduceerd en geminimaliseerd kan worden, zodat we de bovenvermelde emissiefactoren handhaven.

Daarnaast kan bij de omschakeling naar duurzaam biomethaan (CBM en LBM) in principe klimaatneutraal gerealiseerd worden indien de opwekking van voldoende biomethaan op duurzame en hernieuwbare manier kan uitgevoerd worden en methaanlekage vermeden kan worden. Dit scenario wordt toegevoegd als een best-case variant om het potentieel te kunnen inschatten van deze piste.

- **Vertaling naar Voorkeursscenario:** Vanwege het fossiele karakter van deze energiedrager en problematische lock-in naar 2050 toe wordt de introductie van CNG- en LNG-voertuigen als dusdanig niet opgenomen in de basis van het voorkeursscenario. Aangezien er naar 2030 toe evenwel een, weliswaar beperkt, TTW CO₂-besparingspotentieel is, en gelet op de grote uitdaging om de decarbonisatiedoelstellingen in vrachtvervoer te realiseren, wordt er ook een variant van het voorkeursscenario opgemaakt waarbij deze maatregel wel opgenomen wordt. De introductie van CNG en LNG voertuigen en tankinfrastructuur faciliteert de overstap naar duurzaam biomethaan. Deze piste heeft in principe potentieel om klimaatneutraal vrachtvervoer mogelijk te maken maar is onderhevig aan tal van onzekerheden met betrekking tot economisch rendabele productie en voldoende beschikbaarheid van duurzaam biomethaan voor transport en technologische ontwikkelingen in motorefficiëntie. Opvolging van deze piste lijkt aangewezen om te zien hoe en in welke mate inzet van CBM en LBM een valabel alternatief kan zijn voor op fossiele brandstof aangedreven vrachttransport.

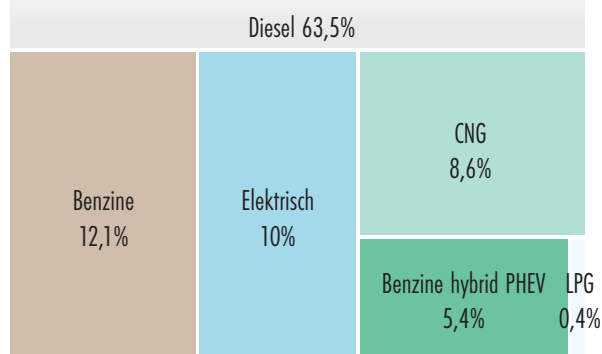
quefactie-installaties geven fabrikanten waarden op van omgerekend 808 tot 869 kWh per ton LNG als eenheidsenergieverbruik voor de productie van een ton LNG.

Model : TRABAM

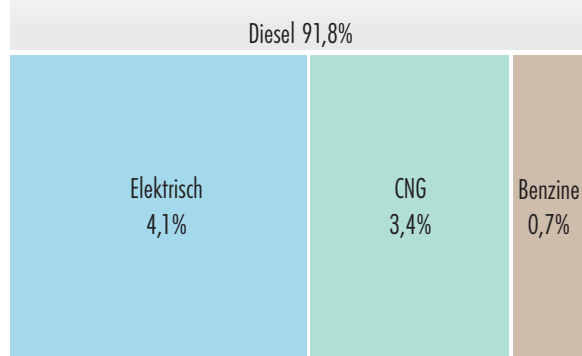
In dit scenario wordt de voertuigvloot van transporteurs in TRABAM aangepast zodoende dat ze voertuigen aangedreven door CNG/LNG of CBM/LBM mee opnemen in hun optimalisatieproces. Deze aanpassing gebeurt in functie van de huidige vlootkenmerken van de transporteur: hoe groter het aandeel Euro VI in de vloot, hoe groter de kans dat hij een voertuig zal vervangen door een CNG/LNG of CBM/LBM vrachtoertuig. Er wordt in de totale voertuigvloot een aandeel van 8,6% CNG/CBM voertuigen gerekend voor lichte vrachtoertuigen en 1,8% voor zware vrachtoertuigen. Voor LNG/LBM wordt 0,4% gebruikt als aandeel voor lichte vrachtoertuigen en 3,8% voor zware vrachtoertuigen. Deze percentages werden gebaseerd op de waarden die in de loop van deze studie circuleerden in het kader van de opmaak van de CPT-doelstellingen. Als randvoorwaarden wordt er verondersteld dat er voldoende CNG/LNG en CBM/LBM beschikbaar is en dat er voldoende tankinfrastructuur aanwezig is zodoende dat er geen extra kilometers afgelegd worden voor het tanken.

Tabel 30: Aandeel van de voertuigvloot in 2030 volgens aandrijving voor bestelwagens, lichte en zware vrachtoertuigen.

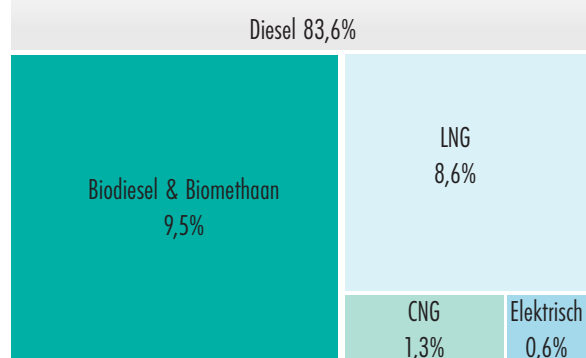
Bestelwagens (<3,5 ton)



Lichte vrachtwagens (>3,5 ton & <12 ton)



Zware vrachtwagens (>12 ton)



LNG/LBM in de binnenvaart

Volgens een studie van TNO uit 2015 (Verbeek en Verbeek, 2015) wordt LNG voor schepen vooral toegepast om de uitstoot van verontreinigende stoffen te verminderen. De NO_x - en fijn stof-emissies voor binnenvaartschepen die op LNG varen, zijn over het algemeen meer dan 75% lager dan voor conventionele dieselmotoren. Het broeikasgasemissiever-schil tussen LNG- en dieselaangedreven schepen is echter onzeker door een gebrek aan gegevens over methaanemissies van gasmotoren. Beschikbare gegevens tonen vergelijkbare broeikasgasemissies voor schepen met gas- en dieselmotoren. Sommige grote motoren vertonen echter een lage methaanemissie, zodat voor grote motoren de technische haalbaarheid om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen met LNG tot 15-20% wordt ingeschat. Maar het gaat dan eerder over motoren die geschikt zijn voor maritieme toepassingen.

Om een aanzienlijk broeikasgasvoordeel met LNG in binnenvaart te kunnen realiseren, beveelt de TNO studie aan om een akkoord te bereiken tussen autoriteiten en de industrie over een tijdpad om de methaanuitstoot van scheepsmotoren te verminderen tot maximaal 1 g / kWh en dit zo snel mogelijk in toekomstige wetgeving toe te passen. Als alternatief kan wetgeving worden overwogen om de totale broeikasgasemissie van gasmotoren te regelen (gecombineerd resultaat van motorefficiëntie en methaanemissiereductie).

Het gebruik van LNG in binnenvaart kent dus verschillende knelpunten, waaronder het gebrek aan informatie over de kosten en baten van LNG. Uit studies van LNG Binnenvaart (2016; 2017) en Prominent (2015) blijkt dat LNG geen geschikt alternatief voor diesel is voor alle scheepstypen, hetzij vanwege vaartuigspecifieke technische redenen en/of gegeven de gemiddelde operationele karakteristieken zoals het jaarlijkse brandstofverbruik. LNG lijkt vooral geschikt voor grote schepen met een hoog brandstofverbruik op jaarbasis. In dat geval kunnen de hoge investeringskosten van de LNG-tank en het brandstofsysteem worden terugverdiend via besparingen op brandstofkosten. Hoewel deze schepen een relatief groot aandeel hebben in de emissies van binnenvaart in Europa, is het aantal schepen dat geschikt is voor LNG relatief beperkt. Bovendien is investeren in een 100% LNG-motor riskant vanwege de huidige onzekerheid over de prijskloof tussen LNG en diesel. Belangrijk in deze context is wel dat uit overleg met deskundigen bleek dat de komende fase V-norm emissiestandaard voor binnenvaartschepen die in 2019/2020 in voege treedt kan worden voldaan met LNG zonder nabehandelingssystemen (SCR, DPF) die wel zouden moeten worden geïnstalleerd voor fase V-dieselmotoren. Prominent (2015) veronderstelt een reductie van broeikasgasemissies, uitgedrukt in CO_2 -equivalent, van maximaal 10% per schip als gevolg van een overstap van diesel naar LNG.

In Vlaanderen werd in 2017 gestart met een Alternatieve Energiehub in de haven van Antwerpen die bestaat uit een bunker- en vulstation met vloeibaar aardgas (LNG) voor binnenvaart en wegtransport met daarnaast ook een aardgas (CNG) vulpunt en snelladers voor elektrische voertuigen.

Vanzelfsprekend zal de inzet van LBM ook het binnenvaart-

verhaal potentieel sterk kunnen verduurzamen ten opzichte van het gebruik van LNG, mits randvoorwaarden zoals beschikbaarheid van voldoende duurzaam biomethaan, voorkomen van methaanlekage en verbeteren van motorefficiëntie voldaan zijn.

Effect op luchtvervuiling:

Kollamthodi et al. (2016) stellen dat er een gemengd beeld bestaat met betrekking de effecten van methaanvoertuigen op emissies van luchtverontreinigende stoffen. Terwijl methaanvoertuigen lagere niveaus van PM- en SO_2 -emissies uitstoten dan conventionele voertuigen over de verschillende types heen (bestelwagens, lichte vrachtwagens en zware vrachtwagens), doen de belangrijkste voordelen voor NO_x -emissies zich voor bij het overschakelen van dieselbestelwagens naar CNG/CBM-aangedreven voertuigen. Bovendien worden de PM- en SO_2 -emissies al effectief beheerst door bestaande emissie- en brandstofkwaliteitsnormen (EU-RO-normen), en daarom zouden verdere verlagingen van deze verontreinigende stoffen door een overschakeling op methaanvoertuigen alleen marginale luchtkwaliteitsvoordelen opleveren. De positieve impact van overschakelen van diesel op CNG op lokale luchtkwaliteit levert dus vooral voordelen op bij stedelijke voertuigvloten vanwege de hogere receptordensiteit in stedelijke omgeving (IEA, 2017). Aardgas is ook niet-carcinogeen bij verbranding in tegenstelling tot diesel.⁷⁸ Ook voor binnenvaart ligt het voordeel van gebruik van LNG/LBM vooral op vlak van significante vermindering van luchtvervuilende emissies, eerder dan op verlaging van broeikasgasemissies.

De uitstoot van verontreinigende stoffen door alle vrachtwagenmotoren zal naar verwachting laag zijn in 2030 vanwege de zeer strenge Euro VI-wetgeving. De studie van TNO (2015) toonde op basis van (relatief beperkte) beschikbare Euro VI-gegevens eveneens een bereik van gelijke emissies voor gas- en dieselmotoren tot lagere NO_x - en PM-emissies voor de methaanvoertuigen.

Bijkomend hebben vrachtwagens met gasmotoren een lagere geluidsemissie dan dieseltrucks en komen daarom vaak in aanmerking voor ruimere stadsleveringsvoorwaarden. Lagere geluidsemissies worden ook verwacht met LNG scheepsmotoren.

⁷⁸ Er worden geen kankerverwekkende stoffen zoals PAK (polycyclische aromatische koolwaterstof), butadieen en aldehyde uitgestoten bij verbranding van aardgas. Bij de winning van aardgas kan wel aardgascondensaat ontstaan, een mengsel van koolwaterstoffen, dat zich in het aardgastransportstelsel kan ophopen en onder andere benzeen bevat.

Modale verschuiving en secundaire effecten:

Modale verschuiving: deze is afhankelijk van de "totale kosten van eigenaarschap" (of total cost of ownership (TCO)) van het gebruik van CNG/LNG voertuigen. Indien de kosten voor aardgas trucks gelijk blijven aan deze van diesel-trucks wordt er geen verschuiving naar de weg verwacht. Indien aardgasvrachtwagens goedkoper te opereren zijn, kan dit een toename van wegvervoer met zicht meebrengen. Uit de kosteneffectiviteitsanalyse blijkt dat zonder financiële ondersteuning dit doorgaans niet het geval is. Enkel onder bepaalde omstandigheden bij intensief gebruik worden CNG en LNG voertuigen kostencompetitief.

Secundaire effecten:

Transport zit in competitie met energieopwekking, industriële toepassingen en verwarming voor het beperkt beschikbare duurzame biomethaan.

Enkel indien kostenvoordeel of -nadeel van CNG/CBM en/of LNG/LBM voertuigen voor de transportoperatoren zou resulteren in toename of afname van voertuigkilometers kan dit een effect hebben op de verkeersdoorstroming.⁷⁹ Zonder ondersteuning vanuit de overheid wordt een kostennadeel verwacht, wat de introductie van dergelijke voertuigen op grote schaal zou belemmeren (zie verder).

Lock-in:

Noodzaak aan gespecialiseerde tankinfrastructuur, aanpassingen distributienetwerk en specifieke voertuigen creëert significante lock-in. Daarnaast zijn er investeringen in de verdere ontwikkeling van voertuigtechnologie vereist (onder andere om motorefficiëntie te verhogen en methaanlekage te reduceren). Anderzijds passen deze investeringen in de integratie van duurzaam biomethaan in de transportsector. Dat maakt dat de investeringen in CNG en LNG als tussenoplossing naar CBM en LBM mogelijks niet verloren zijn.

Toepassingsgebied:

Stedelijk en buitengebied

CNG/CBM is vooral geschikt voor onregelmatig korte afstandstransport met lichte vrachtwagens. Het toepassingsgebied van LNG/LBM is eerder regelmatig lange-afstandstransport met zware vrachtwagens

Kosteneffectiviteit :

De incrementele kosten van CNG- en LNG-trucks zijn voornamelijk te wijten aan de opslagtanks (zie IEA (2017, p84-85)). Voor de transportoperatoren hangen de terugbetalingskosten voor CNG en LNG af van het prijsverschil tussen diesel en CNG of LNG en deze worden sterk beïnvloed door de kosten van tankinfrastructuur. In gevallen waarin aardgas prijzen lager zijn dan de dieselprijzen en in omstandigheden waarin de hoge infrastructuurkosten die gepaard gaan met een lage gebruiksfrequentie in de beginfase van de adoptie niet worden doorgerekend aan eindgebruikers, bieden zowel CNG als LNG volgens IEA (2017) korte terugverdientijden (twee tot vier jaar). Dit vereist tankpunten die gericht zijn op specifieke voertuigvloten of specifiek overheidsbeleid ontworpen om dit probleem aan te pakken. In omstandigheden waarin de brandstofprijkskloof klein is en er geen instrumenten zijn om te voorkomen dat de kosten van vroege infrastructuurontwikkelingen voor brandstofverdeling worden doorgerekend aan de vervoerder, is het economische argument voor het gebruik van CNG en LNG minder overtuigend.

Onderstaande tabel geeft een raming van de kapitaalkosten voor verschillende soorten voertuigen voor 2020 gebaseerd op een studie door Ricardo AEA.

Voertuigen met een gemengd brandstofsysteem (*dual fuel*) worden verwacht in 2020 aanzienlijk duurder te blijven dan mono-brandstof methaanvoertuigen. In alle gevallen zullen mono-brandstof methaanvoertuigen in 2020 hogere kapitaalkosten hebben dan vergelijkbare conventionele benzine- en dieselveertuigen, hoewel het kostenverschil tussen diesel- en CNG-bestelwagens waarschijnlijk tegen 2020 zeer klein zal zijn (€ 700). Voor lichte en zware vrachtwagens zal het verschil in kapitaalkosten tussen conventionele dieselveertuigen en mono-brandstof methaanvoertuigen waarschijnlijk nog steeds aanzienlijk zijn in 2020, met een kostenverschil in 2020 boven de € 10.000 (€ 10.600 voor kleine vaste combinaties tot meer dan € 15.500 voor trekker-opleggers). Zoals aangegeven zijn voertuigen op CNG en LNG ook compatibel met biomethaan in respectievelijk gecombineerde (CMB) of vloeibare (LMB) vorm zodat deze methaanvoertuigen dezelfde kapitaalkosten hebben.

Het verschil in operationele kosten tussen conventionele en methaanvrachtvoertuigen wordt hoofdzakelijk bepaald door de brandstofkosten. Uit de analyse van Ricardo-AEA (Kollamthodi et al., 2016) blijkt dat het brandstofkostenverschil sterk afhankelijk is van het feit of het voertuig CNG, LNG of de biomethaanvarianten CBM of LBM gebruikt.

Tabel 31: Kapitaalkosten voor benzine, diesel en aardgas wegvoertuigen in 2020 (Kollamthodi et al., 2016)

Voertuigtype	Brandstoftype			
	Benzine	Diesel	mono-brandstof methaan	dual-fuel diesel/methaan
Bestelwagen	€ 17.500	€ 17.000	€ 17.700 (CNG/CBM)	-
Kleine vaste combinatie	-	€ 45.000	€ 55.600 (CNG/CBM)	€ 58.000
Grote vaste combinatie 26 ton	-	€ 73.900	€ 85.400 (LNG/LBM)	€ 89.400
Trekker-oplegger >32 ton	-	€ 97.200	€ 112.750 (LNG/LBM)	€ 118.500

⁷⁹ Het scenario in de modeldoorrekening gaat uit van voldoende tankinfrastructuur zodat omrijkilometers vermeden worden. Indien er wel omrijkilometers vereist zijn bij onvoldoende tankinfrastructuur kan het aantal voertuigkilometers wel stijgen (met mogelijke impact op verkeersdoorstroming).

Tabel 32: Jaarlijkse brandstofkosten (exclusief taksen en accijnzen) voor benzine, diesel en methaan wegvoertuigen in 2020 (Kollamthodi et al., 2016)

Voertuigtype	Gemiddelde jaarlijkse voertuig-kilometers (km)	l/100 km nieuw diesel voertuig	Jaarlijks diesel verbruik (liter)	Jaarlijks brandstof verbruik (GJ)	Gemiddelde jaarlijkse brandstof-kost (€)	Jaarlijks brandstof verbruik (GJ)	Gemiddelde jaarlijkse brandstofkost (€)	
					Diesel		CNG/LNG	C B M / LBM
Bestelwagen	16.000	7,8	1.248	45,2	€ 844	60,4	€ 879 (CNG)	€ 783
Kleine vaste combinatie	35.000	16,0	5.600	202,7	€ 3.789	271,2	€ 3.943 (CNG)	€ 3.513€
Grote vaste combinatie 26ton	60.000	25,0	15.000	543,0	€ 10.149	726,4	€ 9.559 (LNG)	€ 11.298
Trekker-oplegger >32 ton	130.000	32,5	42.250	1.521,0*	€ 28.587	1.873,3*	€ 27.822 (LNG)*	€ 30.962*

*Voor de methaanvariant van de trekker-oplegger wordt een voertuig met gemengd brandstofverbruik (diesel/methaan) verondersteld die rijdt op een verhouding van 65% methaan en 35% diesel.

Voor bestelwagens leidt het gebruik van aardgas tot een algemene stijging van de jaarlijkse brandstofkosten, terwijl er voor biomethaan een reductie zou zijn, op basis van de brandstofkostengegevens van Bates et al. (2014). Vergelijkbare resultaten zijn te zien voor kleine vaste combinaties, waarvan wordt aangenomen dat ze CNG of gecompriemd biomethaan (CBM) gebruiken. Voor grote vaste combinaties en trekker-opleggers werd aangenomen dat ze LNG of LBM gebruiken, en omdat de kosten van LBM hoger zijn dan voor LNG, zijn de jaarlijkse brandstofkosten hoger. Aangezien de gehele energie-efficiëntie van diesellootvoertuigen veel hoger is dan die van mono-brandstof aardgasvoertuigen, compenseert dit veel of, in sommige gevallen, alle besparingen als gevolg van de lagere prijzen van aardgas en biomethaan in vergelijking met benzine en diesel.

Op vlak van infrastructuurkosten heeft IGU (2012) de kosten van tankstations geanalyseerd. door de eenheidskosten van tankstations voor benzine- en diesellootvoertuigen te vergelijken met deze voor CNG-voertuigen op basis van de kosten per liter. Deze kosten omvatten de directe kosten van tanken (apparatuur ter plaatse, kosten van gas/elektriciteitsnet) en de indirecte kosten van tanken (kosten voor bouwconstructies, grondaanschaf of voorzieningen voor automatische betaling). Uit deze analyse blijkt dat de kosten voor benzine/dieselstations ongeveer 0,06 per liter bedragen, terwijl voor CNG de kosten ongeveer 0,23 euro per liter bedragen. Veel hangt echter af van de capaciteit van het tankstation, waarbij hoge capaciteitstankstations lagere kosten geven. Wanneer de kosten voor tankinfrastructuur berekend worden op basis van de gebruiker blijkt dat, afhankelijk van het type voertuig en de omvang en het type infrastructuur (hoge capaciteit of lage capaciteitsstations), de marginale kosten die samenhangen met de tankinfrastructuur voor aardgasvoertuigen (ten opzichte van conventionele tankstations) aanzienlijk kunnen zijn en tussen onderstaande waarden liggen (Kollamthodi et al., 2016):

- Bestelwagens (CNG/CBM): € 149 tot € 700 per jaar
- Kleine vaste combinatie (CNG/CBM): € 212 tot € 3.142 per jaar
- Grote vaste combinatie (LNG/LBM): € 567 tot € 4.055 per jaar⁸⁰

⁸⁰ Tot € 8.614 per jaar in geval van CNG/CBM station voor grote vaste combinatie.

⁸¹ Voor meer gedetailleerde kostenanalyses van de tankinfrastructuur, zie IGU (2012) en Kollamthodi et al. (2016)

- Trekker-oplegger (LNG/LBM): € 1.347 tot € 10.344 per jaar

De analyse toont aan dat een minimale jaarlijkse capaciteit en gebruiksniveau noodzakelijk zijn opdat CNG/CBM en LNG/LBM-tankstations kosteneffectief kunnen zijn.⁸¹

Op basis van de geannualiseerde kapitaal- en operationele kosten van het gebruik van methaanvoertuigen blijkt in de meeste gevallen dat deze hoger zijn dan deze voor conventionele benzine- en diesellootvoertuigen, wat betekent dat het vanuit economisch oogpunt gezien voor transportoperatoren niet aantrekkelijk kan zijn om over te schakelen op CNG, LNG of biomethaan. Deze resultaten zijn uiteraard zeer gevoelig voor het verschil in brandstofkosten tussen diesel/benzine en methaanbrandstoffen. Daarnaast zijn er nog andere factoren die van invloed zijn op de economische aantrekkelijkheid van overschakelen, namelijk (a) de extra kapitaalkosten in verband met (bio)methaanvoertuigen en (b) de totale energie-efficiëntie van deze voertuigen in vergelijking met conventionele benzine/diesellootvoertuigen. De analyse van Kollamthodi et al. (2016) houdt evenwel geen rekening met brandstofkosten en accijnzen. Ze bevestigt wel dat de huidige incentives die in België worden gegeven, zijnde vrijstelling van taksen op getankte CNG en LNG en ecologiepremie bij de aanschaf van of ombouw naar methaanvoertuigen, vereist is om ze voor transportoperatoren competitief te maken met conventionele voertuigen.

Van zodra de kosten van de vereiste tankinfrastructuur ook worden meegerekend, zijn de totale gecombineerde kosten (exclusief brandstofkosten en accijnzen) in geval van methaanvoertuigen voor voertuigexploitanten en infrastructuraanbieders in alle gevallen hoger dan voor conventionele benzine- en diesellootvoertuigen. In sommige gevallen zijn de extra jaarlijkse kosten zelfs aanzienlijk hoger.

Tabel 33: Totale geannualiseerde marginale kapitaal-, brandstof- en tankinfrastructuur meerkosten voor methaan wegvoertuigen ten opzichte van conventionele voertuigen in 2020 (Kollamthodi et al., 2016)

Voertuigtype	Totale geannualiseerde meerkost ten opzichte van conventioneel voertuig (€ per jaar)			
	CNG/LNG		CBM/LBM	
	Diesel		dual-fuel diesel/aardgas	
	Hoog*	Laag*	Hoog*	Laag*
Bestelwagen (CNG/CBM)	€ 249	€ 801	€ 153	€ 705
Kleine vaste combinatie (CNG/CBM)	€ 1.575	€ 4.245	€ 1.146	€ 3.815
Grote vaste combinatie (LNG/LBM)	€ 1.289	€ 9.138	€ 3.029	€ 10.877
Trekker-oplegger (LNG/LBM)	€ 3.013	€ 21.456	€ 6.154	€ 24.597

*hoge capaciteit/lage capaciteit-tankstations

Ervan uitgaande dat de overheid deze bijkomende kosten dient te compenseren opdat methaanvoertuigen zouden ingeschakeld worden in de transportsector, dient op basis van de CPT-prognoses van het voertuigpark in 2030 volgende overheidskost gemaakt te worden in geval van CNG en LNG enerzijds en CBM en LBM anderzijds.⁸²

CNG en LNG trucks zijn beschikbaar en de vereiste kracht-koppels worden nu ook gerealiseerd in meer uitdagende rijomstandigheden (hellingen).

Tankinfrastructuur dient verder uitgerold te worden, zeker voor LNG in internationaal lange-afstandsverkeer

Tabel 34: Totale jaarlijkse kapitaal-, brandstof- en tankinfrastructuurkosten voor benzine, diesel en aardgas wegvoertuigen in 2020 (Kollamthodi et al., 2016)

Voertuigtype	# voertuigen (CPT prognoses)	Totale jaarlijkse overheidskost (€ per jaar)			
		CNG/LNG		CBM/LBM	
		Diesel		dual-fuel diesel/aardgas	
		Laag*	Hoog*	Laag*	Hoog*
Bestelwagen (CNG/CBM)	34.810	€ 8.667.690	€ 27.882.810	€ 5.325.930	€ 24.541.050
Kleine vaste combinatie (CNG/CBM)	1.634	€ 2.573.550	€ 6.936.330	€ 1.872.564	€ 6.233.710
Grote vaste combinatie (LNG/LBM)	44	€ 56.716	€ 402.072	€ 133.276	€ 478.588
Trekker-oplegger (LNG/LBM)	5.186	€ 15.625.418	€ 111.270.816	€ 31.914.644	€ 127.560.042
	TOTAAL	€ 26.923.374	€ 146.492.028	€ 39.246.414	€ 158.813.390

Met een CO₂-besparing op basis van de TRABAM-moldoorrekening in 2030 van 90.734 ton CO₂ levert de introductie van CNG en LNG-voertuigen een kosteneffectiviteit op tussen € 297 per ton bespaarde CO₂ in geval van hoge capaciteitstankstations en € 1.615 per ton bespaarde CO₂ in geval van lage capaciteitstankstations. In geval deze voertuigen overschakelen op duurza(a)m(er) biomethaan (CBM en LBM) zou de besparing op basis van de TRABAM modeldoorrekening 322.1572 ton CO₂ bedragen, wat neerkomt op een kosteneffectiviteit van de introductie van CBM en LBM-voertuigen tussen € 122 per ton bespaarde CO₂ in geval van hoge capaciteitstankstations en € 493 per ton bespaarde CO₂ in geval van lage capaciteitstankstations.⁸³

Timing:

Technische implementeerbaarheid:

Voorwaarden en barrières :

De Europese Unie is momenteel een minder ontwikkelde markt voor voertuigen op aardgas. De Europese landen hebben geen duidelijk concurrentievoordeel ten aanzien van de brandstofprijzen en tot voor kort ontbrak het ook aan stimuleringsmaatregelen van de overheid om aardgas in het vervoer te promoten. De CNG- en LNG-tankstation netwerken zouden verder moeten worden uitgebreid om CNG- en LNG-trucks concurrerend te maken ten opzichte van hun benzine/diesel-tegenhangers.

Nichetoeepassingen waarbij organisaties die biomethaan produceren op hun eigen gas kunnen rijden blijven interessant en zijn een mogelijk argument om verdere ontwikkeling in voertuigtechnologie te ondersteunen. Daarnaast kan bij grootschaligere industriële productie van biomethaan als transportbrandstof gebruik gemaakt worden van de ontwikkelde CNG en LNG-voertuigen en tankinfrastructuur.

⁸² Een belangrijke simplificatie in deze analyse is dat we de meerkost berekend voor 2020 hanteren voor het jaar 2030. Enerzijds zal de efficiëntie van methaanvoertuigen naar 2030 toe verbeteren, anderzijds wordt verwacht dat de prijsdifferential tussen (bio)methaan en diesel zal toenemen. We maken hier de vereenvoudigende veronderstelling dat beide effecten mekaar opheffen.

⁸³ In deze berekening maken we de assumptie dat de trekker-oplegger combinatie in 2030 een mono-brandstof LNG of LBM-voertuig is. Voor de berekening van de impact van een gemengd brandstofsysteem met biodiesel en biomethaan, zie fiche "Combinatie van biodiesel en biomethaan".

Biomethaan heeft immers het grote voordeel dat het volledig compatibel is met aardgas, waardoor het er eenvoudig mee gemengd kan worden of rechtstreeks als zuivere brandstof gebruikt kan worden in CNG (als gecompriemd biomethaan/CBM) of LNG (als vloeibaar biomethaan/LBM).

Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID) vereist dat lidstaten van de Europese Unie nationale beleidskaders ontwikkelen om (naast andere brandstoffen) CNG en LNG voor wegvervoer te faciliteren door publiek toegankelijke tankpunten te bieden op de belangrijkste corridors van het Trans-Europese vervoersnetwerk tegen 2025 (EC, 2014). De richtlijn suggereert dat het bijtanken van punten langs dit netwerk ongeveer om de 400 km voor LNG en om de 150 km voor CNG moet plaatsvinden. Tegen 2030 moet er zodoende een duurzaam Europees distributienetwerk met 400 tankstations voor LNG/CNG/Groengas op poten staan.

In een recent project voor de installatie van 8 LNG tankstations in België en Nederland werd de kostprijs op 60 miljoen euro geraamd (voor de helft gesubsidieerd door de EU). Dit kan als indicatie gebruikt worden voor de kostprijs van de installatie van LNG tankstations.

Het tanken van een vrachtwagen met LNG kan met vergelijkbare snelheid als benzine of diesel, maar LNG-tankstations vereisen complexe en gespecialiseerde apparatuur (bijvoorbeeld cryogene opslagtanks, koelsystemen en veiligheidsapparatuur om te zorgen dat kritische verhogingen van de LNG-opslagdruk worden vermeden). Een belangrijk aspect bij LNG is immers de zogeheten *boil-off*. Hoe goed een tank voor LNG ook geïsoleerd is, er zal iedere dag onvermijdelijk een klein gedeelte verdampen. Het gas dat zo ontstaat, moet worden afgeblazen, omdat anders de druk in de tank te groot wordt. Er is dus een afblaas-veiligheid noodzakelijk voor zowel opslagtanks als tanks van voertuigen. Ook voor het vervoer van LNG naar tankstations is gespecialiseerd materiaal vereist.

In een recente studie van VITO (2018) worden aanbevelingen gedaan op basis van de best beschikbare technieken voor de opslag van LNG op vlak van milieuvorwaarden en milieusubsidieregeling om o.a. uitbouw van tankstations te stimuleren

Methaanlekage dient opgelost te worden langsheen de volledige supply chain⁸⁴. Onderzoek in het VK door Ricardo-AEA (Bates et al., 2014) stelt dat voor een typische *du-al-fuel* vrachtwagen op diesel en CNG, een 2% niveau van methaanlekage op TTW-niveau de broeikasgasbesparing van een aardgastruck volledig kan tenietdoen. Ander onderzoek uitgevoerd door ICCT geeft aan dat lekkageniveaus van slechts 1% al voldoende zouden kunnen zijn om de broeikasgasvoordelen van "mono-brandstof" aardgasvoertuigen te compenseren (ICCT, 2015).

De uitstoot door methaanlekage bleek uit de studie van Kollamdhiti et al. (2016) zeer variabel te zijn, variërend van minder dan 1 gCH₄/kWh tot meer dan 10 gCH₄/kWh. Dit komt overeen met 28 tot 280 g CO₂-eq/kWh. Methaanlekage op voertuigniveau wordt via de EURO VI emissie-standaard evenwel aan banden gelegd en beperkt tot 0,5

gCH₄/kWh, wat overeenstemt met 14 g CO₂-eq/kWh. Op basis hiervan schatten Kollamdhiti et al. (2016) dat de TTW-broeikasgasemissiereductie van mono-brandstof aardgasvoertuigen in 2020 door methaanlekage gereduceerd wordt van 7% naar 4,9%.

Een ander onderzoek door Thinkstep (2017) voor de Natural Gas Vehicles Association Europe (NGVA) heeft becijferd dat de *well-to-tank* (WTT) methaanemissies bij CNG-bevoorrading 0,65% van het gewichtpercentage uitmaken en bij LNG-bevoorrading 1,23%. Voor de *well-to-wheel* (WTW) emissies van vrachtwagens becijferde de studie een methaanuitstoot van 0,78% in gewichtpercentage voor een CNG-voertuig en van 1,23% voor een LNG-voertuig. Als er gekeken wordt naar de totaliteit van de WTW-broeikasgasemissies dan wordt bij CNG-vrachtwagens 54,0 CO₂-eq op een totaal van 907,6 CO₂-eq uitgestoten door methaanemissies. Voor LNG-vrachtwagens is dit 80,3 CO₂-eq op een totaal van 1005,0 CO₂-eq. Dit is respectievelijk 5,9 en 8,0:

Momenteel wordt er vanuit de overheid een incentive gegeven aangezien er geen taksen betaald dienen te worden wanneer LNG en CNG getankt worden.

Een cruciaal aspect met betrekking tot de introductie van CBM en LBM-voertuigen is de voldoende beschikbaarheid van betaalbaar duurzaam biomethaan. Dit element wordt besproken bij de Voorwaarden en barrières in de fiche "Combinatie van biodiesel en biomethaan".

Conclusie

De maatregel zet in op het gebruik van alternatieve energiedragers LNG en CNG. Indien gebaseerd op fossiel aardgas heeft deze maatregel een relatief klein potentieel om de uitstoot van CO₂ door het goederenvervoer in Vlaanderen te reduceren. Op basis van *well-to-wheel* emissies geven sommige studies zelfs een stijging aan. Daarom wordt deze maatregel an sich niet weerhouden in het voorkeurscenario. Door de vereiste investeringen in voertuigen en tankinfrastructuur zijn er voor LNG en CNG bovendien significante lock-ins naar 2050 toe. Aangezien er naar 2030 toe evenwel een operationeel TTW CO₂ besparingspotentieel is bij het gebruik van CNG- en LNG voertuigen en er reeds een aanzet is tot CNG tankinfrastructuur en er ook al (vooral CNG) voertuigen op de markt beschikbaar zijn, wordt er, gelet op de grote uitdaging, toch ook een variant van het voorkeurscenario opgemaakt waarbij deze maatregel wel opgenomen wordt. CNG en LNG kunnen hierbij fungeren als tijdelijke oplossing in de overgang naar toepassingen op basis van hernieuwbaar biomethaan (CBM en LBM), welke een potentieel duurzamer alternatief vormen en volledig compatibel zijn met CNG en LNG voertuigen en tankinfrastructuur. Er bestaan evenwel nog tal van onzekerheden met betrekking tot economische haalbaarheid en beschikbaarheid van deze duurzame(re) energiedragers. Daarom wordt aanbevolen om de technologische evolutie en het wetenschappelijk onderzoek naar haalbaarheid van duurzame biomethaanproductie en marktintroductie van CBM en LBM-voertuigen kort op te volgen. Meer hierover is ook terug te vinden in fiche "Bijmenging biobrandstoffen" en de fiche "Well-to-tank analyse energiedragers".

⁸⁴ Volgens het Europees Milieuagentschap (EEA, 2017) vertegenwoordigen de methaanemissies van aardgasactiviteiten 5% van de totale methaanemissie in de EU in 2015, wat gelijkstaat aan 0,6% van de totale broeikasgasemissies van de EU. Tussen 1990 en 2015 daalden de methaanemissies van gasactiviteiten wel reeds met 46% als een gevolg van de inspanningen van de gasindustrie om de gasindustrie om de methaanemissies te minimaliseren. Verdere initiatieven in de gasindustrie zoals leak detection and repair (LDAR) programma's blijven noodzakelijk.

Bronnen :

Bates, Birchby, Newman, Norris (Ricardo-AEA) (2014). Waste and Gaseous Fuels in Transport - Final Report. Ricardo Energy & Environment. <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/336022/gaseous-fuels-report.pdf>

Clean Power for Transport prognose

Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG) (2018) Studie met betrekking tot de rentabiliteit van aardgas gebruikt als brandstof (CNG of compressed natural gas) voor auto's

De Vuyst, 2015, Alternatieve energiebronnen voor bussen en vrachtwagens

EC, 2014, Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID)

EC, 2014, JEC Well-To-Wheels analysis, Report version 4.a, Well-To-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, JRC Technical Reports

European Environmental Agency (EEA) (2017) Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2015 and inventory report 2017. Submission to the UNFCCC Secretariat

Fischer, 2018, Renewable and Decarbonised Gas. Options for a Zero-Emission Society. E3G Report June 2018

ICCT (2015) Assessment of Heavy-Duty Natural Gas Vehicle Emissions: Implications and Policy Recommendations. International Council on Clean Transportation.

IGU (2012) Natural Gas for Vehicles. IGU and UN Economic Commission for Europe.

International Energy Agency, 2017, The Future of Trucks: Implications for Energy and the Environment

Kollamthodi, Norris, Dun, Brannigan, Twisse, Biedka, Bates (Ricardo-AEA) (2016) The role of natural gas and biomethane in the transport sector.

LNG Binnenvaart, 2017, Breakthrough LNG Deployment in Inland Waterway Transport. 1.1 Execution of ex-ante cost/benefit analyses for the best available LNG technologies for vessels

LNG Binnenvaart, 2016, Breakthrough LNG Deployment in Inland Waterway Transport. 4.1 Analysis of the potential and sailing profiles of LNG using vessels in Europe

Marynissen, Jacobs, Huybrechts (VITO), 2018, Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor verdeling van LNG. Finale draft.

Prominent, 2015, D 1.2 List of best available greening technologies and concepts. Sustainable, safe and economically feasible energy concepts and technologies for European Inland Shipping.

Thinkstep, 2017, Greenhouse Gas Intensity of Natural Gas on behalf of NGVA Europe. Final Report.

Transport & Environment, 2016, Natural gas in vehicles – on the road to nowhere

TNO (Verbeek, van Zyl) en CE Delft (van Grinsven, van Es-sen) (2014) Brandstoffen voor het wegverkeer. Kenmerken en perspectief. Tweede versie, juni 2014.

Verbeek, Verbeek, (TNO), 2015, LNG for trucks and ships: fact analysis Review of pollutant and GHG emissions. Final

02.12. Combinatie van diesel met aardgas en biodiesel met biomethaan

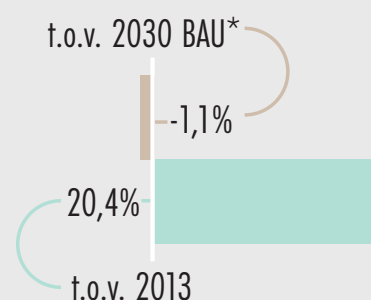
Korte beschrijving :

Een aantal biobrandstofopties heeft het potentieel om het verbruik van aardolieproducten in het zware wegtransport te vervangen en de sector koolstofarm te maken. Biobrandstoffen hebben relatief hoge energiedichtheden en, voor verschillende brandstoffen, compatibiliteit met bestaande wagenparken en infrastructuur voor brandstofverdeling. In dit scenario wordt introductie van biobrandstoffen bekeken in vrachtwagens met een gemengd brandstofsysteem (ook wel *dual fuel* vrachtwagens genaamd). Deze toepassing is hoofdzakelijk relevant voor zware vrachtwagens op lange afstandstrajecten. In bestaande gemengde brandstofsysteemen voor zware vrachtwagens wordt momenteel nog een mix van diesel en LPG of aardgas (CNG/LNG) gebruikt. In dit scenario wordt evenwel uitgegaan van de evolutie naar een brandstofsysteem met een combinatie van biodiesel en tot biomethaan opgewekt biogas. Biogas is te vergelijken met aardgas, maar is een hernieuwbaar gas dat ontstaat wanneer organisch materiaal door bacteriën wordt ontbonden in een zuurstofvrije omgeving (bijvb. uit huishoudafval en ander organisch afval). Door dit biogas op te werken tot biomethaan (door het verwijderen van onzuiverheden in het biogas) in respectievelijk gecomprimeerde (*compressed biomethane* of CBM) of vloeibare (*liquified biomethane* of LBM) vorm kan aardgas (CNG en LNG) vervangen worden als transportbrandstof door een duurzamer alternatief.

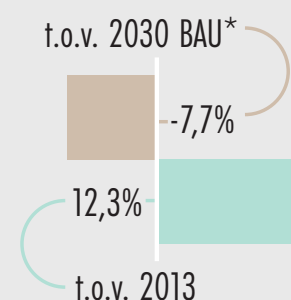
Naast organisch materiaal van hernieuwbare afkomst kunnen brandstoffen voor transport ook op basis van afval van niet-hernieuwbare afkomst (zoals plastics) geproduceerd worden. Het nieuwe Europese akkoord rond de hernieuwbare energierichtlijn (juni 2018), welke ook beslissingen met betrekking tot energiewinning uit afval bevat, voorziet de mogelijkheid om dergelijke brandstoffen afkomstig van plastic mee te tellen bij de verplichte doelstellingen voor 'geavanceerde brandstoffen' in transport. Door ze mee op te nemen in de definitie van de zogenaamde 'recycled carbon fuels' worden deze brandstoffen in dezelfde categorie geplaatst als duurzame biobrandstoffen en hernieuwbare elektriciteit. Vanuit duurzaamheidsperspectief lijkt dit echter niet verdedigbaar, aangezien deze beslissing in tegenstrijd is met maatregelen om plasticvervuiling terug te dringen door het wegnemen van de incentive om in te zetten op de preventie en recyclage van plastic. Bovendien is het opwekken van dergelijke brandstoffen een erg energie-intensief en duur proces (JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014). Op basis daarvan worden dergelijke op plastic gebaseerde brandstoffen in deze studie niet weerhouden als duurzame optie naar 2030 en 2050 toe.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Individuele modeldoorrekening met emissiefactor Departement Omgeving (zie fiche "Emissiefactoren") voor voertuigen met gemengd brandstofsysteem diesel/LNG (enkel wegvervoer):



Individuele modeldoorrekening met zero emissiefactor voor voertuigen met gemengd brandstofsysteem van duurzame biodiesel en biomethaan (enkel wegvervoer):



* t.o.v. 2030 business as usual (volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

- Het CO₂-emissiereductiepotentieel van CNG- en LNG-voertuigen wordt, samen met de problematiek van methaanlekage, besproken in de fiche "CNG- en LNG-voertuigen". Daaruit blijkt dat het reductiepotentieel van dergelijke voertuigen beperkt is. De overstap naar biomethaan en/of biodiesel kan transport in principe wel CO₂-neutraal maken, afhankelijk van de productiemethode en het transport van biodiesel en biomethaan (zie fiche "well-to-tank analyse energiedragers"). Ook bij biomethaan blijft de problematiek van methaanlekage evenwel een belangrijk aandachtspunt.
- Kollamthodi et al. (2016) geeft TTW CO₂-emissie op voor een vergelijkbare zware vrachtwagen die respectievelijk op diesel, een combinatie van diesel en LNG en een combinatie van diesel en LBM rijdt, bij volledige verbranding (dus zonder rekening te houden met methaanlekage tijdens voertuiggebruik).

Tabel 35: Kollamthodi et al. (2016)

Voertuigtype	Brandstof	g CO ₂ e/km	g CO ₂ /km	g CH ₄ /km	g N ₂ O/km
Zware vrachtwagen > 32 ton (lange afstand)	Diesel	831,2	830	0,0030	0,0040
Zware vrachtwagen > 32 ton (lange afstand)	Gemengd brandstofsysteem (Diesel en LNG)	778,5	760	0,5020	0,0179
Zware vrachtwagen > 32 ton (lange afstand)	Gemengd brandstofsysteem (Diesel en LBM)	418,8	400*	0,4910	0,0179

* Het gedeelte gereden op LBM zorgt voor nuluitstoot, de hier vermelde CO₂-emissie wordt veroorzaakt voor de fractie die gereden wordt op conventionele diesel

Uit bovenstaande tabel blijkt dat het gemengde brandstofsysteem met diesel en LBM significant lagere CO₂eq- en CO₂-emissie uitstoot heeft dan de conventionele dieselvrachtwagen (respectievelijk -50% en -52%) en de vrachtwagen met een gemengd systeem van diesel en LNG (respectievelijk -46% en -47%). De vrachtwagen met een gemengd systeem van diesel en LNG scoort respectievelijk 6,3% en 8,4% beter dan de conventionele dieselvrachtwagen. De *dual fuel* emissiefactor aangeleverd door Departement omgeving gaat uit van een CO₂ emissiereductie van 15% voor een zware vrachtwagen met een gemengd brandstofsysteem diesel/LNG in 2030, rekening houdende met bijkomende motorefficiëntieverbeteringen.

- **Vertaling naar Voorkeursscenario:** Het aandeel voertuigen dat vermeld wordt in de CPT-ambities met *dual fuel* aandrijving én die een combinatie van hernieuwbare biobrandstoffen gebruiken, wordt (voor het aandeel verbruikte biodiesel of biomethaan) als zero-emissievoertuigen meegenomen in het voorkeursscenario. Dit levert een relatief grote besparing op aangezien deze maatregel betrekking heeft op een significant aandeel zware vrachtwagens. Zware vrachtwagens zijn als voertuigcategorie verantwoordelijk voor het grootste aandeel van de CO₂-emissies van vrachtvervoer over de weg.⁸⁵ Er is bij deze maatregel een relatie met LNG en CNG technologie, gezien biomethaan enkel op LNG/CNG voertuigen toegepast kan worden.

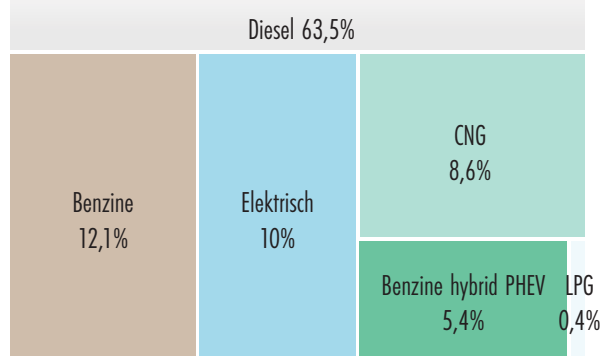
⁸⁵ 78,5% in 2030 BAU scenario.

Model : TRABAM

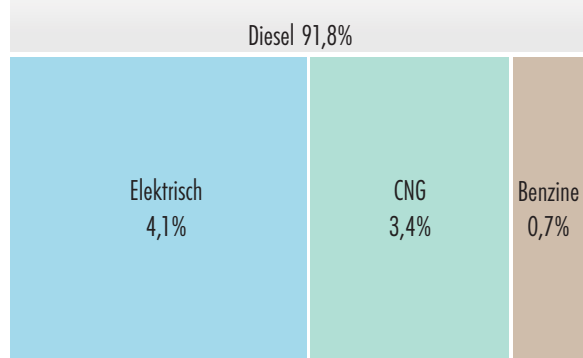
In dit scenario wordt de voertuigvloot van transporteurs in TRABAM aangepast zodoende dat ze voertuigen aangedreven door combinatie van biobrandstoffen en biomethaan mee opnemen in hun optimalisatieproces. Deze aanpassing gebeurt in functie van de huidige vloot-kenmerken van de transporteur: hoe groter het aandeel euro 6 in vloot, hoe groter de kans dat hij voertuig zal vervangen door vrachtovertuig die rijden op biodiesel en biomethaan. Als randvoorwaarden wordt er verondersteld dat er voldoende biobrandstoffen beschikbaar zijn en dat er voldoende tankinfrastructuur aanwezig is zodoende dat er geen omrij kilometers afgelegd moeten worden voor het tanken. In de modeldoorrekening werden 7,5% van de zware vrachtwagens met (duurzame) biobrandstoffen verondersteld.⁸⁶ Deze percentages werden gebaseerd op de waarden die in de loop van deze studie circuleerden in het kader van de opmaak van de CPT-doelstellingen voor dual fuel voertuigen. In onze modeldoorrekening veronderstellen we dus dat dit potentieel zero-emissievoertuigen zijn.

Tabel 36: Aandeel van de voertuigvloot in 2030 volgens aandrijving voor bestelwagens, lichte en zware vrachtovertuigen.

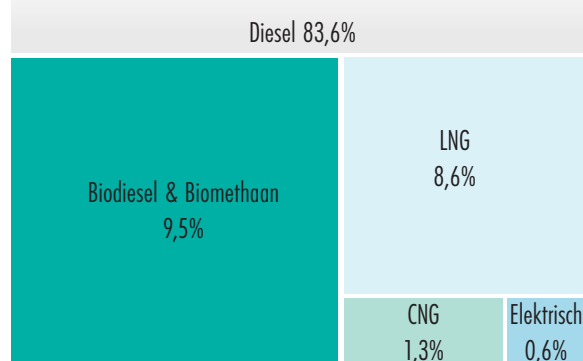
Bestelwagens (<3,5 ton)



Lichte vrachtwagens (>3,5 ton & <12 ton)



Zware vrachtwagens (>12 ton)



⁸⁶ Op basis van de analyse van Kollamthodi et al. (2016) rijden deze dual-fuel vrachtwagens in dit zero-emissie scenario met een verhouding van 65% biomethaan en 35% geavanceerde biodiesel (zie fiche "CNG/LNG en CBM/LBM-voertuigen").

Effect op luchtvervuiling:

Bepaalde opties voor biobrandstoffen kunnen een lagere impact hebben op lokale luchtvervuiling in vergelijking met diesel. Biomethaan resulteert in verminderde emissies van koolwaterstoffen, koolmonoxide, stikstofoxiden en fijnstof in vergelijking met dieselbrandstoffen. Biomethaan kan ook geluidsreductie van voertuig realiseren (zie ook fiche "CNG/LNG en CBM/LBM voertuigen").

Totale WTW emissiereductie sterk afhankelijk van pathway van de biobrandstof (well-to-tank emissies): (zie IEA (2017;p 88-91 en fiche "well-to-tank analyse energiedragers")

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving: De modal verschuiving is afhankelijk van de kostimpact van de "totale kost van eigenaarschap" ('total cost of ownership' of TCO) van het gebruik van biobrandstoffen. (bij gelijkblijvende kosten tussen modi: geen modal shift impact)
- Secundaire effecten:
 - impact van op gewassen gebaseerde biobrandstoffen op andere sectoren (landbouw, afvalverwerking, landgebruik,...): de keuze van grondstoffen is een sleutelfactor in het koolstofarm maken van biobrandstoffen in vergelijking met fossiele brandstoffen. Bij biodiesel moet hierbij rekening worden gehouden met broeikasgasemissies die gepaard gaan met de teelt, de verandering van het landgebruik en de impact op afvalstromen (gerelateerd aan het nastreven van circulariteit) in het kader van een volledige levenscyclusanalyse van op gewassen gebaseerde biodiesels (zie fiche "well-to-tank analyse energiedragers")
 - Transport zit in competitie met de warmte- en elektriciteitssector voor de beperkte hoeveelheid beschikbare duurzame biodiesel en biomethaan.
 - geen of beperkte secundaire effecten. Enkel indien kostenvoordeel of-nadeel van CNG/CBM en/of LNG/LBM voertuigen voor de transportoperators zou resulteren in toename of afname van voertuigkilometers kan dit een effect hebben op de verkeersdoorstroming.⁸⁷ Zonder ondersteuning vanuit de overheid wordt een kostennadeel verwacht, wat de introductie van dergelijke voertuigen op grote schaal zou belemmeren (zie verder).

Lock-in:

Noodzaak aan gespecialiseerde tankinfrastructuur, aanpassingen aan het distributienetwerk en specifieke voertuigen met een gemengd brandstofsysteem voor biodiesel en biomethaan creëert significante lock-in (zie ook fiche "CNG/LNG en CBM/LBM voertuigen"). Daarnaast zijn er ook hier investeringen in verdere ontwikkeling van voertuigtechnologie vereist om onder andere de motorefficiëntie te verhogen en methaanlekage te reduceren. Anderzijds passen deze investeringen in de integratie van duurzaam hernieuwbaar biomethaan in combinatie met duurzame biodiesel in de transportsector. Dat maakt dat de investeringen in gemengde brandstofsysteem op diesel en methaan als tussenoplossing naar zero-emissievoertuigen mogelijks niet verloren zijn.

Toepassingsgebied:

- Hoofdzakelijk buitengebied
- Zwaar vrachtvervoer lange-afstand (andere opties zoals mono-brandstof methaanvoertuigen beschikbaar voor licht vrachtvervoer, zie fiche "CNG/LNG en CBM/LBM voertuigen")

⁸⁷ Het scenario in de modeldoorrekening gaat uit van voldoende tankinfrastructuur zodat omrijkilometers vermeden worden. Indien er wel omrijkilometers vereist zijn bij onvoldoende tankinfrastructuur kan het aantal voertuigkilometers wel stijgen (met mogelijke impact op verkeersdoorstroming).

Kosteneffectiviteit :

- Een systeem voor bijmenging van biobrandstoffen kan op bestaande vrachtwagens gebouwd worden (retro-fitting) of is beschikbaar op modellen rechtstreeks van de fabrikant. De kosten (kapitaal, brandstof en infrastructuur) voor een nieuwe trekker-oplegger (>32 ton) met een gemengd brandstofsysteem van diesel en methaan wordt gegeven door Kollamthodi et al. (2016) en besproken in de fiche "CNG/LNG en CBM/LBM voertuigen". We nemen deze waarden hier over voor een gemengd brandstofsysteem op biodiesel en LBM. Ervan uitgaande dat de overheid deze bijkomende kosten compenseert opdat voertuigen met gemengd brandstofsysteem diesel/methaan zouden ingeschakeld worden in de transportsector, dient op basis van de CPT-prognoses van het voertuigpark in 2030 volgende overheidskost gemaakt te worden.

totale productiekosten. Dit valt echter te betwijfelen aangezien afvalstoffen in vele gevallen complexe aanvoerroutes kennen of extra behandeling vereisen. Daartegenover is grootschalige landbouw een eenvoudiger proces. Grondstofprijzen, die variëren naargelang de vraag en het productieniveau, zijn alleszins een belangrijke bepalende factor voor de productiekosten van biobrandstoffen op basis van gewassen. Afval- en restgrondstoffen zijn in vergelijking doorgaans goedkoper dan nieuwe plantaardige oliën, maar kunnen op hun beurt extra problemen geven bij de verwerking vanwege de variabele samenstelling en aanwezigheid van onzuiverheden. Toenemende belangstelling voor deze bronnen kan bovendien de vraag doen toenemen, waardoor de prijzen en dus ook de productiekosten zouden stijgen. (zie IEA, 2017; p.90-91)

Tabel 37: Totale jaarlijkse kapitaal-, brandstof- en tankinfrastructuurkosten voor wegvoertuigen met gemengd brandstofsysteem (diesel en methaan) in 2020 (Kollamthodi et al., 2016)

Voertuigtype	# voertuigen (CPT prognoses)	Totale jaarlijkse overheidskost (€ per jaar)	
		gemengd brandstofsysteem (bio)diesel/(biomethaan dual-fuel diesel/aardgas	
		Hoog*	Laag*
Trekker-oplegger dual fuel >32 ton	10.194	€ 62.733.876	€ 250.741.818

*hoge capaciteit/lage capaciteit-tankstations (meer toelichting is te vinden in de fiche "CNG/LNG en CBM/LBM voertuigen")

- Met een CO₂-besparing op basis van de TRABAM-modeldoorrekening in 2030 van 53.830 ton CO₂ op basis van de emissiefactoren aangeleverd in kader van CPT-prognoses (zie fiche "Emissiefactoren") levert de introductie van voertuigen met gemengd brandstofsysteem (bio)diesel/methaan een kosteneffectiviteit op tussen **€ 1.165** per ton bespaarde CO₂ in geval van hoge capaciteitstankstations en **€ 4.658** per ton bespaarde CO₂ in geval van lage capaciteitstankstations. In geval deze voertuigen overschakelen op duurzame biodiesel en biomethaan (LBM) (zonder methaanlekkage), waarbij de veronderstelling gemaakt wordt dat zo TTW zero-emissievoertuigen gerealiseerd worden, zou de besparing op basis van de TRABAM modeldoorrekening 363.420 ton CO₂ bedragen, wat neerkomt op een kosteneffectiviteit van de introductie van deze voertuigen tussen **€ 173** per ton bespaarde CO₂ in geval van hoge capaciteitstankstations en **€ 690** per ton bespaarde CO₂ in geval van lage capaciteitstankstations.
- Productiekosten van biobrandstoffen zijn variabel voor zowel de huidige als toekomstige technologische routes om biobrandstoffen te produceren voor het (zware) vrachtvervoer. IEA (2017) schat in dat voor afval- en residu-gebaseerde processen de grondstoffen een lager aandeel zullen hebben in de

- Het huidige Europese beleid stimuleert nog steeds het bijmengen van (eerste generatie) biodiesel waarvan op basis van well-to-tank analyse niet kan volgehouden worden dat dit duurzaam is (zie fiche "Well-to-tank analyse energiedragers") Het verhogen van het verbruik van duurzame biobrandstoffen in zwaar vrachtvervoer over de weg vereist drie elementen: het verlagen van de kostennadeel van (duurzame) biodiesel en biomethaan in vergelijking met fossiele diesel, het creëren van vraag naar dergelijke voertuigen en het vergroten van de brandstofbeschikbaarheid. In eerste instantie blijven fiscale prikkels voor koolstofarme voertuigen en duurzame biobrandstoffen waarschijnlijk nodig. In dit verband kan een koolstofbijdrage het concurrentievermogen van duurzame biobrandstofopties vergroten.

Timing:

- Technische implementeerbaarheid:
 - Gemengde brandstofsyste­men met biodiesel en biomethaan: voor types en beschikbaar­heden: zie IEA (2017; p86- 88) en fiche “well-to-tank analyse energiedragers”
 - Beperkte beschikbaarheid biobrandstoffen op basis van huishoudelijk en organisch afval voor transport (competitie met warmte- en elektriciteitssector) kan introductie vertragen/belemmeren (zie hieronder).

Voorwaarden en barrières :

- In gemengde brandstofsyste­men die werken met een combinatie van biobrandstoffen wordt momenteel een mix van enerzijds diesel en anderzijds LPG, aardgas (CNG) of biomethaan gebruikt, met een maximale bijmenging van 30% gas. Er zijn syste­men verkrijgbaar die een hoger gaspercentage toelaten, maar dit verlaagt momenteel nog het motorrendement. Ook bij deze brandstofsyste­men stellen zich problemen van onvolledige verbranding en methaanlek­kage. Bij de overstap naar biomethaan stelt zich, naast het aanpakken van methaanlek­kage langs­heen de volledige aanvoerketen, momenteel het bijkomende probleem dat de kwaliteit van biomethaan nog niet continu is en de beschikbaarheid beperkt. In de studie van Ricardo-AEA (Kollamthodi, 2016) wordt uitgegaan van een gemengd brandstofsysteem voor trek­ker-opleggers (>32 ton) in een verhouding 65% methaan en 35% diesel.
- Indien duurzaam geproduceerde biodiesel in plaats van conventionele diesel en duurzaam biomethaan (LBM) in plaats van LNG gebruikt wordt, kan de CO₂-emissiefactor sterk verlaagd worden en mogelijk zelfs tot zero-emissie­voertuigen leiden. Keuze van grondstoffen is een sleutelfactor in het koolstofarm maken van biobrandstoffen in vergelijking met fossiele brandstoffen. Bij biodiesel moet hierbij rekening worden gehouden met broeikasgasemissies die gepaard gaan met de teelt en de verandering van het landgebruik in het kader van een volledige levenscyclusanalyse van op gewassen gebaseerde biodiesels (zie fiche “Well-to-tank pathways energiedragers”). Zoals in de inleiding meegegeven speelt op vlak van biomethaan de discussie omtrent wat beschouwd kan worden als *recycled carbon fuel*.
- Daarnaast stelt zich zowel voor biodiesel als biomethaan een probleem van voldoende beschikbaarheid. Wereldwijd werd in 2015 meer dan 31 miljard liter biodiesel geproduceerd, waarmee het de meest gecommercialiseerde biobrandstof­optie voor zwaar transport is. De productie van *Hydro-treated Vegetable Oil* (HVO) gaat in een stijgende lijn, met een wereldwijde productiecapaciteit van meer dan 5 miljard liter. De wereldwijde productie van biogas (waaruit biomethaan kan opgewekt worden) is ook gestaag gestegen en bereikte ongeveer 1,3 EJ⁸⁸ in 2014. De

productie van biomethaan is het meest prominent in Europa en eind 2015 waren er meer dan 450 biomethaaninstallaties in bedrijf. In de meeste gevallen wordt de productie hiervan echter naar aardgasdistributienetwerken geleid en is deze niet gereserveerd voor transportdoeleinden (IEA, 2017).

- Kollamthodi et al. (2016) hebben ook de beschikbaarheid van biogas en biomethaan in Europa voor de transportsector bestudeerd. In 2013 produceerde Europa 1,1 Mtoe⁸⁹ biomethaan. Deze biomethaanproductie was ongeveer 0,29% van het totale methaanverbruik in Europa (387 Mtoe). Er is dus een duidelijke markt voor meer biomethaan productie. De kosten voor de productie van biomethaan vormen momenteel echter een barrière voor het vergroten van de toevoer ervan, omdat biomethaan aanzienlijk duurder is om te produceren dan aardgas. Er zijn stimulansen en subsidies om de productie en levering van biomethaan in veel EU-lidstaten te ondersteunen, maar deze zijn momenteel in het algemeen gunstiger voor producenten die aan warmte- en elektriciteitssectoren leveren, wat betekent dat het vaak niet economisch haalbaar is om biomethaan te produceren voor de transportsector. Om biomethaan aantrekkelijker te maken als brandstof voor de vervoerssector, moeten de beschikbare incentives en subsidies gelijk zijn aan die welke beschikbaar zijn voor producenten die biogas/biomethaan leveren aan de warmtekracht- en elektriciteitssectoren. Zonder aanvullende ondersteuning van deze aard is het onwaarschijnlijk dat biomethaan in de transportsector in belangrijke mate zal worden toegepast.
- In hun analyse stellen Kollamthodi et al. (2016) dat naast duurzaam biomethaan afgeleid uit organisch afval, deze brandstof ook kan worden geproduceerd uit energiegewassen en mogelijk uit hout. Hoewel de CO₂-uitstoot die vrijkomt bij de verbranding van biomethaan geproduceerd uit energiegewassen niet als een bijdrage aan de klimaatverandering wordt beschouwd, omdat deze emissies deel uitmaken van de koolstofcyclus op korte termijn, is de impact van CO₂-emissies door verbranding van uit hout afgeleid biomethaan minder duidelijk, aangezien bosbouwbronnen geen deel uitmaken van de koolstofcyclus op korte termijn. Bovendien kunnen energiegewassen leiden tot andere ongewenste milieueffecten, zoals indirecte verandering van landgebruik. De voorziene verhoging van de productie van biogas en biomethaan in Europa is ook strategisch belangrijk omdat het de EU kan helpen haar energiezekerheid te verbeteren door de afhankelijkheid van de invoer van aardgas van buiten de EU (hoofdzakelijk Rusland) te verminderen. Hoewel de toename van biogas en biomethaanproductie de behoefte aan aardgasinvoer zeker niet volledig kan wegwerken, geven Kollamthodi et al. (2016) aan dat het in 2020 mogelijk zou moeten zijn om de EU-invoer van aardgas met 30,5 Mtoe te verminderen, wat neerkomt op 19% van de geplande 2020-import van aardgas van Rusland naar de EU. Een toenemende EU-vraag naar aardgas voor de transportsector zou deze verlaging van de aardgasinvoer in 2020 evenwel weer

⁸⁸ Exajoule of 10¹⁸J

⁸⁹ Mtoe of miljoen ‘ton olie-equivalent’

deels teniet kunnen doen.⁹⁰

- Wat tankinfrastructuur betreft, bevat de Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID) een bepaling die gericht is op het vergemakkelijken van de levering en het gebruik van biomethaan.
- Vereiste motorvermogen bij oprijden van hellingen is nog onvoldoende bij combinatie van biomethaan en diesel. Bij een hoge vereiste trekkracht zal de vrachtwagen enkel op (bio)diesel moeten rijden. Daarnaast is motortechnologie op basis van compressie-ontsteking vereist in plaats van op basis van vonkontsteking om EURO VI emissiestandaarden met zelfde vermogensefficiëntie als diesel te bereiken.

Conclusie

Het introduceren van vrachtwagens die rijden op een combinatie van biobrandstoffen (biodiesel en biomethaan) lijkt tegen 2030 technologisch haalbaar. Daarbij gaan we er wel van uit dat geopteerd wordt voor geavanceerde (duurzame) biobrandstoffen⁹¹, en dat het Europese en binnenlandse beleid de productie van deze biobrandstoffen stimuleert. Biomethaan dient opgewekt te worden uit biogas dat geproduceerd wordt op basis van organisch (afval)materiaal van hernieuwbare afkomst en niet van vast afval zoals plastics. In de fiche "well-to-tank analyse energiedragers" wordt ook dieper ingegaan op de mogelijkheden van hernieuwbaar gas (zo kan biomethaan geïnjecteerd worden in het bestaande gasnetwerk). Een belangrijke uitdaging is de voldoende beschikbaarheid van hernieuwbare duurzame biobrandstoffen, maar zwaar vrachtvervoer lijkt als moeilijk te decarboniseren sector potentieel in aanmerking te komen om een significant deel van de beschikbare productie toegewezen te krijgen. Ondanks de talrijke uitdagingen zien wij hier toch potentieel voor deze maatregel om bij te dragen tot de decarbonisatie van de vrachtsector en nemen we deze maatregel mee op in het voorkeurscenario, maar wordt er naar analogie met CBM en LBM-voertuigen geadviseerd om, gelet op de aanzienlijke lock-ins, de wetenschappelijke en technologische vooruitgang kort op te volgen om de slaagkansen en het uiteindelijke reductiepotentieel in 2030 zo correct mogelijk te kunnen inschatten en eventueel bij te stellen.

Bronnen:

- Clean Power for Transport prognose
- International Energy Agency, 2017, The Future of Trucks: Implications for Energy and the Environment
- De Vuyst, 2015, Alternatieve energiebronnen voor bussen en vrachtwagens
- EC, 2014, Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID)
- EC, 2017, Alternative Fuels. Expert Group Report, EUR KI-02-17-940-EN-N
- EC, 2014, JEC Well-To-Wheels analysis, Report version 4.a, Well-To-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, JRC Technical Reports
- JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration (2014) WELL-TO-TANK Report Version 4.a JEC Well-To-Wheels analysis. Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context.
- Kollamthodi, Norris, Dun, Brannigan, Twisse, Biedka, Bates (Ricardo-AEA) (2016) The role of natural gas and biomethane in the transport sector.

⁹⁰ Voor meer info, zie Kollamthodi et al., 2016, pp 63-70.

⁹¹ Zie fiche "Well-to-tank analyse energiedragers" voor selectie van gewassen die hiervoor in aanmerking komen, zoals populier en bepaalde grassen.

02.13. Electric Road System

Korte beschrijving:

Een mogelijk alternatief voor het op fossiele brandstoffen gebaseerde wegtransport is de implementatie van Elektrische Wegsystemen of *Electric Road Systems* (ERS) in combinatie met elektrische voertuigen (EV's). ERS zorgen voor een dynamische krachtoverdracht naar EV's vanaf de wegen waarop de voertuigen rijden. Hierdoor kunnen zowel de kosten als het gewicht en volume van de EV-batterijen tot een minimum worden beperkt en kan de noodzaak aan stops om batterijen op te laden worden geëlimineerd of in tijdsduur ingekort worden omdat opladen tijdens het rijden kan gebeuren. Dit systeem maakt het zo ook voor zware voertuigen mogelijk om batterijen te gebruiken. ICCT (Moultak et al., 2017) ziet het potentieel van ERS systemen naar 2030 toe vooral op het vlak van middelzware (3,5 tot 12 ton) en zware (>12 ton) vrachtwagens op middellange afstand met intens vrachtverkeer, daar waar plug-in batterij-elektrische voertuigen (BEV's) vooral een toepassingsgebied hebben op vlak van bestelwagens voor stedelijke distributie en middelzware vrachtwagens voor regionale distributie. Voor zware vrachtwagens voor lange afstandstransport kijkt ICCT vooral naar vrachtwagens met brandstofcellen (FCEV's), vanwege de beperkte batterijcapaciteit voor zwaar vrachtvervoer over langere afstand.⁹²

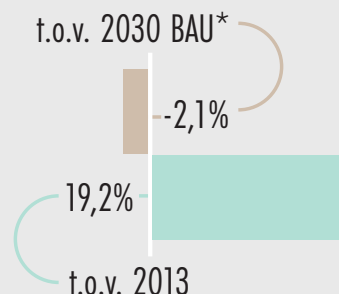
Er zijn momenteel in principe drie beproefde ERS-technologieën:

- Conductief via bovenleidingen: geleidende vermogensoverdracht via bovenleidingen, waarbij elektriciteit continu van de bovenleidingen naar het voertuig wordt overgebracht via een zogenaamde stroomafnemer of pantograaf;
- Conductief via rail: geleidende krachtoverdracht via rails in de weg, waarbij een stroomafnemer of pick-up arm gebruikt wordt om de voertuigen met de rails in de weg te verbinden en
- Dynamische inductiviteit: inductieve stroomoverdracht via de weg, waarbij het inductieprincipe gebruikt wordt om elektriciteit draadloos over te brengen naar bewegende voertuigen zonder mechanisch contact.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

In de simulaties worden BEV's in een ERS beschouwd als zero-emissie TTW (en WTW indien op basis van hernieuwbare elektriciteit).

Individuele simulatie ERS scenario (enkel wegvervoer):



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

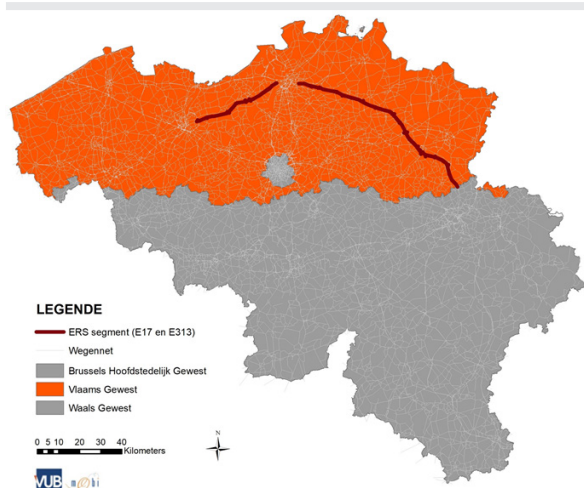
Door de toepassing van directe transmissie kan het systeem een energierendement van 80-85% hebben op WTW basis. Plug-in hybride vrachtwagens met ERS zijn potentieel een van de weinige technologieopties die zowel luchtverontreinigende uitlaatmissies als broeikasgasemissies in het (middel)zwaar vrachtvervoer kunnen elimineren of significant kunnen reduceren, afhankelijk van het vereiste voor- en natransport. De resterende afstand buiten het ERS-netwerk kan immers worden uitgevoerd door bijvoorbeeld een interne verbrandingsmotor (ICE) te gebruiken of door (beperkte) ingebouwde batterijen te voorzien die zijn geoptimaliseerd voor kortere routes. In kader van de roadmap gaan we uit van vrachtwagens met ingebouwde batterijen (Batterij-elektrische voertuigen of BEV's). De ingebouwde batterijen laten immers toe om kort voor- en natransport – met ERS als hoofdtransport – te overbruggen waardoor het hele afgelegde traject zero-emissie wordt vanuit een TTW perspectief.⁹³ De afstand van het voor- en natransport die overbrugd kan worden is in praktijk afhankelijk van onder andere het type voertuig, de grootte van de ingebouwde batterijen, de beladingsgraad (in tonnage), het rijgedrag van chauffeur, de mogelijkheid om bij te laden op de laad- en/of losplaats en de gereden afstand op het ERS traject. Dit laatste is belangrijk om de batterijen op te laden. In de modeldoorrekening in TRABAM wordt abstractie gemaakt van deze specifieke factoren maar wordt wel rekening gehouden met feit dat de afstand van het voor- en natraject beperkt moet zijn. Een meer gedetailleerde studie naar de dimensionering en het toepassingsgebied van een gecombineerd ERS-BEV systeem zou deze variabelen wel mee in overweging moeten nemen. Daarnaast zou ook een diesel of LNG-hybride ERS-compatibele truck ingeschakeld kunnen worden, wat de operationele en financiële haalbaarheid kan verbeteren, maar in een lagere CO₂-emissiereductie resulteert.

⁹² Daarbij geven Moultak et al. (2017) wel aan dat belangrijke barrières voor de introductie van zware FCEV vrachtwagens gevormd worden door de kosten van het voorzien van de nodige tankinfrastructuur, het produceren van voldoende betaalbare hernieuwbare waterstof en de meerkosten van brandstofcelvoertuigen (zie ook Fiche "Waterstof").

⁹³ Op WTW basis vereist dit hernieuwbare elektriciteitsproductie.

- **Vertaling naar Voorkeurscenario:** ERS toepassing op rechterrijstrook van twee assen (E17 en E313) wordt als optionele maatregel meegenomen in het voorkeurscenario.
- **Energieverbruik elektriciteit:** voor de maatregelen die resulteren in elektrificatie van transport wordt op basis van de modellering een inschatting gegeven van het bijkomende elektrische verbruik. Relevant bij deze maatregel is dat wanneer EV's op ERS wegen rijden, het rendement hoger is dan wanneer de batterij als energiebron wordt gebruikt. Dit komt door het feit dat de elektromotor in de EV's de energie rechtstreeks van het ERS ontvangt, waardoor het efficiëntieverlies dat optreedt bij batterijopslag wordt overbrugd. Dit resulteert in een lager energieverbruik per kilometer voor de voertuigen tijdens het rijden op geëlektrificeerde wegen (160-200 kWh/100km bij ERS versus 200-240 kWh/100km bij BEV).
 - Totaal elektrisch energieverbruik ERS in jaar 2030: **190,0 GWh**

Figuur 40: Toepassing van Electric Road System op de Vlaamse autosnelwegen (VUB)



Model : TRABAM

In dit scenario wordt de voertuigvloot van transporteurs in TRABAM aangepast zodoende dat ze batterij-elektrische vrachtwagens met ERS-technologie mee opnemen in hun optimalisatieproces. Deze aanpassing gebeurt in functie van de huidige vloot-kenmerken van de transporteur: hoe groter aandeel euro 6 in vloot, hoe groter kans dat hij voertuig zal vervangen door een BEV met ERS-technologie. Deze high level modeldoorrekening is niet gebaseerd op een toewijzen van ERS vrachtwagens aan specifieke transporteurs en houdt geen rekening met de nabijheid van de depots van de transporteurs tot de gekozen stukken ERS snelweg. Om toch tot een realistisch wagenpark en een realistisch aantal ritten te komen worden voldoende voertuigen in de vloot voorzien

zodat er voldoende spreiding is om nagenoeg alle ritten die in aanmerking komen voor transport over de ERS wegen uit te voeren. Hiertoe werd 10% van de zware vrachtwagenvloot in deze modeldoorrekening verondersteld compatibel te zijn met ERS-technologie. Hetgeen overeen komt met zo'n 12.000 zware vrachtwagens, waarvan de ruimtelijke spreiding een overeenkomstig patroon vertoont als dat van de totale populatie aan transportondernemingen/agent. Dit laatste is niet onbelangrijk, omdat de voertuigkeuze deel uitmaakt van het optimalisatieproces van de agent, dat op haar beurt afhankelijk is van locatie afhankelijke factoren (transportvraag, congestie)⁹⁴. Noodzakelijke infrastructuraanpassingen worden voorzien op rechterstrook in beide richtingen op E313 tussen grens Vlaanderen-Wallonië en Antwerpen (216 kilometer) en E17 tussen Antwerpen en Gent (103 kilometer). Deze twee assen werden geselecteerd vanwege het hoge volume vrachtovervoer op deze assen (Vlaams Verkeerscentrum, 2017, p. 18-20). Teneinde het gebruik van BEV's op het ERS-systeem in het model te genereren wordt op de voorziene assen een afstandskost (€/vkm) gehanteerd die 21% lager is voor ERS-compatibele BEV voertuigen t.o.v. dezelfde voertuigtypes met een diesel verbrandingsmotor.⁹⁵ Voor het voor en natransport wordt eveneens deze lagere afstandskost gebruikt omdat verondersteld wordt dat dit gedeelte elektrisch gereden wordt na oplading via het ERS-systeem.

De modeldoorrekening resulteert in dagelijks 5.492 ritten op het ERS-systeem, uitgevoerd door 4.206 voertuigen. Er zijn dus vrachtwagens die meerdere ritten per dag kunnen uitvoeren over het ERS-traject. Er van uitgaan dat het aantal zware vrachtwagens dat uitgerust dient te worden met ERS technologie zich beperkt tot 4.206, gaat echter voorbij aan het feit dat er waarschijnlijk extra trekkers aangewezen zijn vanuit oogpunt van operationele organisatie. Daarom worden er in de kosteneffectiviteitsanalyse twee berekeningen uitgevoerd: enerzijds een berekening waarbij er een marge voorzien wordt in het aantal benodigde vrachtwagens en dit aantal afgerond wordt naar het aantal uitgevoerde ritten (5.500 vrachtwagens), en anderzijds een berekening waarbij het aantal benodigde vrachtwagens uit de doorrekening zonder marge overgenomen wordt (4.206 stuks).

Effect op luchtvervuiling :

Sterk positief effect want het betreft een toepassing van TTW zero-emissievoertuigen waardoor er geen uitlaatemissies van luchtverontreinigende pollutanten zijn. De totale WTW emissiereductie is sterk afhankelijk van de elektriciteitsproductie (WTT emissies). Er is vooral een emissiereductie op snelwegen waar er eerder een lagere receptordensiteit is. Hoewel de Antwerpse ring in dit scenario niet voorzien wordt van een ERS, kan er hier ook een positief effect zijn doordat dit traject met batterijen overbrugd kan worden.

⁹⁴ Deze voertuigen worden voor de simulatie dus kunstmatig verspreid over de volledige populatie, wat maakt dat er ook ERS-compatibele voertuigen terecht komen bij ondernemingen die er geen gebruik van gaan maken vanwege een te grote afstand tot het ERS-systeem. Daarom wordt het aantal effectief benodigde ERS compatibele vrachtwagens in een volgende stap bepaald.

⁹⁵ Dit werd gebaseerd op het huidige verschil in marktprijzen. Op moment van de studie waren deze 1,57€ per liter diesel versus 0,22€ per kWh (prijzen september 2018). Bij een benaderend gemiddeld verbruik van respectievelijk 32 liter en 180 kWh per 100 km voor een zware ERS compatibele vrachtwagen resulteert dit in 50,24€ versus 39,6€ per 100 km, en dus een prijsverschil van 21%. Vanzelfsprekend zal dit prijsverschil fluctueren met o.a. (toekomstige) wijzigingen in de energieprijzen. TNO (2018) verwacht dat het relatieve prijsverschil tussen diesel en elektriciteit tegen 2030 verder zal toenemen, maar voor de modeldoorrekening was 21% verschil voldoende om de operatoren voor ERS-compatibele vrachtwagens te laten opteren op de routes die met het ERS-systeem waren uitgerust, als dergelijke voertuigen in hun vloot aanwezig waren.

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving: De modale verschuiving is afhankelijk van de impact van de «totale kosten van eigendom» (*total cost of ownership*) van de ERS vrachtwagens. Indien wegvervoer goedkoper wordt, treedt er mogelijk een modale verschuiving op van spoor en/of binnenvaart naar de weg.
- Secundaire effecten:
 - Aansluitend op het bovenstaande zou het goedkoper worden van wegvervoer kunnen resulteren in een stijging van het aantal voertuigkilometers op de weg en dus eventueel ook in een toename van congestie kunnen resulteren.
 - Infrastructuraanpassingen langs hoofdwegen kunnen tijdelijk hinder veroorzaken. In het geval van een systeem met bovenleidingen kunnen er ook bijkomende voorwaarden ontstaan aan de mogelijkheden voor uitzonderlijk vervoer.
 - impact op energiesector: enerzijds is er een verhoogde elektriciteitsvraag, anderzijds een verlaagde vraag naar fossiele brandstoffen met mogelijk fiscale implicaties.

Lock-in:

Geen (in geval van ERS compatibele BEV-vrachtwagens) of beperkte (in geval van diesel of hybride voertuigen) lock-in effecten met betrekking tot fossiele brandstoftechnologie. Wel sterke lock-in effecten binnen de mogelijke gangpaden naar zero-emissievervoer: uitbouw gespecialiseerde ERS infrastructuur vereist, samen met investering in vlootvernieuwing (aangepaste voertuigen) en aanpassingen in de energiesector, zoals aanpassingen in distributienet om ERS technologieën van stroom te voorzien.

Toepassingsgebied:

- Hoofdzakelijk buitengebied maar kan ook (deels) in stedelijk gebied, zoals bijvoorbeeld in de haven van Los Angeles/Long Beach waar dit systeem wordt uitgetest.
- Zwaar vrachtvervoer
- Eerder (middel)lange afstand (maar korte afstand ook mogelijk voor grote stromen, bijv in havengebied).

Kosteneffectiviteit :

- De kosten van het installeren van een inductieve weg, geleidende bovenleidingen en geleidende wegtechnologieën worden per kilometer begroot op respectievelijk minimaal € 1,5 miljoen, € 0,6 miljoen en € 0,4 miljoen indien schaalvoordelen optreden bij constructie op grote schaal (Singh, 2016) maar kan significant hoger liggen bij eerste implementaties. IEA (2017) spreekt over € 1 miljoen of meer per kilometer voor geleidende bovenleidingen op het hoofdwegennet, terwijl ICCT (2017) waarden tussen de € 0,8 en € 3,8 miljoen per kilometer vooropstelt. In de berekeningen hieronder nemen we de op een systeem van bovenleidingen gebaseerde waarde van € 1 miljoen per kilometer voor ERS infrastructuurkosten over, maar wordt voor het overige abstractie gemaakt van het type ERS.
- De kosten van de pickup-arm voor stroomoverdracht via een rail worden geschat op ongeveer € 450 in geval er schaalvoordelen zijn door massaproductie. De kosten voor het inductieve systeem wordt verwacht duurder te zijn dan de pick-uparm voor geleidende wegstroomoverdracht. Kosten van de stroomafnemer voor bovenleiding (pantograaf) wordt door Singh (2016) geschat op ongeveer € 5.500 voor een traditionele pantograaf (centrale waarde tussen € 3.000 en € 8.000), maar een intelligentere stroomafnemer zou een prijsbereik tussen € 12.000 en € 24.000 hebben. Volgens IEA (2017) moet zelfs uitgegaan worden van een extra kost van 40.000 dollar (€ 34.500) op korte termijn voor het pantograafstelsel, welke door schaalvoordelen bij grootschalige productie zou kunnen dalen tot 10.000 dollar (€ 8.600). Er van uitgaande dat een intelligente pantograaf vereist is voor een goedwerkend systeem, wordt in de onderstaande berekeningen op basis van bovenstaande data een bijkomende investering van € 18.000 voor de pantograaf vooropgesteld.
- Daarnaast dient een BEV vrachtwagen voor gebruik in een zero-emissie ERS systeem ook uitgerust te zijn met een batterijpakket voor het afleggen van het afgekoppelde voor- en natransport. Dit batterijpakket kan beperkter gehouden worden dan bij een volledige BEV zware vrachtwagen, maar vergt desalniettemin een meerkost ten opzichte van een conventionele dieselvrachtwagen. Singh (2016) heeft op basis van een aantal parameters waaronder gemiddelde brandstof- en elektriciteitsprijzen, energiedichtheid en prijzen van batterijen, berekend dat ERS-systemen op nationaal niveau tot positieve economische baten kunnen komen vergeleken met conventionele dieselvrachtwagens bij een bepaalde gemiddelde dekking van het ERS netwerk en een bepaald batterijpakket⁹⁶ Hoe zwaarder het batterijpakket, hoe kleiner de ERS netwerkdekking kan zijn (aangezien er dan langer onafhankelijk op de batterijen kan gereden worden los van het ERS-systeem). Met batterijprijzen van

⁹⁶ Een dergelijke berekening dient waarden toe te kennen aan een aantal doorheen de tijd variërende en daardoor zeker in internationale context moeilijk in te schatten variabelen zoals prijzen van energie, diesel, batterijen en energiedensiteit van batterijen, alsook levensduur van componenten en gemiddeld energie- en brandstofverbruik. Voor meer details met betrekking tot de aannames en berekeningen, zie Singh (2016). Om conventionele vrachtwagens met een ERS-systeem te kunnen vergelijken dient bijvoorbeeld ook rekening gehouden te worden met het feit dat batterijen in de BEV-vrachtwagens meerdere keren vervangen moeten worden over de levensduur van het ERS-systeem.

2015 zou dit voor een systeem van bovenleidingen resulteren in een vereiste dekkingsgraad van 4,3% en batterijgrootte van 8 kWh. Indien de toekomstige batterijprijzen dalen, zou dit het mogelijk maken 17 kWh aan batterijen te installeren, waardoor de dekkingsgraad kan zakken tot 2,9% (Singh, 2016). Dit blijft evenwel een eerder theoretische berekening waarvan de praktische implicaties beperkt zijn. Indien immers slechts 8 kWh geïnstalleerd kan worden, dan betekent dat voor een zware vrachtwagen met een gemiddeld energieverbruik van 200 kWh/100 km, dat deze slechts 4 km kan overbruggen op de batterij alleen. Dit beperkt de operationele haalbaarheid enorm en is enkel haalbaar voor bepaalde *business cases*. Voor een meer flexibel gebruik dient het batterijpakket aanzienlijk groter te zijn, wat dus nog niet kostencompetitief kan tegenover een conventionele dieselvrachtwagen. Een daling van de batterijprijs waardoor 17 kWh kostencompetitief zou worden, doet het bereik stijgen naar 8,5 kilometer voor zware vrachtwagens, wat nog steeds erg laag is. Een andere optie is vanzelfsprekend om ofwel een zwaardere batterijpakket te installeren tegen een meerkost, ofwel over te gaan naar een hybride vrachtwagen die compatibel is met ERS, waarbij in dat laatste geval dan wel de hypothese van zero-emissietransport moet verlaten worden voor het gedeelte dat op fossiele brandstof gereden wordt.

- In een recente studie van Domingues-Olavarria et al. (2018) wordt voor de electrificatie van het transportsysteem uitgegaan van een zware BEV vrachtwagen met een batterijcapaciteit van 480 kWh zodat er ongeveer 2 uur (afhankelijk van de omstandigheden) mee kan gereden worden.⁹⁷ In het geval van een ERS met bovenleidingen wordt gesteld dat de geïnstalleerde batterijcapaciteit kan dalen tot 120 kWh, zodat er ongeveer 50 km bereik overblijft. Uitgaande van een huidige kost van 350 dollar per kWh (of 300 euro per kWh) resulteert dit in een bijkomende batterijkost van de BEV vrachtwagen in een ERS met bovenleidingen van € 36.000. Samen met het pantograafstelsel van € 18.000 komt dit op een meerprijs per vrachtwagen van € 54.000. Tegen 2030 wordt in IEA (2017) evenwel uitgegaan van een daling van de batterijpakketkost tot 100 dollar per kWh (of € 85 per kWh) en verbeteringen in efficiëntie die leiden tot een bijkomende afname van het vereiste energieverbruik met 15%. Dit zou de batterijkost voor een dergelijke vrachtwagen doen dalen tot € 10.200 en het autonome bereik met 15% doen stijgen tot 57,5 km. Uitgaande van de hierboven gegeven prijsindicatie van een intelligente pantograaf bij grootschalige productie van € 8.600 zou de meerkost voor de ERS compatibele BEV vrachtwagen in 2030 kunnen dalen tot € 18.800. In geval een bat-

terijcapaciteit van 60 kWh voldoende zou verondersteld worden, dan daalt de meerkost tot € 13.700.

- In de praktijk zullen er ook kosten zijn voor uitbreiding van het elektriciteitsnet om verbindingen met de geëlektrificeerde wegen mogelijk te maken, net zoals kosten van de voor ERS benodigde elektriciteitsdistributie-technologieën (Singh, 2016). Deze zijn evenwel niet eenvoudig te ramen voor deze specifieke aspecten en vereisen verder onderzoek om ze te begroten.
- Inzet van ERS voor wegtransport vereist aanzienlijke investeringen in infrastructuur maar volledige implementatie kan aanzienlijke voordelen opleveren voor transportoperatoren in vergelijking met het huidige van fossiele brandstof afhankelijke transportsysteem. Economisch is er voor de gebruikers een potentieel voordeel door lagere bedrijfskosten omdat ERS energiezuiniger is en elektriciteit goedkoper is dan fossiele brandstoffen.⁹⁸ De investeringen in de aanpassing van de voertuigen kunnen daardoor aanvaardbare terugverdienperiodes hebben.
- In de high-level berekening van de kosteneffectiviteit van deze studie waarin er wordt uitgegaan van een ERS met bovenleidingen hebben we enerzijds de infrastructuurkosten. Aan een tarief van 1 miljoen euro per kilometer voor de initiële implementatie van 319 kilometer, wordt deze maatregel begroot als een investering van 319 miljoen euro. Eventueel is er een afnemende investeringskost mogelijk door schaalvoordelen naarmate meer wegen worden uitgerust met deze technologie, zie hierboven). Deze investering wordt verondersteld een levensduur te hebben van 20 jaar (Singh, 2016), wat neerkomt op een jaarlijkse kost van € 15,95 miljoen. Daarnaast bedragen de jaarlijkse exploitatie- en onderhoudskosten 1% tot 2,5% van de initiële kapitaalkosten van de bovenleiding en energie-infrastructuur (ICCT, 2017). Uitgaande van een centrale waarde van 1,75% geeft dit € 5,58 miljoen. Opgeteld bij de investeringskosten geeft dit een jaarlijkse kost van € 21,53 miljoen.
- Daarnaast is een investering per voertuig vereist van € 18.000 voor een BEV met pantograaf en een bijkomende kost van 36.000 voor een batterijpakket van 120 kWh tegen huidige prijzen (zie hierboven).⁹⁹ Voor een totale vloot van 5.500 benodigde zware vrachtwagens (waarvan bijna 80% in de categorie trekker-oplegger 40-50 ton)) geeft dit voor een afschrijvingsperiode voor een pantograaf van 15 jaar (Singh, 2016) en voor een batterij van 6 jaar (Lebeau et al, 2015) een bijkomende kost van € 39,60 miljoen per jaar, waarbij eventueel (gedeeltelijke) overheidssteun gegeven zou kunnen worden om de uptake van de technologie in de transportsector te stimuleren¹⁰⁰. Als het batterijpakket gereduceerd kan

⁹⁷ Hier wordt dus uitgegaan van een iets hoger energieverbruik van 240 kWh/100km voor deze specifieke zware vrachtwagen vergeleken met de gemiddelde waarde van 200 kWh/100km voor de totale categorie "zware vrachtwagens" die gehanteerd wordt in deze studie (zie fiches "Elektrisch verbruik" en "Batterij elektrische Voertuigen"). Vanuit een conservatieve benadering wordt de analyse in dit gedeelte verdergezet met de hogere verbruikswaarde.

⁹⁸ € 1,57 per liter diesel versus € 0,22 per kWh (prijzen september 2018). Bij een benaderend gemiddeld verbruik van respectievelijk 32 liter en 180 kWh per 100 km resulteert dit in € 50,24 versus € 39,6 per 100 km, en dus een prijsverschil van 21% (zie ook hiervoor). Vanzelfsprekend zal dit prijsverschil in de toekomst fluctueren onder invloed van o.a. wijzigingen in de energieprijzen, de oorsprong van de opgewekte elektriciteit, de efficiëntieverbeteringen in de respectievelijke motortechnologieën en het energieverbruik van de bestuurder.

⁹⁹ De prijs voor een conventionele zware vrachtwagen wordt rond de € 100.000 (120.000 dollar) verondersteld.

¹⁰⁰ Deze overheidssteun kan op verschillende manieren vorm gegeven worden, bijvoorbeeld via aangepaste kilometerheffing, verlaging BTW op

worden tot 60 kWh¹⁰¹, dan verlaagt de bijkomende kost tot € 23,10 miljoen per jaar. Als de batterijprijzen tegen 2030 dalen tot € 85 per kWh, dan daalt de bijkomende kost verder tot € 7,8 miljoen per jaar.

- In bovenstaande berekening werd het aantal benodigde vrachtwagens gelijkgesteld aan het aantal gereden ritten en is er dus een operationele marge voorzien. Indien er geen marge in de voertuigvloot noodzakelijk zou zijn, dan kan het aantal benodigde vrachtwagens op 4.206 gehouden worden. In dat geval dalen de jaarlijkse voertuig meerkosten respectievelijk van € 39,60 naar € 30,28 miljoen per jaar, van € 23,10 naar € 17,67 miljoen per jaar en van € 7,8 naar € 5,99 miljoen per jaar.
- De maatregel bespaart 100.012 ton CO₂ in 2030 volgens de berekeningen met TRABAM.. Dit resulteert in een kosteneffectiviteit van € 611 per ton bespaarde CO₂ voor het systeem met bovenleidingen en pantograaf, rekening houdende met de infrastructuur-, exploitatie, onderhouds-, pantograaf en batterijkosten tegen de momenteel ingeschatte prijzen in geval van een 120 kWh batterijcapaciteit en een voertuigvloot van 5.500 vrachtwagens. In geval van een batterijpakket van 60 kWh daalt deze kost tot € 446 per ton bespaarde CO₂. Rekening houdende met een daling van de batterij- en pantograafkosten tegen 2030 verbetert de kosteneffectiviteit in geval van een batterijpakket van 60 kWh verder tot € 294 per ton bespaarde CO₂.
- Indien een voertuigvloot van 4.206 vrachtwagens voldoende wordt geacht, dan dalen de kosteneffectiviteitsratio's respectievelijk van € 611 naar € 518 per ton bespaarde CO₂, van € 446 naar € 392 per ton bespaarde CO₂, en van € 294 naar € 275 per ton bespaarde CO₂.
- Indien enkel de infrastructuurinvestering en exploitatie- en onderhoudskosten ten laste van de overheid gerekend worden (en de voertuig- en energiekosten bij de economische actoren vallen), dan is de kosteneffectiviteit van de overheidsbestedingen € 215 per bespaarde ton CO₂.
- Uitgaande van een oplaadcapaciteit van 0,365 kWh per minuut op een ERS met bovenleidingen (Domingues-Olavarria et al., 2018) kan er voor de in TRABAM gemodelleerde maatregel nagegaan worden welke natransporten mogelijk zijn als een vrachtwagen met een lege batterij op het ERS netwerk vertrekt:
 - Indien over de volledige lengte van de E313 gereden wordt kan een maximale lengte van natransport op basis van opgeladen energie langs het ERS traject bekomen worden van 16,42km (bij gemiddelde snelheid van 60km/u), 32,85km (bij gemiddelde snelheid van 30km/u) en 10,95 km (bij gemiddelde snelheid van 90km/u).
 - Voor de E17 kan een maximale lengte van

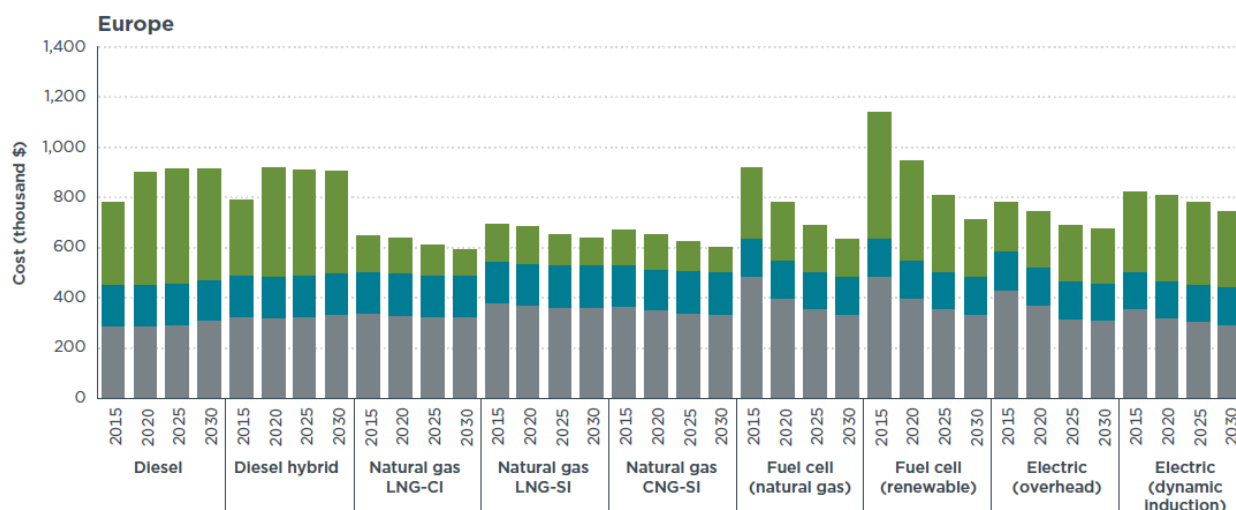
natransport op basis van opgeladen energie langs het ERS traject bekomen worden van 8,59km (bij gemiddelde snelheid van 60km/u), 17,19km (bij gemiddelde snelheid van 30km/u) en 5,73 km (bij gemiddelde snelheid van 90km/u).

- De afstand tussen E313 en E17 bedraagt 14,3km. Wanneer men op het ERS traject vertrekt met een quasi lege batterij (bijvoorbeeld omdat de energie werd opgebruikt tijdens het voortraject) en het volledige E313 traject vanaf Wallonie aflegt tegen een relatief lage gemiddelde snelheid lukt het om op de batterij tot aan de E17 te geraken en dan zo een langer natransport te bekomen op het einde van het ERS-traject op de E17 van 10,71km (bij gemiddelde snelheid van 60km/u) of zelfs 50,03 km (bij gemiddelde snelheid van 30km/u tijdens congestie). Indien evenwel de gemiddelde snelheid op het ERS systeem op de E313 90km/u was, is het niet mogelijk om het stuk tussen E313 en E17 te overbruggen wegens onvoldoende opgeladen batterij.
- Net als bij bovenleidingen, vereisen dynamische inductieve of geleidende conductieve systemen een dure energiebevoorradingsinfrastructuur naast het noodzakelijke opladen bovenop of onder de rijbaan. De installatie van ondergrondse infrastructuur zal doorgaans duurder en invasiever zijn dan het plaatsen van bovenleidingen, maar resulteert mogelijk in lagere onderhoudsvereisten omdat er in principe minder slijtage aan de componenten is. Dynamische inductieve weginfrastructuur kost naar schatting tussen 2,5 miljoen en 4 miljoen dollar per kilometer (tussen de € 2,16 miljoen en € 3,45 miljoen), met jaarlijkse exploitatie- en onderhoudskosten ten belope van 1% van de initiële installatiekosten van de infrastructuur (ICCT, 2017). Deze ERS systemen laten een hoge bezettingsgraad toe en zijn ook toegankelijk voor kleinere voertuigen (bestelwagens en personenwagens).
- Om inzicht te krijgen in de haalbaarheid van verschillende zero-emissie technologieën voor lange-afstands zware vrachtwagens, heeft ICCT (2017) de voertuiggebonden bedrijfskosten geanalyseerd voor een aantal technologieën, waaronder twee ERS systemen (dynamische inductie en bovenleidingen) voor lange-afstands zware vrachtwagens in Europa voor 2015 tot 2030, met een uitsplitsing van de kapitaalkosten, onderhoudskosten en brandstofkosten voor een 10-jarige bedrijfs cyclus. Infrastructuurkosten van de ERS systemen worden niet meegenomen. Door onzekerheden met betrekking tot de totale elektriciteitsopname, laadcycli en eventuele degradatie doorheen de tijd bij ERS vrachtwagens wordt ook geen vervanging van batterijen meegenomen. De resultaten worden weergegeven voor de verschillende voertuigtechnologieën in vergelijking met conventionele diesel (die in de beschouwde periode ook efficiënter wordt), dieselhybride (welke een effi-

elektriciteit, subsidies voor installatie van pantograaf / geleider,...

¹⁰¹ Hetgeen overeenkomt met ongeveer 25 km autonomie.

Tabel 38: ICCT, 2017



ciëntievoordeel behoudt ten opzichte van conventionele diesel), drie aardgastechnologieën (vloeibare compressieontsteking, vloeibare vonkontsteking en gecompresseerde vonkontsteking) en twee brandstofceltechnologiepaden (waterstof uit aardgas en waterstof op basis van hernieuwbare bronnen).

- Uit de figuur blijkt dat de voertuiggebonden bedrijfskosten voor conventionele dieselveertuigen stijgen onder invloed van steeds geavanceerdere technologische vernieuwingen die vereist zijn om te voldoen aan CO₂-emissiestandaarden terwijl bij alle andere technologieën deze kosten dalen tussen 2015 en 2030. Vooral de zero-emissie voertuigtechnologieën vertonen de grootste kostenbesparingen tussen 2015 en 2030. Brandstofceltechnologie vertoont de grootste kostenreductie in de loop van de tijd, door de verwachte daling van zowel de brandstofcelkosten als de waterstofkosten. Exclusief infrastructuurkosten komen de twee ERS systemen (inductie en bovenleidingen) uiteindelijk uit op de laagste totale voertuigkosten in het tijds kader 2025-2030 (vergelijkbaar met aardgas). Vergeleken met dieselveertuigen resulteert ERS met bovenleidingen in 25% tot 30% lagere kosten in 2030, en dynamische inductie in 15% tot 25% lagere kosten. Brandstofcellen resulteren in 5% tot 30% lagere kosten (ICCT, 2017). De lagere voertuigkosten van BEV's in ERS systemen resulteren in kapitaalkosten die vergelijkbaar zijn met conventionele dieselveertuigen in het tijdvak 2025-2030, dankzij de stroomvoorziening via pantograaf of inductie waardoor kleinere batterijpakketten vereist zijn dan bij plug-in BEV's.¹⁰²
- Afsluitend kan gesteld worden dat door gebruik te maken van ERS via een ingreep op een beperkt deel van de infrastructuur (1% van infrastructuur onder bevoegdheid van Agentschap Wegen en Verkeer en 0,1% van alle weginfrastructuur in Vlaanderen) en met een relatief beperkt aantal voertuigen reeds een reductie kan bekomen worden van bijna 2% ten opzichte van de BAU 2030.

Timing:

- Technische implementeerbaarheid: er bestaat consensus over technologische haalbaarheid van de verschillende ERS technologieën maar geen consensus over het tijdspad van volledige transitie naar ERS (projecties schommelen tussen de 10 en 50 jaar) (Singh, 2016). Gefaseerde implementatie met kleinere demonstratieprojecten op afgesloten wegen lijkt aangewezen in de aanvangsfase, om daarna geleidelijk grote nationale en internationale snelwegen op te nemen. Verschillende demonstratieprojecten zijn reeds wereldwijd opgestart om de verschillende ERS-technologieën en hun volledige commerciële toekomst te verkennen en te evalueren (o.a. in Zweden, Duitsland en VS).
- ERS wordt operationeel haalbaar geacht op de geselecteerde assen tegen 2030.¹⁰³ Dit vereist evenwel dat in 2020 moet gestart worden met het plannen van de infrastructuraanpassingen.

¹⁰² Voor meer details met betrekking tot deze analyse, zie Moultaq, Lutsey, Hall (ICCT) (2017) Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles. White paper

¹⁰³ Kasten et al. (2016) stellen in een studie met betrekking tot Duitsland dat de marktintroductie van BEV's voor een ERS-systeem met bovenleidingen vanaf 2025 haalbaar is.

Voorwaarden en barrières :

- Kleine en/of ontwikkelde landen zijn het meest geschikt voor ERS-implementatie. Een Zweedse studie (Singh, 2016) stelt dat vanuit economisch en milieutechnisch oogpunt de geleidende weg via rails (conductief) de meest aantrekkelijke ERS-technologie is, gevolgd door overhead geleidende (pantograaf) en inductieve weg-ERS-technologieën.
- Geleidende weg via rails (conductief) en inductieve ERS kunnen theoretisch door alle voertuigcategorieën gebruikt worden. De overhead geleidende ERS wordt verondersteld alleen te kunnen worden gebruikt door zware vrachtwagens en bussen.¹⁰⁴ Daarbij moeten alle technologieën toelaten dat de voertuigen vlot aan en af het systeem gekoppeld kunnen worden. Bij een systeem van bovenleidingen vereist dit waarschijnlijk het gebruik van een intelligente pantograaf om continue elektriciteitstransmissie tussen de bovenleiding en het voertuig mogelijk te maken, vooral tijdens hoge bewegingssnelheden en wanneer het voertuig zich enigszins zijwaarts verplaatst ten opzichte van de bovenleiding. De pantograaf moet ook in staat zijn om verticale veranderingen in de vorm van oneffenheden op de weg of hoogteverschillen door sneeuwval aan te kunnen. Daarnaast dient de pantograaf ook te beschikken over een automatisch zoekstelsel dat de bovengrondse lijnen kan vinden wanneer deze beschikbaar zijn. Er zijn verschillende scantechologieën beschikbaar of in ontwikkeling om aan deze behoefte te voldoen. Zoals hierboven aangegeven heeft een dergelijke intelligente pantograaf een aanzienlijk hoger prijskaartje.
- Belangrijke infrastructuurinvesteringen zijn vereist. Bij ERS met geleidende krachtoverdracht via rails in de weg en inductieve stroomoverdracht via de weg vereist dit aanpassingen in het wegdek, wat betekent dat inbouwen in bestaande weginfrastructuur de nodige tijdelijke hinder (congestie) teweegbrengt. De inbouw in het wegsysteem maakt het systeem ook gevoelig voor extreme weersomstandigheden zoals sneeuwval. Infrastructuraanpassingen vergen bovendien een lange planingsperiode wat de snelle uitrol van deze technologie kan verhinderen.
- De mate waarin zuivere BEV's dan wel één of meerdere ERS technologieën of een combinatie van beide gaan doorbreken voor zwaar vrachtvervoer over de weg is onzeker. Daarbij zou de mindere afhankelijkheid van zeldzame metalen bij ERS vanwege de veel kleinere batterijen in het voordeel van ERS-systemen kunnen spelen.

Conclusie

De operationele implementeerbaarheid van de verschillende ERS technologieën wordt momenteel getest in een aantal buitenlandse pilootprojecten. Theoretisch is er een groot emissiereductiepotentieel en momenteel lijken ERS-systemen met compatibele BEV vrachtwagens, behoudens significante progressie in batterijtechnologie of waterstoftrucks, zowat de enige denkbare manier om zero-emissie zwaar vrachtvervoer (>34 ton) te realiseren tegen 2030. De kost per verminderd ton CO₂ van deze maatregel mag dan ook hoger liggen dan deze voor de introductie van BEV's voor lichte bestelwagens en stadslogistiek indien blijkt dat deze maatregelen niet voldoende reductiepotentieel met zich meebrengen. Indien ERS-compatibele vrachtwagens met een hybride aandrijving op fossiele brandstof worden ingeschakeld in plaats van BEV vrachtwagens met relatief beperkte autonomie door de gelimiteerde batterijcapaciteit) verhoogt enerzijds de economische en operationele haalbaarheid van dit systeem, maar is anderzijds niet langer het ganse traject zero-emissie.

Anderzijds bestaat er bij ERS-systemen momenteel nog een redelijk grote mate van onzekerheid met betrekking tot de meest geschikte technologie en zijn er significante investeringen in infrastructuur en voertuigen vereist. Gelet op de complexiteit om een internationaal gestandaardiseerd systeem met infrastructuraanpassingen op Europese schaal te realiseren binnen een redelijke termijn is de implementatie niet vanzelfsprekend. Als BEV of FCEV-vrachtwagentechnologie gedurende de benodigde termijn sterke vooruitgang boekt dan zouden deze voertuigen door de grotere flexibiliteit die ze bieden mogelijk de voorkeur genieten bij transportoperatoren en ERS overbodig kunnen maken. Dit zal voor een groot deel ook afhangen van de kosteneffectiviteit van de verschillende opties maar het maakt de keuze om in te zetten op ERS-technologie niet evident. Daarom wordt deze maatregel niet toegevoegd aan het standaard voorkeursscenario maar wordt deze technologie als optioneel aanzien. Het advies luidt om de eerste jaren de technologische evolutie kort op te volgen via buitenlandse pilootprojecten, evenals de vooruitgang in BEV en FCEV-vrachtwagentechnologie. Het ligt in de verwachtingen dat er binnen enkele jaren waarschijnlijk grotere duidelijkheid ontstaat over de noodzaak om al dan niet in ERS te investeren en welke variant daar dan operationeel en economisch het meest geschikt voor is. Bijkomend studiewerk over de Vlaamse situatie kan aangewezen zijn.

¹⁰⁴ Dit komt vooral omdat regelgeving bepaalt dat de geëlektrificeerde bovengrondse lijnen op wegen een bepaalde hoogte boven de grond moeten respecteren. De Zweedse Nationale Raad voor Elektrische Veiligheid stelt bijvoorbeeld dat hoogspanningsleidingen ten minste 6 meter en laagspanningsleidingen 5,1 meter boven de grond moeten worden geplaatst om veiligheidsredenen. Daarom zou het gebruik van de bovengrondse technologie voor personenwagens vereisen dat deze worden uitgerust met een pantograafarm van enkele meters lang wat niet alleen technologisch uitdagend zou zijn, maar ook een enorm veiligheidsrisico zou inhouden (Singh, 2016).

Bronnen :

- den Boer, Aarnink, Kleiner, Pagenkopf (2013) Zero emission trucks. An overview of state-of-the-art technologies and their potential. CE Delft
- Domingues-Olavarria, Marquez-Fernandez, Fyhr, Reinap, Alaküla (2018) Electric Roads: Analyzing the Societal Cost of Electrifying All Danish Road Transport. *World electric Vehicle Journal*, 9(9), 1-11
- International Energy Agency (IEA) (2017) The Future of trucks: Implications for energy and the environment
- Kasten, Mottschall, Köppel, Degünther, Schmied, Wüthrich (2016) Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050: Endbericht. Umweltbundesamt (Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit)
- Moultak, Lutsey, Hall (ICCT) (2017) Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles. White paper
- Singh A. (2016) Electric Road Systems. A feasibility study investigating a possible future of road transportation. master thesis, KTH, Stockholm
- Siemens (2017) eHighway: solution for electrified road freight transport
- Verbeek, Van Gijlswijk, van Zyl, van Eijk, Vermeulen, Huismans, Smokers (TNO) (2018) Assessments with respect tot he EU HDV CO₂ legislation. Work in support of the Dutch position on EU regulation on the CO₂ emissions of Heavy Duty vehicles. TNO 2018 P10214
- Vlaams Verkeerscentrum (2017) Verkeersindicatoren. Snelwegen Vlaanderen 2016

02.14. Platooning

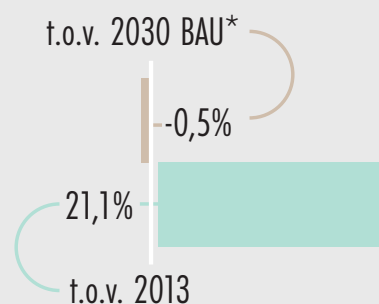
Korte beschrijving:

Bij peletonrijden of (Driver Assisted Truck) *Platooning* rijden trucks op korte afstand van elkaar door gebruik te maken van speciaal ontwikkelde technologie voor geautomatiseerd rijden. Elk voertuig communiceert met de andere voertuigen in het peloton. Er is enerzijds een leidend voertuig dat de snelheid en richting bepaalt, en anderzijds de volgende voertuigen (die het remmen en accelereren precies op elkaar hebben afgesteld) die de bewegingen van het eerste voertuig volgen. De rijafstand tussen de trucks kan daarbij worden beperkt tot 0,3 seconden. Omdat de voertuigen achter elkaar 'glijden', wordt de luchtweerstand verkleind en wordt er minder brandstof verbruikt. Bovendien wordt door de synchronisatie geoptimaliseerd in het optrekken en afremmen. Vanwege de weginfrastructuur in België (met relatief veel open afritten) en de gemiddeld hoge verkeersintensiteiten wordt er in deze studie omwille van de verkeersveiligheid geopteerd om enkel platooning met twee trucks te beschouwen. Deze visie wordt momenteel ook in Nederland gevolgd. Er worden twee varianten onderzocht: een variant waarbij platooning enkel mogelijk is tussen twee vrachtwagens van dezelfde firma (*scheduled*) en dezelfde vrachtwagenfabrikant (*mono-brand*), de zogenaamde *mono-brand scheduled platoons*, en een variant waarbij platooning mogelijk wordt tussen vrachtwagens van verschillende fabrikanten (*multi-brand*) en verschillende transportoperatoren (*on-the-fly*) die uitgerust zijn met de noodzakelijke technologie, de zogenaamde *multi-brand on-the-fly platoons*. Vanzelfsprekend hangt het potentieel van platooning af van de mogelijkheid om combinaties te vinden die op een deel van een traject op hetzelfde moment van A naar B moeten rijden.

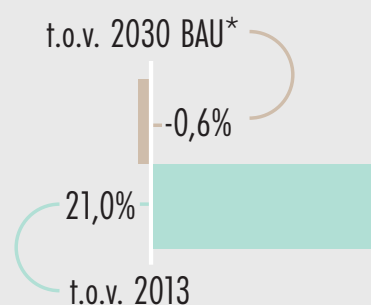
CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Verminderd brandstofverbruik door platooning: leidend voertuig: 2-8%; volgend voertuig 8-13% (SARTRE, 2014) – voor de modellering is een reductie van 5% gebruikt voor het leidend voertuig en 10% voor het volgend voertuig.

Individuele modeldoorrekening met platooning van twee vrachtwagens binnen eenzelfde firma (*mono-brand scheduled*):



Individuele modeldoorrekening met platooning van twee vrachtwagens van verschillende firma's (*multi-brand on-the-fly*):



* t.o.v. 2030 business as usual
(volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

- **Vertaling naar Voorkeursscenario:** platooning van twee vrachtwagens van verschillende merken en verschillende transportfirma's (*multi-brand & on-the-fly*) wordt als optionele maatregel meegenomen.

Model: TRABAM

- In dit scenario worden voertuigen die platooning mogelijk maken in TRABAM aan de voertuigvloot van transporteurs toegevoegd zodoende dat deze gebruikt kunnen worden indien ze in combinatie met andere uitgeruste voertuigen op een traject rijden. In een eerste modeldoorrekening kan er enkel aan platooning gedaan worden door twee voertuigen binnen éénzelfde bedrijf. In een tweede modeldoorrekening kan er aan platooning gedaan worden door twee voertuigen ongeacht van welke vrachtwagenfabrikant of bedrijf ze zijn (multibrand on-the-fly). Platooning is enkel mogelijk op snelwegen. TRABAM gaat op zoek naar de combinatie van met technologie uitgeruste voertuigen, vergelijkbare oorsprong en bestemming en gelijklopende tijdstippen om platooning toe te laten. Er werd 10% van de vloot van zware vrachtvoertuigen (11.934 zware vrachtwagens) uitgerust met platooning-technologie (IRU & TML, 2017). Zware vrachtwagens worden in deze studie gedefinieerd als voertuigen vanaf 12 ton).
- In alle scenario's die doorgerekend werden met TRABAM zijn personenwagens als onderliggend verkeer op het netwerk gemodelleerd. Hierdoor zijn de uitkomsten van de modeldoorrekeningen met TRABAM ook consistent. Het betreft de oorsprongs-bestemmingsmatrix voor personenwagens volgens het 2030 *business-as-usual* scenario. Bij de CO₂-emissieberekeningen werd er bij de emissiefactoren 30% bijgerekend indien er in congestieomstandigheden gereden wordt (door toename in opstarten en afremmen). De hoeveelheid voertuigkilometers die afgelegd worden in congestieomstandigheden worden in TRABAM berekend via de personenwagens. Personenwagens beïnvloeden immers de snelheid waaraan vrachtvoertuigen kunnen rijden, en daardoor ook hun brandstofverbruik en uitstoot.

Effect op luchtvervuiling:

Licht positief effect: rechtstreeks gerelateerd aan verminderd brandstofverbruik maar besparing situeert zich vooral op de snelwegen waar de receptordensiteit van omwonenden relatief lager is dan in stedelijk omgeving.

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving: potentieel gevaar van ongewenste modale verschuiving van binnenvaart en spoor naar weg vanwege het kostenvoordeel door platooning.
- Secundaire effecten: Verdere ontwikkeling van autonome voertuigen kan het kostenvoordeel van platooning verhogen door bestuurders toe te laten rusttijden op te nemen in het volgende voertuig bij platooning. In geval van volledig autonoom rijden de voertuigen¹⁰⁵ zou dit ook in het leidende voertuig kunnen. Dit vereist wel dat het wetgevend karakter dit toelaat.

Lock-in:

Verhoogde competitiviteit wegvervoer kan modale verschuiving naar spoor en binnenvaart bemoeilijken.

Toepassingsgebied:

- Buitengebied
- (Middel)lang zwaar vrachtvervoer

¹⁰⁵ Niveau 5 volgens de indeling door Society of Automotive Engineers (SAE) die een taxonomie heeft opgesteld voor automatiseringssystemen die een deel of het geheel van de dynamische rijtaak uitvoeren voor motorvoertuigen gaande van niveau 0 (geen automatisering), niveau 1 (assistentie), niveau 2 (gedeeltelijk autonoom), niveau 3 (voorwaardelijk autonoom), niveau 4 (grotendeels autonoom) tot niveau 5 (volledige autonomie). <https://www.sae.org/standards/content/j3016_201609/>

Kosteneffectiviteit:

Driver assisted truck platooning (DATP) vereist een investering van ongeveer € 5.000 (in hardware, software, servicekosten en chauffeurstraining) in een vroeg marktstadium, wat kan verminderen tot ongeveer € 1.500 wanneer de productie is gegroeid. De return on-investment en de bereidheid van de early adopters zijn afhankelijk van de olieprijs, jaarlijkse afgelegde afstand, de afstand waarover platooning kan worden gebruikt, verzekeringspremies, mogelijke subsidies, de schaafeffecten van de technologie en mogelijke brandstofefficiëntienormen. In dit vroege stadium kan de initiële investering bijna alleen worden gecompenseerd door brandstofbesparingen en de terugverdientijd zal naar verwachting ongeveer 3 jaar bedragen. In een later stadium, met automatische voertuigen van niveau 3, kan de initiële investering worden gecompenseerd door zowel brandstofbesparing als productiviteitswinsten, maar zal de initiële investering waarschijnlijk ongeveer € 10.000 bedragen (SIA partners, 2016)

Bestudeerde business cases in Nederland tonen mogelijke jaarlijkse kostenvoordelen voor specifieke cases waar de brandstofbesparing groter is dan de kosten van de training van vrachtwagenbestuurders, de periodieke test, het onderhoud en de aankoop van de technologie (TNO, 2015). Onder bepaalde voorwaarden is er dus een relatief korte terugverdienperiode. Op langere termijn kan het autonoom rijden van het leidende voertuig dit kostenvoordeel nog versterken.

Voor de initiële lancering in een vroeg marktstadium gaan we uit van een kost van € 5.000 per vrachtwagen die voor platooning wordt uitgerust. Hierbij wordt de nuance gemaakt dat de ontwikkelingskosten van *monobrand scheduled* platooning toepassingen lager liggen dan deze voor *multibrand on-the-fly* platooning technologie door o.a. bijkomende kosten voor standaardisering en communicatieprotocollen. Op basis van het aantal voertuigen (11.934 zware vrachtwagens) zou dit gaan om een investering van € 59,67 mio. Aangezien we de jaarlijkse CO₂-besparing berekenen, dienen we de kost van de investering ook te spreiden over de gebruiksperiode van de technologie in het voertuig. Als we deze conservatief op zeven jaar veronderstellen, bedraagt de jaarlijkse investeringskost € 8,52 mio. Daartegenover staat op basis van de modeldoorrekening een jaarlijkse CO₂-besparing van deze maatregel in 2030 tussen de 23.745 en 28.223 ton CO₂ (afhankelijk van de platooning variant), wat overeenstemt met een brandstofbesparing van respectievelijk 9,0 miljoen en 10,7 miljoen liter diesel. Dit betekent dat van zodra de dieselprijs respectievelijk hoger dan € 0,95 en € 0,80 ligt, enkel de besparing op de brandstofkosten alleen al de investering in platooning-technologie economisch rendabel maakt. Het lijkt zeer waarschijnlijk dat deze dieselprijs hoger zal liggen dan de hier bepaalde break-even grenzen zodat financiële beleidsondersteuning voor de introductie van platooning bij de transportondernemingen in beide gevallen dan ook niet noodzakelijk lijkt te zijn. Aangezien het hier gaat om V2V communicatietechnologie (vehicle-to-vehicle) zijn er geen infrastructurele investeringen vereist. Voor volledig autonome peletons is dit eventueel wel vereist, maar dit genereert bijkomende baten die ook hier de investering voor de transportoperatoren waarschijnlijk economisch rendabel maakt. In de mate dat deze economische baten hoger liggen dan de vereiste meerkosten zijn er dus ook hier geen financiële incentives vereist.¹⁰⁶ Er kan alvast voor de hier

gemodelleerde vormen van platooning geargumenteed worden dat de terugverdienperiode voor de economische operatoren voldoende kort is om de investering zelf te financieren en geen overheidssteun te voorzien. Wel is er nood aan een wetgevend kader dat platooning mogelijk maakt. Bovendien kan de overheid ook een rol spelen bij het uitwerken van de standaarden voor *multibrand on-the fly* platooning.

Timing:

- Technische implementeerbaarheid:
 - Technologie voor *monobrand scheduled* platooning is beschikbaar en reeds beproefd in praktijktests in andere landen.
 - De volgaafstand tussen de beide combinaties ligt momenteel op zo'n 0,5 seconden, dat is bij een snelheid van 80 km/u een onderlinge afstand van zo'n 10 meter. Er wordt verwacht dat in **2025** de afstand verder gereduceerd kan worden tot het verwachte optimum van 0,3 seconde. Enerzijds om aerodynamische redenen en anderzijds om zoveel mogelijk het tussenvoegen van ander verkeer te voorkomen
 - TNO (2015) verwacht dat in **2020** een vorm van vrachtwagen platooning (bijv. SAE-niveaus 2 of 3) wettelijk zal toegestaan zijn en commercieel beschikbaar voor grootschalige inzet in de commerciële vervoerindustrie door de grotere operatoren. Introductie in kleinere vloten wordt verwacht vanaf **2025**. Meer uitgebreide toepassingen van platooning (bijvoorbeeld SAE-niveau 4 of 5 met een autonoom leidend voertuig) wordt niet verwacht voor 2030.

Voorwaarden en barrières :

- Truck platooning vereist flexibiliteit: trucks moeten kunnen inhaken en weer afhaken op elk gewenst moment. Daarbij moet rekening worden gehouden met matchingfactoren als rij- en rusttijden/schema's, bestemming, en fysieke karakteristieken zoals motorisering en belading. Deze bijkomende randvoorwaarden maakt dat het besparingspotentieel in de TRABAM-doorrekening mogelijk licht overschat wordt. Anderzijds kan een verdere penetratie van de platooning-technologie in meer dan 10% van de beschouwde voertuigen ook voor hoger dan verwachte besparingen zorgen.
- De wet- en regelgeving dient aangepast te worden om truck platooning op specifieke trajecten onder bepaalde voorwaarden toe te staan (analoog aan de LZV invoering).
- Timing van implementatie is erg afhankelijk van politieke steun, innovatiefinanciering, technologische vooruitgang, en publieke acceptatie. TNO (2015) stelt een vijfjarig open innovatieprogramma voor om te komen tot commerciële platooning.

¹⁰⁶ Verder kosten-baten onderzoek is noodzakelijk om dit voor volledig autonome peletons in voldoende detail te kwantificeren.

- De aerodynamische voordelen van platooning en de resulterende brandstofbesparing zijn niet van toepassing op trage snelheden, en dus minder relevant voor stedelijk vervoer. Hier kan het simultaan optrekken en afremmen evenwel voordelen bieden op vlak van brandstofverbruik en verkeersdoorstroming. Dit effect vereist evenwel verder onderzoek.
- Cybersecurity met betrekking tot vehicle-to-vehicle (V2V) communicatie vormt een belangrijk aandachtspunt.
- Voor de ontwikkeling van *multibrand on-the-fly* platooning is consensus over standaarden en communicatieprotocollen tussen de verschillende fabrikanten vereist. Bovendien moet er in geval van *multibrand on-the-fly* platooning tussen vrachtwagens van verschillende (transport)firma's ook een model ontwikkeld worden om de baten tussen de deelnemers te verdelen.

Conclusie

Deze maatregel zet in op het gebruik van platooning technologie. Platooning heeft een relatief beperkt potentieel voor het reduceren van de CO₂ gerelateerd aan het goederenvervoer over de weg in Vlaanderen vanwege de specifieke context: relatief hoge verkeersintensiteiten die de gemiddelde snelheid doet afnemen en veel weefverkeer door de talrijke op- en afritten welke het opzetten van platoons bemoeilijkt. De economische terugverdientermijnen van de technologie zijn relatief laag, waardoor de investering in platooning technologie door de transportmarkt zelf gemaakt kan worden. De inzetbaarheid blijft evenwel beperkt tot twee zware vrachtvoertuigen die op hetzelfde moment een traject afleggen op de snelweg.

Voor personenwagens en andere weggebruikers kan een kolonne zware vrachtvoertuigen ook als bedreigend en gevaarlijk ervaren worden, hetgeen het draagvlak voor deze maatregel mogelijk verkleint. De effecten van platooning op verkeersveiligheid en het hiermee samenhangende draagvlak bij de bevolking dient nog verder onderzocht te worden. Indien dit positief evolueert en er standaarden ontwikkeld worden die multibrand on-the-fly platooning mogelijk maken, dan zal gelet op de verwachte economische baten en korte terugverdientermijnen platooning automatisch zijn intrede doen in de sector en de (relatief beperkte) CO₂-besparing realiseren. Naast het toelaten van platooning op de openbare weg staat deze optie verder los van ondersteunend overheidsbeleid. Daarom wordt deze maatregel niet opgenomen in het standaard voorkeurscenario, maar als een extra maatregel die optioneel mee kan bijdragen tot de reductie doelstellingen. Prioriteit dient er vanuit emissiereductie niet aan gegeven te worden.

Bronnen :

- TNO, 2015, Truck Platooning. Driving the future of transportation
- SIA Partners, 2016, Insight. Platooning: Towards Sustainable Road Freight Transport. The Benefits, Drawbacks and Future Outlook.
- Roshkev, 2017, Automated Truck Platooning -Opportunities and Barriers for Road Freight Transport in Europe. Master Thesis, Wirtschafst Universität Wien
- SARTRE, 2014, Deliverable 4.3 Report on Fuel Consumption', Applus+IDIADA

02.15. CO₂ emissiestandaarden voor nieuwe vrachtwagens en bestelwagens

Korte beschrijving :

Via Verordening (EG) nr. 443/2009 en Verordening (EU) nr. 510/2011 werden in de EU reeds beperkingen aan de CO₂-emissies van personenwagens en bestelwagens vastgelegd, waardoor deze nu reeds hun aandeel in CO₂-emissiereductie leveren.¹⁰⁷ In 2017 werd nieuwe wetgeving voorgesteld (COM(2017) 676 final) opdat deze voertuigcategorieën ook na 2020 zouden blijven bijdragen. Hoewel de CO₂-emissies van zware bedrijfsvoertuigen (vrachtwagens, bussen en touringcars) goed zijn voor ongeveer 6% van de totale EU-emissies en 25% van de CO₂-emissies van wegvervoer in de EU, zijn deze momenteel echter nog niet gereguleerd op EU-niveau (Europese Commissie, 2018). Zonder verdere actie wordt de CO₂-uitstoot van zware bedrijfsvoertuigen verwacht met 9% verder toe te nemen in de periode 2010-2030 als gevolg van de toenemende transportactiviteiten (Europese Commissie, 2018). Op basis van de effectbeoordeling in het kader van de CO₂-emissienormen voor de periode na 2020 voor lichte voertuigen¹⁰⁸ blijkt dat verdere maatregelen in de wegvervoersector dan ook nodig zijn om de nationale 2030-doelstellingen te bereiken die zijn vastgesteld in het kader van de verordening inzake de verdeling van de inspanningen (Europese Commissie, 2017). De Europese Commissie heeft daarom in 2018 een voorstel voor een Verordening betreffende de monitoring en de rapportering van de CO₂-emissies en het brandstofverbruik van nieuwe zware bedrijfsvoertuigen voorgelegd. De invoering van dergelijke CO₂-emissiestandaarden voor zware bedrijfsvoertuigen mikt naast emissiereductie tevens op verlaagde brandstofkosten voor transportoperatoren via de verspreiding van kosteneffectieve technologieën. Daarnaast wordt dit ook belangrijk geacht voor de concurrentiepositie van de Europese vrachtwagenfabrikanten aangezien in de Verenigde Staten, Canada, Japan en China reeds regulerende maatregelen geïmplementeerd werden om de CO₂-uitstoot van zware bedrijfsvoertuigen te verminderen.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

In het kader van deze studie wordt het reductiepotentieel berekend op tijdshorizon 2030. Het effect van het opleggen van CO₂-emissiestandaarden tegen 2030 zal evenwel pas vooral effect beginnen sorteren in de voertuigvloot na 2030. Voor het realiseren van de post-2030 doelstellingen blijft deze maatregel evenwel noodzakelijk, daarom dat de maatregel met zijn beperkte impact naar 2030 toe toch mee wordt opgenomen in de berekening van het roadmap scenario naar 2030. De berekening van de impact van het implementeren van de CO₂-emissiestandaarden voor vrachtwagenvervoer over de weg op de CO₂-emissies in 2030 voor het voorkeurscenario is terug te vinden in de fiche "voorkeurscenario".

Op basis van de effectbeoordelingen die werden uitgevoerd in kader van de voorstellen van de Europese Commissie zouden de bijkomende CO₂-emissiereducties voor zware bedrijfsvoertuigen in 2030 ten opzichte van 2016 door deze maatregel variëren tussen 3 % en 8 % (afhankelijk van de verschillende opties die werden geanalyseerd)⁹⁷. Voor bestelwagens lopen de extra CO₂-emissieverminderingen tussen 2005 en 2030 uiteen van 4,8 tot 14, %.⁹⁸

¹⁰⁷ Verordening (EU) nr. 510/2011 van het Europees Parlement en de Raad van 11 mei 2011, heeft voor 2017 een algemene doelstelling voor nieuwe lichte bedrijfsvoertuigen van 175 gCO₂/km vastgesteld en van 147 gCO₂/km voor 2020. Belangrijk hierbij is wel dat deze doelstellingen gebaseerd zijn op monitoring via de NEDC-testprocedure. De werkelijke besparing onder reële omstandigheden ligt evenwel een stuk lager (Fontaras, 2016).

¹⁰⁸ SWD (2017) 650 final

¹⁰⁹ Voor meer details, zie SWD(2018) 185 final

¹¹⁰ Voor meer details, zie SWD(2017) 651 final

Model : combinatie SVRM en TRABAM

Om de impact van de CO₂-emissiestandaarden voor vrachtvervoer over de weg op de CO₂-emissies in 2030 te kunnen berekenen werd op een stapsgewijze manier te werk gegaan vanwege het gebruik van twee transportmodellen bij de doorrekening van het voorkeursscenario. Hierbij wordt de output van SVRM gebruikt als input in de doorrekening door TRABAM. De maatregelen die gemodelleerd worden in SVRM worden immers verondersteld geen invloed te hebben op de aandrijftechnologie die geselecteerd wordt in de voertuigvloot. In TRABAM worden vervolgens wel wijzigingen in de voertuigvloot gemodelleerd, waarbij een deel van de voertuigen op fossiele brandstof vervangen worden door voertuigen uitgerust met alternatieve aandrijftechnologie (zoals batterij-elektrisch, waterstof, hernieuwbaar biogas, enz.). Het effect van de invoering van CO₂-emissiestandaarden voor voertuigen op fossiele brandstof mag daarbij niet verrekend worden op de voertuigkilometers die in 2030 gereden worden met deze types van voertuigen, om dubbeltellingen in CO₂-emissiereductie te vermijden.

De in de modeldoorrekening gehanteerde emissiefactoren worden verder in deze fiche besproken.

Drie scenario's werden beschouwd:

- CO₂-emissiestandaarden van toepassing op voertuigvloot die verantwoordelijk is voor volgende aandelen van voertuigkilometers uit de modeldoorrekening: 70% voor zware vrachtwagens, 0% voor lichte vrachtwagens, 100% voor bestelwagens (huidige voorstellen Europese Commissie)
- CO₂-emissiestandaarden van toepassing op voertuigvloot die verantwoordelijk is voor volgende aandelen van voertuigkilometers uit de modeldoorrekening: 100% voor zware vrachtwagens, 0% voor lichte vrachtwagens, 100% voor bestelwagens (tussenscenario)
- CO₂-emissiestandaarden van toepassing op voertuigvloot die verantwoordelijk is voor volgende aandelen van voertuigkilometers uit de modeldoorrekening: 100% voor zowel zware vrachtwagens, lichte vrachtwagens als bestelwagens (meest verregaande scenario)

De laatste twee scenario's fungeren als een sensitiviteitsanalyse om het potentieel van een ambitieuzere implementatie in te schatten.

In SVRM wordt met betrekking tot voertuigcategorieën enkel onderscheid gemaakt tussen bestelwagens (>3,5 ton), lichte vrachtwagens (3,5 tot 12 ton) en zware vrachtwagens (>12 ton). Wat de gebruikte emissiefactoren betreft is er wel een verdere opdeling naar gewichtscategorieën (zie verder) maar is er ook geen opdeling volgens de voertuigclassificatie gehanteerd in het voorstel van de Europese Commissie. Daarnaast wordt in de modeldoorrekeningen om redenen van consistentie gewerkt met de emissiefactoren ter beschikking gesteld door het Departement Omgeving van de Vlaamse Overheid voor het jaar 2013 (referentiejaar) en 2030 (business as usual modellering). Het gaat om emis-

siefactoren die afgeleid zijn uit de COPERT en voor 2030 aangepast werden door VITO. Het gaat dus om inschattingen van emissies in werkelijke rijomstandigheden, en niet om de door constructeurs opgegeven emissiewaarden¹¹¹. Deze emissiefactoren worden gewogen op basis van beschikbare data om toegepast te kunnen worden op de voertuigcategorieën in de gehanteerde transportmodellen (zie fiche "emissiefactoren"). Voor de berekening van de impact van de implementatie van CO₂-emissiestandaarden worden de emissiefactoren aangepast om de verwachte CO₂-reductie te integreren en vervolgens toegepast op het (beperkte) aandeel van de nieuwe bestelwagens, lichte en zware vrachtwagens die deel uitmaken van de vloot die in totaliteit 70 of 100% van de voertuigkilometers in de betrokken categorie aflegt, naargelang de hierboven aangegeven scenario's. De werkwijze wordt verder in de fiche meer in detail besproken. Het gaat in deze berekeningen dus enkel om een ruwe inschatting van het gelimiteerde effect van de implementatie van CO₂-emissiestandaarden tegen 2030 op basis van een aantal vereenvoudigende assumpties. Voor meer geavanceerde detailberekeningen van deze effecten (en tegen verdere tijdshorizonten) zijn andere modellen met specifieke voertuigclassificatie aangewezen.

¹¹¹ Deze emissiefactoren staan dus ook los van de Europese NEDC en strengere internationale WLTP-normen voor het bepalen van de emissies van (nieuwe) voertuigen.

Huidige stand van zaken m.b.t. EU CO₂-emissie-standaarden

Vrachtwagens

In het huidige voorstel van de Europese Commissie voor de introductie van CO₂-emissiestandaarden voor zware vrachtwagens (COM(2018) 284 final/2) is de scope initieel beperkt. In een eerste stap (vanaf 1/1/2019) zou de nieuwe EU CO₂-regelgeving voor vrachtwagens van toepassing zijn op 4 groepen van vrachtwagens (uit N2 en N3 categorieën), verantwoordelijk voor ongeveer 65 tot 70% van CO₂-emissies van alle vrachtwagens in de EU. De 4 groepen zijn:

- niet-gelede vrachtwagens met een asconfiguratie van 4x2 en een technisch toelaatbare maximummassa in beladen toestand van meer dan 16 ton;
- niet-gelede vrachtwagens met een asconfiguratie van 6x2;
- trekkers met een asconfiguratie van 4x2 en een technisch toelaatbare maximummassa in beladen toestand van meer dan 16 ton;
- trekkers met een asconfiguratie van 6x2.

Dit voorstel bevat daarnaast volgende elementen:

- De specifieke CO₂-emissies van het wagenpark van nieuwe zware bedrijfsvoertuigen van de Europese Unie dienen in vergelijking met de referentiewaarden van de CO₂-emissies **op basis van** gerapporteerde monitoringgegevens van 2019 te worden vermindert:
 - met 15% van 1 januari 2025 tot en met 31 december 2029;
 - met ten minste 30% vanaf 1 januari 2030 behoudens de beoordeling voorzien in 2022. In dat jaar dient de Europese Commissie een verslag in te dienen inzake de doeltreffendheid van de verordening. Dit verslag moet handelen over de emissiereductiedoelstelling voor 2030 en over het vaststellen van reductiedoelstellingen voor andere zware bedrijfsvoertuigen die nog niet aan de reductievereisten werden onderworpen, evenals over de doeltreffendheid van de modaliteiten van de verordening.
- Er wordt geopteerd voor een TTW ("van tank tot wiel" of *tank-to-wheel*) benadering met doelstellingen geformuleerd in gram CO₂/tkm. Dit zorgt voor consistentie met bestaande regelgevingspraktijken, waardoor dubbele regelgeving wordt vermeden en de verdeling van verantwoordelijkheden tussen fabrikanten en brandstofleveranciers duidelijk wordt. De doelstellingen zijn ook van toepassing op de

volledige voertuigen (dus niet enkel de motor) wat zou moeten zorgen voor maximale doeltreffendheid wat betreft milieuvoordelen en toegevoegde waarde.

- De doelstellingen zijn vastgesteld als een relatieve vermindering ten opzichte van de gemiddelde specifieke emissies van de in het referentiejaar 2019 ingeschreven voertuigen. Vanaf 2019 zal de Commissie op jaarlijkse basis de gemiddelde specifieke CO₂-emissies van elke fabrikant publiceren op basis van met het VECTO-instrument gesimuleerde CO₂-emissiewaarden.¹¹² Teneinde rekening te houden met de gebruikswaarde en de specifieke kenmerken van de voertuigen, worden de individuele zware bedrijfsvoertuigen ingedeeld in verschillende subgroepen van voertuigen, waar specifieke wegeningen worden toegepast voor de missieprofielen (d.w.z. de gebruikspatronen van het voertuig), de belasting en de jaarlijks afgelegde afstand. Bovendien wordt rekening gehouden met het aantal voertuigen van de fabrikant in elke subgroep.
- Werkvoertuigen (bv. vuilniswagens en voor bouwactiviteiten gebruikte vrachtwagens) hebben niet hetzelfde CO₂-reductiepotentieel als zware bedrijfsvoertuigen die gebruikt worden voor de levering van goederen, en zijn derhalve uitgesloten van de berekening van de referentiewaarden van de CO₂-emissies (en dus ook vrijgesteld van de emissiereductiedoelstellingen).
- Voertuigen die tot de categorieën M2 (bussen) en M3 (touringcars) en categorie N (vrachtwagens) behoren en die buiten de vier bovengenoemde groepen voertuigen vallen, zullen in eerste instantie niet aan de CO₂-reductievereisten hoeven te voldoen, maar kunnen volgens de Commissie wel in aanmerking komen met het oog op de aan emissievrije en emissiearme voertuigen gegeven stimulansen.
- Er wordt een stimulans voor emissievrije en emissiearme voertuigen voorzien in de vorm van superkredieten met waarborgen om een afzwakking van de CO₂-doelstellingen te voorkomen. Hiertoe worden de emissievrije en emissiearme zware bedrijfsvoertuigen meerdere keren geteld om de gemiddelde specifieke emissies van een fabrikant vanaf 2019 te bepalen. Fabrikanten van emissievrije en emissiearme voertuigen komen in aanmerking voor dergelijke «superkredieten» voor elk in de handel gebracht emissievrij of emissiearm voertuig met een verschillende vermenigvuldigingsfactor volgens de CO₂-emissies van het voertuig. Emissiearme zware bedrijfsvoertuigen zijn zware bedrijfsvoertuigen met specifieke emissies die lager liggen dan 350 g CO₂/km, d.w.z. ongeveer minder dan de helft van het gemiddelde van de emissies van het wagenpark.

¹¹² Vehicle Energy Consumption Tool, kortweg VECTO is een simulatieprogramma voor de nauwkeurige meting van zowel brandstofverbruik als CO₂-uitstoot van een totale voertuigcombinatie, gebaseerd op een simulatie van een vrachtwagenrit door een gevarieerd landschap. Parameters van VECTO zijn de aerodynamica van het voertuig, de rolweerstand, het voertuiggewicht, de efficiëntie van de motor en hoeveel de aanverwante apparatuur aan energie verbruikt. Voor een nauwkeurige simulatie zijn dan ook veel data van de voertuigcombinatie en toepassingsgebied noodzakelijk.

- De jaarlijkse specifieke emissiedoelstellingen voor fabrikanten voor het voorgaande kalenderjaar zullen berekend worden, te beginnen in 2026. De eerste jaarlijkse doelstellingen zullen derhalve voor het kalenderjaar 2025 worden bepaald. In de doelstellingen wordt op dezelfde manier als bij de berekening van de gemiddelde specifieke emissies rekening gehouden met de algemene reductiedoelstellingen voor respectievelijk 2025 en 2030, evenals met de gebruikswaarde en de specifieke kenmerken van verschillende zware bedrijfsvoertuigen. De jaarlijkse specifieke emissiedoelstellingen voor een fabrikant zullen derhalve worden berekend als een gewogen gemiddelde van de voor elke subgroep van voertuigen bepaalde doelstellingen.
- De doeltreffendheid van de CO₂-doelstellingen voor het verminderen van werkelijke emissies hangt enerzijds af van de representativiteit van de resultaten van het simulatie-instrument VECTO met betrekking tot de gemiddelde reële rijomstandigheden en anderzijds van de mate waarin de in de handel gebrachte zware bedrijfsvoertuigen in overeenstemming zijn met de bij de typegoedkeuring geteste referentievoertuigen. In kader van governance wordt daarom volgende voorzien:
 - Het verplicht stellen van de verzameling, bekendmaking en toetsing van door fabrikanten gerapporteerde gegevens over werkelijk brandstofverbruik, op basis van verplichte genormaliseerde totaalverbruiksmeters.
 - Het invoeren van conformiteitstesten tijdens het gebruik, het verplicht stellen van het rapporteren van afwijkingen en de invoering van een correctiemechanisme.
 - Het opleggen van boetes in geval van niet-naleving van de CO₂-doelstellingen.
- Er wordt een mechanisme voor «opsparen en lenen» vastgesteld, waarmee de fabrikant een mindere prestatie van zijn specifieke emissiedoelstellingen in het ene jaar kan compenseren met een betere prestatie in het andere jaar. Daartoe mag de fabrikant emissiekredieten «opsparen» als zijn emissies lager zijn dan een reductietraject dat lineair is bepaald vanaf de referentiewaarden van de CO₂-emissies voor 2019 tot aan de doelstellingen voor 2025, en vanaf de doelstellingen voor 2025 tot aan die voor 2030. Er zijn twee verschillende trajecten nodig om er rekening mee te houden dat de daling afhankelijk van de exacte doelstellingen voor 2025 en 2030 kan verschillen. Om vroegtijdige emissiereducties te stimuleren kunnen kredieten al voor de periode 2019-2024 worden verworven, evenals voor de periode 2025-2029. De in de periode 2019-2024 verworven emissiekredieten worden enkel in 2025 in aanmerking genomen om te beoordelen of de fabrikant zijn specifieke emissiedoelstelling heeft nageleefd. De in de periode 2019-2024 verworven kredieten kunnen niet worden meegenomen naar het volgende tijdvak. Emissiekredieten mogen ook voor het volgende tijdvak tussen 2025 en 2029 worden verworven en gebruikt. Indien een fabrikant in een van de jaren van het tijdvak 2025 tot en met 2029 zijn doelstelling overschrijdt, kan hem een beperkte emissieschuld worden opgelegd, die uiterlijk in 2029 moet zijn weggewerkt. De totale emissieschuld mag niet meer bedragen dan 5 % van de specifieke emissiedoelstelling van de fabrikant voor 2025, anders wordt een bijdrage voor overtollige emissies opgelegd.
- De boete voor overtollige emissies bedraagt € 6.800 per g/tkm, wat overeenkomt met € 570 per g/km op basis van een gemiddelde belasting van 12 ton, wat de marginale kosten van CO₂-beperkende technologieën weerspiegelt.

De onderhandelingen tussen de lidstaten met betrekking tot dit voorstel zijn nog maar recent opgestart. Ervan uitgaande dat de uiteindelijke beslissing dicht tegen het oorspronkelijk voorstel van de Europese Commissie zal uitkomen, wordt voor de berekeningen in de *roadmap* voor zware vrachtwagens in het basisscenario uitgegaan van een emissiereductiedoelstelling van -15% tegen 2025 en -30% tegen 2030 ten opzichte van de monitoring data van het jaar 2019 voor de betrokken categorieën.

Bestelwagens

Voor bestelwagens is er reeds een wettelijk kader voor CO₂-reductiedoelstellingen, dat momenteel aan een herziening onderworpen wordt. Tot dit doel heeft de Europese Commissie in 2017 voorstel COM(2017) 6761 op tafel gelegd tot vaststelling van emissienormen voor nieuwe personenauto's en nieuwe lichte bedrijfsvoertuigen in het kader van de geïntegreerde benadering van de Unie om de CO₂-emissies van lichte voertuigen te beperken en tot wijziging van Verordening (EG) nr. 715/2007. In dit voorstel worden kostenefficiënte CO₂-emissiedoelstellingen voor nieuwe lichte voertuigen tot en met 2030 vastgesteld in combinatie met een specifiek stimuleringsmechanisme om het aandeel van emissiearme en emissievrije voertuigen te vergroten.

Het voorstel van de Europese Commissie bevat volgende elementen (Europese Commissie, 2017):

- In tegenstelling tot voorgaande regelgeving formuleert het nieuwe voorstel geen CO₂-doelstellingen meer in termen van absolute g/km, maar worden de CO₂-reductievereisten procentueel gedefinieerd. De gemiddelde CO₂-emissieniveaus van nieuwe voertuigen zouden met 20% moeten dalen tegen 2025 en met 30% tegen 2030 voor het gehele EU-wagenpark. Deze procentuele reductiedoelstellingen zijn hetzelfde voor personenwagens en bestelwagens, maar het startpunt verschilt enigszins (2020 voor bestelwagens en 2021 voor personenwagens). De stapsgewijze verstrenging van de doelstellingen dient om te waarborgen dat de vereiste cumulatieve CO₂-emissieverminderingen tegen 2030 zijn gerealiseerd. Bedoeling is om ook een duidelijk en vroegtijdig signaal te geven ter stimulering van de investering in emissiearme en emissievrije voertuigen.
- De TTW (*tank-to-wheel*) benadering als maatstaf voor de emissiedoelstelling wordt behouden met doelstellingen uitgedrukt in gram CO₂/km voor het naar de verkoop gewogen gemiddelde van het wagenpark.
- Met ingang van 2021 worden de specifieke emissiedoelstellingen op de nieuwe WLTP-testprocedure gebaseerd¹¹³. Derhalve worden de doelstellingen voor het gehele wagenpark voor 2025 en 2030, die op de WLTP zijn gebaseerd, uitgedrukt als een percentage vermindering ten opzichte van het gemiddelde van de voor iedere fabrikant voor 2021 vastgestelde specifieke emissiedoelstellingen.
- Hoe zwaarder de nieuwe vloot van een fabrikant, hoe hoger de streefwaarden (in gram CO₂/km) in 2020/2021, 2025 en 2030 zullen zijn. Het voorstel doet dit door het gemiddelde gewicht van de vloot van elke fabrikant te vergelijken met het gemiddelde gewicht van de gehele Europese vloot. Het CO₂-doel wordt verhoogd voor elke kilogram waarmee het gemiddelde van de vloot van een fabrikant het gemiddelde van de EU-vloot overschrijdt. Voor bestelwagens wordt voorgesteld om vanaf 2025 twee verschillende hellingen te gebruiken voor de op gewicht gebaseerde doelberekening.¹¹⁴ Fabrikanten met zwaardere dan gemiddelde wagenparken zijn onderworpen aan een andere correctiefactor dan die met een lichtere vloot (ter vergelijking: in de 2020-norm is slechts één gemeenschappelijke factor van toepassing: 0,0960 g CO₂/km voor elke extra kg).
- Met betrekking tot emissiearme en emissievrije voertuigen wordt ook hier geopteerd voor een stimuleringsmechanisme gebaseerd op een kredietsysteem waarbij bij de vaststelling van de specifieke CO₂-doelstelling van een fabrikant rekening gehouden wordt met zijn aandeel in zero- en lage-emissievoertuigen (ZLEV's). ZLEV's zijn voertuigen die minder dan 50 g CO₂/km uitstoten op TTW-basis, namelijk batterij-elektrische voertuigen (BEV), brandstofcel-elektrische voertuigen (FCEV's) en (sommige) plug-in hybride elektrisch voertuigen (PHEV's). Het voorstel stelt een beoogd ZLEV-marktaandeel voor van 15% voor 2025 en 30% voor 2030. Hoe lager het CO₂-emissieniveau van een ZLEV, hoe meer het meetelt voor de doelstelling van het marktaandeel. Een fabrikant die deze streefcijfers overtreft, zou zijn CO₂-reductievereisten proportioneel verminderd zien. Het voorstel definieert een bovengrens voor dit mechanisme.¹¹⁵
- De bijdrage voor overtollige emissies van de bestaande verordeningen wordt gehandhaafd, d.w.z. 95 €/g CO₂/km.

¹¹³ In 2017 is een nieuwe testprocedure voor het meten van de CO₂-emissies en het brandstofverbruik van lichte voertuigen in werking getreden, Deze Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure (wereldwijd geharmoniseerde testprocedure voor lichte voertuigen, WLTP), vastgelegd in Verordening (EU) 2017/115120), vervangt de NEDC (New European Drive Cycle) testprocedure en zal CO₂-emissie- en brandstofverbruikswaarden opleveren die representatiever zijn voor werkelijke rijomstandigheden. Het is derhalve aangewezen dat de nieuwe CO₂-emissiedoelstellingen worden gebaseerd op de CO₂-emissies die op basis van die testprocedure worden bepaald. Aangezien de op WLTP-gebaseerde CO₂-emissies echter pas vanaf 2021 beschikbaar zullen zijn om te bepalen of de doelstelling is gehaald, moeten de nieuwe emissienormen worden vastgesteld als reductieniveaus in verhouding tot het gemiddelde in 2021 van de specifieke emissiedoelstellingen die in dat jaar van toepassing zijn.

¹¹⁴ Krachtens de huidige verordeningen wordt een grenswaardelijk gebruikt om de specifieke emissiedoelstellingen voor individuele fabrikanten te bepalen, uitgaande van de doelstellingen voor het gehele EU-wagenpark. Deze lineaire curve bepaalt het verband tussen de CO₂-emissies en de massa van het voertuig in rijklaare toestand. De voorkeursoptie voor de verdeling van de doelstellingen voor het gehele EU-wagenpark over de individuele fabrikanten vanaf 2025 is om een grenswaardecurve te gebruiken waarbij de specifieke doelstellingen van een fabrikant afhankelijk zijn van de gemiddelde WLTP testmassa van de voertuigen, en de hellingshoek(en) van de curve een gelijkwaardige verminderingsinspanning van de fabrikanten waarborgt (waarborgen).

¹¹⁵ Als een fabrikant meer dan 20% ZLEV's heeft in 2025 en meer dan 35% in 2030 zouden deze extra ZLEV's dus niet meegeteld worden voor een verdere aanpassing van het CO₂-reductiedoel. Er is bovendien momenteel in het voorstel geen boete voorzien voor het niet voldoen aan de ZLEV-doelstelling.

- De doeltreffendheid van de doelstellingen om de CO₂-emissies werkelijk te verminderen, hangt enerzijds af van de representativiteit van de testprocedure voor het gemiddelde reële rijden en anderzijds van de mate waarin de voertuigen die in de handel worden gebracht, conform de referentievoertuigen zijn die bij de typegoedkeuring zijn getest. Gelet op de discussie over de discrepantie tussen testwaarden en reële waarden wordt in dit verband verwezen naar de aanbeveling van het Europees Parlement dat in zijn onderzoek naar emissiemetingen in de automobielsector concludeerde dat markttoezichtmechanismen doorslaggevend zijn om een betrouwbaar en geloofwaardig systeem in stand te houden.
- In 2024 wordt een herziening van de verordening voorzien, met een specifieke nadruk op de reële representativiteit van de CO₂-uitstoot en energieverbruikswaarden van voertuigen, alsook de status van de intrede van ZLEV's en de uitrol van oplaaden tankinfrastructuur.

De onderhandelingen tussen de lidstaten met betrekking tot dit voorstel zijn ook nog volop aan de gang. Ervan uitgaande dat de uiteindelijke beslissing dicht tegen het oorspronkelijk voorstel van de Europese Commissie zal uitkomen, gaan we hier voor de berekeningen in de *roadmap* voor bestelwagens uit van een emissiereductiedoelstelling van -20% tegen 2025 en -30% tegen 2030 ten opzichte van de monitoring data van het jaar 2020.¹¹⁶

Lichte vrachtwagens

Voor de categorieën van vrachtwagens die tussen bestelwagens en vrachtwagens boven 16 ton liggen is er momenteel geen rechtstreekse regeling naar CO₂-emissiestandaarden.¹¹⁷ In artikel 13 van het huidige voorstel voor zware vrachtwagens is bepaald dat de Europese Commissie tegen 31 december 2022 aan het Europees Parlement en de Raad zal rapporteren over de vast te leggen CO₂-doelstelling voor 2030 van de vier huidige opgenomen categorieën (zie hierboven) en de CO₂-doelstellingen voor andere types vrachtwagens die nog niet vervat zitten in het huidige voorstel. Aangezien wordt verwacht dat deze targets pas effectief zullen worden tegen 2030 wordt in het basisscenario van deze maatregel geen emissiereductiedoelstelling voor lichte vrachtwagens opgenomen. Om evenwel een sensitiviteitsanalyse te kunnen uitvoeren waarbij het potentieel van een versnelde toepassing van emissiereductiedoelstellingen op de andere categorieën kan ingeschat worden, werden er in de berekening van de *roadmap* twee scenario's toegevoegd: 1 ambitieuzer scenario waarbij de emissiestandaarden worden opgelegd aan al de zware vrachtwagencategorieën en 1 meest verregaand scenario waarbij de emissiestandaarden aan de gehele vrachtwagenvloot, inclusief lichte vrachtwagens, worden opgelegd.

Impact op voertuigvloot

Bij het berekenen van de met CO₂-emissiestandaarden gepaard gaande CO₂-besparing moet er rekening gehouden worden met het tempo waarmee deze nieuwe vrachtwagens, die voldoen aan de CO₂-emissiestandaarden, op de markt gaan komen. Vanaf 2025 komen er dus jaarlijks voertuigen op de markt die 15% minder uitstoten vergeleken met de voertuigen van 2019 (vrachtwagens) en 20% minder dan voertuigen uit 2020 (bestelwagens). Afhankelijk van het (sensitiviteits-)scenario gaat het dan om 70% of 100% van de zware vrachtwagens die vanaf dat jaar nieuw op de markt komen, 0% of 100% van de lichte vrachtwagens en 100% van de bestelwagens. Voor de (zware en lichte) vrachtwagens kan er onderscheid gemaakt worden tussen de Belgische vloot en de buitenlandse vloot. De Belgische vloot van vrachtwagens wordt verondersteld verantwoordelijk te zijn voor zo'n 60% van de voertuigkilometers gereden in Vlaanderen, de buitenlandse vloot voor de resterende 40%. Volgens door ACEA gepubliceerde data ligt de gemiddelde levensduur van lichte en zware vrachtwagens in België op 9,7 jaar, wat lager is dan het EU gemiddelde van 11,7 jaar.¹¹⁸ Deze laatste waarde wordt ook vermeld in de bijlagen bij de effectbeoordeling bij het voorstel van de Commissie, maar in de eigenlijke effectbeoordeling hanteert de Europese Commissie evenwel een gemiddelde levensduur voor zware vrachtwagens van 15 jaar (Europese Commissie, 2018). Voor bestelwagens is de discrepantie nog groter, want daar wordt eveneens een gemiddelde levensduur van 15 jaar vooropgesteld door de Europese Commissie, terwijl ACEA daar cijfers voor België geeft van gemiddeld 8,2 jaar en een EU-gemiddelde van 10,9 jaar.

Dat betekent dat in het basisscenario in 2030, uitgaande van een gemiddelde levensduur van 15 jaar voor zware vrachtwagens, 36,7% van de vloot zware vrachtwagens die onder de regelgeving valt zal overgeschakeld zijn op voertuigen die voldoen aan de CO₂-emissiestandaarden van 2025 en 3,3% op voertuigen die moeten voldoen aan de CO₂-emissiestandaarden van 2030.¹¹⁹ Ook voor bestelwagens gelden deze percentages. Als evenwel de ACEA-veronderstellingen met betrekking tot kortere levensduur worden gehanteerd zou het aandeel in 2030 van vervangen zware vrachtwagens conform met de emissiestandaarden van 2025 op 52,8% zitten. Voor de bestelwagens zou dit percentage nog hoger liggen, door de kortere levensduur en het lagere percentage voertuigkilometers dat door buitenlandse bestelwagens in Vlaanderen wordt gereden (in vergelijking met de vrachtwagencategorieën). Om in lijn te blijven met de bovenstaande conservatieve inschattingen door de Europese Commissie behouden we de gemiddelde leeftijd van de voertuigen in de drie categorieën op 15 jaar.

¹¹⁶ Uit de raadpleging van de belanghebbenden in kader van het voorstel door de Commissie bleek dat wat de niveaus van de doelstellingen betreft er niet echt consensus was: fabrikanten van personenwagens en bestelwagens zijn over het algemeen voorstander van minder ambitieuze doelstellingen voor 2030 dan ngo's die rond milieu en vervoer werken, alsmede consumentenorganisaties, die zowel voor 2025 als voor 2030 ambitieuzere doelstellingen voor ogen hebben (Europese Commissie, 2017).

¹¹⁷ Ze zouden wel in aanmerking komen voor de aan emissievrije en emissiearme voertuigen gegeven stimulansen. (Europese Commissie, 2018)

¹¹⁸ <https://www.acea.be/statistics/tag/category/average-vehicle-age>

¹¹⁹ Voor 2030 zal op het einde van het jaar 6,66% van de voertuigvloot vervangen zijn door deze nieuwe vrachtwagens, dus gemiddeld over 2030 genomen wordt de helft verondersteld.

Emissiefactoren

Voor de modelberekeningen wordt er becijferd in welke mate de CO₂-emissiestandaarden die in de modellering te gebruiken emissiefactoren (zie fiche “emissiefactoren”) beïnvloeden.

De gebruikte emissiefactoren in de modeldoorrekeningen werden aangeleverd door Departement Omgeving van de Vlaamse Overheid voor basisjaar 2013 (op basis van CO-PERT4v11.4) en voor 2030 (VITO berekeningen in opdracht van de afdeling Energie, Klimaat en Groene Economie (Mobiliteitscenario's-Ronde3)). Het gaat hier dus om emissiefactoren die zoveel mogelijk het werkelijk brandstofverbruik in verschillende rijomstandigheden trachten te capteren voor voertuigen in verschillende gewichtscategorieën. Dit staat dus los van de emissiefactoren die op basis van meetprotocollen zoals NEDC of WLTP bepaald worden en die de gemiddelde uitstoot voor specifieke voertuigen proberen te bepalen.

Daar de gehanteerde emissiefactoren in het referentiescenario (de hieronder genoemde referentie emissiefactoren) reeds een daling vertonen tussen 2013 en 2030, dient er bepaald te worden welk gedeelte van deze daling betrekking heeft op de periode 2013-2019 (voor vrachtwagens) en 2013-2020 (voor bestelwagens).¹²⁰ Uit de literatuur blijkt evenwel dat bronnen zich hierover tegenspreken. ICCT (2018) geeft aan dat er momenteel nog geen officiële brandstofverbruiksdata op voertuigniveau voorhanden is om dit accuraat te kunnen inschatten, maar besluit op basis van officieuze data (van Lastauto Omnibus) dat er bij zware vrachtwagens in het verleden slechts zeer beperkte verbeteringen in brandstofefficiëntie werden gerealiseerd door fabrikanten. ACEA (2017) daarentegen spreekt (eveneens verwijzend naar Lastauto Omnibus) van significante verbeteringen op basis van onafhankelijke metingen (*third party assessments*) in werkelijke rijomstandigheden met jaarlijkse besparingen tussen de 0,76% en 1,45%. Gemiddeld zou het brandstofverbruik gedaald zijn met 8% tussen 2011 en 2016. Dit lijkt evenwel een eerder optimistische inschatting.

Voor bestelwagens wordt onder andere door Ricardo-AEA en TEPR (2015) geponeerd dat onder impuls van de bestaande regelgeving wel een duidelijke verbetering in brandstofefficiëntie gerealiseerd werd over de voorbije periode, maar hier dient de belangrijke nuance gemaakt te worden dat de vereiste jaarlijkse besparing gebaseerd is op monitoringdata die gebruikt maakt van het NEDC testprotocol. Hiervan is geweten dat het niet representatief is voor het verbruik onder werkelijke rijomstandigheden.¹²¹

Op basis van deze informatie wordt ingeschat dat er slechts een zeer beperkt aandeel van de daling in de emissiefactoren tussen 2013 en 2030 kan toegewezen worden aan de werkelijk gerealiseerde verbeteringen in brandstofefficiëntie. Deze wordt daarom (eerder arbitrair) vastgelegd op 1% tussen 2013 en 2019 voor zware vrachtwagens en op 2% tussen 2013 en 2020 voor bestelwagens.

Op basis van deze assumptie worden de referentie emissiefactoren voor 2030 aangepast om zo tot emissiefactoren te komen die toepasbaar zijn voor de nieuwe vrachtwagens die vanaf 2025 en 2030 op de markt komen.

De overblijvende verbetering door implementatie van de emissiestandaarden ten opzichte van de voor 2030 gehanteerde referentie-emissiefactoren wordt in Tabel 2 en 3 in de kolom “surplus” weergegeven voor respectievelijk de reductiedoelstellingen voor 2025 en 2030. Dit surplus is dus het gedeelte van de CO₂-emissieverbetering die gerelateerd is aan de emissiestandaarden die nog niet vervat zit in de referentie-emissiefactoren voor 2030. Op basis van dit surplus in CO₂-besparing worden de aangepaste emissiefactoren die gelden voor nieuwe vrachtwagens die voldoen aan de CO₂-emissiestandaarden berekend (zie Tabel 2). Deze emissiefactoren worden dan toegepast op het gedeelte van de vloot dat vernieuwd wordt met vrachtwagens die voldoen aan de nieuwe CO₂-emissiestandaarden.

Om tot de aangepaste emissiefactoren te kunnen berekenen dienen deze verdeeld te worden over de verschillende voertuig- en wegtypes volgens gegevens van de FOD Mobiliteit (2017) zoals weergegeven in Tabel 1. Bij gebrek aan prognoses worden deze percentages constant doorheen de tijd verondersteld (zie ook fiche “Emissiefactoren”).

Tabel 39: Voertuigkilometers per vrachtwagen- en wegtype, Vlaanderen 2013 (FOD Mobiliteit, 2017)

Verdeling vaste combinaties & trekker-opleggers per wegtype			
Jaar		2013	
2013	Wegtype	mio vkm	%
Vaste Combinaties	Snelwegen en complexen	730,5	21,0%
	Gewestwegen ¹²⁰	845,7	43,6%
	Lokale wegen	325,5	56,2%
Trekker-opleggers	Snelwegen en complexen	2751,6	79,0%
	Gewestwegen	1095,9	56,4%
	Lokale wegen	253,9	43,8%

¹²⁰ De respectievelijke referentieniveaus waartegen de emissiereductiedoelstellingen dienen te worden afgezet liggen voor zware vrachtwagens op 2019 en voor bestelwagens op 2020.

¹²¹ Uit testen uitgevoerd door Emission Analytics bleek dat de werkelijke brandstofefficiëntie bij bestelwagens in 2016 gemiddeld 17,1% lager lag dan wat op basis van de NEDC als officiële cijfers gerapporteerd wordt. Voor personenwagens is dit verschil zelfs 26%. <https://www.commercialfleet.org/news/latest-news/2017/05/26/real-world-fuel-economy-is-an-average-171-lower-than-official-figures-says-emissions-analytics>. Het nieuwe WLTP-protocol wordt verwacht hieraan te verhelpen maar Fontaras et al. (2016) hebben al geopperd dat er waarschijnlijk nog steeds een onderschatting zal blijven bestaan.

¹²² Deze categorie werd in de oorspronkelijke tabel door FOD Mobiliteit aangeduid met “gewestwegen en provinciewegen” maar de (bovenlokale) provinciewegen werden in 2009 toegevoegd aan de gewestwegen (de kleinere provinciewegen tegen 2012 aan de lokale (gemeente)wegen).

Tabel 40: Emissiefactoren aangepast voor CO₂-emissiestandaarden in 2025
(VUB-MOBI, 2018 op basis van emissiefactoren Departement Omgeving/VITO, 2017)

Zware vracht (>12ton) *Targetreductie 2025 t.o.v. 2019: 15%*

Bijkomende efficiëntie o.i.v.
emissiestandaarden

Snelwegen & complexen	Urbaan	Suburbaan	Landelijk
617,5 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 947,4 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 819,4 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen 691,4 CO ₂ g/vkm
11,5%	8,5%	8,8%	9,1%
	Lokale Wegen 915,2 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 792,5 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 670,5 CO ₂ g/vkm
	7,7%	8,0%	8,5%

Lichte vracht (3,5 - 12 ton) *Targetreductie 2025 t.o.v. 2019: 15%*

Snelwegen & complexen	Urbaan	Suburbaan	Landelijk
349,9 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen	Gewestwegen	Gewestwegen
9,8%	Lokale Wegen 391,8 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 357,4 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 323,0 CO ₂ g/vkm
	2,9%	3,1%	3,4%

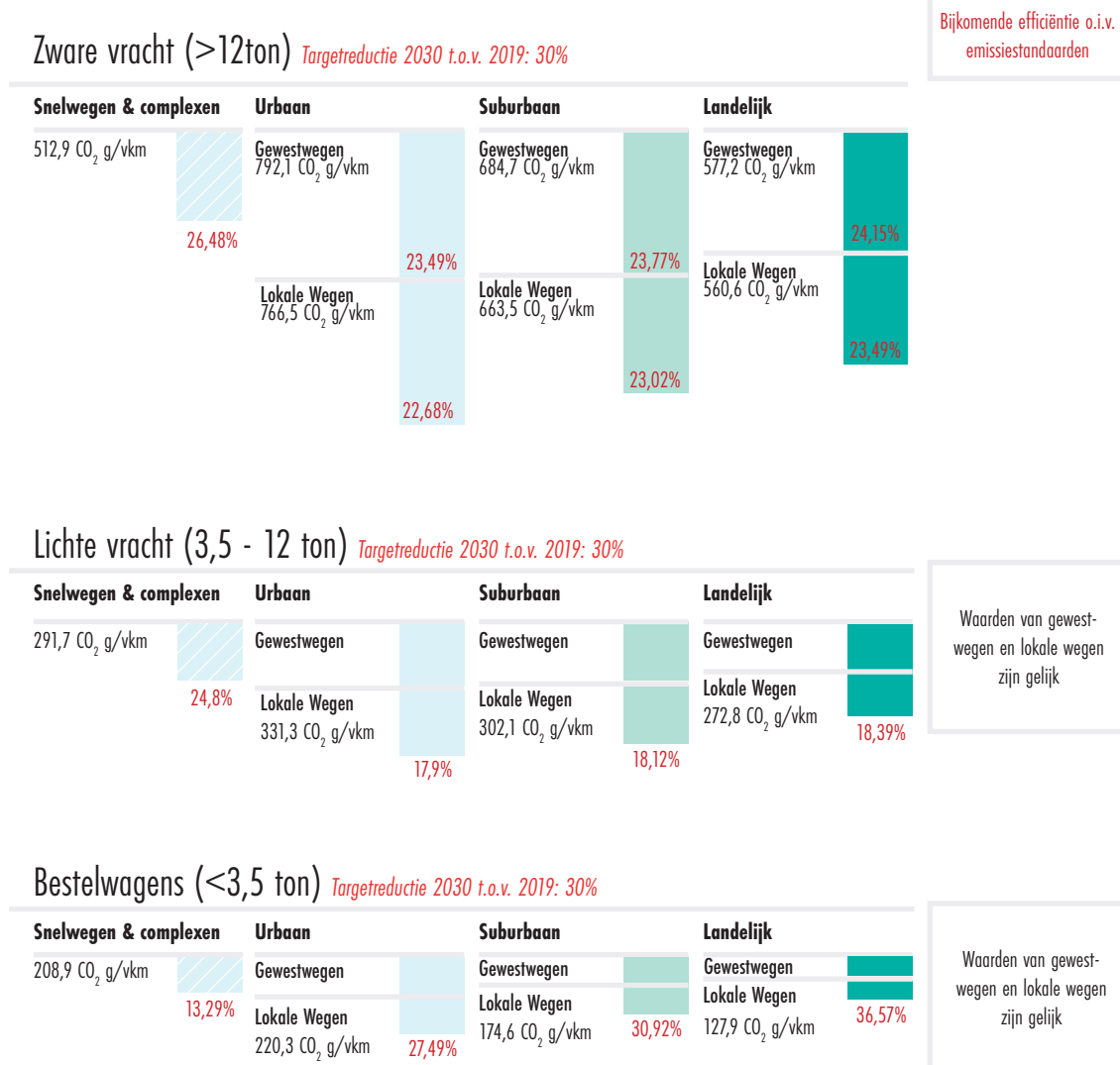
Waarden van gewest-
wegen en lokale wegen
zijn gelijk

Bestelwagens (<3,5 ton) *Targetreductie 2025 t.o.v. 2019: 15%*

Snelwegen & complexen	Urbaan	Suburbaan	Landelijk
233,0 CO ₂ g/vkm	Gewestwegen	Gewestwegen	Gewestwegen
3,3%	Lokale Wegen 250,7 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 199,9 CO ₂ g/vkm	Lokale Wegen 148,1 CO ₂ g/vkm
	17,5%	20,9%	26,6%

Waarden van gewest-
wegen en lokale wegen
zijn gelijk

Tabel 41: Emissiefactoren aangepast voor CO₂-emissiestandaarden in 2030
(VUB-MOBI, 2018 op basis van emissiefactoren Departement Omgeving/VITO, 2017)



Deze berekening blijft een ruwe inschatting op basis van de gemaakte assumpties teneinde een indicatie voor de impact van deze maatregel te kunnen geven in het voorkeurscenario. Voor een meer nauwkeurige detailberekening van de effecten van een introductie van CO₂-emissiestandaarden tegen 2030 en verdere tijdshorizons is bijkomend studiewerk vereist.

Effect op luchtvervuiling :

Positieve impact. Op basis van de effectbeoordelingen die werden uitgevoerd in kader van de voorstellen van de Europese Commissie zouden door deze regelgeving bij zware vrachtwagens tegen 2030 de NO_x-emissies afnemen met 1,3 tot 4,7% en de PM_{2,5}-emissies met maximaal 0,6%.¹²³ De emissies van luchtverontreinigende stoffen door bestelwagens zouden tussen 2020 en 2030 afnemen met maximaal 9% (NO_x) en 10% (PM_{2,5}).¹²⁴

¹²³ Voor meer details, zie SWD(2018) 185 final

¹²⁴ Voor meer details, zie SWD(2017) 651 final

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Nota: er zijn geen simulatieresultaten met betrekking tot de modale verdeling als gevolg van deze maatregel in SVRM want de impact van emissiestandaarden werd berekend op basis van het voorkeurscenario in TRABAM.
- Modale verschuiving: afhankelijk van impact «totale kosten van eigendom» (*total cost of ownership*) rekening houdende met potentieel hogere investeringskosten en lagere brandstofkosten. Bij gelijkblijvende kosten zou er geen modale verschuiving optreden maar volgens de effectbeoordeling zouden er positieve baten zijn voor de transportoperatoren (zie verder). Het goedkoper worden van wegvervoer zou dan een potentieel gevaar op reverse modale verschuiving inhouden.
- Secundaire effecten:
 - Aansluitend op het bovenstaande zou het goedkoper worden van wegvervoer kunnen resulteren in een stijging van het aantal voertuigkilometer en dus eventueel ook in een toename van congestie.

Lock-in:

Lock-in: verdere technologische ontwikkeling van bestaande ICE-technologie is een mogelijke barrière voor een (versnelde) omschakeling van dieselvoertuigen naar alternatieve energiedragers.

Toepassingsgebied:

- Stedelijk en buitengebied
- korte en lange afstandstransport

Kosteneffectiviteit :

Zware vrachtwagens

Op basis van de effectbeoordeling (Europese Commissie, 2017) wordt verwacht dat de belastingopbrengsten in de EU-28 licht zullen afnemen door een daling in de verkoop van diesel.

Daarnaast zullen de productiekosten toenemen en bedrijven die een nieuwe vrachtwagen willen aanschaffen met hogere aankoopkosten te maken krijgen. Voor een gemiddelde in 2025 ingeschreven nieuwe vrachtwagen variëren de kosten tussen € 858 en € 27.797, en in 2030 tussen € 4.657 en € 58.760, afhankelijk van de gekozen optie. In relatieve zin bedraagt dit tussen 0,8 en 25,3 % van de aankoop prijs van het voertuig. Maar vanuit het oogpunt van het eerste en tweede gebruik zouden volgens de effectbeoordeling de cumulatieve nettobesparingen, d.w.z. het verschil tussen brandstofbesparingen en productiekosten, variëren tussen € 5.413 en € 37.589 per vrachtwagen in 2025 en tussen € 22.032 en € 82.429 per vrachtwagen in 2030. Dit komt overeen met een besparing van 1 tot 4% van de exploitatiekosten in 2025 en van 3 tot 12% in 2030 (Europese Commissie, 2018).

Bestelwagens

Met betrekking tot het aanpassen van de emissiestandaarden voor personenwagens en bestelwagens bleek uit de effectbeoordeling (Europese Commissie, 2017) dat het inkomstenverlies als gevolg van brandstofaccijnzen in 2030 wordt geraamd op circa 0,04 % van het BBP voor de EU-28. In alle beoordeelde scenario's is evenwel aangenomen dat dit wordt gecompenseerd door een verhoging van de indirecte belasting.

Door de verstrengde emissiestandaarden zullen ook hier de productiekosten en dus ook de voertuigprijs toenemen, waardoor bedrijven met hogere aanschafkosten voor een nieuw voertuig zullen worden geconfronteerd. Deze kosten nemen toe met strengere CO₂-doelstellingen voor het gehele wagenparken en worden voor een gemiddelde bestelwagen van 2030 geschat te liggen tussen de € 400 tot € 2.400. De voordelen voor de gebruikers in termen van «totale kosten van eigendom» (*total cost of ownership*) liggen evenwel voor een gemiddelde nieuwe bestelwagen van 2030 tussen de € 3.800 en € 4.400 (uitgaande van een levensduur van 15 jaar) (Europese Commissie, 2017).

Timing:

De timing van de huidige voorstellen door de Commissie werd hierboven reeds besproken.

Voorwaarden en barrières :

- Reductiedoelstellingen moeten voor beide voorstellen nog onderhandeld worden tussen de lidstaten. Ook zijn er tussentijdse evaluatiemomenten met betrekking tot de doeltreffendheid van de regelgeving voorzien (in 2022 voor zware vrachtwagens en in 2024 voor bestelwagens) om de targets naar 2030 te finaliseren. De uiteindelijke doelstellingen tegen 2030 staan dus nog niet vast en zijn vatbaar voor mogelijke afzwakking.
- In het huidige voorstel gelden emissiestandaarden voor zware vrachtwagens slechts voor 65% tot 70% van voertuigkilometers (4 voertuigcategorieën).
- Scherpere targets dan -30% voor vrachtvoertuigen tegen 2030 worden bepleit en haalbaar geacht door verschillende stakeholders (ICCT, 2018, Europees Parlement, 2018) maar worden onder druk van vrachtwagenfabrikanten waarschijnlijk niet weerhouden in de onderhandelingen tussen de lidstaten.
- Snelheid technologische ontwikkeling is onzekere factor en deels afhankelijk van (de hoogte van) eventuele sancties bij het niet behalen van de reductiedoelstellingen.

Conclusies:

Wanneer aan maatschappelijke organisaties in de voorbereiding van het projectvoorstel door de Europese Commissie werd gevraagd aan welke optie zij, gerangschikt naar belangrijkheid, de voorkeur gaven om CO₂-emissie van nieuwe zware bedrijfsvoertuigen te verminderen en bij te dragen tot de energie- en klimaatdoelstellingen voor 2030, gaven alle belanghebbenden de voorkeur aan wetgeving voor het vaststellen van CO₂-emissienormen op EU-niveau. Dit geeft aan dat er een breed maatschappelijk draagvlak is voor de implementatie van deze maatregel, ook al gaven sommige fabrikanten van zware bedrijfsvoertuigen en hun organisaties aan dat zij de voorkeur geven aan andere maatregelen via een brede aanpak, waaronder wetgeving waarin een CO₂-etiketteringsregeling op EU-niveau wordt vastgesteld, de opname van de vervoersector in het EU-emissiehandelsstelsel, andere stimulansen zoals brandstofbelastingen op nationaal niveau of rekeningrijden op basis van CO₂ (Europese Commissie, 2018).

Ondanks dat technologische ontwikkeling van bestaande ICE-technologie een mogelijke barrière kan zijn voor een (versnelde) omschakeling van diesellootvoertuigen naar alternatieve energiedragers, lijkt deze maatregel een noodzaak om de vrachtsector voldoende bijdrage te laten leveren aan de klimaatdoelstellingen voor 2030. Temeer omdat de snelheden waarmee bepaalde technologieën om tot zero-emissie zware vrachtwagens te komen nog onderhevig zijn aan relatief grote onzekerheden en vlootvernieuwing met dergelijke voertuigen tijd zal vragen. De noodzaak een efficiëntieverbetering in de aandrijvingen op fossiele brandstoffen blijft dan ook noodzakelijk en daarom wordt deze maatregel mee opgenomen in het voorkeurscenario van de roadmap. Gelet op het voorstel van de Europese Commissie en de globale context lijkt een implementatie zeer waarschijnlijk, al blijft er onduidelijkheid over het uiteindelijke ambitieniveau.

Bronnen :

- ACEA (2017) Reducing CO₂ from trucks: progress in practice. Third-party assessment
- Europese Commissie (2018) Verordening van het Europees Parlement en de Raad tot vaststelling van CO₂-emissienormen voor nieuwe zware bedrijfsvoertuigen (COM(2018) 284 final/2) en Effectbeoordeling + Annexes (SWD(2018) 185 final)
- Europese Commissie (2017) Verordening van het Europees Parlement en de Raad tot vaststelling van emissienormen voor nieuwe personenauto's en nieuwe lichte bedrijfsvoertuigen in het kader van de geïntegreerde benadering van de Unie om de CO₂-emissies van lichte voertuigen te beperken en tot wijziging van Verordening (EG) nr. 715/2007 (COM(2017) 676 final) + bijlagen (SWD (2017) 650 en Effectbeoordeling (SWD (2017) 651)
- Europees Parlement (2018) Post 2020 CO₂ emission targets for cars and vans: the right level of ambition?
- Fontaras, Ciuffo, Zacharof, Tsiakmakis, Marotta, Pavlovic, Anagnostopoulos (2016) The difference between reported and real-world CO₂ emissions: How much improvement can be expected by WLTP introduction? *Transportation Research Procedia*, 25, 3933–3943
- ICCT (2018) The European Commission regulatory proposal for post-2020 CO₂ targets for cars and vans: A summary and evaluation
- ICCT (2018) Cost-effective potential for reducing freight fuel consumption in Europe. Presentatie in kader van "Truck Fuel: Less is more" (11 april 2018, Brussel)
- Ricardo-AEA en TEPR (2015) Evaluation of Regulations 443/2009 and 510/2011 on the reduction of CO₂ emissions from light-duty vehicles

02.16. Operationele en technische efficiëntieverbeteringen in logistiek

Korte beschrijving :

Deze fiche geeft een overzicht van het potentieel van maatregelen ter verbetering van efficiëntie in logistiek met een potentiële impact op vlak van CO₂-emissiereductie. Het gaat om een diverse groep van maatregelen, zowel op operationeel als technisch vlak. Sommige van deze maatregelen zijn in eerste instantie gericht op economisch rendement, maar resulteren via brandstofreductie tegelijkertijd in energie-efficiëntie en emissiereductie. Deze maatregelen kwamen niet in aanmerking voor een rechtstreeks modeldoorrekening, maar zijn wel relevant voor het realiseren van de CO₂-besparingsdoelstellingen. De maatregelen worden hieronder in detail toegelicht.

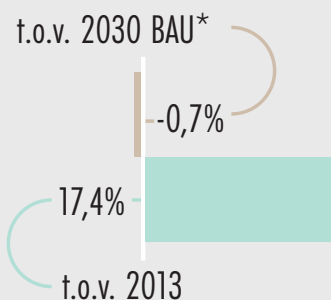
Vertaling naar Voorkeurscenario: Aangezien de gehanteerde transportmodellen zonder bijkomende aanpassingen niet voldoende geschikt waren om de verzameling van maatregelen die onder logistieke efficiëntieverbeteringen vallen te simuleren, werd het potentiële effect ervan afzonderlijk opgenomen in het voorkeurscenario en kwalitatief ingeschat op basis van literatuurwaarden. Een belangrijk gedeelte van het CO₂-besparingspotentieel van de in deze fiche vermelde maatregelen zit evenwel vervaardigd in de besparing die gerealiseerd wordt door de invoering van CO₂-emissiestandaarden. Deze standaarden hebben betrekking op de gehele vrachtwagencombinatie en omvatten dus niet enkel verbeteringen aan motortechnologie, maar ook besparingen op vlak van bijvoorbeeld aerodynamische ingrepen, automatische monitoring van bandendruk, geautomatiseerde technieken voor energiezuinig rijden, enz. Het bijkomende potentieel wordt dus hoofdzakelijk gegenereerd door operationele en technologische ingrepen die de operationele inschakeling van het vrachtvoertuig in de logistieke keten optimaliseren, zoals het verhogen van de benuttingsgraad en route-optimalisatie. Dit potentieel is evenwel niet eenvoudig te kwantificeren en vereist specifieke aangepaste modeldoorrekeningen. Dit additionele besparingspotentieel wordt daarom kwalitatief meegenomen in het voorkeurscenario. Bij sommige maatregelen zoals route-optimalisatie moet er trouwens over gewaakt worden dat er geen ongewenste neveneffecten optreden zoals het verschuiven van zwaar vrachtvervoer naar het onderliggende netwerk, wat het potentieel van bepaalde optimalisatiemaatregelen beperkt.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

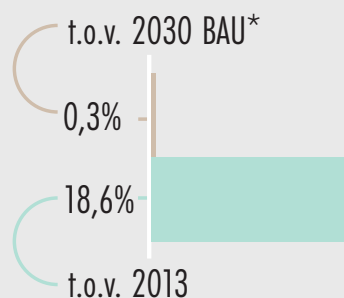
Het potentieel van de logistieke efficiëntieverbeteringen op vlak van CO₂-emissiebesparing valt moeilijk door te rekenen in de gehanteerde transportmodellen.

In de modeldoorrekening wordt daarom ingezoomd op het potentiële secundaire effect van deze maatregelen, daar logistieke efficiëntieverbeteringen ook de kost van transport kunnen doen dalen. In de modeldoorrekening wordt daarom geanalyseerd wat het effect is van een daling van de logistieke kosten bij een gelijkblijvende transportvraag.

Individuele modeldoorrekening waarbij de verschillende kostcomponenten van het SVRM (tijds-kost, afstandskost, kost van laden/lossen en kost van overladingen) voor alle modi (weg, spoor, binnenvaart) 20% goedkoper worden:



Individuele modeldoorrekening (-20% op de verschillende kostcomponenten enkel toegepast op wegvervoer):



* t.o.v. 2030 business as usual (volgens bestaand beleid Vlaamse Overheid)

Model : STRATEGISCH VRACHTMODEL

Er is weinig bruikbaar studiemateriaal rond bijvoorbeeld het geaggregeerde potentieel van horizontale bundeling voor goederenstromen in Vlaanderen of de lange termijneffecten van eco-driving dat kan ingepast worden in deze studie. Wel bestaan er ruwe inschattingen rond elementen van **logistieke efficiëntieverbeteringen** (zie bijvoorbeeld TML/IRU, 2017 en IEA, 2017). Dit vertalen naar een kostenverlaging die geïmplementeerd kan worden in de modeldoorrekening is niet evident. Als gekeken wordt naar de de kostenstructuren van EU-wegvervoerders dan stelt TML/IRU (2017) vast dat de grootste operationele kosten waarmee deze bedrijven worden geconfronteerd, chauffeurs (20% -48% van de kosten) en brandstof (26% -38%) zijn. Andere kosten, inclusief voertuig- en afschrijvingskosten, variëren tussen 17% en 42%. De maatregelen met betrekking tot logistieke efficiëntie spelen in meer of mindere mate in op sommige of alle van deze drie elementen. Zo zal energiezuinig rijden vooral besparen op brandstof, maar zal het verhogen van de benuttingsgraad inspelen op personeels- en brandstofkosten en mogelijk zelfs voertuigkosten als dezelfde operaties met minder voertuigen kunnen uitgevoerd worden. De verder beschreven ingrepen aan de vrachtwagen zelf hebben doorgaans een impact op de voertuigkosten (met verschillende terugbetalingstermijnen) en brandstofkosten, maar weinig op de personeelskosten. De hier toegepaste kostenverlaging van 20% tegen 2030 op de verschillende kostcomponenten in SVRM (tijds-kost, afstandskost, kost laden/lossen, kost van overladen) is een inschatting op basis van analyses door o.a. ICCT, 2015, TML/IRU, 2017 en IEA, 2017. Dit scenario wordt voornamelijk toegevoegd om een inzicht te verkrijgen in eventuele modale verschuivingen en veranderingen in voertuigkilometers wanneer de kostprijs van logistiek daalt bij een gelijkblijvende transportvraag.

Tabel 42: Sensitiviteitsanalyse kostenverlaging (logistieke efficiëntie)

Weg	Tijd (€/uur)	Afstand (€/km)	Laden/Lossen (€)	Overladen (€)
Bestelwagen (1-3,5 ton)	-20%	-20%	-20%	-20%
Licht (3,5 - 12 ton)	-20%	-20%	-20%	-20%
Zwaar (>12,5 ton)	-20%	-20%	-20%	-20%
Binnenvaart	Tijd (€/uur)	Afstand (€/km)	Laden/Lossen (€)	Overladen (€)
Klein, bulk & container	-20%	-20%	-20%	-20%
Medium, bulk & container	-20%	-20%	-20%	-20%
Groot, bulk & container	-20%	-20%	-20%	-20%
Spoorvervoer	Tijd (€/uur)	Afstand (€/km)	Laden/Lossen (€)	Overladen (€)
Goederentrein	-20%	-20%	-20%	-20%

Effect op luchtvervuiling :

Licht positieve impact: in de mate dat efficiëntieverhogende maatregelen resulteren in verminderde voertuigkilometers en/of verminderd brandstofverbruik is een daling van luchtvervuilende emissies mogelijk. Op basis van de modeldoorrekening blijkt alvast dat het effect op zich van een daling van de logistieke kosten op het aantal voertuigkilometers relatief beperkt is onder de assumptie van gelijkblijvende (en dus inelastische) transportvraag, maar dat er wel een modale verschuiving kan optreden die ook enig effect kan hebben op de luchtvervuilende emissies.

Modale verschuiving en secundaire effecten:

Tabel 43: Modale verschuiving in de kostensensitiviteit modeldoorrekening

Vervoer- wijze Scenario (in ton)	Ref 2013 %	Ref 2030 SO %	-20% totaal alle modi %	-20% totaal weg %
Weg	77.1%	75.2%	73.0%	75.7%
Spoor	7.3%	7.5%	7.2%	7.1%
Binnenvaart	15.6%	17.3%	19.7%	17.2%
Totaal	100%	100%	100%	100%

- Indien de kostenverlaging van -20% optreedt bij alle modi, toont de modeldoorrekening dat er in tonnages hoofdzakelijk een modale verschuiving optreedt van weg naar binnenvaart (en in mindere mate van spoor naar binnenvaart)
- indien de kostenverlaging enkel zou optreden in de wegsector, dan blijkt er in voertuigkilometers vooral een modale verschuiving op te treden van spoor naar weg (en in mindere mate van binnenvaart naar weg). Dit wijst erop dat er mogelijk een reverse modal shift van hoofdzakelijk spoor naar weg kan optreden indien kostenefficiëntieverbetering op de weg groter is dan bij spoor en binnenvaart.
- Modale verschuiving van de beschreven maatregelen:
 - Het effect van de verschillende maatregelen op de modale verdeling is afhankelijk van de impact van de maatregel op de aantrekkelijkheid van de transportmodus. Zo zullen maatregelen die gericht zijn op het bundelen van goederenstromen mogelijk een modale verschuiving naar spoor en/of binnenvaart mogelijk maken omdat de benodigde schaal-grootte bereikt wordt die overschakelen naar deze transportmodus interessant maakt.
- Secundaire effecten:

- Indien de transportvraag elastisch is, dan zou de getransporteerde hoeveelheid kunnen toenemen met dalende logistieke kosten. Hierdoor zou de verzadiging van het wegennet verder kunnen verhogen, met toenemende congestiekosten tot gevolg. Dit zou op zich de logistieke efficiëntie wel weer doen afnemen. Door de complexiteit en de interactie van de verschillende effecten op de totale logistieke kosten is het moeilijk in te schatten hoe deze tegen 2030 gaan evolueren.
- Bij invoering van Lange en Zware Voertuigen bestaat er een risico op reverse modale verschuiving van spoor en binnenvaart naar weg (zie verder).

Lock-in:

Dit is afhankelijk van het type maatregel. Het opleggen van bepaalde standaarden bijvoorbeeld voor data-uitwisseling tussen operatoren kan mogelijk technologische lock-in meebrengen. Het aanschaffen van aerodynamische opties of het aanpassen van de aerodynamische vorm kan ook een zekere technologische lock-in inhouden maar door de relatief snelle vlootvernieuwing is dat aspect beperkt. Hetzelfde geldt ook voor integratie in de vrachtwagens van andere technische opties.

Toepassingsgebied:

- Stedelijk en buitengebied
- korte en lange afstandstransport

Kosteneffectiviteit :

Logistieke efficiëntieverbeteringen ontwikkelen zich in de markt indien economisch rendabel en vereisen doorgaans geen rechtstreekse overheidsinvesteringen. Er kunnen wel bepaalde kosten optreden gerelateerd aan wijzigende regelgeving of het uitwerken van standaarden. Ook kunnen mogelijk fiscale gevolgen optreden gerelateerd aan dalend brandstofverbruik en gewijzigde opbrengsten van kilometerheffing indien voertuigkilometers dalen of stijgen. Daarnaast zullen bepaalde technologische opties gerealiseerd worden binnen het kader van het realiseren van CO₂-emissiestandaarden (zie fiche "CO₂-emissiestandaarden"). Met betrekking tot dit laatste is de recente impactanalyse uitgevoerd door TNO et al (2018) in opdracht van de Europese Commissie om de effecten van de invoering van CO₂-emissiestandaarden voor vrachtwagens te bestuderen zeer relevant. Deze resultaten worden dan ook kort besproken op het einde van deze fiche.

Operationele opties voor logistieke efficiëntieverhoging:

Eco-driving/Energiezuinig rijden

Het brandstofverbruik van een bepaald voertuig is in grote mate afhankelijk van de rijstijl van de bestuurder. Een aanzienlijke vermindering van brandstof (en dus CO₂-uitstoot) kan daarom worden verkregen door het gedrag van de bestuurder te veranderen.

Ecodiving omvat een aantal technieken:

- Optimaliseren van motorefficiëntie: door bijvoorbeeld vroeger te schakelen en minder bruusk te remmen en versnellen.
- Minimaliseren van overtollig energieverbruik: bijvoorbeeld geen onnodig gebruik maken van airconditioning, verwijderen van ongebruikte dakdragers en overtollig gewicht, minimaliseren van stationair draaien, het gebruik van netstroom voor de koeling van de lading, enz.
- Monitoren van bandenspanning en deze op voorgeschreven niveau houden (zie hieronder).

Deze gedragsverandering kan gerealiseerd worden via onder andere bewustmakingscampagnes, cursussen Eco-driving of door zuinig rijden te integreren in de rij-opleiding.¹²⁵

De opleiding voor professionele bestuurders wordt gedekt door EU-richtlijn 2003/59 / EG, inclusief de initiële opleiding voor het certificaat van professionele bekwaamheid (CPC) en de periodieke trainingsupdates die om de vijf jaar moeten worden gevolgd. Hoewel het hoofddoel van deze richtlijn het verhogen van de verkeersveiligheid is, kunnen deze trainingen een platform bieden van waaruit de vaardigheden en professionaliteit van de bestuurder kunnen worden verbeterd.

De vermindering van het brandstofverbruik welke bereikt kan worden door het volgen van een cursus energiezuinig rijden blijkt direct na de cursus te variëren tussen 5 en 25% (Kampman et al., 2009). De omvang van het kortetermijneffect is immers sterk afhankelijk van de oorspronkelijke rijstijl van de bestuurder - hoe oneconomischer/inefficiënter het rijgedrag van de bestuurder voor de cursus, hoe groter het potentiële effect. In de GHG-TransPoRD-studie werd het potentieel van eco-driving training voor de hele wegtransportsector geschat op 10% (TML & IRU, 2017), een besparingspercentage dat ook werd gevonden door AEA-Ricardo (2011) en McKinnon (2008) voor het Verenigd Koninkrijk. IEA (2017) vermeldt onmiddellijke besparingen tussen de 3% tot 9%. Voor zware bedrijfsvoertuigen worden de effecten een jaar of langer na de training geschat op 5% door Kampman et al. (2009).

Op vlak van kosteneffectiviteit is de gerealiseerde brandstofbesparing meestal groter dan de kosten, waardoor dit een zeer kosteneffectieve maatregel is. De opleiding energiezuinig rijden is immers niet zo duur maar het trainen van rij-instructeurs om nieuwe bestuurders zuinig gedrag aan te leren is nog kostenefficiënter. Rij-instructeurs kunnen op een dag leren om energiezuinig rijden in hun lessen te integreren en kunnen vervolgens hun kennis doorgeven aan duizenden nieuwe (professionele) bestuurders.

Deze opleiding is doorgaans effectiever in situaties waar veel actie van de bestuurder vereist is, d.w.z. in stedelijke gebieden in plaats van op snelwegen. Het is ook waarschijnlijk dat verschillende voertuigtechnologieën (bijvoorbeeld hybride, elektrische, waterstofvoertuigen) verschillende efficiënte rijregels vereisen. Het stimuleren van zuinig rijden is evenwel nuttig voor elk ritten- en aandrijvingsprofiel. Ervaringen in de praktijk (o.a. uit het Lean & Green programma) bevestigen echter dat de door bestuurders gerealiseerde besparingen na een cursus energiezuinig rijden niet permanent zijn, en opvolging vragen. Via het belonen van energiezuinige bestuurders en opfriscursussen kan het effect wel op langere termijn worden aangehouden. Een bedrijfsgebaseerd beloningssysteem, ondersteund door een centraal monitoringssysteem (op basis van CANBUS data¹²⁶), kan zodoende een win-winsituatie creëren voor de bestuurder (die financieel of op andere wijze wordt beloond voor een zuinige rijstijl) en de wegvrachttransport- of logistieke operator (die bespaart op brandstofkosten).

Een andere belangrijke factor is voertuigtechnologie. Door de evolutie in voertuigtechnologie zullen immers naar verwachting meer en meer aspecten van energiezuinig rijden geautomatiseerd worden, waardoor de potentiële voordelen van deze operationele maatregel worden verminderd.¹²⁷

De huidige generatie hybride voertuigen automatiseert al enkele van de technieken van energiezuinig rijden (automatisch energiezuiniger schakelen, recupereren van remenergie en voorkomen van onnodig stationair draaien), waardoor de bijkomende gedragswijziging van de bestuurder minder effect heeft.

¹²⁵ Deze gedragsverandering kan ook automatisch gestuurd worden via geavanceerde rijhulpsystemen, zie verder bij technische opties.

¹²⁶ CANBUS staat voor Controller Area Network Bus en is een standaard voor datatransmissie tussen voertuigcomponenten. Deze maakt het bijvoorbeeld mogelijk om het reële brandstofverbruik, motorbelasting en toerental in realtime te monitoren en onmiddellijke feedback aan de vrachtwagenbestuurder te geven om zo zijn rijgedrag bij te sturen.

¹²⁷ De CO₂-besparing via energiezuinige voertuigtechnologie zit zodoende mee vervat in de besparingen die gerealiseerd worden in kader van het bereiken van de CO₂-emissiestandaarden.

Bandenspanning monitoring

Het handhaven van de bandenspanning op het gespecificeerde niveau heeft invloed op het rijgedrag, de veiligheid, de bandenslijtage en het brandstofverbruik. Het wordt vaak beschouwd als onderdeel van het hierboven beschreven energiezuinig rijden, maar kan ook worden beschouwd als een afzonderlijke maatregel om de brandstofefficiëntie te verhogen. Enquêtes van bandenfabrikanten en autobezitters tonen aan dat een groot deel van de personenwagens en zware bedrijfsvoertuigen rondrijden met banden die onvoldoende opgeblazen zijn.

Bandenspanningscontrolesystemen (*Tyre Pressure Monitoring Systems* of TPMS) functioneren als systeem voor vroegtijdige waarschuwing en helpen de bestuurder of wagenparkbeheerder om de banden op de voorgeschreven druk te houden. Hierdoor wordt brandstof bespaard, bandenslijtage verminderd en verkeersveiligheid verbeterd. Dit kan via een opgezet systeem van periodieke controles, maar meer geavanceerde (en dure) systemen kunnen zelfs worden ingesteld om de banden automatisch op te blazen wanneer de druk onder een bepaald niveau daalt, waardoor de noodzaak voor menselijke tussenkomst volledig wordt geëlimineerd.

Route-optimalisatie

Een van de meest voor de hand liggende manieren om brandstof te besparen, is het optimaliseren van routes. Global Positioning Systemen (GPS) kunnen chauffeurs helpen bij het vinden van de kortste route, het vermijden van verkeerscongestie en bij het volgen en dispatchen van voertuigen. Geografische informatiesystemen (GIS) gecombineerd met real-time routeringsgegevens kunnen naar schatting tijd- en brandstofbesparingen realiseren tussen de 5% tot 10% voor stedelijk transport, maar waarschijnlijk ongeveer slechts 1% voor langeafstandstransporten over de weg (Carbon War Room, 2012). Daarnaast dient vermeld te worden dat route-optimalisatie op het Vlaamse wegennetwerk kan conflicteren met de doelstelling om vrachtwagens zo weinig mogelijk op het onderliggende netwerk te laten rijden en zoveel mogelijk op het hoofdwegennet te houden.

Versoepelen van venstertijden en rij- en rusttijden

Het versoepelen van venstertijden geeft meer ruimte aan logistieke planners om de benuttingsgraad van voertuigen te optimaliseren. In de praktijk blijkt echter dat er de laatste jaren eerder een trend is naar het verstrengen en vernauwen van tijdsvensters, wat in sommige studies mee als een reden wordt opgegeven voor de dalende beladingsgraden in de meeste Europese landen tussen 1997 en 2006 (TML & IRU, 2017)¹²⁸. Het lijkt dus aangewezen om de impact van een aanpassing van venstertijden op CO₂-emissies in overweging te nemen.

¹²⁸ Deze tijdsreeks werd jammer genoeg niet verder up to date gebracht.

¹²⁹ Niveau 5 volgens de indeling door Society of Automotive Engineers (SAE) welke een taxonomie heeft opgesteld voor automatiseringssystemen die een deel of het geheel van de dynamische rijtaak uitvoeren voor motorvoertuigen gaande van niveau 0 (geen automatisering) tot 5 (volledige autonomie). <https://www.sae.org/standards/content/j3016_201609/>

¹³⁰ Maar het blijft wel onduidelijk op welke bron dit cijfer gebaseerd is. Er is in het algemeen een groot tekort aan data met betrekking tot gemiddelde beladingsgraden in de vrachtsector, wat de analyse en het uitwerken van oplossingen bemoeilijkt.

¹³¹ Volgende specifieke redenen worden door CNR aangegeven voor deze stijging: verbeterde strategieën van transportoperatoren bij het lokaliseren van deelladingen die een hoofdlading kunnen aanvullen, het ontwikkelen van (internationale) samenwerkingsverbanden tussen transportoperatoren (resulterend in grotere netwerken), de deregulering van de Europese transportsector (welke in zeker mate ritten in het buitenland (zogenaamde cabotage) toelaat) en de ICT-evolutie welke het vinden van retourladingen faciliteert.

Voertuigautomatisering kan naast het verhogen van de verkeersveiligheid mogelijk op termijn ook bijdragen aan het versoepelen van de beperkingen van rij- en rusttijdenregelingen, door bijvoorbeeld bestuurders toe te laten rusttijden op te nemen in het volgende voertuig bij platooning. Hierdoor kan de operationele efficiëntie ook verbeteren. De toegenomen flexibiliteit bij de planning van logistieke processen kan leiden tot betere serviceniveaus en helpt planners helpen om periodes van zware congestie te vermijden en zodoende een brandstofbesparing te realiseren. Het effect van voertuigautomatisering op rij- en rusttijden naar 2030 toe lijkt evenwel nog beperkt te zijn aangezien het opnemen van rusttijden door de bestuurder volledig autonoom rijdende voertuigen¹²⁹ veronderstelt. Het is twijfelachtig dat het wetgevend kader dit zal toelaten tegen 2030.

Verhoogde benuttingsgraad van voertuigen (inclusief vrachtbundeling en retourvrachten)

De benuttingsgraad van vrachtvoertuigen is al lange tijd het onderwerp van discussie. Srinivasan en Leveque (2016) spreken van gemiddelde beladingspercentages op beladen wegritten van 54% voor Europa¹³⁰. Dit wordt enerzijds veroorzaakt omdat extra tonnage om de vrachtwagen tot zijn maximale capaciteit te laden vaak niet beschikbaar is op het moment dat de rit dient uitgevoerd te worden. Anderzijds vullen vrachtwagens op veel leveringen hun vrachtvolume helemaal op met lichte maar volumineuze goederen, waardoor de beperking wordt opgelegd door het beschikbare volume en niet door het toelaatbare gewicht. Voor gepalettiseerde goederen is dan weer de beschikbare vloeroppervlakte de beperkende factor. Gepubliceerde beladingsgraden dienen dan ook met enige omzichtigheid geïnterpreteerd te worden. Daarnaast worden er evenwel ook heel wat lege kilometers gereden, vaak omdat er geen retourvracht gevonden kan worden. Leegrijden volledig vermijden lijkt utopisch, aangezien mismatches tussen voertuig en lading, samen met leveringsbeperkingen, een bepaalde mate van leegrijden impliceren. De Angelis (2011) schat evenwel dat niet minder dan 27% van voertuigkilometers in de Europese Unie leeg gereden worden. Franse cijfers van CNR bevestigen deze grootte-orde maar geven ook aan dat dit percentage stijgende is (van 75,2% in 2012 tot 77,3% in 2015 (voor de categorie "algemene goederen").¹³¹

Ondanks de hierboven gemaakte nuances met betrekking tot beladingsgraden, lijkt het dus dat vrachtwagens in belangrijke mate rondrijden met ladingen die significant onder het maximaal toegelaten of beschikbare gewicht/volume/vloeroppervlakte zitten en een significant deel van de tijd zelfs leeg rondrijden. Er is dus een aanzienlijk potentieel om de benuttingsgraad in vrachtvoertuigen te verhogen via het vinden van retourvrachten (*backhauling*) en bijkomende lading (vrachtbundeling of *co-loading*). Dit kan gerealiseerd worden via twee vormen van supply chain collaboratie: enerzijds door interne logistieke verbeteringen binnen hetzelfde bedrijf en anderzijds via externe samenwerking tussen

verschillende bedrijven.

De belangrijkste manier om ladingoptimalisatie te realiseren binnen dezelfde onderneming is via systematischere monitoring, verzameling en analyse van verzendingsactiviteiten (zowel over weg, spoor als binnenvaart), waarbij ICT (inclusief GPS en andere boordapparatuur en vlootmanagementsoftware) een belangrijke meerwaarde kan betekenen.

Samenwerking met andere bedrijven (externe samenwerking) vereist gestandaardiseerde gegevensuitwisseling over ladinggewicht en -volumes op een gemeenschappelijk platform.¹³² Online vrachttuitwisselingen- of aankoopplatforms kunnen «load matching» mogelijk maken tussen verschillende verladers, waardoor de beladingsgraad van beladen ritten wordt verhoogd en het aandeel van lege ritten wordt verminderd. De laatste jaren zijn er diverse digitale platforms ontstaan, naast de traditionele logistieke dienstverleners en 3PL's, welke apps ontwikkelen om het vlootbeheer te stroomlijnen, verladers en logistieke dienstverleners te laten samenwerken met vervoerders, vrachtafstemming te verbeteren en retourritten te plannen.¹³³

Om verhoging van de benuttingsgraad mogelijk te maken is er dus nood aan betere gegevensverzameling (met behulp van ICT) en verdere digitalisering van de sector. Nationale en regionale initiatieven in deze domeinen kunnen een eerste stap zijn naar het faciliteren van externe samenwerkingen. Uiteindelijk zullen bedrijven die willen samenwerken evenwel gedetailleerdere, commercieel gevoelige gegevens moeten delen, waaronder levertermijnen, oorsprong en bestemmingen van ladingen. Samenwerking en online uitwisselingsakkoorden tussen vervoerders en logistieke dienstverleners zijn dus noodzakelijk. Externe platforms, met juridische en technische kaders die ervoor zorgen dat bedrijfseigen gegevens worden beschermd, zijn hierbij essentieel om het nodige vertrouwen te creëren. Daarnaast dient aangetoond te worden dat de risico's van samenwerking worden gecompenseerd door de voordelen, en dat deze voordelen fair verdeeld worden tussen de betrokken partijen. Samenwerkingsplatforms, zoals E2OPEN, GTNEXUS en Nallian werden de laatste jaren opgestart en zijn nog volop aan het ontwikkelen. In de toekomst zou blockchain-technologie (een open-source, anoniem record-keeping-systeem) een belangrijke rol kunnen gaan spelen in deze platformen.

In de context van externe samenwerking tussen bedrijven kunnen regels die bedoeld zijn om concurrentievervalspraken te verbieden (en daardoor de coördinatie tussen vervoerders, verladers en logistieke dienstverleners belemmeren) een potentiële barrière vormen. Dergelijke regelgeving dient desgevallend dan ook aangepast te worden om de soorten logistieke samenwerking die gewenst zijn te verduidelijken. Een kader welke samenwerking tussen logistieke operatoren binnen bepaalde spelregels mogelijk maakt, zou daarbij kunnen worden aangevuld met het opleggen aan bedrijven van de verplichting om bepaalde gegevens te delen over hun activiteiten (indien nodig geanonimiseerd en/of geaggregeerd) zodat cruciale indicatoren met betrekking tot bijvoorbeeld energie en koolstofintensiteit

¹³² Voor een uitgebreide beschrijving van de mogelijkheden, voordelen en barrières van horizontale samenwerking tussen bedrijven, zie Cruijsen et al., 2007a en Cruijsen et al., 2007b)

¹³³ Deze platformen zijn een vorm van intelligente transportsystemen (ITS) en vallen als dusdanig eerder onder de technische opties die verder besproken worden. Voor de leesbaarheid worden ze evenwel hier mee behandeld.

¹³⁴ Naar analogie met Maas (Mobility as a Service): "het aanbod van multimodale, (vraag gestuurde) mobiliteitsdiensten, waarbij op maat gemaakte reismogelijkheden via een digitaal platform (bijvoorbeeld een app) met real-time informatie aan klanten worden aangeboden, inclusief betaling en afhandeling van transacties." (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2017)

kunnen opgevolgd worden (IEA, 2017).

Wat implementatie van de benuttingsmaatregelen betreft, beschouwd IEA (2017) dat de barrières voor horizontale samenwerking tussen ondernemingen aanzienlijk hoger liggen dan deze voor het vinden van retourvrachten. Ze klasseren horizontale externe samenwerking dan ook onder de systeemmaatregelen met hoge implementatiebarrières. Dit lijkt bevestigd te worden door het zeer beperkte aantal succesvolle business cases in de praktijk die de pilootfase overleven.

Het potentieel van het verhogen van de benuttingsgraad en de ermee gepaard gaande CO₂-emissiereductie wordt substantieel verondersteld, maar blijkt moeilijk te kwantificeren (IEA, 2017; TML & IRU, 2017). Een onderzoek door CfSRF (2015) schat het CO₂-emissiereductiepotentieel van gesynchroniseerde ladingconsolidatie (voor beladen voertuigen) tegen 2030 op 0,8% wanneer dit wordt ondersteund door een ICT-platform. TML/IRU (2017) schatten de bijdrage die deze tools kunnen leveren aan CO₂-emissiereductie tegen 2030 en 2050 hoger in op respectievelijk 2% en 10%.

Een andere optie voor efficiëntieverbeteringen in de logistieke sector die zowel operationele als technische componenten bevat is de toepassing van LaaS (Logistics as a Service)¹³⁴, welke naar analogie met Maas (Mobility as a Service), kan gedefinieerd worden als: "het aanbod van multimodale, vraag gestuurde logistieke diensten, waarbij op maat gemaakte tripmogelijkheden via een digitaal platform (bijvoorbeeld een app) met real-time informatie aan klanten worden aangeboden, inclusief betaling en afhandeling van transacties". Goederen kunnen dus verzonden worden gebruik makend van de best aanboden oplossing, zodanig dat men zelf over transportmiddelen hoeft te beschikken. De operatoren die de LaaS dienstverlening verzorgen trachten via ICT en cloud-oplossingen de goederenstromen te optimaliseren, wat tot efficiëntieverbeteringen zou kunnen leiden. Daar er te weinig bruikbaar studiemateriaal is dat inpasbaar is in deze studie met betrekking tot dit domein is een kwantitatieve inschatting van het CO₂-reductiepotentieel moeilijk.

Technische opties voor logistieke efficiëntieverhoging:

Geavanceerde rijhulpsystemen

De geavanceerde rijhulpsystemen (*Advanced Driver Assistance Systems* of ADAS) die worden ingebouwd in nieuwe voertuigen hebben vaak een tweeledig doel: het verbeteren van de veiligheid en het verminderen van het brandstofverbruik. ADAS zijn gebaseerd op verschillende sensoren, zoals radar, infrarood, camera's, LIDAR¹³⁵ en echografie. Naast de relatief eenvoudige motor start/stop systemen (ESS of *engine start/stop*), wordt hieronder een niet-exhaustieve lijst van technologieën opgesomd die een betere brandstofefficiëntie bieden (TML & IRU, 2017):

- **Predictive Cruise Control** (PCC) is een systeem dat GPS gebruikt om de positie van het voertuig te bepalen en te anticiperen op veranderingen in vermogensvereisten, voornamelijk als gevolg van open neerwaarts hellende wegen. Verbetering van de brandstofefficiëntie van 2% -5% is mogelijk, afhankelijk van de route.
- **Adaptive Cruise Control** (ACC) is een op sensoren gebaseerde technologie om snelheden van voertuigen in de buurt te detecteren. Door beter te anticiperen op het gedrag van andere bestuurders, kan overmatig remmen en versnellen worden voorkomen. Het potentieel van deze maatregel zal groter zijn in meer dichtbevolkte gebieden. In zekere zin is ACC een stap in de richting van platooning van voertuigen (zie fiche "Platooning").
- Een **groene zone-indicator** is een dashboardmeter die het brandstofverbruik in realtime weergeeft en wijzigingen aanbeveelt in het rijgedrag (schakelen, remmen, enz.). Op zichzelf vermindert deze maatregel het brandstofverbruik niet, maar het leidt de bestuurder naar een efficiëntere rijstijl en is zodoende een technologisch hulpmiddel bij het energiezuiniger rijden dat hiervoor werd besproken.
- **Snelheidsbegrenzers** kunnen motoren op een efficiënter niveau laten werken. Een limiet van 80 km/h in plaats van 90 km/h kan het brandstofverbruik met bijna 4% verminderen. Dit kan ook worden gedaan door bestuurders die vrijwillig snelheidsbeperkingen toepassen (wat vaak wordt toegepast als 1 van de maatregelen in kader van het Lean & Green programma). Een meerderheid van Europese landen begrenst de maximumsnelheid van vrachtwagens al tot 80 km/h (bijvoorbeeld in Duitsland en Italië, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk). Daarbij dient wel opgemerkt te worden dat het verlagen van de snelheid de logistieke operaties op een fundamentele wijze beïnvloedt met een impact op de gerealiseerde reistijden, het plannen van rij- en rusttijden en het respecteren van tijdsvensters.

- **Acceleratiecontrole** beperkt de tijd dat de motor kan presteren bij piekbelasting, wanneer het brandstofverbruik onevenredig stijgt. In een lange-afstandscyclus, met relatief weinig acceleratie en remmen, is het effect waarschijnlijk klein, maar in stedelijke omgevingen kan het effect groter zijn.
- **Eco-rollen** is een optie waarbij de motor in stationaire modus gaat wanneer de vrachtwagen een heuvel afrijdt. De effectiviteit hangt af van de route, maar een gemiddelde besparing van 1% kan realistisch zijn in heuvelachtig gebied. In Vlaanderen zal het effect van deze optie beperkt zijn.

TNO et al. (2018) hebben het brandstofreductiepotentieel van dergelijke maatregelen geanalyseerd, waarbij besparingen voor >16 ton trekker-opleggers tussen de 0,20% (voor ESS) en 2,73% (voor snelheidsbegrenzing tot 80 km/u) worden vooropgesteld (zie bijlage).

(Coöperatieve) Intelligente Transport Systemen (C-ITS)

De Europese Commissie verwacht dat de ontwikkeling van coöperatieve intelligente vervoerssystemen (C-ITS) de potentie heeft om een belangrijke rol te spelen bij het verwezenlijken van de doelstellingen van de Commissie bij het aanpakken van de toenemende problemen van congestie, energieverbruik en emissies door vervoer in Europa (Ricardo-AEA, 2016). Het gebruik van intelligente transportsystemen (ITS) in goederenvervoer en logistiek bestrijkt een breed scala aan toepassingen, die over het algemeen in vier categorieën kunnen worden onderverdeeld (Ricardo-AEA, 2016; TML & IRU, 2017):

- Voertuig naar voertuig (V2V) communicatiesystemen;
- Voertuig naar infrastructuur (V2I) communicatiesystemen;
- Infrastructuur naar infrastructuur (I2I) communicatiesystemen;
- Onderliggende gegevensondersteunende systemen voor logistieke optimalisatie.¹³⁶

De voordelen omvatten verbetering van de verkeersveiligheid, vermindering van congestie, optimalisering van de vervoersefficiëntie, verbetering van de mobiliteit, verhoging van de betrouwbaarheid van de dienstverlening, vermindering van het energieverbruik en milieueffecten, en ondersteuning van de economische ontwikkeling. ITS voor wegtransport en logistiek kan dus brandstofbesparingen opleveren, voornamelijk door de verkeersstromen op het wegennet te optimaliseren (meer bepaald door de wegcapaciteit op elk gewenst moment op de juiste manier aan te passen) en door ervoor te zorgen dat voertuigen rijden met optimale snelheden en afstanden. In de mate dat lange-afstandsvervoer minder last van congestie ondervindt, is het gebruik van congestie-beperkende ITS-toepassingen voor dit type transport iets minder relevant. Op bepaalde drukke assen kan dit systeem

¹³⁵ LIDAR: Light Detection And Ranging ofwel Laser Imaging Detection And Ranging is een technologie die de afstand tot een object of oppervlak bepaalt door middel van het gebruik van laserpulsen.

¹³⁶ Deze categorie werd reeds hiervoor besproken bij de platformen gericht op het verhogen van de benuttingsgraad van voertuigen en wordt hier dus niet hernomen.

evenwel ook in Vlaanderen voor zware vrachtwagens op de hoofdwegen nut hebben. Voor stedelijke distributie kan het alleszins significante baten opleveren. Een veelbelovende ITS-toepassing voor langeafstandsvervoer is het platooning van voertuigen (zie fiche "Platooning").

Ricardo-AEA (2016) heeft voor verschillende C-ITS dienstbundels bestudeerd welke diensten aangeboden kunnen worden (met o.a. route-optimalisatie en optimaliseren van verkeersdoorstroming). Er werd vooral op transport in het algemeen gefocust, maar ook voor goederenvervoer werd een specifieke servicebundel uitgewerkt (rond management van beladingszones en toegangsbeperkingen). Daarbij werd er gekeken naar interoperabiliteit, samenwerking tussen stakeholders, regelgevende en administratieve barrières, technologische risico's en financiële barrières. Uit de resultaten van de analyse bleek dat de inzet van C-ITS duidelijk gunstig is op EU-niveau, met baten-kostenratio's (BCR's) variërend van 2 tot 8 behaald in 2030 voor het volledige scala van implementatiescenario's en gevoeligheden.¹³⁷ Het CO₂-besparingspotentieel van C-ITS voor vrachtvervoer lijkt evenwel niet specifiek becijferd.

Automatische bandenspanningscontrolesystemen

Automatische bandenspanningscontrolesystemen kunnen zoals hierboven reeds aangehaald worden ingesteld om de banden automatisch op te blazen wanneer de druk onder een bepaald niveau daalt. Potentiële brandstofbesparingen voor dit type maatregelen ligt volgens TNO et al. (2018) tussen de 0,22% en 0,47% voor een >16 ton trekker-oplegger (zie bijlage). Deze optie maakt onderdeel uit van de mogelijkheden die vrachtwagenfabrikanten kunnen implementeren om de CO₂-emissiestandaarden te halen.

Banden met lagere rolweerstand

Het gebruik van banden met een lage rolweerstand (*low rolling resistance tyres* of LRRT) zal naar verwachting aanzienlijke voordelen opleveren voor de vermindering van de CO₂-uitstoot, zo blijkt uit een review studie van Verordening (EG) nr. 1222/2009 betreffende bandenetiketten door Viegand Maagøe A/S (2016). In 2015 had de gemiddelde C3-band (voor zware voertuigen) een rolweerstandscoefficiënt (RRC) van 6,1, equivalent aan klasse D. Tegen 2030 zou dit kunnen evolueren naar klasse B (RRC = 4,6) of zelfs klasse A (RRC = 3,5) volgens het meest optimistische scenario. Dit komt volgens Viegand Maagøe A/S (2016) overeen met respectievelijk CO₂-emissiereducties van 7,5% en 12,5%. TNO et al. (2018) komen voor dit type maatregelen uit op potentiële brandstofbesparingen tussen de 6,15% en 12,60% voor >16 ton trekker-opleggers (zie bijlage). Dit maakt ook onderdeel uit van de maatregelen in kader van het behalen van de CO₂-emissiestandaarden.

Aerodynamische ingrepen

De maximaal toegestane gewichten en afmetingen van Europese voertuigen voor wegvervoer bestemd voor grensoverschrijdend vervoer vallen onder Richtlijn 96/53/EG en Verordening (EG) nr. 1230/2012. Binnen de strikte limieten opgelegd door deze regels proberen vrachtwagenfabrikanten voertuigen te ontwerpen die de nuttige lading maximaliseren, terwijl ze toch aan de wettelijke en klantenvereisten inzake veiligheid, flexibiliteit en milieu- en operationele prestaties voldoen (TML & IRU, 2017). Dit vereist verschillende compromissen in het ontwerp van de vrachtwagen om binnen de wettelijke limieten te blijven. Enkele van de belangrijkste suboptimale keuzes op het gebied van aerodynamische prestaties zijn de platte neus (cabine boven de motor) en het ontwerp van de achterkant van de trailer om binnen de vereisten van maximale voertuiglengte te blijven.¹³⁸

De wijziging van Richtlijn 96/53/EG in 2015 maakt afwijkingen aan de voorschriften voor maximale lengte mogelijk door ontwerp wijzigingen toe te staan die specifiek bedoeld zijn om de aerodynamische prestaties van voertuigen te verbeteren, dwz door het probleem van de luchtstroming langs het voertuig aan te pakken. Hierdoor zijn aanpassingen mogelijk aan de voorkant van de cabine, maar ook aerodynamische oplossingen aan de (semi-)oplegger zoals dakspoilers, zijstroomlijnplaten of een bootstaart. De 'traantrailer' (*teardrop trailer*) volgt bijvoorbeeld de contouren van de cabine en laat de lucht gelijkmatig over de achterkant van de oplegger lopen. De hobbel bovenaan zorgt bovendien voor een toename van 10% in ladingruimte.¹³⁹

¹³⁷ Dit betekent dat tegen 2030, afhankelijk van het beschouwde scenario, de baten 2 tot 8 keer groter zijn dan de kosten. Een klein aantal kosten/baten-categorieën domineren hierbij de algehele kosteneffectiviteit:

- Twee kostenposten vertegenwoordigen meer dan 96% van de geschatte totale cumulatieve kosten tot 2030:
 - hardware ter ondersteuning van inzet van C-ITS-diensten aan voertuigen: 86%
 - *aftermarket*-apparaten: ongeveer 10%.
- Drie elementen vormen bijna 99% van de totale cumulatieve geschatte voordelen tot 2030:
 - verlaagde reistijd/verhoogde efficiëntie: 66%
 - lagere ongevalspercentages: 22%
 - besparingen op brandstofverbruik (en ermee gerelateerde emissiereducties): 11%

¹³⁸ Deze vlakke neusstructuur heeft ook belangrijke gevolgen bij frontale botsingen, daar er hierdoor geen ruimte is voor effectieve kreukelzones.

¹³⁹ Voor een volledig geoptimaliseerd ontwerp zouden verdere wijzigingen aan Richtlijn 96/53/EG een grotere aanhangwagenhoogte mogelijk maken. Een grotere hoogte kan echter ook het gebruik van dergelijke trailers of opleggers beperken, omdat sommige bruggen en tunnels - en dus transportroutes - mogelijk niet zijn aangepast om dergelijke vrachtwagens toe te laten.

Wat het CO₂-besparingspotentieel van deze aerodynamische ingrepen betreft is er geen consensus. ICCT (2013) schat dat het gecombineerde potentieel voor CO₂-besparing van de momenteel toegestane aanpassingen rond de 7% -10% ligt. Wat de impact van vermindering van de dynamische weerstand bij frontale aanpassingen betreft geven studies reducties aan die liggen tussen de 4% en 21% (TML & IRU, 2017). De effectiviteit van aerodynamische wijzigingen interageert bovendien met de voertuigsnelheid. Naarmate de snelheid afneemt, neemt ook het besparingspotentieel van aerodynamische maatregelen af. Een vermindering van 10% in luchtweerstand bij 90 km/u leidt tot een vermindering van het brandstofverbruik met 3,9%. Bij 80 km/u resulteert dit in een verlaging van het brandstofverbruik met 3,4% (of een «efficiëntieverlies» van 13%). TML & IRU schatten het CO₂-reductiepotentieel van het gebruik van aerodynamische maatregelen rekening houdende met interacties en marktpenetratie op 6% in 2030 en 9% in 2050. De brandstofbesparingen van de individuele aerodynamische maatregelen liggen volgens TNO et al. (2018) tussen de 0,53% (voor covers bij de wielen van de oplegger) tot -5,59% (voor een dakspoiler met zijflappen) voor >16 ton trekker-opleggers (zie bijlage).

Belangrijk is dat optimale resultaten bereikt worden wanneer de aerodynamica van de voertuigcombinatie in zijn geheel wordt verbeterd. De trekker en de aanhangwagen of oplegger zijn echter niet altijd in handen van dezelfde (bedrijfs) entiteit. Bij frequente uitwisselingen kan het samenstellen van optimale voertuigcombinaties dan ook een uitdaging zijn. Daarnaast is de entiteit die investeert in betere aerodynamica niet noodzakelijk de entiteit die het voordeel van de investering verkrijgt, wat eveneens de implementatie kan bemerlen.

Omdat een aantal van de aerodynamische opties op zich redelijk eenvoudig aangebracht kunnen worden in bestaande voertuigen of eenvoudig toegevoegd kunnen worden aan nieuwe opleggers, wordt hun marktintroductie verwacht voor 2020. Voor wijzigingen in cabine-ontwerp duurt het langer om het volledige potentieel te realiseren, aangezien ze een aanzienlijke revisie van het tractorontwerp vereisen. Op basis van indicaties van autofabrikanten wordt verwacht dat deze herontworpen voertuigen in begin van het volgende decennium op de markt zullen komen. (TML & IRU, 2017)

Gewichtsreductie van voertuigen

Het gebruik van lichtere materialen in de constructie van vrachtwagens is doorlopend voorwerp van onderzoek door fabrikanten van voertuigen en aanhangwagens (Kampman et al., 2009). Gewichtsreductie is vooral nuttig voor logistieke operaties die beperkt worden door het maximaal toegelaten gewicht in plaats van beschikbaar volume of vloeroppervlakte, zodat elk gewicht dat in het voertuig wordt bespaard inhoudt dat meer vracht kan worden vervoerd en er minder voertuigen nodig zijn.

TML & IRU (2017) stellen op basis van beschikbare studies dat een CO₂-emissiereductie van 2,2% mogelijk is door gebruik te maken van lichtgewicht materialen. TNO et al. (2018) schatten dat het brandstofbesparingspotentieel van gewichtsreducerende maatregelen tussen de 0,10% en

3,60% ligt. Maar door gewichtstoenames van andere soorten maatregelen (zoals de hiervoor vermelde aerodynamische maatregelen (bootstaarten en dakspoilers) of alternatieve aandrijvingen, zoals batterijen) is het netto-effect van alle gewichtsaanpassingen waarschijnlijk ongeveer nul. Verandering van materialen is ook een van de duurdere manieren om het brandstofverbruik te verminderen. Een onderzoek door AEA-Ricardo (2015) wees uit dat het kosteneffectieve gewichtsreductiepotentieel voor een geleed voertuig tegen 2030 2.275 kg (16% van zijn gewicht) was, wat zou kunnen oplopen tot 4.341 kg in 2050 (30%). De (gewichtsbepaalde) ladingen zouden dan met respectievelijk 9% en 17% kunnen worden verhoogd (TML & IRU, 2018). Hierdoor zou dan het aantal ritten kunnen afnemen. In het AEA-Ricardo-rapport (2015) wordt echter aangegeven dat veel afhangt van het soort transportactiviteit. Vrachtwagens gerelateerd aan bouwlogistiek zouden het hoogste kosteneffectieve gewicht en CO₂-reductiepotentieel bij gewichtsreductie hebben.

Motortechnologie

Vanzelfsprekend kunnen ook efficiëntieverbeteringen aan de motor zelf ontwikkeld worden. Het gaat dan om zaken zoals verbeterde turbo-aandrijving, verbeterde EGR-systemen¹⁴⁰, geoptimaliseerde SCR katalysatorsystemen¹⁴¹, wrijvingsreductie, verbeterde smering en warmterecuperatie. TNO et al. (2018) schatten dat het brandstofbesparingspotentieel van dergelijke verbeteringen aan motortechnologie tussen de 0,97% en 4,00% liggen voor >16 ton trekker-opleggers (zie bijlage). Daarnaast bestaat er ook de mogelijkheid om hybride technologieën toe te passen waarbij het brandstofbesparingspotentieel bij een combinatie van diesel met een 80kW elektrische motor op 7,77% wordt ingeschat door TNO et al. (2018). Deze categorie van maatregelen behoort ook tot de maatregelen die fabrikanten zullen toepassen in kader van het behalen van de CO₂-emissiestandaarden.

Lange en Zware voertuigen (LZV's)

Er is internationaal enig momentum voor het herzien van beperkingen op voertuigafmetingen en toegelaten gewichten ten gunste zogenaamde Lange en Zware Voertuigen (LZV's) zonder de duurzaamheid of veiligheid van de infrastructuur in gevaar te brengen. Omdat ze meer lading kunnen vervoeren dan gewone vrachtwagens, zijn er potentieel minder ritten en minder chauffeurs nodig. Uit recente ex-postanalyses is gebleken dat LZV's in de praktijk veiliger kunnen werken dan traditionele zware vrachtwagens als gevolg van investeringen in opleiding en veiligheidstechnologieën voor bestuurders (die betaalbaar worden voor exploitanten vanwege hogere winstmarges bij het opereren van LZV's) (IEA, 2017). Optimaal kunnen twee LZV's dezelfde lading vervoeren als 3 gewone vrachtwagens. Het zijn evenwel zeer specifieke voertuigen die ook niet geschikt zijn voor ieder transport.

In Vlaanderen werd in 2014 een eerste proefproject gestart om LZV's toe te laten op bepaalde trajecten. De toegelaten voertuigen zijn combinaties tot 25m25 (i.p.v. 18m75) lang en tot 60 ton totale massa (i.p.v. 44 ton). Deze combinaties bestaan in een aantal gevallen uit drie delen tegenover twee delen bij de reguliere combinaties. De Vlaamse overheid onderzoekt de effecten van dit soort vrachtwagens op het verkeer. Een tweede proefproject werd gelanceerd in 2018.

¹⁴⁰ EGR: exhaust gas recirculation

¹⁴¹ SCR: selective catalytic reduction

Op vlak van verkeersveiligheid geeft de onderzoeksliteratuur geen eenduidig uitsluitsel over de effecten van het toelaten in het verkeer van vrachtwagens met een grotere lengte of gewicht op de verkeersveiligheid. Volgens Polders et al. (2016) is er op basis van de bevindingen van literatuuronderzoek, de analyses van de geregistreerde rijparameters, het rijsimulatoronderzoek en de interviews met de LZV-bestuurders op dit ogenblik geen aanleiding om te vermoeden dat de inzet van LZV's binnen het Vlaamse proefproject leidt tot specifieke verkeersveiligheidsproblemen op het Vlaamse wegennet. Betrokken chauffeurs lijken hun rijstijl aan te passen, en voorzichtiger en trager te rijden dan met klassieke vrachtwagens. Ook resulteert het gebruik van LZV's in een vermindering van het aantal noodzakelijke voertuigkilometers, wat het ongevalrisico zou kunnen verkleinen.

Het toelaten van wegvoertuigen met een hogere capaciteit zou mogelijk wel kunnen leiden tot een omgekeerde modale verschuiving van spoor en binnenvaart naar wegvracht als gevolg van verbeterde efficiëntie en lagere kosten. Maar bij gebrek aan betrouwbare gegevens is dit effect moeilijk in te schatten in de praktijk. Volgens IEA (2017) lijkt het waarschijnlijk dat LZV's de efficiëntie van het wegvervoer verbeteren, maar is er nog onvoldoende bewijsmateriaal over de mate waarin de resulterende verminderingen in energieverbruik en CO₂-emissies worden gecompenseerd door secundaire effecten.

In het Vlaamse proefproject zijn de uitsluitingscriteria, op basis waarvan routes voor LZV's geselecteerd worden, gelijkaardig met deze in andere landen. Gebruik van autosnelwegen en LZV-kerngebieden wordt doorgaans toegestaan, terwijl gebruik van overige wegen enkel toegelaten wordt wanneer deze noodzakelijk zijn om de LZV naar en van de hoofdweg te krijgen. Deze bedieningsroutes worden veelal individueel beoordeeld op hun geschiktheid, met bijzondere aandacht voor verkeersveiligheid. In het Vlaamse proefproject wordt er ook aandacht geschonken aan het vermijden van een reverse modale verschuiving. Momenteel is de inzet van LZV's echter nog zeer beperkt.

Wat het CO₂-emissiereductiepotentieel van LZV's tegen 2030 betreft, gaan TML en IRU (2017) ervan uit dat dit in het langeafstandssegment 3,5% bedraagt, gebaseerd op een gemiddelde CO₂-reductie per tonkilometer van 17,5% en een marktaandeel van 20%. Voor 2050 wordt aangenomen dat de emissiereductie per voertuig kan stijgen tot 25% dankzij het gebruik van nog grotere, zwaardere voertuigen en dat het marktaandeel tot 30% kan oplopen, waardoor de bijdrage op 7,5% komt. De onderzoekers zijn van mening dat deze marktaandelen erg optimistisch in de Vlaamse context, tenzij de voorwaarden voor LZV toepassingen sterk versoepeld worden. Maar dit houdt mogelijk risico's in op vlak van verkeersveiligheid en dient verder onderzocht te worden. Ook zouden 60 tonscombinaties (of zwaarder) meer slijtage en schade aan infrastructuur (wegdek, bruggen) veroorzaken, maar dit hangt af van de LZV configuratie en gerelateerde asbelasting. Hier zou bijkomend onderzoek ook nuttig zijn.

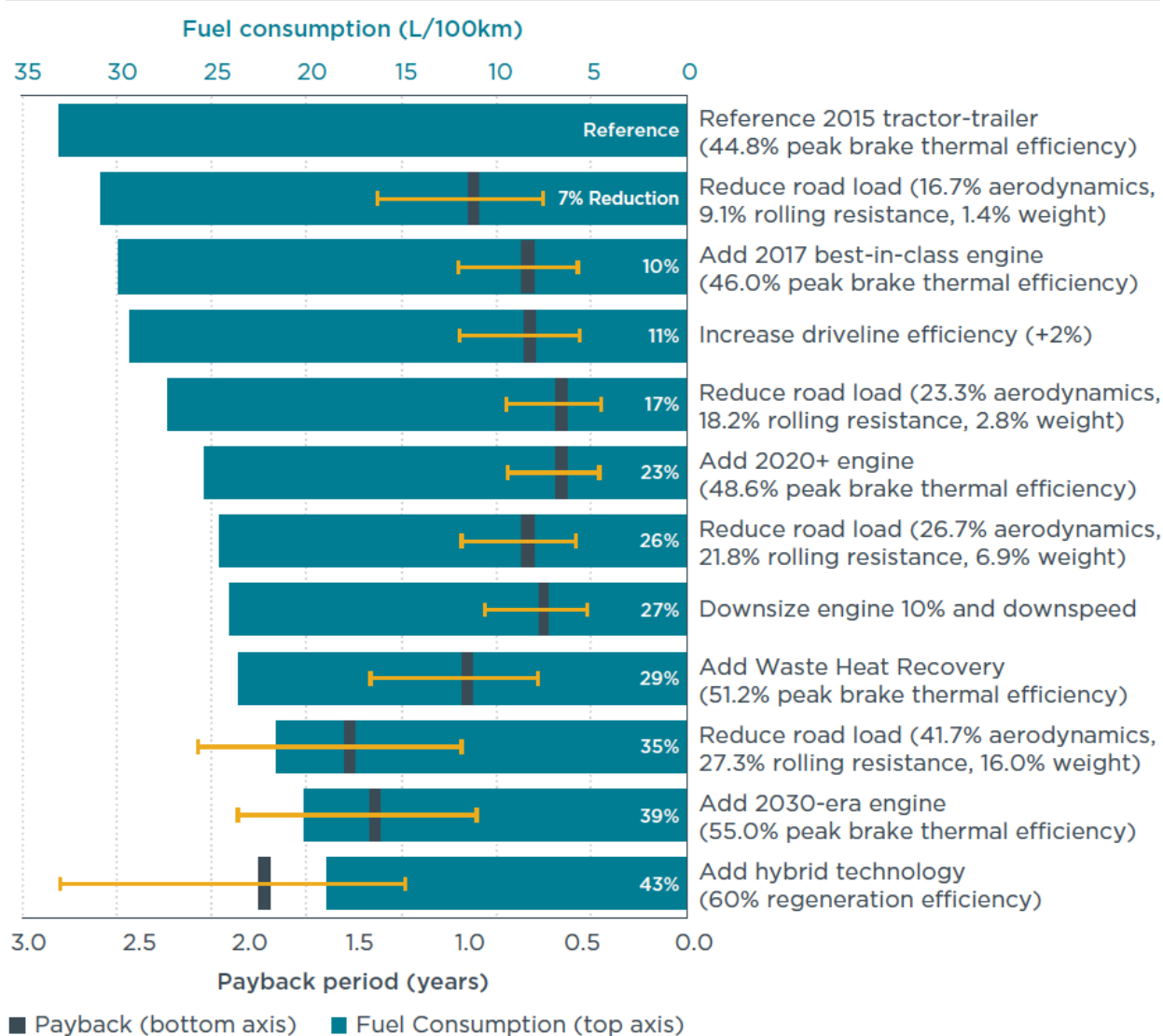
Impact- en kosteneffectiviteitsanalyse van CO₂-emissiereducerende technische maatregelen

In een impactanalyse uitgevoerd door TNO et al. (2018) in opdracht van de Europese Commissie om de effecten van de invoering van CO₂ emissiestandaarden voor vrachtwagens te bestuderen, werd de effectiviteit van een hele reeks technische maatregelen geanalyseerd. Het gaat daarbij om technische ingrepen op vlak van aerodynamica, banden, massa, hulpvoorzieningen, ADAS, motor en hybride systemen. Hiervoor werd eerst het brandstofbesparingspotentieel van de verschillende maatregelen bepaald en welke in bijlage werd toegevoegd voor >16 ton trekker-opleggers. Vervolgens werd het reductiepotentieel van gecombineerde maatregelen met inbegrip van optimalisaties aan de oplegger voor een >16 ton trekker-opleggercombinatie becijferd. Onder deze randvoorwaarde heeft een dergelijke trekker-oplegger die is uitgerust met alle geanalyseerde brandstofbesparende technologieën - behalve snelheidsbegrenzer 80 km/u - een brandstofverbruik van 18,6 l/100 km in vergelijking met de 31,1 l/100 km voor een typische vrachtwagen van 2016. Dit is een vermindering van het brandstofverbruik met 40%. In vergelijking met de resultaten zonder aanpassingen aan de oplegger realiseren de opleggertechnologieën in een verdere vermindering van het brandstofverbruik met 3,8 l/100 km. De toevoeging van de snelheidsbegrenzer resulteert nog in een bijkomende brandstofbesparing van 2,73%. De resulterende figuur, met opsomming van de opgenomen maatregelen, werd toegevoegd in bijlage.

In een andere studie door Meszler et al. (2018) voor ICCT werd de kosteneffectiviteit van verschillende maatregelen becijferd. De belangrijkste bevinding van deze studie is dat de efficiëntie van langeafstandstrekkers-opleggers op een economisch rendabele manier substantieel vergroot kan worden. Terwijl de initiële investering in de technologie en de onderhoudskosten aanzienlijk kunnen zijn, rechtvaardigt het economisch rendement ruimschoots de investering voor het hele scala van onderzochte gevallen in de studie. Een representatieve langeafstandstrekkers-oplegger met een gemiddelde van 1,4 trailers kost ongeveer € 139.500 (in 2016 euro, exclusief btw). Beschikbare efficiëntie-technologiepakketten die een reductie van het brandstofverbruik met 27% mogelijk zouden maken, zullen naar verwachting € 7.000 - € 7.750 kosten in 2025-2030 op basis van de beste beschikbare kostengegevens en veronderstellingen met betrekking tot conventionele technologie. De potentiële brandstofbesparing van deze reeds beschikbare efficiëntiepakketten varieert evenwel van € 41.900 - € 106.450 per trailer, afhankelijk van de gehanteerde verdisconteringsvoet en brandstofprijs. Het meest geavanceerde technologiepakket biedt een afstandsafhankelijke vermindering van het brandstofverbruik met 43% tegen een geschatte kost van € 30.550 - € 35.150 in 2025-2030. Dit geavanceerde technologiepakket zou daartegenover een brandstofbesparing over de levensduur opleveren van € 65.850 - € 167.550 per trekker-oplegger. Voor het meest geavanceerde technologiepakket zijn de kosten voor de efficiëntieverbetering ongeveer gelijk verdeeld over de aandrijving, het hybride systeem, de trekker en de oplegger.

De onderstaande figuur geeft de geschatte brandstofverbruiksverminderingen en de bijbehorende terugverdientijden weer voor geëvalueerde technologiepakketten in 2030. Van boven naar beneden vormen de verschillende balken de sequentiële toevoeging van steeds geavanceerdere efficiëntietechnologieën. De gemiddelde terugverdienperioden die in de ICCT studie worden geschat, nemen over het algemeen toe met geavanceerdere technologiepakketten. De «whiskers» in elke band weerspiegelen het bereik van de terugverdientijden op basis van de hoge en lage schattingen van de technologiekosten, en de variërende economische aannames voor de dieselprijzen, variërend van € 0,70 tot € 1,40 per liter, en verdisconteringspercentages variërend van 4 tot 10%. De terugverdientijden voor de gematigde technologiepakketten, die het brandstofverbruik met 27% verminderen, zijn over het algemeen een jaar of korter. De meest geavanceerde technologiepakketten, met reducties in brandstofverbruik van 35% of meer, resulteren in terugverdientijden van 1,4 tot 1,9 jaar onder gemiddelde economische aannames.

Figuur 41: Cumulatieve brandstofverbruikseffecten en bijbehorende terugverdientijden voor efficiëntie-technologieën van de trekker-opleggers in 2030 (Meszler et al., 2018)



Conclusies

In deze fiche werd een verscheidenheid aan operationele en technische maatregelen besproken die de energie-efficiëntie in de logistieke sector kunnen helpen verbeteren, hetzij direct, hetzij indirect. Het gaat om maatregelen die niet rechtstreeks werden doorgerekend in de transportmodellen, en waarvan het besparingspotentieel naar 2030 niet zo eenvoudig te becijferen is bij gebrek aan consensus in de onderzoeksliteratuur. Daarnaast zal het besparingseffect van een belangrijk deel van de technische maatregelen vervat zitten in de opties die vrachtwagenfabrikant gaan implementeren om de CO₂-emissiestandaarden te bereiken, zodat moet opgelet worden voor dubbeltellingen. De overige maatregelen, zoals het verhogen van de benuttingsgraad, zullen evenwel nodig zijn om de besparingsdoelstellingen tegen 2030 en 2050 te behalen. Ze worden dan ook mee opgenomen in de roadmap. Hun bijdrage aan de totale CO₂-emissiereductie valt evenwel niet eenvoudig te becijferen. De totale algehele verbetering die mogelijk is door een grotere logistieke efficiëntie over het gehele goederenvervoer over de weg (dus niet enkel lange-afstandstransport wordt door GHG-TransPoRD (TML, 2011) en PBL (2014) geschat op ongeveer 20%. Dit omvat digitalisering, samenwerking, optimalisatie van belading, vermijden van leegritten, juiste dimensionering van het voertuig (bijvoorbeeld langere en zwaardere voertuigen of kleine bestelwagens), en een versoepeling van bepaalde operationele omstandigheden zoals rij-/rusttijdregelingen en tijdsvensters. Gelet evenwel op het feit dat de modeldoorrekening van gecombineerde maatregelen aangeeft dat men zeer voorzichtig moet zijn met het optellen van individuele emissiereductiepercentages, maken we ook hier een eerder conservatieve inschatting bij het optellen van het potentieel van deze bijkomende efficiëntieverhogende maatregelen bij de andere maatregelen in de roadmap. Een additionele CO₂-emissiebesparing van 5% voor vrachttransport tegen 2030 lijkt realistisch haalbaar bij implementatie van de verschillende efficiëntieverbeterende maatregelen. Maar gelet op de onzekerheid en het gebrek aan kwantitatieve inschattingen in de wetenschappelijke literatuur wordt dit besparingspotentieel enkel kwalitatief meegenomen in het voorkeurscenario.

Bronnen :

- AEA Ricardo (2015) Lightweighting as a means of improving Heavy Duty Vehicles' energy efficiency and overall CO₂ emissions
- Agentschap Wegen en Verkeer (2016) Tussentijdse Evaluatie van het Vervoer met Langere en Zwaardere Slepen in het Kader van een Proefproject.
- Carbon War Room (2012) Road transport: Unlocking fuel-saving technologies in trucking and fleets, research report.
- CfSRF (2015) An assessment of the potential for demand-side fuel savings in the Heavy Goods Vehicle (HGV) sector.
- Comité National Routier (CNR) (2018) Enquête longue distance 2017
- Cruijssen, Cools, Dullaert (2007a) Horizontal cooperation in logistics: Opportunities and impediments. <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554505000943>
- Cruijssen, Dullaert, Fleuren (2007b) Horizontal cooperation in transport and logistics: A literature review. <www.jstor.org/stable/20713677?seq=1#page_scan_tab_contents>
- de Angelis (2011) A fall in average vehicle loads. Average loads, distances and empty running in road freight transport-2010. *Statistics in Focus*, 63
- International Council on Clean Transport (ICCT) (2013) Proposed amendments to EU rules affecting HDV configurations <http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_EU_HDVconfigurations_Jun2013.pdf>
- International Energy Agency (IEA) (2017) The Future of Trucks: Implications for Energy and the Environment
- Kampman, Rijke, Pridmore, Hulskotte (2009) Operational options for all modes (Paper 4). EU Transport GHG: Routes to 2050?, Paper 4 in kader van contract ENV.C.3/SER/2008/0053 tussen European Commission Directorate-General Environment en AEA Technology plc <www.eutransportghg2050.eu>
- McKinnon (2008) Advice on CO₂ emissions from the UK Freight Transport Sector. Committee on Climate Change, London
- Meszler, Lutsey, Delgado (ICCT) (2015) Cost effectiveness of advanced efficiency technologies for long-haul tractor-trailers in the 2020-2030 time frame. White paper.

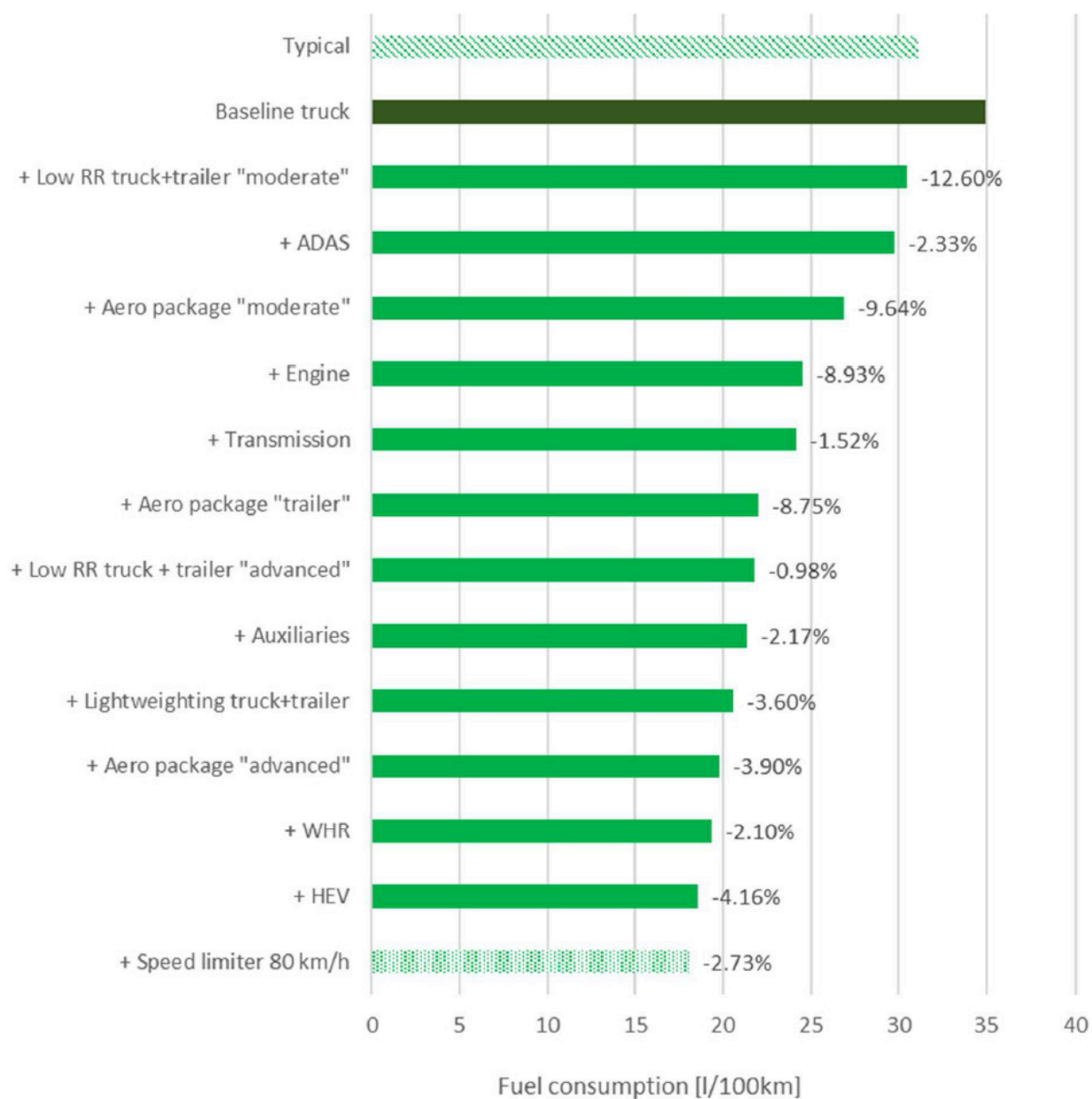
- Meszler, Delgado, Rodriguez, Muncrief (ICCT) (2018) European heavy-duty vehicles: cost-effectiveness of fuel-efficiency technologies for long-haul tractor-trailers in the 2025-2030 timeframe. White paper.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2017) Marktconsultatie Mobility as a Service (MaaS) in Nederland.
- PBL (2014) Options for the Road Freight Sector to Meet Long-Term Climate Targets
- Polders, Cornu, Carpentier, Daniels (2016) Proefproject Langere en Zwaardere vrachtwagencombinaties in Vlaanderen. Evaluatie van de effecten op verkeersveiligheid.
- Ricardo-AEA (2016) Study on the Deployment of C-ITS in Europe: Final Report
- Srinivasan en Leveque (2016) Digitising freight – one truck at a time, *Frost Perspectives*
- TNO, TU Graz, CE Delft en ICCT (2018) Final Report. Support for preparation of the impact assessment for CO₂ emissions standards for Heavy Duty Vehicles. Service Request 9 under the Framework Contract no CLIMA.C.2./FRA/2013/0007
- Transport & Mobility Leuven (TML) (2008) Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC.
- Transport & Mobility Leuven (TML) (2010) Ranking of measures to reduce GHG emissions of transport: reduction potentials and feasibility qualification. (GHGTransPoRD D2.1)
- Transport & Mobility Leuven (TML) & IRU (2017) Commercial Vehicle of the Future. A roadmap towards fully sustainable truck operations.
- Verbeek, van Gijswijk, van Zyl, van Eijk, Vermeulen, Huisman, Smokers (2018) Assessments with respect to the EU HDV CO₂ legislation. Work in support of the Dutch position on EU regulation on the CO₂ emissions of Heavy-Duty vehicles. TNO 2018 P10214
- Viegand Maagøe A/S (2016) Review study on the Regulation (EC) No 1222/2009 on the labelling of tyres

Tabel 44: Reductiepotentieel brandstofverbruik van individuele maatregelen voor >16 ton trekker-opleggers (TNO et al., 2018)

Tech ID	Technology	FC reduction to Baseline group 5[%]				
		LongHaul low load	LongHaul representative load	Regional Delivery low load	Regional Delivery representative load	Weighted potential
Aero-T1-1	Roof spoiler plus side flaps	-6.98%	-5.14%	-5.56%	-4.27%	-5.59%
Aero-T1-2	Side and underbody panels at truck chassis	-1.59%	-1.17%	-1.20%	-0.97%	-1.27%
Aero-T1-3	Covers for rear truck wheels	-0.47%	-0.34%	-0.37%	-0.23%	-0.37%
Aero-T1-4	Closable front grille	-1.59%	-1.17%	-1.20%	-0.97%	-1.27%
Aero-T1-5	Aerodynamic mud flaps	-1.78%	-1.34%	-1.42%	-1.09%	-1.44%
Aero-T2-1	Movable 5th wheel, shortens the gap cabin to trailer	-0.93%	-0.68%	-0.73%	-0.50%	-0.73%
Aero-T2-2	Rear view cameras instead of mirrors	-2.26%	-1.67%	-1.76%	-1.34%	-1.81%
Aero-T2-3	Redesign, longer and rounded vehicle front	-2.67%	-1.96%	-2.11%	-1.57%	-2.13%
Aero-S1-1	Covers for trailer wheels	-0.67%	-0.49%	-0.53%	-0.35%	-0.53%
Aero-S1-2	Rounded front edges of trailer, if so by covers	-2.67%	-1.96%	-2.11%	-1.57%	-2.13%
Aero-S1-3	Side and underbody panels at trailer chassis	-4.43%	-3.28%	-3.61%	-2.66%	-3.56%
Aero-S1-4	Boat tail by variable height of trailer body	-3.12%	-2.30%	-2.45%	-1.86%	-2.50%
Aero-S1-5	Boat tail trailer (50cm)	-3.50%	-2.59%	-2.76%	-2.10%	-2.81%
Tyres-1	Low rolling resistance tyres on truck/tractor	-5.05%	-6.72%	-4.72%	-5.96%	-6.15%
Tyres-2	Low rolling resistance tyres on truck/tractor + trailer	-10.45%	-13.84%	-9.56%	-11.12%	-12.60%
Tyres-3	Tyre pressure monitoring systems (TPMS) on truck	-0.20%	-0.24%	-0.19%	-0.16%	-0.22%
Tyres-4	Tyre pressure monitoring systems (TPMS) on truck and trailer	-0.34%	-0.45%	-0.32%	-0.30%	-0.41%
Tyres-5	Automated tyre inflation systems (ATIS) on truck	-0.20%	-0.24%	-0.19%	-0.16%	-0.22%
Tyres-6	Automated tyre inflation systems (ATIS) on truck and trailer	-0.39%	-0.52%	-0.35%	-0.34%	-0.47%
Tyres-7	Wide base single tyres	-0.42%	-0.58%	-0.38%	-0.37%	-0.52%
Mass-1	Lightweighting mild reduction rigid truck / tractor	-0.13%	-0.10%	-0.15%	-0.05%	-0.10%
Mass-2	Lightweighting strong reduction rigid truck / tractor	-1.61%	-1.24%	-1.82%	-1.69%	-1.39%
Mass-3	Lightweighting mild reduction including trailer	-0.51%	-0.43%	-0.75%	-0.59%	-0.48%
Mass-4	Lightweighting strong reduction including trailer	-4.10%	-3.23%	-4.96%	-4.39%	-3.60%
Aux-1	Electric hydraulic power steering	-0.26%	-0.19%	-0.28%	-0.15%	-0.21%
Aux-2	LED lighting	-0.06%	-0.06%	-0.07%	-0.06%	-0.06%
Aux-3	Air compressor	-1.65%	-1.28%	-1.40%	-1.09%	-1.37%
Aux-5	Engine Cooling fan	-0.50%	-0.39%	-0.59%	-0.15%	-0.41%

Tech ID	Technology	FC reduction to Baseline group 5[%]				
		LongHaul low load	LongHaul representat ive load	Regional Delivery low load	Regional Delivery representat ive load	Weighted potential
Aux-6.1	Standard electric system with best performing alternator	-0.19%	-0.14%	-0.18%	-0.08%	-0.15%
Aux-6.2	LED electric system with best performing alternator	-0.25%	-0.18%	-0.25%	-0.13%	-0.20%
Trans-1	Reduced drivetrain losses (lubricants, design)	-1.43%	-1.52%	-1.64%	-1.77%	-1.52%
ADAS-1	Engine stop-start	-0.12%	-0.09%	-1.35%	-1.07%	-0.20%
ADAS-2-1	Eco-roll (w/o PPC, w/o ESS)	-0.53%	-0.50%	-0.74%	-0.28%	-0.50%
ADAS-2-2	Eco-roll (w/o PPC, w/ ESS)	-1.06%	-1.06%	-2.79%	-1.88%	-1.17%
ADAS-3-1	PCC (w/o Eco-roll, w/o ESS)	-0.43%	-1.38%	-0.73%	-1.90%	-1.14%
ADAS-3-2	PCC (w/ Eco-roll, w/o ESS)	-0.99%	-1.94%	-1.61%	-2.42%	-1.70%
ADAS-3-3	PCC (w/ Eco-roll, w/ ESS)	-1.50%	-2.46%	-3.57%	-3.87%	-2.33%
ADAS-5	Speed limiter 80km/h	-3.36%	-2.61%	-2.06%	-1.68%	-2.73%
Engine-1	Package 1: Improved turbocharging and EGR	-4.00%	-4.00%	-4.00%	-4.00%	-4.00%
Engine-2	Package 2: improved SCR and optimised SCR heating methods	-2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%
Engine-3	Package 3: Friction reduction + improved water and oil pumps	-1.97%	-1.46%	-1.80%	-1.40%	-1.60%
Engine-4	Package 4: Improved lubricants	-1.15%	-0.90%	-1.06%	-0.83%	-0.97%
Engine-5	Package 5: Waste heat recovery	-2.11%	-2.10%	-2.00%	-2.02%	-2.10%
Engine-6	Package 6: Downsizing with optimised map	-1.24%	-0.37%	-1.30%	-0.83%	-0.67%
Hybrid-1	Mild Hybrid 48V (typical vehicle)	-0.44%	-0.43%	-1.24%	-1.15%	-0.51%
Hybrid-2	Full Hybrid typical vehicle 80kW electric motor continuous power/6kWh Battery capacity nominal	-0.47%	-1.98%	-5.47%	-5.87%	-1.95%
Hybrid-3	Full Hybrid best vehicle (current legislation) 80kW electric motor continuous power/6kWh Battery capacity nominal	-3.19%	-4.02%	-7.53%	-7.77%	-4.16%

Figuur 42: Brandstofbesparingspotentieel van gecombineerde technologiepakketten voor >16 ton trekker-oplegger met geoptimaliseerde oplegger (TNO et al., 2018)



02.17. CO₂-emissiereductie binnenvaart

Korte beschrijving :

In deze fiche worden de verschillende technische en operationele mogelijkheden besproken om tot CO₂-emissiereductie in de binnenvaart te komen. Het op zich realiseren van een modale verschuiving richting binnenvaart wordt behandeld in andere fiches (zie o.a. fiche "Multimodale infrastructuur" en "Multimodale subsidies"), maar vanzelfsprekend is het realiseren van een modale verschuiving ook gerelateerd met de elementen die in deze fiche besproken worden, daar deze ook een impact hebben op de aantrekkelijkheid van binnenvaart als transportmodus (zowel op economisch, sociaal als milieuvlak).

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Niet gesimuleerd in TRABAM en SVRM. Het reductiepotentieel wordt ingeschat op basis van de beschikbare wetenschappelijke literatuur.

- **Vertaling naar Voorkeursscenario:** het besparingspotentieel wordt conservatief meegenomen in voorkeursscenario. Op basis van de voorgestelde maatregelen worden de emissiefactoren voor de scheepsklassen M1 en M2 voor 2030 met 20% verlaagd en deze van de overige grotere scheepsklassen met 10%, rekening houdende met het feit dat het technologische besparingspotentieel tegen 2030 hoger wordt ingeschat voor de kleinere vaartuigen.

Selectie van maatregelen

Holtman et al. (2016) hebben in kader van het PLATINA 2 project op basis van desk research en bevraging van stakeholders een overzicht opgesteld van eco-efficiënte innovaties in binnenvaart¹⁴². Sommige opties mikken op de reductie van bepaalde emissies b.v. NO_x of PM, maar in de meeste gevallen wordt gestreefd naar een vermindering van het brandstofverbruik en dus een vermindering van alle emissies inclusief CO₂. Per optie wordt gekeken naar emissiereductiepotentieel, economisch potentieel, toepasbaarheid op vlootaandeel, technologische maturiteit en niet-technologise maturiteit of andere barrières. Het criterium emissiereductiepotentieel analyseert het vergroeningspotentieel en houdt rekening met de verwachte maximale mate van emissiereductie (in %). In sommige gevallen is een maatregel gericht op de reductie van specifieke emissies zoals NO_x of fijnstof maar in de meeste gevallen wordt een vermindering van het brandstofverbruik en dus een vermindering van alle emissies verwacht. De aangegeven cijfers verwijzen naar bepaalde individuele gevallen en zijn dus afhankelijk van de overeenkomstige specifieke omstandigheden. Omdat de maximale emissiereductie wordt opgegeven, zijn lagere cijfers te verwachten onder minder gunstige omstandigheden. Daarnaast is een eenvoudige optelling van de reductiecijfers in het geval van een combinatie van verschillende maatregelen niet mogelijk is, aangezien er overlappings kunnen zijn tussen de verschillende maatregelen.

Een volledig overzicht van de opties wordt achteraan deze fiche toegevoegd. Een selectie wordt vervolgens gemaakt op basis van opties die goed scoren op de verschillende criteria (o.a. reductiepotentieel van meer dan 10% of payback periode van minder dan 10 jaar, toepasbaarheid op minstens 10% van de vloot en geen negatieve bijdrage leverend aan de reeds bestaande overcapaciteit in de Europese binnenvaartvloot). De resulterende selectie levert onderstaande tabel van meest veelbelovende opties op. Daarbij wordt in de laatste kolom ook aangegeven welke opties bijkomende regelgeving en financiële steun vereisen. Een belangrijke verdere opdeling van de maatregelen heeft betrekking op de technologische maturiteit, waarbij 3 types onderscheiden worden (voorlaatste kolom):

- o maatregelen die gereed zijn voor marktapplicatie (TRL niveau 8 en 9)¹⁴³
- o maatregelen waar bijkomend onderzoek & ontwikkeling (O&O) vereist is (TRL niveau 4 tot 7)
- o maatregelen waar basis O&O vereist is (TRL niveau 1 tot 3).

De geselecteerde opties worden in de volgende secties meer in detail besproken. Voor de scheepsgelateerde technische opties wordt vooral ingezoomd op de mogelijkheden voor klimaatneutrale, zero- of ultralage-emissieschepen, omdat deze op langere termijn het hoogste besparingspotentieel vertegenwoordigen.

Tabel 45: Holtman et al. (2016)

Infrastructure	Fleet	Education & Qualification	Logistics	Type of measure	Area	Measure	Criterion 1a:	Criterion 1b:	Criterion 2:	Criterion 3a:	Criterion 3b:	Criterion 4:	
							Emission reduction potential	Economic potential	Applicability on share of the fleet	Technological Maturity	Technological Maturity	Non-technical Maturity & other hindrances	
							(max. %) (not cumulative)	payback period (years) (selected meas. only)	1: > 50% 2: 10-50% 3: <10%	1: basic R&D needed till 9: full comm. applic.	1: basic R&D needed 2: add. R&D needed 3: ready	red: overcapacity blue: (reg &) fin. supp. needed	
x	x	x		Infrastructure	W.way info	Better pred. of av. water depth (c.f. load factor)	10%	n.a.	1	4	2		
						Real time info on fairw. data (link to energy.eff.nav.)	10%	n.a.	1	5	2		
x		x		Infrastructure	Waterway	Improve fairway conditions (upgrading)	68%	n.a.	1	9	3	budget constr.	
x		x			Infrastructure	Technologies for waterway maintenance	t.b.d.	n.a.	1	5	2		
x	x	x	x	Ship-related technical	Fuels, standardised solutions	Use LNG (Liquefied Natural Gas) (PM reduction)	95%	n.a.	1	5	2	reg. & fin.support	
x	x	x	x				Apply dual fuel (LNG and diesel) (PM reduction)	80%	n.a.	1	5	2	reg. & fin.support
	x					Use hydrogen / fuel cells	100%	n.a.	1	2	1	reg. & fin.support	
	x				Propulsion system, standardised solutions	Exchange of main diesel engine (red. of NOx & PM)	20%	n.a.	1	9	3		
	x						Overhaul of existing engines	10%	n.a.	1	9	3	
	x					Diesel-electric prop. (truck engines; no buffer batt.)	10%	n.a.	2	7	2	fin.support	
	x					Hybrid prop. (diesel (or gas) - electric + buffer batt.)	10%	n.a.	1	7	2	fin.support	
	x					Applying nozzle	25%	n.a.	2	8	3		
	x				Hydro-dynamics	Multiple propeller propulsion	10%	n.a.	2	4	2		
	x						Apply air lubrication	10%	n.a.	2	6	2	
	x						Apply adjustable tunnel apron	10%	4	2	6	2	
	x						Apply coupling point optimisation	20%	5	2	7	2	
	x				Emission reduction; standardised solutions	Apply SCR (selective catalytic reduction) (NOx red.)	95%	n.a.	1	7	2	reg. & fin.support	
	x						Use emulsified fuels (PM reduction)	80%	n.a.	1	7	2	reg. & fin.support
	x					Apply diesel particulate filters (DPF) (PM reduction)	96%	n.a.	1	7	2	reg. & fin.support	
	x					Combine SCR and DPF (PM reduction)	96%	n.a.	1	7	2	reg. & fin.support	
x	x	x	x	Ship operation	Sailing behav.	Smart and energy-eff.nav. (incl. track choice)	10%	n.a.	1	5	2		
		x		Education & Qualification		Mobile Learning	t.b.d.	n.a.	1	5	2		
		x					Simulator training (related to energy eff. nav.)	10%	n.a.	1	5	2	
		x	x			Integration of IWT into logistics education	t.b.d.	n.a.	1	5	2		
		x		Logistics		Best practices in collaboration (e.g. hub & spoke)	16%	n.a.	2	9	3		
		x					Gain sharing models (increased payload)	15%	n.a.	2	8	3	
		x					Collaborative planning (red. of empty km)	15%	n.a.	2	9	3	
x	x	x	x				New log. concepts incl. vessels & ports (O-barge)	10%	n.a.	2	4	2	

¹⁴² Daar de tabel dateert van 2016 en gebaseerd is op toenmalig beschikbare studies, zijn sommige technologieën zoals het gebruik van waterstof in tussentijd verder geëvolueerd.

¹⁴³ 'Technology Readiness Levels' (TRL) is een classificatiesysteem dat wordt toegepast in het EU Onderzoek en Innovatieprogramma Horizon 2020 en dat gebruik maakt van 9 niveaus om technologische maturiteit aan te duiden gaande van TRL 1: basisonderzoek tot TRL 9: volledig commercieel toepasbaar

Infrastructuur

Hieronder worden een aantal infrastructuur-gerelateerde maatregelen besproken, waarvan de meeste niet prioritair gericht zijn op emissiereductie, maar welke wel vaak de efficiëntie verhogen en zo ook het brandstofverbruik reduceren (Holtman et al., 2016).

- Verbeteren van de vaarcondities (o.a. diepgang), met name door de onderhoudsprocedures voor de waterweg en de infrastructuur te optimaliseren.
- Verdere ontwikkeling van technologieën voor onderhoud en ontwikkeling van waterwegen en infrastructuur:
 - verbeterde monitoring van de waterweginfrastructuur (o.a. harmonisatie van de statusbeoordeling van veroudering van sluisen; optimale gegevenskwaliteit, frequentie en timing van metingen, gebruik van fotogrammetrie voor statusmonitoring)
 - optimalisatie van planning (bijvoorbeeld wisselwerking tussen regulier onderhoud en structurele maatregelen, modellering van mogelijke interventies, IT-gebaseerde beslissingsondersteunende tools, optimale win-winsituatie voor alle betrokken gebruikersgroepen)
 - implementatiemaatregelen (o.a. automatisering van nabewerking van landmeetkundige resultaten, geoptimaliseerde baggertechnologieën)
- Een informatiesysteem dat tijdig en op een betrouwbare manier informatie verschaft over vaarcondities is van groot belang om geoptimaliseerde trip planning en energiezuinige navigatie mogelijk te maken. Het *River Information Services* (RIS) heeft tot doel real-time vaarweginformatie over vaarwegdiepten, afmetingen van de vaarweg, bruggenvrijstellingen, beschikbaarheid en bedieningstijden van belangrijke infrastructuur (beweegbare bruggen, sluisen), waterstanden, debieten en stromingen, scheepvaartberichten beschikbaar te stellen. Via VisuRIS is deze vaarweginformatie visueel handig beschikbaar in kaart en tabelvorm.
- Strategic Traffic Image kan gebruikers informatie verschaffen over geplande reizen van schepen, (gevaarlijke) vracht en gewenste aankomsttijden (RTA) op bepaalde punten zoals sluisen en terminals. Tijdens piekperiodes kunnen binnenvaartoperators hun gedrag zodoende aanpassen en hun brandstofverbruik verminderen als wachtrijen bij sluisen, bruggen of terminals onvermijdelijk zijn. In de RIS-evaluatie is vastgesteld dat dergelijke systemen kunnen resulteren in voordelen voor de sector van 2,9 tot 7,1 miljoen euro. Verdere corridorbeheersing door infrastructuurbeheerders zou deze voordelen kunnen vergroten. (Holtman et al., 2016).
- In kader van het verduurzamen van de vloot dient de bijbehorende infrastructuur voor het tanknetwerk tegen uiterlijk 2030 geïnstalleerd te zijn. De Europese Commissie richt zich met haar Europese strategie voor alternatieve brandstoffen (Europese Commissie, 2013a) in kader van het Clean Power for Transport pakket op de energiedragers waarbij tekortschietende marktcoördinatie bijzonder relevant is, namelijk elektriciteit, waterstof en aardgas (LNG en CNG)¹⁴⁴. De doelstelling is om de nodige infrastructuur tegen 2025 beschikbaar te hebben in de binnenhavens (Europese Commissie, 2013b). In concreto worden volgende doelen vooropgesteld:
 - Uiterlijk eind 2020 moet een kernnetwerk van LNG-tankpunten voor zeevaartuigen en binnenvaartschepen beschikbaar zijn. De lidstaten dienen uiterlijk op 31 december 2025 in alle binnenvaarthavens van het kerngedeelte van het trans-Europees vervoersnet (TEN-T) openbaar toegankelijke LNG-tankpunten te voorzien voor het vervoer over de binnenwateren.
 - De lidstaten dienen ervoor te zorgen dat, met name in binnenvaarthavens waar de luchtkwaliteit of de geluidsniveaus slecht zijn, walstroomvoorzieningen voor vaartuigen beschikbaar zijn die schone energie kunnen leveren, mits die voorzieningen kostenefficiënt zijn en milieuvoordelen met zich meebrengen.
 - Alle LNG-tankpunten en walstroomvoorzieningen voor vervoer over de binnenwateren dienden uiterlijk op 31 december 2015 te voldoen aan bepaalde technische specificaties (relevante EN-normen).
- Met betrekking tot LNG wordt in deze studie de algemene visie gehanteerd dat het inzetten op deze fossiele brandstof op zich geen te verkiezen maatregel is op lange termijn in kader van CO₂-emissiereductie, maar dat door de compatibiliteit met duurzaam vloeibaar biomethaan (LBM) investeringen in LNG technologie en infrastructuur als tijdelijke overgangstechnologie naar een klimaatneutraal alternatief op langere termijn mogelijk niet verloren zijn¹⁴⁵. Voor binnenvaart is het effect op luchtvervuilende emissies van LNG ten opzichte van diesel wel significanter, dus voor deze transportmodus is het gebruik van LNG beter verdedigbaar (ook al zullen de nieuwe Stage V (NRMM) normen voor binnenscheepvaartmotoren dit voordeel in de toekomst afzwakken).

¹⁴⁴ Voor meer informatie met betrekking tot de well-to-tank pathways van deze energiedragers, zie fiche "Well-to-tank analyse energiedragers".

¹⁴⁵ Zie fiche "LNG/CNG en CBM/LBM-voertuigen". Klimaatneutraal transport doelt op alternatieven waarbij er geen bijkomende broeikasgassen worden uitgestoten maar waar door de interne verbrandingsmotoren wel nog NO_x en fijn stof aanwezig blijven in de uitlaatgassen.

Slim en energie-efficiënt varen

Hieronder vallen bewustmakingscursussen en technische hulpmiddelen zoals intelligente brandstofverbruiksmeters:

- Nascholingscursussen rond zuinig varen: deelnemers besparen na het volgen van deze cursus gemiddeld tot 7% brandstof.
- *Cruisecontrol* geeft de schipper de mogelijkheid te kiezen voor een vast ingestelde vaarsnelheid of een vast brandstofverbruik per gevaren kilometer. Brandstofbesparing wordt mogelijk gemaakt doordat hardware via bestaande (of meegeleverde) elektronische sensoren de belasting van de hoofdmotor(en) meet en zo efficiënt mogelijk regelt. Daarnaast zorgt de automatische regeling ervoor dat het wijzigen van de snelheid veel efficiënter zal verlopen dan bij gebruik van de regelaar. Tevens heeft de gebruiker de mogelijkheid om de te varen route over een exact tijdsschema af te leggen. Daarmee wordt voorkomen dat men oneconomisch vroeg op de plaats van bestemming is. Tevens zal bewustwording van het brandstofverbruik ertoe bijdragen dat er voordeliger kan en zal worden gevaren.
- Adviserende Tempomaat (ATM): dit systeem bestaat uit een computerprogramma dat de schipper adviseert met betrekking tot de meest economische route en snelheid waardoor het vaartuig op tijd ter bestemming met een meer efficiënt brandstofverbruik. Het effectief effect van ATM op de emissies is zeer afhankelijk van het schip waarop het wordt toegepast. In testomstandigheden was geschat dat het gebruik van ATM kon leiden tot brandstofbesparingen, gaande van 10 tot 15%, maar in operationele omstandigheden lijkt de besparing eerder in de buurt van 6% te liggen. Arcadis (2011) heeft becijferd dat de installatie van Tempomaat voor vermogensklassen vanaf ongeveer 400 kW duidelijke maatschappelijke baten met zich meebrengt. In de meeste gevallen waar het maatschappelijk optimaal bleek om Tempomaat te installeren, was het door de brandstofbesparing ook in het financieel belang van de schippers om dat te doen (zelfs zonder steunmaatregel).

Opleiding en Kwalificatie

Deze groep omvat maatregelen die moeten zorgen voor voldoende gekwalificeerd personeel in de binnenvaartsector. Het gaat om zaken zoals mobiel leren, simulator training en integratie van binnenvaart in logistieke opleidingen. Hierbij dient, naast tal van andere competenties, ook aandacht besteed te worden aan uitdagingen op het gebied van energie-efficiënte navigatie. Vanwege zowel verwachte toekomstige stijgingen van de energiekosten alsook striktere emissienormen, zal er bij het binnenvaartpersoneel in de toekomst meer druk zijn op het verminderen van het brandstofverbruik¹⁴⁶. In de Vlaamse context kan op vlak van simulatortraining verwezen worden naar de binnenvaartsimulator LENA (LEren NAVigeren).¹⁴⁷

¹⁴⁶ Zie bijvoorbeeld het PROMINENT-project voor meer informatie over digitale opleidingstools <<http://www.prominent-iwt.eu>>)

¹⁴⁷ <https://www.binnenvaart.be/studeren-werken/binnenvaartsimulator-lena>

¹⁴⁸ Als voorbeelden van succesvolle onderzoeksprojecten vermelden Holtman et al. (2015) het hub & spoke-concept en het hopconcept ontwikkeld in het kader van het Nederlandse IDVV-project. Deze concepten maken grotere call-sizes per zeeterminal mogelijk, verminderen het aantal zeeterminals per barge en verkorten de doorlooptijden.

Logistieke organisatie

Het gebruik van een vaartuig is vaak niet optimaal, bijvoorbeeld door lege trips. De huidige markt van vraag en aanbod resulteert niet in maximale beladingen of benuttingspercentages, waardoor operatoren vaak (half)lege retours hebben of omwegen moeten maken. Waar binnenvaart echter concurreert met het weg- en spoorvervoer, is een hoge bezettingsgraad van schepen een noodzakelijke voorwaarde, vooral in het containermarktsegment. Een andere uitdaging is dat met name voor containervervoer de meerderheid van de operatoren zich concentreert op maritieme containerstromen. Wat betreft de continentale vrachtstromen bestaan er grote mogelijkheden voor binnenvaart die momenteel niet zijn ontwikkeld.

Een aantal maatregelen zijn daarom gericht op het optimaliseren van de logistieke operaties, wat gepaard gaat met brandstofbesparende efficiëntieverbeteringen:

- *Best practices* in samenwerking: verder onderzoek op het gebied van geavanceerde samenwerking in maritieme en continentale gecontaineriseerde goederen met betrekking tot aspecten zoals planning, organisatie, bundeling, winstverdeling.¹⁴⁸
- Verhogen van de beladingsgraad: onderzoek en innovatie gewijd aan benaderingen voor geavanceerde samenwerking in het (maritieme) containervervoer. Doel is om het gemiddelde laadvermogen van de schepen te verhogen, waardoor het aantal lege ritten wordt verminderd en de schepen beter kunnen worden gebruikt. Dit verwijst naar het collaboratieve plannings- en organisatorische deel van de binnenvaart-operatoren en verladers.
- Onderzoek naar nieuwe markten en concepten: onderzoek en innovatie gewijd aan de ontwikkeling van de continentale vrachtmarkt, welke tot op heden grotendeels als een ongebruikelijke markt voor het vervoer over de binnenwateren wordt beschouwd, hoewel het potentieel voor een groot deel beschikbaar is. PLATINA II (2015) concludeerde dat in het meest waarschijnlijke scenario maar liefst 87 miljoen ton continentale vrachtstromen in Europa kunnen worden verschoven naar binnenvaart. Het bereiken van deze markt vereist onderzoek op het gebied van het combineren van maritieme containerstromen met continentale stromen, of in sommige gevallen nieuwe schepen of laadsystemen voor het verwerken van andere goederen, d.w.z. gepalleteerde lading. Dergelijke concepten beginnen reeds langzaam aan ingang te vinden, maar op relatief beperkte schaal.
- Via Smart Logistics kan de interactie tussen schip en waterwegbeheerder sneller verlopen. Op die manier kan een "blauwe golf" gecreëerd worden waarbij de schipper optimale snelheid kan aanhouden om wachttijden aan volgende sluis te vermijden.

- **Watertruck+:** Via Watertruck+ wordt een nieuw innovatief concept van goederentransport via de kleine waterwegen (tot CEMT IV) ontwikkeld, waarbij gebruik gemaakt wordt van vaartuigen (duwbakken en duwbotten) die in konvooi varen en op snelle en flexibele wijze kunnen worden gekoppeld en ontkoppeld. Het varen wordt onafhankelijk gemaakt van laden en lossen, wat een positief gegeven is inzake efficiëntie. De duwbotten zullen tevens milieuvriendelijke vaartuigen zijn. De uitstoot van deze schepen ligt 25% lager voor wat CO₂ betreft (tov EMMOSS). Op vlak van luchtvervuiling, dienen ze equivalent te zijn aan de EURO VI-normen voor wegtransport.

Aanpassingen aan bestaande dieselmotoren (nabehandelingssystemen)

Deze hebben vooral tot doel de luchtvervuilende emissies zoals NO_x en fijnstof te reduceren. Door innovatie in motortechnologie voor vrachtwagens is binnenvaart immers zijn op schaalvoordelen gebaseerde voorsprong op vlak van luchtvervuilende emissies geleidelijk aan kwijtgeraakt. Dat komt ten eerste door de achterlopende emissiestandaarden in binnenvaart, waardoor er onvoldoende technologische stimulans geweest is naar motorvernieuwing toe. Daar is verandering in gekomen met de invoering van de NRMM-richtlijn (stage V), welke verplichtingen oplegt naar emissies van luchtpolluenten. Deze is van toepassing op nieuwe motoren en gaat op 1 januari 2019 van kracht voor kleine motoren, en vanaf 1 januari 2020 voor grotere motoren. Ten tweede zijn de investeringskosten van nabehandelingssystemen (bijvoorbeeld roetdeeltjesfilter, selectieve katalytische reductie of SCR) of geëmulgeerde brandstoffen hoog, maar verschaffen deze geen economisch voordeel in binnenvaart. Integendeel, de genoemde systemen leiden tot een lichte toename van het brandstofverbruik. Dit betekent dat er geen financiële prikkels zijn voor binnenvaartoperatoren om in dergelijke technologieën te investeren. Een andere belemmerende factor is een gebrek aan standaardisatie voor nabehandelingssystemen. Dit leidt tot hoge productiekosten die hoge investeringen vereisen voor binnenvaartoperatoren. Bovendien worden hoge bedrijfskosten voor het opereren van de systemen als extra barrière beschouwd. Verder zijn er technische uitdagingen met betrekking tot het gebruik van nabehandelingssystemen, b.v. beperkte ruimte in machinekamers voor extra aggregaten. Behandelingssystemen laten toe dat oude motoren toch aan de nieuwe Stage V-normen kunnen voldoen. Dit is belangrijk gezien in de nabije toekomst vaarrestricties bestaan in bepaalde vaargebieden, en vervuilende schepen niet langer worden toegestaan. Aangezien nabehandelingssystemen niet inspelen op de brandstofconsumptie en dus ook de CO₂-emissies, worden ze in de roadmap niet weerhouden.

Ontwikkeling nieuwe motoren

Problematisch is dat binnenvaart een beperkte markt is voor motorfabrikanten. Dit betekent dat onderzoek en ontwikkeling naar nieuwe binnenvaartmotoren door het gelimiteerde marktpotentieel en de ontbrekende schaalvoordelen beperkt is. Ook de Europese homologatieprocedure is lang en duur voor producenten. Dit neemt niet weg dat enkele motorenfabrikanten de ambitie hebben om tegen 2020 een motor

op de markt brengt die voldoet aan de nieuwe Stage V (NRMM) eisen.

Voor kleine schepen kan gekeken worden naar alternatief gebruik van vrachtwagenmotoren of industriële motoren. De voorbije jaren is onderzoek verricht naar het zogenaamde 'mariniseren' van deze motoren en deze aan te passen aan het vaarprofiel van een schip. Inmiddels zijn de eerste varenden voorbeelden een feit.

LNG

Zie fiche "LNG/CNG en CBM/LBM voertuigen" waar de mogelijkheden van LNG en LBM (met de tweede optie als mogelijk klimaatneutraal alternatief) in binnenvaart worden besproken.

Ultra-lage en zero-emissie binnenvaartschepen

De introductie van zero- en ultra-lage emissieschepen via de ontwikkeling van **brandstofcellen** en/of **energieopslagsystemen** (energy storage systems of kortweg ESS) geïntegreerd met efficiënte stroomvormers, aangepaste voortstuwingmotoren en elektrische apparatuur aan boord (zoals verlichting, pompen en ventilatoren) wordt haalbaarder geacht voor binnen- en kustvaart dan voor maritieme schepen. Hieronder wordt kort de huidige inschatting van het potentieel geschatst:

- Volledige elektrische en hybride voortstuwing via omzetting van elektriciteit door dieselmotoren is reeds beschikbaar en zou op grote schaal gebruikt kunnen worden in verschillende scheepstypen en -afmetingen maar vereist (graduele) toepassing van alternatieve brandstoffen, bijvoorbeeld hernieuwbare biobrandstoffen en duurzame waterstof, om (op termijn) CO₂-neutraliteit te realiseren. Dit hangt dus samen met de beschikbaarheid van deze energiedragers.
- Zero-emissie schepen met batterijen (als ESS) in plaats van dieselmotoren worden verwacht beperkt te blijven tot kleinere vaartuigen of schepen met (relatief) korte afstand operaties. De eerste innovatieve modellen komen binnenkort in vaart (zie hieronder).
- Brandstofcellen en brandstofcelssystemen met gecombineerde cyclus zullen in eerste fase hulpvermogen leveren of toegepast worden in de voortstuwing van kleinere vaartuigen met een geleidelijke trend naar de voortstuwing van grotere schepen.

Een sleutelement is het ontwikkelen van ESS met hoge energiedichtheden en de aanwezigheid van oplaadfaciliteiten aan wal zodat schepen kunnen opladen met behulp van hernieuwbare energie uit het netwerk om als zero-emissieschepen te kunnen varen op steeds langere trajecten. De huidige technologie van ESS en brandstofcellen heeft echter aanzienlijke beperkingen die de snelheid en het bereik van de vaartuigen zouden beperken. (Meyer et al., 2016)

Door elektrische netverbindingen aan wal te vergroten, zouden alle schepen in de haven kunnen worden aangesloten op elektriciteitsvoorziening (walstroom), vooral met het doel om luchtvervuilende emissies van bijvoorbeeld NO_x en fijnstof met impact op de lokale luchtkwaliteit te elimine-

ren (en bijkomende voordelen op vlak van geluidshinder). Naargelang de ESS-dichtheden in zero-emissieschepen verbeteren zullen de elektrische faciliteiten aan wal echter verder opgewaardeerd moeten worden om opladen in de haven mogelijk te maken. Dergelijke voorzieningen zouden het gebruik van zero-emissie kustvaart en binnenvaart aantrekkelijker maken.

Recent is het Nederlandse Port-Liner gestart met de bouw van vijf kleine en zes grotere elektrische schepen, waarvan de eerste exemplaren in het eerste kwartaal van 2019 voor het eerst naar Antwerpen zouden komen. De kleine schepen (52 meter lang) hebben een capaciteit van 24 TEU of 425 ton bulkloading, de grotere modellen (110 meter lang) van 270 TEU. De schepen worden voor de aandrijving van de elektrische motor uitgerust met E-powerboxen ter grootte van een container van 20 voet (6 meter). Doordat geen machinekamer, schroefassen en koppelingen meer moet ingepast worden, komt er in totaal 8% meer laadruimte vrij tegenover een vergelijkbaar klassiek schip op fossiele brandstoffen. De vaarautonomie van de kleine schepen (uitgerust met 1 E-powerbox) zou 15 uur zijn, deze van de grote schepen (uitgerust met 4 E-powerboxen) 35 uur. Opladen van de batterijen op het schip zou ongeveer vier uur duren, maar de E-powerboxen kunnen op verschillende geplande locaties ook met een gewone containerkraan worden gewisseld wat het systeem. In eerste instantie zouden in Vlaanderen twee oplaadpunten voor de E-powerboxen voorzien worden (waarschijnlijk in de haven van Antwerpen). Port-Liner maakt zich sterk dat het schip zo 20 tot 35 uur kan varen, afhankelijk van de hoeveelheid batterijcontainers (1 tot 4) aan boord, de sterkte van de stroming en de lading van het schip. Momenteel is dit echter eerder een demonstratieproject op basis van subsidies en de toekomst zal duidelijk moeten maken of dit concept economisch haalbaar is.

Lock-in:

Het streven naar zero-emissievaartuigen op basis van brandstofcellen of batterijen vereist een vernieuwing of retrofitting van de bestaande vloot en het voorzien van voldoende tanken/of laadinfrastructuur. Rekening houdende met de tragere vlootvernieuwing in binnenvaart vergeleken met wegtransport betekent dit een significante lock-in voor de binnenvaartsector in de geselecteerde technologie. Maar deze transformatie is wel in lijn met 2050 klimaatdoelstellingen.

Kosteneffectiviteit :

- De kosteneffectiviteit van introductie van zero- of ultra-lage emissieschepen blijft een heikel punt. Voor de bouw van vijf kleine en zes grotere elektrische schepen ontvangt Port-Liner 7 miljoen euro steun aan Europese subsidies. De economische haalbaarheid moet nog bewezen worden.
- Retrofitting door inbouwen van de elektrische motoren en batterijen in oudere schepen zou ook mogelijk zijn, maar 400.000 tot 1 miljoen euro per schip kosten, waarvan een aanzienlijk deel gesubsidieerd zou moeten worden om economisch haalbaar te zijn.
- Het verschil van de kosten van elektrificatie in vergelijking met deze van aandrijvingen op fossiele brandstoffen is een cruciale factor om investeringen in deze technologie te stimuleren. Indien de olieprijs relatief laag blijven, zal regulering en overheidsinterventie nodig zijn om marktintroductie te realiseren.

Timing:

Technische implementeerbaarheid:

- Voor brandstofcellen: onderscheid tussen het toepassen voor het hoofdaandrijfvermogen en het hulpvermogen:
 - op middellange termijn (minder dan vijf jaar): vervangen van de generatoren voor het hulpvermogen.
 - op langere termijn (tien jaar) vervanging van voortstuwingsmotoren (hoofdaandrijfvermogen) voor schepen gaande tot 400 kW-850 ton haalbaar.
- Volgens de STRIA Roadmap (Meyer et al., 2016) zal vanwege een gebrek aan maturiteit in technologieën voor energieopslag, elektrificatie in de scheepvaartsector waarschijnlijk niet leiden tot aanzienlijke reducties vóór 2030. Naar 2050 toe wordt wel verwacht dat elektrificatie in de binnenvaart een significante positieve impact kan hebben op uitstoot van emissies en geluidshinder. Als mijlpaal voor 2035 wordt vooropgesteld dat een (binnenvaart)schip tot 30 mijl tussen havens alleen op ESS moet kunnen opereren. Havens worden verwacht oplaadvoorzieningen voor ESS van 100 MWh aan te bieden tijdens een normale turn-around (3-4 uur). Brandstofceltechnologie dient tegen 2035 gemariniseerd te zijn om op betrouwbare wijze 100% voortstuwingsvermogen te bieden op een kustvaartschip. Elektrische of brandstofcelaandrijving dient tegen 2035 ten minste 25% van de markt voor kleine boten te vertegenwoordigen.¹⁴⁹
- In bepaalde niche toepassingen worden volledige elektrische vaartuigen wel op kortere termijn realistisch geacht, zoals voor stedelijk watergebonden transport tegen 2025 (Meyer et al., 2016).

¹⁴⁹ Meyer et al. (2016) definiëren "kleine boten" niet, dus veronderstellen we dat het over M1 en M2 schepen gaat.

Voorwaarden en barrières :

- De grootste hindernis voor zero-emissieschepen is het gebrek aan ESS met goede volumetrische, gewichts- en kostenkarakteristieken en geschikte walinfrastructuur die snelladen toelaat. Batterij-elektrische vaartuigen vereisen zeer hoge piekstromen om een adequate laadtijd te garanderen, wat zeer hoge eisen stelt aan het lokale net. Een zekere opslagcapaciteit is dan ook nodig om de hoge piekvraag af te vlakken en een snellere oplaadbeurt mogelijk te maken. Deze kwestie zal van groter belang zijn bij grotere schepen met een hogere batterijcapaciteit. Daarnaast is de levensduur een belangrijke kostenfactor: voor de batterij is deze afhankelijk van de gebruikscyclus en wordt verwacht dat die met de huidige technologie om de 5-7 jaar moet worden vervangen. Bovendien moet de veiligheid van batterijsystemen in termen van verwarming, brand en explosiegevaar gegarandeerd worden. (Meyer et al., 2016)
- Voor brandstofcellen is de uitdaging om voldoende betrouwbare kracht te leveren in een mariene omgeving. De inzet van brandstofceltechnologie is momenteel beperkt tot enkele zeer kostelijke toepassingen waarbij waterstof wordt gebruikt in militaire onderzeeërs en een paar experimentele schepen. (Meyer et al., 2016)
- Een andere grote 'bottleneck' in de toepassing van brandstofcellen in binnenvaart (om een deel van de aan boord benodigde elektriciteit te produceren dan wel voorstuwingmotoren aan te drijven) zit in de distributie en (technische) verkrijgbaarheid van waterstof (Arcadis, 2011). Er is nood aan 'openbare' tanklocaties voor waterstof langs de grote Europese vaarroutes in de stroomgebieden van de Rijn, de Donau, de Rhône, de Schelde en de Seine en de bijbehorende en verbindende kanalen en (overslag) havengebieden.
- De binnenvaartsector heeft zeer specifieke noden, en het commerciële gewicht van de sector is beperkt. Daarom kan de sector alleen proberen de ontwikkelingen in andere sectoren te volgen, en (op een suboptimale manier) gebruik te maken van de technologische vooruitgang. Elektrificatie van schepen is daarom voornamelijk afhankelijk van de ontwikkeling van technologieën voor andere industrieën zoals wegvoertuigen en de energiesector. Batterijtechnologie wordt bijvoorbeeld aangedreven door de automobielsector, terwijl brandstofceltechnologie vooral kan putten uit ontwikkelingen binnen de energiesector (Meyer et al., 2016).
- Zoals hierboven reeds aangehaald zijn de relatief hoge kosten van elektrificatie in vergelijking met deze van aandrijvingen op aardolie de belangrijkste belemmering voor de ontwikkeling en introductie van innovatieve elektrische voortstuwing. Lage olieprijsen maken dat de inspanningen om de brandstofefficiëntie te verbeteren en de elektrificatie te verhogen eerder worden gedreven door regulering en overheidsinterventie dan door kosten. Batterijen blijven immers duur. Om concurrerend te zijn als een volledig elektrische stroombron voor een gemiddeld 48 uren varende kustvaart- of binnenvaartschip, zouden de kosten per KWh aanzienlijk moeten dalen. Ook zou de vermogensdichtheid moeten toenemen. Dit lijkt echter niet onmogelijk gezien de toename van batterijprestaties over de afgelopen tien jaar, vooral gedreven door de automobielsector en consumentenelektronica.

Conclusies:

CO₂-emissiereductie in de binnenscheepvaart kan gerealiseerd worden via een aantal potentiële maatregelen op verschillende domeinen. Het voorzien van bestaande motoren met nabehandelingstechnieken wordt niet weerhouden als een valabel alternatief in kader van de roadmap, aangezien dit doorgaans resulteert in een lichte stijging van brandstofverbruik en dus ook CO₂-emissies. Maatregelen op vlak van infrastructuur, opleiding, energiezuinig varen en logistieke organisatie zouden kunnen resulteren in besparingen van verschillende procenten maar het exacte besparingspotentieel is niet eenvoudig in te schatten. Het grootste besparingspotentieel zit in de conversie naar klimaatneutrale, ultra-lage en zero-emissievoertuigen, maar uit de geraadpleegde literatuur blijkt dat het besparingspotentieel van dergelijke vaartuigen naar 2030 toe eerder beperkt wordt ingeschat. Voor kleinere vaartuigen en in niche-toepassingen (stedelijk watergebonden transport) zou er wel reeds potentieel zijn. Op langere termijn (2050 en verder) is er wel potentieel van zero-emissie binnenvaart aanwezig door gebruik van brandstofcellen en ESS, wat maakt dat opvolging en investering in deze technologieën aanbevolen wordt. Het besparingspotentieel van CO₂-emissiereductie in binnenscheepvaart wordt conservatief meegenomen in de roadmap vanwege de relatief grote onzekerheid met betrekking tot de introductie en het effectieve besparingseffect van een aantal van de vermelde opties en de trage vlootvernieuwing in binnenvaart. Vlootvernieuwing zal door het ontbreken van economische incentives en de beperkte financiële slagkracht in de sector mede afhankelijk zijn van ondersteunend beleid. In de praktijk wordt vastgesteld dat grote binnenvaartschepen sneller vernieuwen, daar zij meer behoefte en profijt hebben bij zuiniger varen en kapitaalkrachtiger zijn. Op basis van de analyse van de voorgestelde maatregelen en feedback van experts worden de emissiefactoren voor de scheepsklassen M1 en M2 voor 2030 met 10% verlaagd en deze van de overige grotere scheepsklassen met 20%.

Bronnen :

- Arcadis (2011) Lokale Maatregelen voor emissiereductie van binnenvaartemissies: Finaal rapport
- Europese Commissie (2013a) Schone energie voor het vervoer: een Europese strategie voor alternatieve brandstoffen, COM(2013) 17, Brussel
- Europese Commissie (2013b) Voorstel voor een Richtlijn van het Europese Parlement en de Raad betreffende de uitrol van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen, COM(2013) 18 final, Brussel
- Hazeldine, Pridmore, Nelissen, Huklskotte (2009) Technical Options to reduce GHG for non-Road Transport Modes (Paper 3). EU Transport GHG: Routes to 2050?, Paper 3 in kader van contract ENV.C.3/SER/2008/0053 tussen European Commission Directorate-General Environment en AEA Technology plc <www.eurtransportghg2050.eu>
- Holtman et al. (2015) Deliverable 2.2. Innovation Platform and draft Research and Innovation Roadmap for Inland Waterway Transport. PLATINA II Platform for the implementation of NAIADES II.
- Meyer, Bucknall, Breuil (2016) STRIA Roadmap "Electrification" Draft version 9.0 27 October 2016
- PLATINA II (2015), Deliverable 1.6. Macro analysis of the market potential in the continental cargo market
- TL & Associés Consulting en Cabinet Lebéfaude (2010), Etude sur les pratiques de navigation et les technologies dans le domaine de la performance énergétique du transport fluvial des marchandises. Fiches Innovations.

Tabel 46: PLATINA 2 overzicht en evaluatie van veelbelovende maatregelen

Reference	Type of measure	Area	Measure	Criterion 1a: Emission reduction potential	Criterion 1b: Economic potential	Criterion 2: Applicability on share of the fleet	Criterion 3a: Technological Maturity	Criterion 3b: Technological Maturity	Criterion 4: Non-technical Maturity & other hindrances
Infrastructure Fleet Education & Qualification Logistics				(max. %) (not cumulative)	payback period (years) (selected meas. only)	1: > 50% 2: 10-50% 3: <10%	1: basic R&D needed till 9: full comm. applic.	1: basic R&D needed 2: add. R&D needed 3: ready	red: overcapacity blue: (reg &) fin. supp. needed
x		Infrastructure	Ports & mooring places	Shore side power	5%	n.a.	1	5	reg. & fin.support
x	x			Optimisation of locking procedure/ traffic mgt.	5%	n.a.	1	6	
x	x		Waterway information	Better pred. of av. water depth (c.f. load factor)	10%	n.a.	1	4	
x	x			Electronic ECDIS charts with actual depth information	5%	n.a.	1	7	
x	x			Real time info on fairw. data (link to energy.eff.nav.)	10%	n.a.	1	5	
x		Waterway Infrastructure	Improve fairway conditions (upgrading)	68%	n.a.	1	9	3	budget constr.
x			Technologies for waterway maintenance	t.b.d.	n.a.	1	5	2	
x		Ship-related technical	Fleet structure	Use larger vessel units	75%	n.a.	2	9	overcapacity
x				Use more coupled convoys	20%	7	2	9	overcapacity
x				Lengthening (+25%; Europe type vessel) + nozzle	15%	2	2	9	overcapacity
x				Lengthening (+10%; smaller than Europe type vessel)	5%	26	2	9	overcapacity
x	x		Fuels, standardised solutions	Use LNG (Liquefied Natural Gas) (PM reduction)	95%	n.a.	1	5	reg. & fin.support
x	x			Apply dual fuel (LNG and diesel) (PM reduction)	80%	n.a.	1	5	reg. & fin.support
x				Use hydrogen / fuel cells	100%	n.a.	1	2	reg. & fin.support
x			Propulsion system, standardised solutions	Exchange of main diesel engine (red. of NOx & PM)	20%	n.a.	1	9	
x				Overhaul of existing engines	10%	n.a.	1	9	
x				Diesel-electric prop. (truck engines; no buffer batt.)	10%	n.a.	2	7	fin.support
x				Hybrid prop. (diesel [or gas]-electric + buffer batt.)	10%	n.a.	1	7	fin.support
x				Improved propeller systems	30%	5	3	9	
x				Improved wake field	5%	n.a.	1	7	
x				Pre Swirl stator	5%	n.a.	3	5	
x				Applying nozzle	25%	n.a.	2	8	
x				Propelling bow thruster	0%	n.a.	3	8	
x				Multiple propeller propulsion	10%	n.a.	2	4	
x			Hydro-dynamics	Apply air lubrication	10%	n.a.	2	6	
x				Apply wake field separation plate	25%	n.a.	3	8	
x				Apply adjustable tunnel apron	10%	4	2	6	
x				Apply coupling point optimisation	20%	5	2	7	
x				Optimise hull dimension and form	15%	n.a.	3	8	
x				Nozzle strut removal	5%	11	2	8	
x				Remove flanking rudders	7%	4	3	8	
x				Alternative rudder concepts	4%	25	2	7	
x				Improved aft-ship gondolas	3%	25	3	7	
x				Coatings	0%	n.a.	1	9	
x				Bow thruster valve	5%	n.a.	3	7	
x				Adjustable bulbous bow	0%	n.a.	3	3	
x			Aux. systems	Use waste heat energy recovery	5%	25	2	4	
x			Emission reduction; standardised solutions	Apply SCR (selective catalytic reduction) (NOx red.)	95%	n.a.	1	7	reg. & fin.support
x				Use emulsified fuels (PM reduction)	80%	n.a.	1	7	reg. & fin.support
x				Apply diesel particulate filters (DPF) (PM reduction)	96%	n.a.	1	7	reg. & fin.support
x				Combine SCR and DPF (PM reduction)	96%	n.a.	1	7	reg. & fin.support
x			Ship structures & weight	ADN double steel hull	0%	7	3	9	
x				λ-shaped steel double hull	0%	8	3	8	
x				Steel-Foam-Steel double hull	0%	10	3	4	
x				Lengthening with composite mat. (instead of steel)	1%	5	2	3	overcapacity
x				Reduce vessel weight	5%	n.a.	3	4	
x	x	Ship-operational	Sailing behaviour	Smart and energy-eff.nav.	10%	n.a.	1	5	
x	x			Optimise trim and heel	5%	n.a.	1	8	
x			Maintenance	Clean underwater bodies/ hull/ ballast/ bilges	5%	n.a.	3	8	
x				Clean and undamaged propellers	10%	n.a.	3	9	
	x	Education & Qualification		Mobile Learning		n.a.	1	5	
	x			Simulator training (related to energy eff. nav.)	10%	n.a.	1	5	
	x			Integration of IWT into logistics education	t.b.d.	n.a.	1	5	
	x	Logistics		Organise downstream navigation in formations	10%	n.a.	3		
				Best practices in collaboration (e.g. hub & spoke)	16%	n.a.	2	9	
				Gain sharing models (increased payload)	15%	n.a.	2	8	
				Collaborative planning (red. of empty km)	15%	n.a.	2	9	
	x			Info exch.syst. betw. operators (red. of empty km)	5%	n.a.	3	8	
	x			Innov. transpim. & transp. systems & load units	10%	n.a.	3	2	
x	x			New log. concepts incl. vessels & ports (Q-barge)	10%	n.a.	2	4	

Bron: Holtman et al. (2016), gebaseerd op PLATINA I rapport 'Technical support for an impact assessment on greening the inland fleet' (via donau et al, 2013) met aanpassingen gebaseerd op Move It, deliverable 1.1 (TNO, 2012), Move It Guidelines, deliverable 9.1 (DST, SPB et al, 2014) en interne expertenkennis.

02.18. CO₂-emissiereductie spoorvervoer

Korte beschrijving :

In deze fiche worden de verschillende technische en operationele mogelijkheden om tot CO₂-emissiereductie in het spoorvervoer te komen besproken. In de TTW analyse van de roadmap wordt elektrisch spoorvervoer als zero-emissie gerekend (vanuit een WTW perspectief zou dit impliceren dat de elektriciteit op duurzame, hernieuwbare wijze geproduceerd wordt). Aangezien het vanuit duurzaamheidsperspectief aangewezen is om zowel voor elektrische- als dieseltractie zo energiezuinig mogelijk te werken, worden ook algemenere maatregelen om energie-efficiëntie in het spoorvervoer te verbeteren besproken. In het kader van een roadmap naar CO₂-emissiereductie in vrachtvervoer vanuit TTW-perspectief zijn evenwel vooral de maatregelen relevant waarbij de focus ligt op het verminderen van het aandeel dieseltractie (of het verhogen van het aandeel elektrische tractie) en het verminderen van CO₂-uitstoot van het overblijvende dieselgedeelte. Het op zich realiseren van een modale verschuiving van wegvervoer richting spoorvervoer wordt besproken in andere fiches (zie oa fiche "Multimodale infrastructuur" en "Multimodale subsidies"). Elementen die in deze fiche besproken worden kunnen evenwel ook een verdere impact hebben op de aantrekkelijkheid van spoorvervoer als transportmodus (zowel op economisch, sociaal als milieuvlak) en kunnen op die wijze ook bijdragen aan het realiseren van een modale verschuiving.

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Niet doorgerekend in TRABAM en SVRM. Het reductiepotentieel van de besproken opties wordt ingeschat op basis van de beschikbare wetenschappelijke literatuur.

- **Vertaling naar Voorkeurscenario:** Het besparingspotentieel wordt conservatief meegenomen in het voorkeurscenario vanwege de relatief grote onzekerheid met betrekking tot de marktintroductie van een aantal van de vermelde technologische en operationele opties en de mate waarin dieseltractie verder afgebouwd kan worden. In het voorkeurscenario wordt verondersteld dat het aandeel van dieseltractie tegen 2030 daalt van 24% naar 19%. De emissiefactor voor spoorvervoer met dieselmotoren wordt verondersteld met 4,71% te dalen tussen 2008 en 2030.

Inleiding

Ondanks dat de markten voor goederenvervoer per spoor binnen de EU al een aantal jaren open zijn, is het modale aandeel van het goederenvervoer per spoor in het afgelopen decennium gedaald. De stagnatie van de sector kan deels worden verklaard door het bestaan van juridische belemmeringen die de concurrentie beperken (bijvoorbeeld m.b.t. spoortoegang, belastingen, enz.), maar ook door problemen van operationele en technische aard die van invloed zijn op de algehele capaciteit en prestaties van de sector. Het concurrentievermogen en de betrouwbaarheid van goederenvervoersdiensten moeten dus aanzienlijk verbeteren, wil de sector tegemoetkomen aan de ambitieuze doelstellingen van het Witboek Vervoer met betrekking tot de ontwikkeling van het goederenvervoer per spoor.¹⁵⁰

In de volgende secties worden de verschillende mogelijke maatregelen besproken om spoorvervoer (energie)efficiënter te maken, gaande van de introductie van innovatieve tractietechnologieën, componenten en lay-outs tot de ontwikkeling van strategieën voor rollend materieel, exploitatie en infrastructuurbeheer. Een aantal maatregelen focussen niet rechtstreeks op emissiereductie maar bijvoorbeeld op operationele efficiëntieverbeteringen welke indirect ook leiden tot verminderd energie- of dieselverbruik, en dus ook lagere CO₂-emissies. Daarnaast is een belangrijke uitdaging bij het optimaliseren van vrachtvervoer per spoor dat het spoor netwerk gedeeld wordt met het passagiersvervoer. Daarbij krijgt het passagiersvervoer doorgaans prioriteit, wat maakt dat maatregelen die het passagiersvervoer per spoor verbeteren/optimaliseren vaak ook indirect het vrachtvervoer ten goede komen vanwege de verbeterde doorstroming. In de bespreking van de maatregelen focussen we hoofdzakelijk op de impact van de maatregelen op het vrachtvervoer, maar tal van maatregelen zullen voor beide vormen van spoorvervoer toepasselijk zijn.

Alvorens de belangrijkste opties te bespreken, is het belangrijk te beklemtonen dat er generieke barrières bestaan voor de introductie van nieuwe technologische en organisatorische opties in de spoorwegsector. Anders dan bij weg- of watertransport is de spoorwegsector veeleer een onderling verbonden systeem dan een aantal onafhankelijke actoren. Het realiseren van besparingen in dat systeem vereist een gedetailleerd inzicht in de interacties tussen de verschillende delen (infrastructuur, spoorwegmaatschappijen, regelgevers, verladers, enz.). De hoge complexiteit van de sector maakt nauwkeurige ramingen van het CO₂-besparingspotentieel van de verschillende opties dan ook niet evident (Hazeldine et al., 2009).

¹⁵⁰ De desbetreffende doelstellingen in het Witboek: het gebruik van goederenvervoer per spoor bijna verdubbelen ten opzichte van 2005; 30% van het vrachtvervoer over de weg van meer dan 300 km naar vervoerwijzen zoals vervoer per spoor of over het water tegen 2030 en meer dan 50% tegen 2050 (Europese Commissie, 2011).

Operationele opties voor CO₂-reductie

Energiezuinige rij- en treinregeling

Energie-inefficiënties in het spoorwegnetwerk kunnen een aantal oorzaken hebben: slechte treinregulering en bestuurderstechnieken, niet op schema rijden, onnodige snelheidsbeperkingen en suboptimale tijdsroosters. Er zijn een aantal verbeteringen mogelijk zonder de reistijden negatief te beïnvloeden.

- **Verbeterde training voor chauffeurs en rij-adviesystemen:**
 - Opleiding van chauffeurs met focus op specifieke energie-efficiënte rijtechnieken en bewustmaking van rijden op een energie-efficiënte manier (*eco-driving level 1*). Dit zou een energiebesparing van 3 tot 6% kunnen opleveren (Wiebe en Sandor, 2010).
 - Machinisten-adviesystemen: nieuwe systemen die informatie gerelateerd aan de rijtechnieken koppelen aan kennis van de vereiste dienstregeling om de bestuurders te adviseren over waar vermogen kan worden verminderd zonder de reistijd te beïnvloeden (*eco-driving level 2*) (Wiebe en Sandor, 2010). In theorie zou dit met een rijtijdsparing van 5% kunnen leiden tot extra energiebesparingen van 10%. In de context van energiezuinig rijden en energiezuinig plannen bestaan er modellen die zowel de tijd-optimale als de energie-optimale rijstrategie kunnen bepalen (Scheepmaker & Goverde, 2015).
- **Wijzigingen in snelheidsbeperkingen:** Als snelheidsbeperkingen onnodig worden opgelegd, resulteert dit in extra energieverbruik vanwege het gedwongen afremmen en opnieuw versnellen. Versnellen verbruikt immers veel meer energie dan rijden met een bepaalde constante snelheid.¹⁵¹
- **Roostering:** Treinpaden¹⁵² zouden maximaal de implementatie van energie-efficiënte rijstrategieën moeten toelaten. Treinoperators kunnen zo bijvoorbeeld energieverliezen die worden veroorzaakt door ongeplande stops en dus onnodig afremmen en optrekken zoveel mogelijk vermijden binnen de hen toegewezen treinpaden. Daarbij moet rekening gehouden worden met concurrerende behoeften van verschillende servicetypes (groepage, gedeeltelijke of volledige wagonladingen, bloktreinen) en de door de klant gewenste reistijden (de treinpaden moeten immers toelaten om de vereiste service levels te bereiken).

¹⁵¹ Vooral bij dieseltractie is dit het geval, bij elektrische treinen op geëlektrificeerde lijnen zal een deel van de remenergie via regeneratief remmen eventueel terug naar het net kunnen vloeien. Bij regeneratief remmen werkt de elektrische motor van de trein als generator en kan de kinetische energie van het voertuig terug-gewonnen en omgezet worden in elektriciteit. Dit vereist wel dat de wagons recuperatiepotentieel moeten hebben. Voor nieuw materieel is dat standaard het geval maar voor oudere wagons is dat niet altijd het geval. Als deze gerecupereerde elektriciteit niet binnen de trein gebruikt kan worden voor bijvoorbeeld verlichting of airco, en de stroom ook niet gebruikt kan worden om een trein in de buurt van tractie energie te voorzien, dan zou de stroom teruggeleverd kunnen worden aan het openbaar net. Eventuele stroom die 'over' is op het netwerk van bovenleidingen kan wel enkel terug geleverd worden aan het openbaar netwerk via een terugvoedend onderstation (van Wijngaarden et al., 2017). Zie ook verder in deze fiche.

¹⁵² Een dienstregelingspad of treinpad is het recht dat een spoorwegonderneming op het spoorwegnet nodig heeft om een trein over een traject te kunnen laten rijden.

Betere monitoring van brandstof/energie verbruik

Door betere monitoring van energieverbruik van afzonderlijke treinen, zowel tijdens als buiten gebruik, kan men gebieden waar verbetering mogelijk is identificeren (Wiebe & Sandor, 2010). Door het toezicht op het verbruik van voertuigen kunnen ook slechtwerkende voertuigen worden geïdentificeerd waar het energieverbruik om een of andere reden hoger is dan verwacht. Energieverbruik van afzonderlijke treinen op elektrische tractie accuraat meten is niet evident, maar de meeste moderne tractiesystemen kunnen wel bepaalde cijfers uit het tractiepakket leveren. Elektriciteitsmeters op elektrische treinen plaatsen is een optie, maar de kosten en tijd om geschikte apparatuur te installeren zijn echter aanzienlijk (Kampman et al., 2016). Voor dieseltreinen zou een nauwkeurige registratie van de getankte hoeveelheid diesel nuttige informatie per voertuig kunnen opleveren. Sommige exploitanten registreren brandstof per eenheidsnummer, maar de integriteit van deze gegevens wordt over het algemeen als twijfelachtig beschouwd (Kampman et al., 2009). Standaardisatie in monitoring is hierbij belangrijk om vergelijkbaarheid van data te garanderen.

Vermindering van stationair draaien dieselmotor

Naast de installatie van een relatief eenvoudig start-stop systeem om het stationair draaien van de motor tot een minimum te beperken, bestaan ook volgende opties om stationair draaien te verkorten (Kampman et al., 2009, Wiebe en Sandor, 2010):

- Intelligente software die identificeert wanneer de motor opnieuw moet worden opgestart en die duur van de werking opvolgt.
- Diagrammen (dienstregelingen) herprogrammeren om lange omslagen te vermijden (bijvoorbeeld tragere reistijden inplannen zodat aankomsttijd aansluit op de volgende geplande vertrektijd zodat stationair draaien geminimaliseerd wordt).
- Grote motorkoelvloeistof- en oliesystemen warm en op bedrijfstemperatuur houden door aparte systemen te gebruiken met behulp van intelligente software.
- Koelvloeistofsystemen aanpassen om de kans op lekkage bij koeling te verminderen, zodat dieselmotoren kunnen worden uitgeschakeld zonder kans op schade.

Geavanceerde verkeersmanagement en controlesystemen

Bestaande besturings-, commando- en communicatiesystemen zijn vooral gericht op het verbeteren van de besturing en veiligheid van treinoperaties, maar hebben potentieel om in de toekomst naar een flexibel, real-time, intelligent systeem voor verkeersbeheer en beslissingsondersteuning te evolueren. Zo is het European Rail Traffic Management System (ERTMS) wereldwijd de dominante oplossing geworden voor spoorwegsignalering en -controlesystemen, maar heeft het systeem potentieel om meer functionaliteiten te bieden. De huidige systemen maken immers onvoldoende gebruik van nieuwe technologieën en werkwijzen, zoals het gebruik van technologieën voor plaatsbepaling per satelliet, snelle gegevens- en spraakcommunicatiesystemen met hoge capaciteit (Wi-Fi, 4G/LTE) en automatisering, evenals innovatieve *real-time* gegevensverzameling, -verwerking en communicatiesystemen. Deze systemen kunnen het verkeersbeheer aanzienlijk verbeteren (inclusief voorspellende en adaptieve operationele controle van treinbewegingen), wat kan resulteren in een verbeterde capaciteit, verminderd tractie-energieverbruik en lagere CO₂-emissies, lagere operationele kosten, verbeterde veiligheid en beveiliging en betere klantinformatie. Deze technologie maakt energie-efficiënt verkeersmanagement mogelijk (*eco-driving level 3*), welke een vermindering van het energieverbruik tussen de 10 en 20% zou kunnen opleveren (Wiebe & Sandor, 2010).

Het Shift2Rail programma¹⁵³ ondersteunt de snelle en brede inzet van geavanceerde verkeersbeheersings- en controlesystemen door:

- aanbieden van verbeterde functionaliteiten en gestandaardiseerde interfaces op basis van gemeenschappelijke operationele concepten;
- vergemakkelijken van migratie van legacy-systemen¹⁵⁴;
- verlagen van de algehele kosten met als doel het spoorstelsel aan te passen aan de behoeften van de verschillende spoorsegmenten en
- faciliteren van een multimodaal slim transportsysteem.

Aspecten die hierbij onderzocht worden hebben betrekking op o.a. slimme, faalbestendige communicatie- en positioneringssystemen; evolutie van verkeersmanagement; automatisering; (blok)treinintegriteit; slim aanbesteden en testen; virtuele koppeling en cyberbeveiliging.

¹⁵³ Shift2Rail heeft als doel binnen de thematische groep van EU-agentschappen en -organen die EU-bedrijven en innovatie ondersteunen bij te dragen tot slimme en duurzame groei via acties ter bevordering van onderzoek en innovatie in de spoorwegsector. Het doel van Shift2Rail is om een Single European Railway Area (SERA) te realiseren; de aantrekkelijkheid en het concurrentievermogen van het Europese spoorwegsysteem te vergroten en zodoende een modal shift van wegen naar een duurzamere vervoerswijze zoals het spoor te realiseren; en om het leiderschap van de Europese spoorwegindustrie op de wereldmarkt te behouden. < <https://shift2rail.org> >

¹⁵⁴ Met legacy-systemen worden systemen bedoeld die qua functionaliteit niet meer voldoen aan de huidige eisen van een organisatie, maar welke nog steeds worden gebruikt, bijvoorbeeld vanwege de bedrijfskritische processen die op deze systemen draaien. Legacy-systemen zijn vaak traag, gebruiksonvriendelijk, niet uitbreidbaar en lastig in onderhoud, maar omdat de basisprocessen binnen de organisatie door deze systemen ondersteund worden, is het vaak moeilijk om over te stappen van het legacy-systeem op een geheel nieuw systeem. Aangezien de spoorwegen geconfronteerd worden met tal van legacy-systemen is een vlotte migratie van deze systemen naar nieuwe geavanceerde verkeersbeheersings- en controlesystemen cruciaal.

¹⁵⁵ Het grote voordeel van het gebruik van gelijkspanning is historisch de relatieve eenvoud van de tractie-installatie aan boord van het railvoertuig: gelijkspanning kan vrijwel direct aan geschikte elektromotoren worden gevoed. Daar staat tegenover dat langs de baan gelijkrichtinstallaties nodig zijn om de door het hoogspanningsnet geleverde wisselspanning om te zetten in een bruikbare gelijkspanning. Ook is de gelijkspanning niet simpel omlaag te transformeren aan boord van het voertuig, zodat geen hoge spanningen op de bovenleiding gebruikt kunnen worden. De hoogste algemeen toegepaste gelijkspanning is 3 kV. (Wikipedia)

Optimaliseren van rangeeractiviteiten

Specifiek voor vrachtvervoer per spoor is het optimaliseren van rangeeractiviteiten een belangrijk aandachtspunt. Voor elke productieve treinrit is er immers een zekere rangeeractiviteit met diesellocomotieven nodig. TML (2007) becijferde op basis van gedetailleerd brandstofverbruik van rangeerlocomotieven voor 2005 dat er 8.8% extra energieverbruik nodig is voor rangeeractiviteit. Dit energieverbruik is volledig toe te wijzen aan diesellocomotieven. Het optimaliseren van rangeeractiviteiten resulteert dus ook in verminderd dieselverbruik en gerelateerde emissies. Dit optimalisatiepotentieel wordt in Vlaanderen evenwel relatief beperkt ingeschat (Lineas, 2018).

Technische opties voor CO₂-reductie

De spoorwegsector heeft een aantal specifieke kenmerken in vergelijking met de andere vervoerswijzen. Er zijn bijvoorbeeld honderden «klassen» railvoertuigen (waaronder passagiers- en vrachtlcomotieven, dieselmotoren met meerdere eenheden, elektrische meervoudige eenheden en rangeervoertuigen) in gebruik in heel Europa. Deze eenheden hebben een breed scala aan specificaties en werken op een verscheidenheid aan netwerken (wisselstroom, gelijkstroom, alleen diesel, lightrail, hogesnelheidstrein, enz.), waarvan vele incompatibel zijn en opgewaardeerd werden met specifieke nieuwe infrastructuur (bijv. signaalapparatuur) op verschillende niveaus (Hazeldine et al., 2009)

Bovendien hebben spoorvoertuigen doorgaans een levensduur van 25-35 jaar, waardoor er beperkte mogelijkheden zijn om de emissieprestaties te verbeteren, met name in het geval van dieselmotoren. Dit leidt bij operatoren tot een voorzichtige aanpak bij het aanschaffen van railvoertuigen, aangezien de effecten van nieuwe technologieën die slecht presteren tientallen jaren voelbaar zullen zijn. Introductie van technologische vernieuwing in de vloot is dus niet evident.

In de stroomvoorziening van spoorwegen kan er gelijkspanning of wisselspanning toegepast worden. In België werd er gekozen voor een bovenleidingspanning van 3000 Volt gelijkspanning (DC)¹⁵⁵, behalve op enkele lijnen zoals de HST-lijnen (25,000 Volt wisselspanning op industriële frequentie 50Hz)

Massa reductie

De massa van treinen is een bepalend factor is voor het energieverbruik. Van Himbergen et al. (2012) identificeren massa samen met stroomlijning dan ook als de parameters met de grootste potentie op het verminderen van het energieverbruik tijdens het rijden. Er bestaan twee opties om massa te reduceren:

- Op componenten gebaseerd lichtgewicht ontwerp: lichter maken van specifieke componenten zonder fundamentele wijzigingen aan de treinconfiguratie
- Systeemgebaseerd lichtgewicht ontwerp: het hele treinsysteem opnieuw ontwerpen en optimaliseren voor gewicht.

Van Himbergen et al. (2012) geven voor een cijfervoorbeeld in Nederland aan dat indien het gewicht van een goederentrein met een locomotief van 88 ton en een aanhanglast van 1000 ton in totaal 100 ton lager is dat er dan ruim 8% aan tractie-energie bespaard wordt. Hazeldine et al. (2009) geven daarentegen aan dat een 10% gewichtsvermindering resulteert in een lagere daling in energieverbruik tussen de 1,2% en 7,5%, en stellen bovendien dat er een stijging komt in de asbelasting voor zwaar en conventioneel vrachtvervoer per spoor van respectievelijk 25 naar 35 ton en 22,5 naar 25 ton. Dit zou het gebruik van lichte materialen bemoeilijken. Daarnaast zijn lichtgewicht materialen doorgaans duurder in aankoop (bijvoorbeeld aluminium versus staal).

Regeneratief remmen

Moderne treinen hebben de mogelijkheid tot regeneratief remmen, waarbij tijdens het remmen energie (elektriciteit) wordt opgewekt door de tractie-installatie en deze energie hergebruikt kan worden ofwel door de trein zelf (als aanvulling op de hoofdtractietoever tijdens acceleratie), ofwel door omliggende treinen via de teruglevering van elektriciteit aan de bovenleiding, ofwel in sommige gevallen door terug te sturen naar het elektriciteitsdistributienetwerk. Zowel puur elektrische als diesel-elektrische treinen kunnen regeneratief remmen toepassen.

Deze techniek is reeds toepasbaar maar zou verder uitgerold kunnen worden. De mate waarin regeneratief remmen kan worden toegepast, hangt evenwel af van een reeks lokale factoren, zoals vanzelfsprekend het aandeel van locomotieven of krachtenheden die zijn uitgerust met regeneratieve remsystemen. Compatibiliteit met bestaande apparatuur en infrastructuur kan ook problematisch zijn. Een belangrijke factor bij elektrische treinen is immers het type elektrische tractie is (wisselstroom of gelijkstroom). Bij wisselstroom kan geregenereerde elektriciteit relatief gemakkelijk worden teruggekoppeld naar het nationale elektriciteitsnetwerk aangezien deze werken op wisselstroom. Bij gelijkstroomtractie zoals in België zal de elektriciteit echter alleen goed worden gebruikt als er voldoende verkeer op het spoorwegnet is. Anders zal deze energie worden omgezet in warmte (via weerstanden aan boord van de trein).

Terwijl in theorie gelijkstroom-elektriciteit zou kunnen worden opgeslagen of geconverteerd (d.w.z. omgezet in wisselstroom) en teruggevoerd naar het net, zou dit wisselstroom-elektriciteitsopslag op de trein/baanapparatuur of aanzienlijke investering in onderstations vereisen. Ruimtebeperkingen zowel op treinen als langs het rijpad moeten ook op lokaal niveau worden overwogen voordat regeneratief remmen ruim kan worden uitgerold.

De spoorwegindustrie moet nog een consensus bereiken over wat het beste met elektriciteit te doen is: aan boord opslaan, in baanapparatuur opslaan of terug in het net voeren. Deze elementen van regeneratieve remsystemen vereisen nog enige ontwikkeling en verfijning. Hierbij kunnen verschillende oplossingen naar voren komen voor verschillende omstandigheden, wat contraproductief zou kunnen zijn in termen van het bereiken van schaalvoordelen. Spoorweg operatoren onderkennen het potentieel van regeneratief remmen op vlak van energie- en kostenbesparing, maar implementatie vereist gecoördineerde actie en investeringen door de betrokken stakeholders.

Ervan uitgaande dat aan alle noodzakelijke voorwaarden is voldaan, schatte Rail Forum dat regeneratief remmen het energieverbruik met ten minste 10%-15% kan verminderen wanneer de elektriciteit terug in het net kan gevoerd worden. Bij opslag op de trein of in baanapparatuur zou de besparing beperkt zijn tot 6% (Hazeldine et al., 2009).¹⁵⁶

Daar vrachtvervoer per spoor minder onderhevig is aan tussenstops, zou regeneratief remmen hier mogelijk niet zoveel energie terug in het systeem brengen. Maar door brede uitrol in het spoorsysteem zou een deel van de gerecupereerde energie door passagierstreinen ook ten goede kunnen komen aan vrachtvervoer met elektrische tractie.

Aerodynamica en wrijving

Door de aerodynamica van een trein te verbeteren, kan de luchtweerstand tijdens het rijden worden verminderd. Dit heeft een directe invloed op het energieverbruik en dus de CO₂-emissies, omdat een verminderde luchtweerstand betekent dat minder tractie nodig is om met een bepaalde snelheid te rijden. Belangrijk hierbij is voor goederenwagens de keuze voor gesloten of open wagens. Bij open wagens blijkt een gevulde wagen ook enigszins gesloten). Uit Duitse studies vermeld door Van Himbergen et al. (2012) blijkt dat ten gevolge van de aerodynamica een locomotief die lege wagens trekt soms zelfs meer energie verbruikt dan een locomotief die een zware last trekt. Het afdekken van open wagens of het samenstellen van een aerodynamisch geoptimaliseerde trein kan in bepaalde situaties tot 10% besparing opleveren. Zo geven Van Himbergen et al. (2012) op basis van een Nederlands cijfervoorbeeld aan dat een 10% lagere treinweerstand resulteert in een daling van het tractie-energieverbruik van ruim 11%.

Daarnaast verspilt wrijving tussen de wielen en het spoor tractiecapaciteit door energie om te zetten in warmte in plaats van het te gebruiken om de trein vooruit te laten gaan. Smering van het spoor kan worden gebruikt om overmatige wrijving te bestrijden.

¹⁵⁶ Deze energiebesparing levert geen rechtstreekse TTW CO₂-emissiebesparing op, maar kan wel emissiebesparingen realiseren in het WTT-ge-deelte of de vereiste hoeveelheid hernieuwbare elektrische energie reduceren.

Intelligente motorregeling

Aangezien sommige motoren niet efficiënt werken bij lage belastingen is er potentieel om motoren op meermotorige treinen selectief uit te schakelen terwijl de trein in bedrijf is. Motoren kunnen worden uitgeschakeld en opnieuw worden gestart volgens het treingebruik, met *shut-downs* tijdens lange perioden van uitrollen, heuvelafwaarts rijden, stilstaan bij signalen of in stations. Het hele proces kan worden bestuurd door intelligente software, geprogrammeerd om perioden van lage vraag te identificeren en de stroomtoevoer naar behoefte te beheren door motoren te starten en uit te schakelen (Kampman et al., 2009; Scheepmaker & Goverde, 2015).

Phase out diesel-only treinen

Elektrificatie netwerk

Om het gebruik van dieseltreinen te verminderen, lijkt de meest aangewezen optie om het netwerk verder te elektrificeren. Volledig elektrisch aangedreven treinen die op het vaste geëlektrificeerde netwerk rijden zijn de meest efficiënte, kosteneffectieve en milieuvriendelijke optie. Een reden hiervoor is dat, in tegenstelling tot zelfrijdende voertuigen, elektrische tractie de enorme hoeveelheid opgewekte energie tijdens het remmen kan absorberen (regeneratief remmen) en terug in het net kan sturen. De hoge initiële kapitaalkost van elektrificatie maakt wel dat deze optie enkel geschikt is voor drukbereden routes. In België is dit potentieel daarom relatief beperkt door de reeds hoge graad van elektrificatie (zo is ook de veelgebruikte Montzenroute sinds 2008 volledig geëlektrificeerd).¹⁵⁷ In de haven van Antwerpen zou er nog wel potentieel zijn om de belangrijkste aankomstbundels te elektrificeren. Het optimaal gebruik maken van geëlektrificeerde sporen voor vrachtvervoer hangt, rekening houdende met de beschikbare spoorcapaciteit, ook af van het slim afstemmen van het spoorinfrastructuurbeheer op de transportnoden van de verschillende spoorwegondernemingen.

Wanneer elektrificatie of rijden op geëlektrificeerde lijnen niet haalbaar is, zijn er voor het rijden op de niet-geëlektrificeerde lijnen, naast het verbeteren van de energie-efficiëntie van bestaande diesellocomotieven via bijvoorbeeld de toepassing van injectietechnologie of de vervanging van bestaande verlichting door led-verlichting, ook een aantal opties om pure dieseltreinen te vervangen, welke hieronder besproken worden.

Bi-modus treinen

Bi-modus treinen zijn ontworpen om te werken op zowel geëlektrificeerde lijnen als niet-geëlektrificeerde lijnen. Ze kunnen schakelen tussen elektrisch aangedreven modus en een dieselmotor aan boord. Hoewel dit flexibiliteit biedt, stoot

de deze bi-modus trein verhoogde emissies uit bij gebruik in dieselmodus, heeft het hogere brandstof-, kapitaal- en onderhoudskosten dan pure elektrische treinen en is hij minder krachtig in dieselmodus (8,6 kW/ton) in vergelijking met elektrische modus (11,2 kW/ton). Bi-modus treinen bieden een oplossing voor niet-geëlektrificeerde lijnen en verminderen de nood om te investeren in elektrificatie, maar bieden niet de vereiste prestaties of de meest efficiënte of milieuvriendelijke oplossing. (Baxter, 2018)

Batterij treinen

Op batterijen werkende treinen stoten zero emissies uit op het moment van gebruik. De energiedichtheid van batterijen (2,63 MJ/liter voor een lithium-ionbatterij) is echter minder dan een tiende diesel (35,8 MJ/liter). Bovendien hebben batterijen, in tegenstelling tot dieseltreinen, een lange oplaadtijd, een beperkt bereik en een belangrijke ecologische voetafdruk. Om deze reden zijn op batterijen werkende treinen in hoofdzaak geschikt voor trips van een elektrische leiding naar een korte niet-geëlektrificeerde tak. (Baxter, 2018)

Waterstoffrein

Waterstofftreinen worden op dezelfde manier als elektrische treinen aangedreven, maar gebruiken een brandstofcel die de elektriciteit uit waterstof levert. Waterstof biedt het voordeel van snel tanken. Een belangrijk verschil tussen de brandstofcel en de conventionele elektrische trein is dat treinen met brandstofcellen minder efficiënt zijn als het op spoortractie aankomt. Ze zijn vergelijkbaar met dieseltreinen (efficiëntie van ongeveer 30%). De tractie-energie-efficiëntie hangt af van een aantal factoren, zoals luchtweerstand, inertie en efficiëntieverliezen.

De productie van waterstof als energievector is hier een cruciaal element. Het gebruik van overvloedige hernieuwbare energiebronnen of nucleair materiaal om waterstof te genereren door middel van de elektrolyse van water, het net in balans te brengen en transportbrandstoffen te leveren, is volop onderwerp van onderzoek. Onderzoek en ontwikkeling ter verbetering van de efficiëntie van elektrolyse zijn daarbij nog steeds vereist om dit een realistische en groene optie te maken (zie ook fiche "Waterstof"). Net als batterij-aangedreven treinen heeft waterstof een lage energiedichtheid (2,7 MJ/liter bij compressie bij 350 bar) vergeleken met diesel. Een waterstof/batterij-hybride trein overwint deze beperking door zowel batterijen als waterstof te gebruiken voor de acceleratieversnelling en gebruikt de brandstofcel om de tractiebatterijen volledig van stroom te voorzien. Op deze manier heeft deze trein dezelfde prestaties en bereik als een passagiersdiesel met meerdere eenheden. Met zijn lage energiedichtheid is het echter onwaarschijnlijk dat waterstof hetzelfde vermogen kan leveren als elektrische treinen. (Baxter, 2018).

¹⁵⁷ Lijnen in België waarop met dieseltractie gereden wordt (status 2015), zijn (naast de sporen in de havengebieden):

- Mol – Hasselt
- Mol – Hamont
- Gent Dampoort – Eeklo
- De Pinte – Oudenaarde – Ronse
- Melle – Zottegem – Geraardsbergen
- Aalst – Burst
- Charleroi Sud – Couvin
- Bertrix – Libramont
- Libramont – Bastogne Nord (nu buiten dienst)

LNG treinen

LNG wordt vaak voorgesteld als een overgangsbrandstof om diesel te vervangen (cf. vrachtwagens en scheepvaart, zie fiche CNG/LNG) en dit kan ook in treinen. De LNG-trein wordt aangedreven met behulp van een verbrandingsmotor zoals diesel, maar gevoed door aardgas met een lagere CO₂- en deeltjesemissie dan diesel. LNG-motoren hebben ook de neiging stiller te zijn en minder trillingen te veroorzaken, waardoor de impact van een spoorlijn op de omwonenden wordt verminderd. LNG kan ook (op termijn) vervangen worden door duurzaam hernieuwbaar biogas gegenereerd uit afvalmaterialen (zie fiche "WTT analyse energiedragers pathways"). Dit biogas kan op dezelfde manier worden opgeslagen en vervoerd, maar vermindert de totale ecologische voetafdruk van treinen op gas. (Baxter, 2018)

Naast deze opties zijn ook hybride en plug-in hybride versies mogelijk. Maar zelfs met alle bovengenoemde opties, is elektrificatie van het spoorwegnet waarschijnlijk de enige manier om de emissies van treinen naar ultra-laag of zero te reduceren tijdens gebruik op drukke routes waar krachtige tractie op het spoor vereist is. Op routes met veel verkeer bieden geëlektrificeerde lijnen veel grotere emissiereducties dan het gebruik van alternatieve brandstoffen. Deze alternatieven zijn dus meer geschikt voor minder drukke routes waar elektrificatie door de hoge initiële investeringskost moeilijk realiseerbaar is. In de context van overschakelen naar alternatieve aandrijvingen dient evenwel ook opgemerkt te worden dat de leeftijd van de bestaande locomotieven daarbij een cruciale factor is. Indien een locomotiefvloot 'mid-life' is en dus nog 10 tot 15 jaar operationeel zal blijven rijden, zijn enkel ingrepen aan de bestaande diesellocomotieven een optie. Zonder financiële ondersteuning van de aanloopkosten ziet men in de praktijk evenwel ook op dit vlak niet veel initiatieven.

Conclusies:

Decarbonisatie van spoorvervoer kan gerealiseerd worden met een aantal potentiële maatregelen op verschillende domeinen. De meest optimale oplossing is elektrificatie van niet-geëlektrificeerde lijnen. Volledig elektrisch aangedreven treinen die op het vaste geëlektrificeerde netwerk rijden zijn momenteel immers de enige manier om tot ultra-lage of zero-emissie spoorvervoer te komen. Evenwel is deze investering enkel economisch haalbaar op drukbezette lijnen (wat doorgaans ook gekoppeld is aan passagiersvervoer). Daarnaast bestaan er bij spoorvervoer generieke barrières voor de introductie van nieuwe technologische en organisatorische opties daar de spoorwegsector eerder een onderling verbonden systeem is dan een verzameling onafhankelijke actoren. De hoge complexiteit door de interacties tussen de verschillende delen van het systeem (infrastructuur, spoorwegmaatschappijen, regelgevers, verladers, enz.) maakt nauwkeurige ramingen van het CO₂-besparingspotentieel van de verschillende opties dan ook niet evident. Introductie van bepaalde opties zal ook mede afhankelijk zijn van ondersteunend beleid en overheidsinvesteringen in het netwerk en rollend materiaal. Het besparingspotentieel van CO₂-emissiereductie in de sector van vrachtvervoer per spoor wordt daarom conservatief meegenomen in voorkeurscenario. In de berekening van het voorkeurscenario wordt verondersteld dat het aandeel dieseltractie tegen 2030 daalt van 24% naar 19% (door een combinatie van verdere elektrificatie, operationele optimalisatie en afbouwen van pure diesellocomotieven). Daarnaast wordt op basis van gegevens van Federaal Planbureau en VITO (2012) verondersteld dat de emissiefactor voor spoorvervoer met dieselmotoren met 4,71% daalt tussen 2008 en 2030 dankzij de verbeterde brandstofefficiëntie van de diesellocomotieven en de technologische verbeteringen die opgelegd worden door het Railenergy project (UIC, 2010)¹⁵⁸ en de Europese richtlijn 2004/26/EC¹⁵⁹.

¹⁵⁸ Wiebe en Sandor (2010) stellen in het eindrapport van het RailEnergy project dat een gemiddelde relatieve energiebesparing van meer dan 7% kan worden bereikt tussen 2008 en 2020 bij een implementatie van 25% van het programma in Europa. Het totale potentieel aan energiebesparing wordt op 20 tot 25% geraamd. Deze 4,71% lijkt dan ook een eerder conservatieve inschatting.

¹⁵⁹ <https://publications.europa.eu/nl/publication-detail/-/publication/a641762c-d655-4bde-8a6a-0719799715d6/language-nl>

Bronnen :

- Baxter (2018) Decarbonising Rail: Trains, energy and air quality
- Europese Commissie (2011) Witboek Transport - Stappenplan voor een interne Europese vervoersruimte – werken aan een concurrerend en zuinig vervoerssysteem (COM(2011) 144), Brussel
- Federaal Planbureau & Vito (2012) Working paper 11-12: De milieu-impact van de evolutie van de transportvraag tegen 2030
- Hazeldine, Pridmore, Nelissen, Huklskotte (2009) Technical Options to reduce GHG for non-Road Transport Modes (Paper 3). EU Transport GHG: Routes to 2050?, Paper 3 in kader van contract ENV.C.3/SER/2008/0053 tussen European Commission Directorate-General Environment en AEA Technology plc <www.eutransportghg2050.eu>
- Kampman, Rijke, Pridmore, Huklskotte (2009) Operational options for all modes (Paper 4). EU Transport GHG: Routes to 2050?, Paper 4 in kader van contract ENV.C.3/SER/2008/0053 tussen European Commission Directorate-General Environment en AEA Technology plc www.eutransportghg2050.eu
- Lineas (2018) Email Christine Vanoppen 28 september 2018
- Meyer, Bucknall, Breuil (2016) STRIA Roadmap "Electrification" Draft version 9.0 27 October 2016
- Scheepmaker & Goverde (2015). The interplay between energy-efficient train control and scheduled running time supplements. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 5(4), 225-239.
- TML (2007) Emissiemodel voor Spoorverkeer en Scheepvaart in Vlaanderen: EMMOSS
- UIC (2010) RailEnergy Project FP6. Diesel Rail Services – Recommendations (Presentation) <<http://www.railenergy.org>>
- Unife en CER (2016) Rail as a key to decarbonising transport. Position paper.
- Van Himbergen, Slat, van der Velde, van Slooten (Raiforum) (2012) Energieverbruik treinen, inzicht en maatregelen.
- van Wijngaarden, Hoen, Schroten, Wielders (CE Delft) (2017) Energiebesparing op het Spoor
- Wiebe & Sandor (2010) Deliverable 7.1.8: Publishable Final Activity Report / Railenergy Brochure with an overview about the project and the final results.

02.19. Kilometerheffing

Korte beschrijving :

In deze fiche wordt een aanpassing van de kilometerheffing voor vrachtvervoer besproken. Deze heffing beoogt de internalisering van externe transportkosten, waaronder naast broeikasgasemissies ook luchtvervuilende emissies, ongevallen, geluid, infrastructuurschade en congestie. De gedetailleerde analyse van de invoering van een kilometerheffing in deze fiche wordt ingegeven door het complexe karakter van deze maatregel, die een invloed heeft op verschillende aspecten gerelateerd aan het verduurzamen van de transportsector. Een kilometerheffing die gericht is op het internaliseren van externe transportkosten gaat immers verder dan enkel het aanpakken van de problematiek van de uitstoot van broeikasgasemissies. Vandaar dat er in de analyse van deze maatregel bijkomende aandacht is voor de gevolgen van de invoering van een kilometerheffing op de duurzaamheid van het transportsysteem en de gevolgen voor het mobiliteitsbeleid. Gezien de complexiteit van deze maatregel werden er dan ook meerdere scenario's doorgerekend om de effecten van de verschillende implementatiemogelijkheden te identificeren.

Een gedifferentieerde kilometerheffing¹⁶⁰ kan op verschillende niveaus een impact kan hebben op de duurzaamheid van het transportsysteem. In eerste instantie zal een gedifferentieerde heffing, indien goed gecommuniceerd, de betrokken actoren, waaronder transporteurs, bewust maken van de externe effecten die veroorzaakt worden door transport en ook inzicht geven in de manier waarop duurzamer gewerkt kan worden (hoe lager de externe kost, hoe duurzamer). De kilometerheffing kan hierbij verladers en transportoperatoren aanzetten om onnodige kilometers te vermijden (leegritten reduceren, retourladingen zoeken, ritten bundelen) om zodoende minder heffingen te betalen. Afhankelijk van de implementatiewijze kan een kilometerheffing daarnaast resulteren in meer of minder modale verschuiving. Indien de kilometerheffing enkel wordt ingevoerd voor wegvervoer zal de modale verschuiving vanzelfsprekend groter zijn dan indien de kilometerheffing ook van toepassing is op spoor en binnenvaart. Aangezien de kilometerheffing lager zal zijn voor milieuvriendelijkere voertuigen ontstaat tenslotte ook een incentive om (versneld) over te schakelen naar zero-emissievoertuigen (ZEV). Op deze wijze ondersteund de kilometerheffing de implementatie van tal van andere maatregelen die in het voorkeurscenario van de roadmap zijn opgenomen.¹⁶¹

De externe kostentarieven in de modeldoorrekeningen werden gebaseerd op de externe kostenstudie voor Vlaanderen van MIRA (Delhay et al., 2017). In een eerste reeks modeldoorrekeningen werden de volledige marginale externe transportkosten meegenomen in de berekening van de op te leggen tarieven, abstractie makende van de reeds bestaande heffingen en accijnzen (de marginale externe transportkosten komen dus bovenop de reeds bestaande kosten)¹⁶². In een volgende reeks modeldoorrekeningen werd bij de bepaling van de tarieven wel rekening gehouden met bestaande heffingen en accijnzen (dus enkel het resterende saldo van de externe kosten na aftrek van de accijnzen en heffingen wordt daar beschouwd als een niet-geïnternaliseerd deel en geheven om zo dubbelheffingen te vermijden)¹⁶³. In totaal werden zes scenario's van een kilometerheffing individueel bestudeerd (en drie scenario's in een gecombineerd voorkeurscenario).

Op basis van de verschillende modeldoorrekeningen blijkt dat een implementatie van een gedifferentieerde kilometerheffing verder onderzoek vereist om de gepaste modaliteiten en gedifferentieerde tarieven te bepalen. De invoering van een kilometerheffing die alle duurzaamheidsimpacten van het transportsysteem gelijktijdig optimaliseert en verzoent met andere doelstellingen van het mobiliteitsbeleid lijkt immers moeilijk, zonet onmogelijk. Dit wordt vooral veroorzaakt door de relatieve hoogte van de externe congestiekosten (vanwege de hoge tijdskosten toegekend aan verliesuren). Deze externe congestiekosten blijken in Vlaanderen het hoogste te zijn op de snelwegen (Delhay et al., 2017). Het toepassen van tarieven op basis van deze waarden maakt dan ook dat het vrachtvervoer zal optimaliseren naar kosten, wat resulteert in een verschuiving van een deel van de vrachtstromen naar het onderliggende wegennet met lagere congestieheffingen.¹⁶⁴

Aangezien de onderzoekers evenwel duidelijk willen beklemtonen dat de internalisering van externe transportkosten een belangrijke maatregel blijft tot verduurzaming van het transportsysteem, maar anderzijds de modeldoorrekening in het SVRM van de hier voorgestelde aangepaste internaliseringstarieven (met vermijden van verschuiving naar onderliggend wegennet) in een gecombineerd voorkeurscenario resulteert in een stijging van de CO₂-emissies, werd er voor de integratie van een kilometerheffing in het voorkeurscenario geopteerd om de huidige kilometerheffing (tarieven geldend vanaf 1/1/2018) te implementeren naar het volledige netwerk.

¹⁶⁰ Deze differentiatie tracht idealiter rekening te houden met de beïnvloedende factoren die de hoogte van de verschillende externe kostencategorieën bepalen, zoals locatie (ruraal vs urbaan, met impact op o.a. geluid, luchtvervuilende emissies, congestie, ongevallen), tijd (piek versus dal, met invloed op o.a. geluid, congestie), EURO-norm voertuig (EURO-0 tot EURO-VI, met impact op luchtvervuilende emissies), type voertuig (impact op alle categorieën), enz.

¹⁶¹ Hierbij dient wel benadrukt te worden dat het effect van overschakeling naar milieuvriendelijkere aandrijvingen niet mee opgenomen is in de modeldoorrekeningen in SVRM, maar wel in een tweede fase wordt meegenomen bij de modeldoorrekeningen in TRABAM (zie fiche "Voorkeurscenario").

¹⁶² Marginale kosten kijken naar de bijkomende kosten die veroorzaakt worden wanneer één bijkomende voertuig aan de verkeersstroom wordt toegevoegd en vormen de beste basis voor het vaststellen van internaliseringstarieven (Gibson et al., 2014).

¹⁶³ Dit werd zo opgevat om het effect van beide benaderingen te kunnen inschatten. Er bestaat immers discussie over het feit of de bestaande heffingen en accijnzen wel beschouwd kunnen worden als internalisering van externe transportkosten aangezien ze niet als dusdanig geconcipieerd zijn en de opbrengsten niet of slechts gedeeltelijk aangewend worden om het transportsysteem optimaler/duurzamer te maken.

¹⁶⁴ Indien men vlot kan rijden op de snelwegen zal de reistijd lager liggen dan wanneer men een mogelijk kortere weg over het onderliggende wegennet zou nemen. Van zodra er congestie optreedt en deze via externe kosten geïnternaliseerd wordt, zal het voor een aantal ritten interessanter worden om van de hoofdwegen uit te wijken naar het onderliggende netwerk waar de externe congestiekosten lager zijn, en al zeker wanneer deze weg korter is in afstand en/of tijd.

In deze fiche worden eerst de resultaten van de kilometerheffing besproken die in het voorkeurscenario weerhouden werd. Vervolgens worden in een tweede deel de resultaten van de afzonderlijke modeldoorrekeningen van de diverse kilometerheffing-scenario's in detail besproken. Voor een gedetailleerde technische bespreking van de verschillende modeldoorrekeningen met SVRM wordt tevens verwezen naar het rapport "Doorrekeningen roadmap vrachtvervoer met Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen" in bijlage.

Kilometerheffing voorkeurscenario

Beschrijving scenario

In het voorkeurscenario werd het huidige systeem van de kilometerheffing behouden met volgende tarieven¹⁶⁵: € 0,096 per kilometer voor lichte vrachtwagens en € 0,148 per kilometer voor zware vrachtwagens, maar nu uitgebreid naar het volledige wegennetwerk van België en Nederland (dus ook op het onderliggende wegennet in België). Voor bestelwagens is hetzelfde tarief¹⁶⁶ overgenomen als voor personenwagens, meer bepaald € 0,05 per kilometer in België. Het gaat hier dus over een kilometerheffing die enkel gedifferentieerd is naar voertuigtype, en dus niet beschouwd kan worden als een gedifferentieerde, volledige internalisering van externe kosten. Er wordt nogmaals beklemtoond dat dit laatste de voorkeur blijft genieten, maar een dergelijke implementatie vereist verder onderzoek gelet op de complexiteit van de impact op de verschillende duurzaamheidsaspecten.

Anderzijds is dit scenario alvast een realistische want haalbare variant, gelet op het feit dat deze kilometerheffing voor vrachtvervoer momenteel reeds geïmplementeerd is op de (meeste) hoofdwegen in België, en er ook in de buurlanden vergelijkbare systemen bestaan of waarschijnlijk ingevoerd zullen worden. Vandaar dat de tarieven ook in Nederland¹⁶⁷ worden toegepast. In Duitsland wordt het LKW-Maut systeem meegenomen en in Frankrijk geldt er op tal van hoofdwegen een tolsysteem.

Daarnaast werd in het voorkeurscenario ook een kilometerheffing voor personenvervoer toegevoegd, waarvan de tarieven gebaseerd zijn op de aanname in ontwerp Mobiliteitsplan Vlaanderen: € 0,25 startkost + € 0,05 per km (dus ook hier geen gedifferentieerde heffing naar tijd, locatie en milieuprestatie voertuig)

CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Door het uitbreiden van de kilometerheffing naar het onderliggende wegennet, is er op vlak van afgelegde voertuigkilometers een lichte verschuiving bij de zware vrachtwagens naar de snelwegen (zie Tabel 48 bij detailbespreking), maar de totaal afgelegde kilometers bij de zware vrachtwagens daalt hier ten opzichte van BAU, met een positief effect op de resulterende CO₂-emissies. De tarieven op het onderliggende wegennet maken ook dat de afgelegde voertuigkilometers bij de bestelwagens afnemen doordat de toegenomen kosten tot verdere optimalisatie zullen leiden. De totale CO₂-reductie van dit voorkeurscenario komt uit op -1,5%. Er wordt in het verdere verloop van de studie dan ook gewerkt met deze variant (zie fiche "Voorkeurscenario").

Effect op luchtvervuiling :

De impact op luchtvervuiling is afhankelijk van het beschouwde scenario. Bij een gedifferentieerde internalisering van externe milieukosten kan verwacht worden dat dit effect in de praktijk sterker zal spelen, omdat milieuvriendelijkere voertuigen in dat geval aan een lagere heffing onderworpen worden. Anderzijds zorgt de relatieve hoogte van de externe congestiekosten, wanneer die mee worden opgenomen, dat het prijs signaal vooral op die externaliteit zal inwerken (en de heffing dus vooral zal sturen op het vermijden van congestie).

¹⁶⁵ Voor de modeldoorrekening werden de tarieven gehanteerd die van toepassing zijn in Vlaanderen vanaf 1/1/2018. In Vlaanderen en Brussel werd op die datum een differentiëring ingevoerd van de tarieven voor Euro V en Euro VI voertuigen. Bij de tarieven voor een Euro V voertuig kwam er ook 1 eurocent bij.

<<https://www.viapass.be/nieuws/single/article/kilometerheffing-goederenvervoer-over-de-weg-de-aanpassingen-vanaf-1-januari-2018/>>. Omdat de voertuigvloot in het SVRM niet is opgedeeld naar EURO-norm en er in de tarieven bij de zware vrachtwagens ook nog een onderscheid is naar voertuigen tussen 12 en 32 ton enerzijds en >32 ton anderzijds, dient er met gewogen tarieven voor de km heffing gewerkt te worden in de modeldoorrekeningen. Deze gewogen tarieven werden hernomen uit eerdere analyses die waren uitgevoerd in het SVRM.

¹⁶⁶ In de berekeningen in het kader van het Mobiliteitsplan Vlaanderen wordt deze waarde aangenomen.

¹⁶⁷ De feitelijke invoering van de heffing in Nederland zal volgens planning in 2023 kunnen plaatsvinden.

Modale verschuiving en secundaire effecten:

- Modale verschuiving: doorgaans (licht) positieve effecten op modale verdeling (daling wegvervoer, stijging spoor en binnenvaart), maar afhankelijk van kilometerheffingsscenario en vaak verschillend indien bekeken op basis van tonnage, tonkilometer of voertuigkilometer. Zie rapport "Doorrekeningen roadmap vrachtvervoer met Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen" in bijlage voor meer details. De belangrijkste conclusies worden hieronder ook hernomen in de detailbespreking van de verschillende scenario's.
- Secundaire effecten:
 - In de scenario's met internalisering van externe kosten zonder bijsturing van de tarieven is er een zeer significante verschuiving van de vrachstromen van het hoofdwegennet naar het onderliggende wegennet, aangezien de externe congestiekosten op het hoofdwegennet hoger zijn dan op het onderliggende wegennet. Daarnaast wordt ook getracht om de afgelegde afstand te minimaliseren om de heffing zo laag mogelijk te houden, waardoor een kortere weg via onderliggend wegennet vanuit kostenperspectief interessanter wordt. Dit maakt dat in de scenario's waarbij er een bijsturing is van de tarieven om de verschuiving naar het onderliggende wegennet te vermijden, de vrachtvoertuigen geforceerd worden naar het hoofdwegennet, met langere afgelegde afstanden tot gevolg. Dit toont meteen dat er in dit scenario een spanningsveld is tussen het vermijden van verkeer op het onderliggende wegennet en het reduceren van de CO₂-emissies.

Lock-in:

Niet rechtstreeks van toepassing (maatregel op zich is technologieneutraal en er zijn reeds meerdere OBU-providers).

Toepassingsgebied:

- Stedelijk en buitengebied
- Lange en korte afstandstransport

Kosteneffectiviteit:

- Aangezien de uiteindelijke opname in het voorkeurscenario een relatief eenvoudige uitbreiding is van het bestaande systeem van kilometerheffing naar alle vrachtvoertuigen en alle wegen toe, is de ermee gerelateerde CO₂-besparing realiseerbaar tegen een zeer beperkte implementatiekost (op basis van de het reeds gebruikte OBU systeem). In een raming van Delhaye en Mayeres (2018) wordt er voor een uitbreiding van het systeem voor vrachtvervoer uitgegaan van ¹⁶⁸:

- € 30 miljoen bijkomende investeringskosten, vooral in de aankoop van bijkomende OBU's. Dit zijn kosten voor de overheid omdat de OBU gratis (mits een waarborg) beschikbaar worden gesteld. Controles op grote doorgangswegen worden impliciet voldoende geacht om de handhaving af te dekken (investeringskosten kunnen significant stijgen indien meer controleposten nodig zijn).

- € 10 miljoen per jaar bijkomende operationele kosten.

- Een meer geavanceerd systeem van volledige internalisering van externe kosten met tariefbijsturingen in kader van bredere mobiliteitsdoelstellingen vereist een hogere investeringskost in controleportalen en mobiele controles, maar net zoals bij de koolstofbijdrage levert de kilometerheffing, uitgaande van een prijsinelastische transportvraag, ook onmiddellijk ontvangsten voor de staat op. Op zich zijn de meeropbrengsten voor de overheid, abstractie makend van de vraageffecten, evenwel gelijk aan de kosten voor de consument, dus maatschappelijk neutraal. Om het maatschappelijk draagvlak te creëren worden deze ontvangsten ook hier best geïnvesteerd in het duurzamer maken van het transportsysteem. Dus deze opbrengsten zouden kunnen aangewend worden om de implementatie van andere maatregelen in het voorkeurscenario, die (in de opstartfase) subsidiemechanismen vereisen, te ondersteunen (zoals introductie van zero-emissievoertuigen).
- De verwachte tijdswinst voor vrachtwagens wordt door Delhaye en Mayeres (2018) geschat op 5,4 miljoen uur in Vlaanderen. Gerekend met een verliesuur aan € 35 betekent dit een tijdsbaat van € 189 miljoen.

Timing:

- Implementeerbaarheid: afhankelijk van aanpassing Europese richtlijnen. De Eurovignet-richtlijn blijft de referentie voor de toerekening van de infrastructuurkosten aan vervoersondernemingen. Die richtlijn is gewijzigd bij Richtlijn 2006/38/EG van 17 mei 2006 en Richtlijn 2011/76/EU van 27 september 2011. De Eurovignet-richtlijn is gebaseerd op het beginsel dat de vervuiler betaalt en op internalisering van de externe kosten van wegvervoer maar is momenteel enkel bedoeld om ervoor te zorgen dat de kosten van het gebruik van de infrastructuur door zware vrachtvoertuigen worden weerspiegeld in de heffingen. Verdere herziening voor internalisering van externe kosten wordt verwacht tegen 2021 (voor stand van zaken, zie www.europarl.europa.eu/factsheets/nl/sheet/128/wegvervoer-harmonisatie-van-de-wetgeving).

¹⁶⁸ Voor het opzetten van een kilometerheffing voor personenwagens schatten Delhaye en Mayeres (2018) uitgaande van 4,2 miljoen OBU's (inclusief OBU's voor buitenlandse voertuigen) dat de verwachte jaarlijkse kosten voor Vlaanderen neerkomen op € 353 miljoen operationele kost en € 289 miljoen afschrijvingskost, en dus een totale jaarlijkse kost van € 642 miljoen. De totale tijdswinst voor personenwagens voor het door Delhaye en Mayeres (2018) doorgerekende scenario werd geschat op 78 miljoen uur, wat een te verwachten tijdsbaat van € 823 miljoen geeft. De besparing op de ongevalskosten zou € 16 miljoen bedragen.

Voorwaarden en barrières :

- Implementatie technisch haalbaar met bestaande technologie (cf OBU's en controleportalen)
- Level playing field tussen vrachtmodi afhankelijk van gekozen scenario (enkel weg of inclusief spoor en binnenvaart)
- Level playing field met buitenland enkel indien de maatregel Europees wordt ingevoerd.
- Level playing field met personenvervoer mogelijk (afhankelijk van gekozen scenario).

Conclusies:

Gezien de relatief eenvoudige implementatie, de rechte link met luchtvervuilende emissies en andere transportexternaliteiten zoals ongevallen en congestie, het inherente "de veroorzaker betaalt" principe en het groeiende draagvlak voor een dergelijke maatregel in het streven naar een duurzamere maatschappij, wordt deze maatregel opgenomen in de basis van het voorkeurscenario. De tarieven die moeten gehanteerd worden en de wijze van implementatie zijn niet eenvoudig te bepalen. Alleszins wordt aanbevolen om verder te onderzoeken op welke basis een internalisering van externe kosten kan ingevoerd worden op een wijze die in lijn ligt met de bredere doelstellingen van een mobiliteitsplan voor Vlaanderen. Dit omdat uit de verschillende modeldoorrekeningen (zie verder bij de detailbespreking) bleek dat bepaalde effecten, zoals routekeuze en emissiereductie, hierbij tegen elkaar kunnen werken. Ook kan deze maatregel niet los gezien worden van het scenario van de koolstofbijdrage (die de internalisering van de emissies van broeikasgassen uitmaakt en dus eigenlijk ook onderdeel is van een volledige internalisering van externe kosten) en dient dit ook samen te gaan met een internalisering van de externe kosten van personenvervoer.

Detailbesprekingen scenario's kilometerheffing

Beschrijving scenario's

- De verschillende kilometerheffing-scenario's werden gemodelleerd in het Strategisch Vrachtmiddel Vlaanderen. Voor meer informatie met betrekking tot de technische details van de modeldoorrekeningen wordt verwezen naar het rapport "Doorrekeningen roadmap vrachtvervoer met Strategisch Vrachtmiddel Vlaanderen" in bijlage.
- Tarieven van de individuele scenario's zijn gebaseerd op Delhaye et al. (2017) en worden hieronder toegevoegd bij de bespreking van de resultaten.
- In de scenario's waarin een kilometerheffing voor personenvervoer werd toegevoegd, zijn de tarieven gebaseerd op de aanname in het ontwerp Mobiliteitsplan Vlaanderen: € 0,25 startkost + € 0,05 per km (dus geen gedifferentieerde heffing naar tijd, locatie en milieuprestatie voertuig)
- In het 2030 *business as usual* referentiescenario werd de huidige kilometerheffing (op de hoofdwegen) voor vrachtwagens ook opgenomen (met kleine prijsindexaanpassing van de tarieven).
- Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende kilometerheffing-scenario's.
- Congestie 1: Externe congestiekost per voertuigtype en periode (dal/piek) gedifferentieerd over netwerk (snelwegen, gewestwegen en lokale wegen) en over locatie (uurbaan, suburbaan en landelijk) met hogere waarde voor snelwegen
- Congestie 2: Externe congestiekost per voertuigtype en periode (dal/piek) uitgemiddeld over netwerk (snelwegen, gewestwegen en lokale wegen) en over locatie (uurbaan, suburbaan en landelijk)
- Congestie 3: Aanpassing tarieven om verschuiving naar onderliggend wegennet te vermijden (opbrengstneutraal): tarieven snelwegen 25% verlaagd en onderliggend wegennet 20% gestegen
- Accijnzen/heffingen: *geen internalisatie* betekent dat deze accijnzen/heffingen niet worden beschouwd als een internalisatie van externe kosten, maar als een algemene taxatie die gebruikt wordt om overheidsuitgaven te dekken. Deze heffingen worden dus niet van de externe kostentarieven afgetrokken en de volledige externe kosten komen bovenop de bestaande transportkosten.
- Accijnzen/heffingen: *wel internalisatie* betekent dat deze accijnzen/heffingen hier wel worden beschouwd als een internalisatie van externe kosten, en dus als een kostenverhoging die dient om het transportsysteem duurzamer te maken en naar een sociaal optimum te brengen. Deze accijnzen en heffingen worden dus van de externe transportkosten afgetrokken, en enkel het resterende deel van de overblijvende externe transportkosten dat overblijft na aftrek van de accijnzen/heffingen wordt toegevoegd aan de bestaande transportkosten.
- Scenario 4, scenario 8 en scenario 9: werden geïmplementeerd in runs van verschillende varianten van het gecombineerd voorkeurscenario in SVRM (en hier zijn dus geen individuele resultaten van een modeldoorrekening gekend).
- Scenario 9 is het scenario dat in het finale gecombineerde voorkeurscenario in het SVRM mee doorgekeurd werd. Hierbij gaat het om een **aanpassing van het huidige reeds bestaande systeem van kilometerheffing met volgende gehanteerde tarieven:**
 - Bestelwagens: 5 eurocent per km**
 - Lichte vrachtwagens: 9,6 eurocent per km**
 - Zware vrachtwagens: 14,8 eurocent per km**
 - Ook personenwagens worden onderworpen aan een heffing van 5 eurocent per km (+ € 0,25 startkost)
 - Voor alle wegtypes en alle periodes is hetzelfde tarief gehanteerd per voertuigcategorie. Dit tarief is ook toegepast op alle wegen in België en Nederland (naast tarieven LKW-maut in Duitsland en toltarieven op hoofdwegen in Frankrijk).

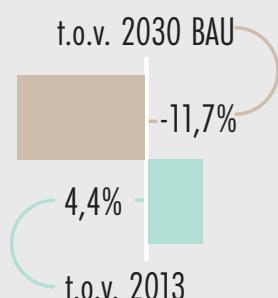
Tabel 47: Overzicht scenario's kilometerheffing

Scenario	Klimaatkost	km-heffing personen	spoor en binnenvaart	gebied	Congestie	Accijnzen / heffingen
1	inclusief	inclusief	exclusief	België	1	geen internalisatie
2	inclusief	inclusief	inclusief	België	1	geen internalisatie
3	inclusief	inclusief	exclusief	Europa	1	geen internalisatie
4	exclusief	inclusief	inclusief	Europa	2	wel internalisatie
5	exclusief	inclusief	inclusief	Europa	3	wel internalisatie
6	exclusief	inclusief	exclusief	Europa	3	wel internalisatie
7	exclusief	inclusief	exclusief	Europa	3	wel internalisatie
8	exclusief	inclusief	exclusief	België	3	wel internalisatie
9	Uitbreiding bestaande km-heffing naar alle wegen en bestelwagens					

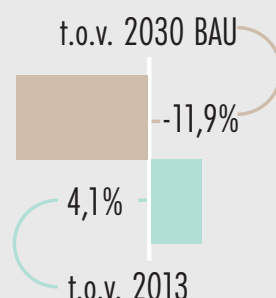
CO₂-reductiepotentieel in Vlaanderen tegen 2030:

Voor de individuele modeldoorrekeningen in SVRM werden onderstaande uiteenlopende resultaten bekomen.

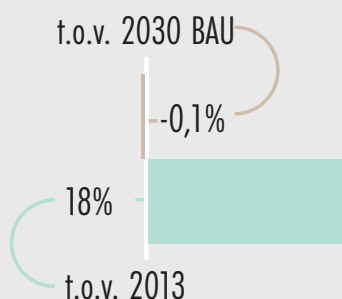
Scenario 1:



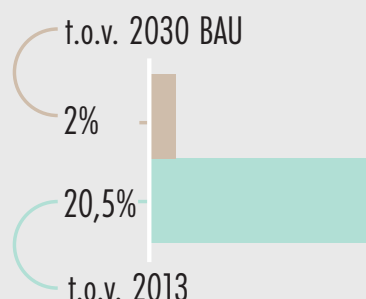
Scenario 2:



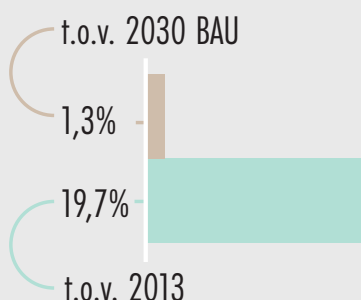
Scenario 3:



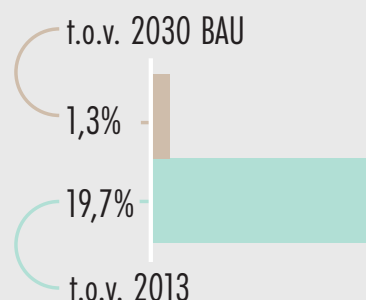
Scenario 5:



Scenario 6:



Scenario 7:



Vertaling naar Voorkeursscenario: Tariefschema's voor een gedifferentieerde kilometerheffing ter internalisering van externe kosten met aangepaste tarieven om verschuiving van vrachstromen van het hoofdwegenet naar onderliggend wegenet te vermijden (op een opbrengstneutrale wijze waarbij de opbrengsten van beide schema's gelijk bleven) bleken in SVRM een negatief effect op totale CO₂-uitstoot te veroorzaken door het omrijeffect. De kilometerheffing is in deze gedifferentieerde constellatie dus vooral gericht op het verlagen van externe congestiekosten door de dominantie van deze categorie in de hoogte van de externe transportkosten. Dit duidt erop dat het implementeren van een gedifferentieerde kilometerheffing zorgvuldig dient te gebeuren wil men geen negatieve effecten induceren op vlak van CO₂-reductie. In de kilometerheffing die uiteindelijk meegenomen wordt in het in SVRM doorgerekende voorkeursscenario werd het huidige systeem van de kilometerheffing behouden op

basis van de tarieven die gelden vanaf 1/1/2018, maar nu uitgebreid naar het volledige wegenet van België en Nederland (dus ook op het onderliggende wegenet in België). Gewogen voor de voertuigcategorieën die gebruikt worden in het SVRM komt dit neer op € 0,096 per kilometer voor lichte vrachtwagens en € 0,148 per kilometer voor zware vrachtwagens. Voor bestelwagens is hetzelfde tarief overgenomen als voor de personenwagens, meer bepaald € 0,05 per kilometer in België. Er dient wel benadrukt te worden dat de modeldoorrekening in SVRM geen rekening houdt met het omschakelen naar milieuvriendelijkere en/of CO₂-emissiearme voertuigen. Deze effecten worden pas in een volgende stap doorgerekend via de scenario's die in TRABAM gemodelleerd werden. De premisse van een ongewijzigde voertuigvloot ten opzichte van 2030 BAU betekent dat het CO₂-besparingspotentieel in deze modeldoorrekeningen als een ondergrens beschouwd kan worden.

Kilometerheffing scenario 1 tot 3

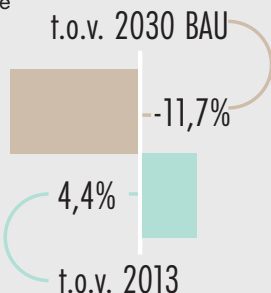
De externe kostentarieven in de eerste drie scenario's werden gebaseerd op de externe kostenstudie voor Vlaanderen van MIRA (Delhay et al., 2017). In deze eerste reeks modeldoorrekeningen werden de volledige marginale externe transportkosten meegenomen in de berekening van de op te leggen tarieven, abstractie makende van de reeds bestaande heffingen en accijnzen (de marginale externe transportkosten komen dus bovenop de reeds bestaande kosten).

Voor de berekening van de tarieven per voertuigklasse, wegtype en periode (piek en dal) diende een vertaling gemaakt te worden van de categorieën in de MIRA studie en de classificaties gehanteerd in SVRM.¹⁶⁹ De gehanteerde externe kostencijfers uit de MIRA-studie werden als achtergrondinformatie toegevoegd in bijlage.¹⁷⁰ De resulterende tarieven die werden toegepast in de modeldoorrekeningen in SVRM worden in de onderstaande tabel gegeven. (Op basis van deze tarieven werden drie scenario's doorerekend.

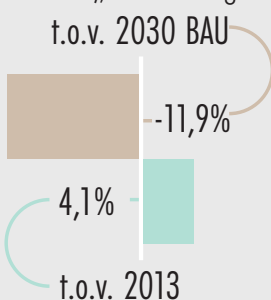
In het rapport "Doorrekeningen roadmap vrachtovervoer met Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen" worden de resultaten van deze modeldoorrekeningen besproken, zoals de modale verdeling in absolute cijfers en de modale verschuivingen. Voor meer details wordt dus naar deze bijlage verwezen, hier hernemen we de belangrijkste bevindingen. Uitgedrukt in tonnen per jaar is er enkel bij scenario 3 een reductie van 1,72% in het aandeel van wegvervoer, wat resulteert in een stijging van respectievelijk 0,74% en 0,98% voor spoor en binnenvaart. De ander twee scenario's tonen geen significante modale verschuiving uitgedrukt in tonnaages. Uitgedrukt in tonkilometers per jaar daarentegen treedt de grootste weggebruiksvermindering over al de individuele scenario's heen op bij scenario's 1 en 2 (respectievelijk -7,23% en -7,16%). De toename in tonkilometers is sterker bij binnenvaart (respectievelijk + 4,42% en + 4,34%) dan spoor (telkens +2,81%).

Uit de CO₂-berekeningen bleek het resultaat sterk verschillend te zijn naargelang de heffing enkel in België dan wel Europees werd ingevoerd:

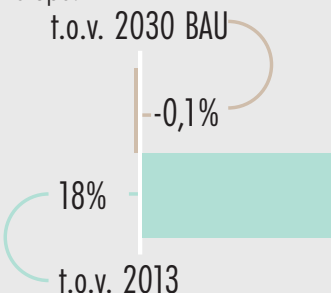
Scenario 1: kilometerheffing enkel toegepast op wegvervoer in België



Scenario 2: kilometerheffing toegepast op alle modi (weg, spoor, binnenvaart), enkel in België



Scenario 3: kilometerheffing enkel toegepast op wegvervoer, in heel Europa.



Tabel 48: Totale externe kosten zonder correctie accijnzen/heffingen

	DAL						PIEK					
€/km	snelweg		gewestweg		gemeenteweg		snelweg		gewestweg		gemeenteweg	
	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan
Bestelwagen (1-3,5 ton)	0,176	0,221	0,171	0,193	0,171	0,193	0,360	0,404	0,201	0,254	0,201	0,254
Licht (3,5-12 ton)	0,326	0,402	0,280	0,347	0,280	0,347	0,693	0,769	0,339	0,469	0,339	0,469
Zwaar (12,5-40 ton)	0,405	0,485	0,359	0,430	0,359	0,430	0,772	0,852	0,418	0,552	0,418	0,552
Binnenvaart												
Klein	2,820 (0,0 in scenario 1 en 3)											
Medium	6,645 (0,0 in scenario 1 en 3)											
Groot	10,617 (0,0 in scenario 1 en 3)											
Spoorvervoer												
Intermodaal	3,359 (0,0 in scenario 1 en 3)											
Gecombineerd												
Bloktrein												

¹⁶⁹ Zo zal bijvoorbeeld een gewogen externe kostenfactor afgeleid worden van de externe kosten voor goederentrein diesel en elektrisch op basis van de respectievelijke aandelen in de voertuigkilometers (26,43% en 73,57%) gepubliceerd bij het MIRA-rapport.

¹⁷⁰ Deze tabellen zijn terug te vinden in de Excel file die samen met het MIRA rapport (Delhay et al., 2017) werd gepubliceerd. Ook voor bepaalde detailberekeningen werden waarden uit deze Excel gehaald (zie hiervoor het aandeel in voertuigkilometers van dieseltractie en elektrische tractie voor goederenvervoer per spoor).

Wanneer de kilometerheffing alleen in België wordt ingevoerd is de CO₂-reductie veel groter dan wanneer het Europees wordt ingevoerd. Uit de analyse van de voertuigkilometers kan afgeleid worden dat het aantal voertuigkilometers voor het wegvervoer ten opzichte van het BAU scenario inderdaad veel sterker gedaald is bij scenario 1 (-10,3%) en scenario 2 (-11,3%) dan bij scenario 3 (-1,6%) (zie Tabel 3). Hieruit concluderen dat het meer aangewezen is om de kilometerheffing enkel in België/Vlaanderen in te voeren gaat evenwel voorbij aan het feit dat dit hoofdzakelijk veroorzaakt wordt door het omrijden van internationale trajecten die gaan trachten zoveel mogelijk te vermijden van door België of Vlaanderen te rijden. Hierdoor worden er minder vrachtkilometers door Vlaanderen gereden en verdwijnt de ermee samenhangende CO₂-uitstoot uit de berekening. Maar door het omrijden zullen er uiteindelijk op Europees niveau meer kilometers gereden worden en zal de globale CO₂-uitstoot verhogen. Een dergelijke implementatie zou dus alles bij mekaar geteld in eerste instantie minder duurzaam zijn op vlak van CO₂-emissies dan BAU. Op langere termijn zou dit effect kunnen verminderen, aangezien ook andere lidstaten mogelijk soortgelijke maatregelen zullen nemen, aangezien hun nationale CO₂-uitstoot plots toeneemt. Door de kilometerheffing op Europees niveau in te voeren, valt de stimulans om om te rijden weg, waardoor de voertuigkilometer door Vlaanderen opnieuw zullen stijgen, maar tot onder het BAU niveau. Er is dus nog steeds een besparing in CO₂, maar nu niet langer ten koste van een hogere uitstoot in het buitenland.

Tabel 49: voertuigkilometers voor wegvervoer (per voertuig- en wegtype), binnen vaart en spoor voor de verschillende kilometerheffing-scenario's

vkm dagelijks	Vervoerwijze/ scenario	Ref 2013	Ref 2013 BAU	KmHeffing 1 (België/enkel weg)	KmHeffing 2 (België/alle modi)	KmHeffing 3 (Europa/enkel weg)	Voorkeurscenario 1	KmHeffing 5 (Europa/alle modi/ aangepast)	KmHeffing 6 (Europa/enkel weg/ aangepast/koolstofaks alle modi)	KmHeffing 7 (Europa/enkel weg/ aangepast/koolstofaks enkel weg)	Voorkeurscenario 2	Voorkeurscenario 3
		1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km
Zware vrachtwagen	Snelwegen en complexen	11.042	13.983	11.122	11.169	12.755	12.339	14.593	14.541	14.545	14.425	14.291
	Gewestwegen	69	109	128	128	136	133	88	88	88	86	87
	Lokale wegen	10	14	16	16	17	17	14	14	14	15	14
	Gewestwegen	390	563	707	708	800	781	513	513	512	508	482
	Lokale wegen	66	106	131	132	131	128	107	107	107	104	91
	Gewestwegen	1.393	1.812	2.184	2.185	2.830	2.751	1.715	1.705	1.706	1.664	1.441
	Lokale wegen	133	198	241	240	250	241	204	203	203	20	176
	Subtotaal	13.103	16.786	14.529	14.577	16.919	16.390	17.235	17.171	17.175	17.003	16.581
	% t.o.v. BAU 2030			-13,4%	-13,2%	0,8%	-2,4%	2,7%	2,3%	2,3%	1,3%	-1,2%
		1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km
Lichte vrachtwagen	Snelwegen en complexen	3.167	3.194	2.176	2.163	2.324	2.307	3.308	3.299	3.298	3.476	3.365
	Gewestwegen	52	63	84	84	85	85	59	58	58	6	57
	Lokale wegen	9	11	13	13	13	13	11	11	12	11	10
	Gewestwegen	293	346	494	493	522	519	335	334	334	340	321
	Lokale wegen	66	87	115	115	116	115	90	90	90	92	77
	Gewestwegen	903	1.017	1.352	1.351	1.477	1.468	962	960	960	1.011	932
	Lokale wegen	132	173	216	215	230	228	175	175	175	177	151
	Subtotaal	4.622	4.891	4.449	4.433	4.769	4.735	4.940	4.927	4.927	5.168	4.913
	% t.o.v. BAU 2030			-9,0%	-9,4%	-2,5%	-3,2%	1,0%	0,7%	0,7%	5,6%	0,4%
		1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km
Bestelwagen	Snelwegen en complexen	4.739	4.669	4.439	4.215	4.211	4.093	4.621	4.433	4.432	4.118	4.197
	Gewestwegen	55	54	60	58	60	60	52	50	50	80	71
	Lokale wegen	5	5	6	5	5	5	5	5	5	6	5
	Gewestwegen	322	308	319	306	314	298	307	294	294	366	318
	Lokale wegen	65	63	71	68	69	62	59	56	56	73	62
	Gewestwegen	1.056	1.021	1.022	972	994	937	1.023	974	974	1.174	974
	Lokale wegen	129	125	143	136	137	119	116	110	110	142	122
	Subtotaal	6.370	6.245	6.060	5.759	5.790	5.574	6.182	5.922	5.921	5.959	5.750
	% t.o.v. BAU 2030			-3,0%	-7,8%	-7,3%	-10,7%	-1,0%	-5,2%	-5,2%	-4,6%	-7,9%
		1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km
Totaal weg	Snelwegen en complexen	18.948	21.846	17.737	17.546	19.290	18.739	22.522	22.273	22.275	22.019	21.853
	Gewestwegen	175	226	272	269	281	277	199	196	196	227	214
	Lokale wegen	24	30	34	34	35	35	31	31	31	31	29
	Gewestwegen	1.005	1.217	1.520	1.507	1.636	1.598	1.154	1.140	1.140	1.213	1.121
	Lokale wegen	196	256	317	314	317	305	255	252	253	270	230
	Gewestwegen	3.353	3.850	4.558	4.508	5.301	5.156	3.700	3.639	3.640	3.849	3.348
	Lokale wegen	394	496	600	591	617	589	495	488	487	520	448
	Totaal weg	24.096	27.922	25.037	24.770	27.478	26.699	28.356	28.020	28.023	28.130	27.244
	% t.o.v. BAU 2030			-10,3%	-11,3%	-1,6%	-4,4%	1,6%	0,4%	0,4%	0,7%	-2,4%
		1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km	1.000 km
Binnenvaart		16,8	25,4	25,2	25,8	27,0	32,0	26,2	26,2	26,6	28,3	28,3
	% t.o.v. BAU 2030			-0,8%	1,4%	6,1%	25,9%	2,9%	2,9%	4,8%	11,1%	11,3%
Spoor		30,2	49,0	49,0	50,2	54,4	72,0	52,4	52,3	52,3	74,7	74,4
	% t.o.v. BAU 2030			0,0%	2,4%	11,1%	47,0%	7,0%	6,9%	6,8%	52,6%	51,9%

De tabel hiernaast geeft de voertuigkilometers voor wegvervoer (opgedeeld per voertuig- en wegtypes), binnenvaart en spoor voor de verschillende kilometerheffing-scenario's, alsook voor de voorkeurscenario's (waarin andere varianten van de kilometerheffing-scenario's vervat zitten). Dit laat een verdere analyse van de effecten van de verschillende kilometerheffingvarianten toe. Hierbij valt meteen op dat voor de drie scenario's de door lichte en zware vrachtwagens afgelegde voertuigkilometers op snelwegen enerzijds sterk afnemen, en er anderzijds een sterke toename is van afgelegde voertuigkilometers op zowel urbane, suburbane en landelijke gewestwegen. Er is dus een duidelijke en sterke verschuiving van vrachttransport van het hoofdwegennet naar het onderliggende wegennet. Dit wordt verklaard door de externe congestiekosten, die het hoogste liggen op snelwegen tijdens de piek (Delhay et al., 2017). Hierdoor gaan de transporteurs trachten deze kosten te vermijden of te minimaliseren via het rijden op de gewestwegen. In de modeldoorrekening in SVRM is er op zich geen beperking voor vrachtwagens om dit te doen (tot een bepaald verzadigingsniveau bereikt is). Het verschuiven van (vooral zware) vrachtwagens van het hoofdwegennet naar het onderliggende wegennet druist vooral vanuit de optiek van verkeersveiligheid evenwel volledig in tegen het gewenste Vlaamse mobiliteitsbeleid. Een dergelijke implementatie van de kilometerheffingstarieven zonder bijsturing of flankerende maatregelen is dan ook niet opportuun. Vandaar dat er ook andere varianten van de kilometerheffing werden bestudeerd in het verdere verloop van deze studie.

Kilometerheffing scenario 4

In dit scenario werd de kilometerheffing toegevoegd aan een eerste versie van een gecombineerd voorkeurscenario. Omdat uit de voorgaande analyse was gebleken dat de gedifferentieerde externe congestiekosten een verschuiving naar het onderliggende wegennet veroorzaakten, werd in deze modeldoorrekening geopteerd om de extreme congestiekosten uit te middelen over het ganse netwerk,

Daarnaast werden in deze variant de externe kosten van CO₂-emissies uit de tarieven verwijderd, aangezien deze in het voorkeurscenario werden opgenomen via een afzonderlijke koolstofbijdrage (zie fiche "Koolstofbijdrage"). Om dubbelrekening te vermijden diende deze component uit de tarieven van de kilometerheffing afgetrokken te worden, tegen dezelfde monetaire waardering als diegene van toepassing op de koolstofbijdrage (€ 100 per ton CO₂). De tabel met de resulterende CO₂ gerelateerde externe kosten wordt weergegeven in bijlage. Tabel 4 hieronder geeft dan de resulterende tarieven van de kilometerheffing voor scenario 4 (toegepast in voorkeurscenario 1). Hierbij valt op dat de externe kosten voor zware vrachtwagens lager liggen dan deze voor lichte vrachtwagens, vanwege de relatief hogere accijnzen en heffingen in deze voertuigcategorie. Voor spoorvervoer wordt een zero-waarde gehanteerd. Het spoorvervoer heeft per tonkilometer zeer lage marginale externe kosten, met kleine waarden voor congestie, ongevallen en infrastructuur (vooral de elektrische treinen scoren goed door de zeer lage milieukosten). Rekening houdende met de infrastructuurheffing¹⁷¹ betekent dit voor goederenvervoer dat dieseltreinen een significant deel van hun externe kosten betalen, terwijl elektrische treinen zelfs te veel zouden betalen. Gemiddeld genomen wordt door het relatief grote aandeel van elektrische tractie de externe kost voor goederenvervoer per spoor zelfs negatief. In de simulaties werd daarom een nultarief gehanteerd (uitgaande van een gelijkblijvende infrastructuurheffing¹⁷²).

Voor dit scenario kunnen de effecten van de kilometerheffing evenwel niet geïsoleerd geanalyseerd worden, aangezien de maatregel gecombineerd werd toegepast met tal van andere maatregelen (zie fiche "Voorkeurscenario"). Op basis van de voertuigkilometers kan wel vastgesteld worden dat het uitmiddelen van de congestietarieven nog niet het gewenste effect heeft, en er nog steeds een verschuiving is van vrachtvervoer over de weg van het hoofdwegennet naar het onderliggende wegennet. Er is dus nog een bijkomende aanpassing noodzakelijk om dit effect te vermijden. Daarom werden er drie afzonderlijke bijkomende scenario's doorge-rekend in SVRM

Tabel 50: Externe kostentarieven scenario 4

	DAL						PIEK					
€/km	snelweg		gewestweg		gemeenteweg		snelweg		gewestweg		gemeenteweg	
	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan
Bestelwagen (1-3,5 ton)	0,069	0,113	0,097	0,113	0,097	0,113	0,198	0,242	0,226	0,242	0,226	0,242
Licht (3,5-12 ton)	0,105	0,181	0,125	0,181	0,125	0,181	0,363	0,439	0,383	0,439	0,383	0,439
Zwaar (12,5-40 ton)	0,047	0,127	0,067	0,127	0,067	0,127	0,305	0,385	0,325	0,385	0,325	0,385
Binnenvaart												
Klein	2,100											
Medium	4,227											
Groot	6,311											
Spoorvervoer												
Intermodaal												
Gecombineerd	0,0 (-0,23)											
Bloktrein												

¹⁷¹ Spooroperatoren betalen een variabele infrastructuurheffing aan de netwerkbeheerder Infrabel die afhangt van onder meer het gewicht van de trein en de locatie. Delhay et al. (2017) gaan uit van een gemiddelde heffing van € 2,5 per gereden km in 2014. Voor de overige jaren werd de algemene prijsindex genomen.

¹⁷² In een verdere verfijning zou geargumenteed kunnen worden om de infrastructuurheffing voor elektrische goederentreinen te verlagen tot het niveau van de externe kosten. Voor dieseltreinen zou er dan wel een bijkomende heffing vereist zijn om de totale externe kosten te internaliseren.

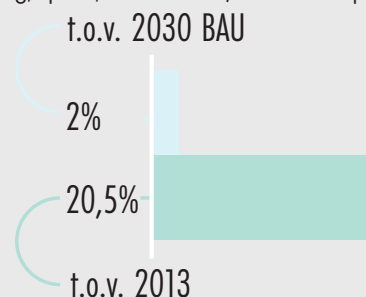
Kilometerheffing scenario 5 tot 7

In deze scenario's werden de externe kostentarieven eveneens gebaseerd op de externe kostenstudie voor Vlaanderen van MIRA (Delhay et al., 2017), met aanpassing van de CO₂-kosten die afzonderlijk via een koolstofbijdrage worden geheven en dus niet in de kilometerheffing werd opgenomen. Een eerste wijziging tegenover de eerdere tarieven in scenario 4 is dat bij de bepaling van deze tarieven wel rekening gehouden werd met bestaande heffingen en accijnzen. Deze heffingen en accijnzen worden hier dus wel beschouwd als een (gedeeltelijke) internalisering van de externe kosten en dus wordt enkel het resterende saldo van de externe kosten als niet-geïnternaliseerde deel geheven om dubbelheffingen te vermijden.

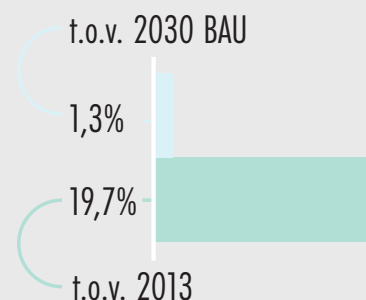
Daarnaast werden de tarieven van de kilometerheffing aangepast om de verschuiving naar het onderliggend wegennet te vermijden en dit op een opbrengstneutrale wijze. Met andere woorden, de nieuwe tarieven moeten dezelfde opbrengst genereren als de oorspronkelijke tarieven zonder herweging, zodat de totale externe kosten nog steeds geïnternaliseerd werden. Dit betekent dat de aanpassing rekening houdt met het aandeel van de voertuigkilometers van de verschillende voertuigtypes over de verschillende wegtypes en de verschillende tarieven die op de respectievelijke secties van toepassing zijn. Uiteindelijk werden de tarieven op de snelwegen met 25% verlaagd en deze op het onderliggende wegennet met 20% verhoogd. Dit resulteerde in de volgende aangepaste tarieven. (Op basis van deze tarieven werden drie scenario's doorgerekend.)

De resulterende resultaten van deze modeldoorrekeningen op vlak van CO₂-emissies bleken evenwel negatief te zijn:

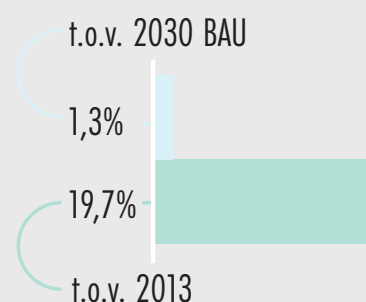
Scenario 5: Aangepaste kilometerheffing toegepast op alle modi (weg, spoor, binnenvaart) in heel Europa



Scenario 6: kaangepaste kilometerheffing toegepast enkel op wegvervoer in heel Europa, met koolstofbijdrage geheven op alle modi.



Scenario 7: Aangepaste kilometerheffing toegepast enkel op wegvervoer in heel Europa, met koolstofbijdrage geheven enkel op wegvervoer.



Tabel 51: Externe kostentarieven scenario 5, 6 en 7

	DAL						PIEK					
€/km	snelweg		gewestweg		gemeenteweg		snelweg		gewestweg		gemeenteweg	
	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan	ruraal & suburbaan	urbaan
Bestelwagen (1-3,5 ton)	0,052	0,085	0,116	0,136	0,116	0,136	0,148	0,182	0,271	0,291	0,271	0,291
Licht (3,5-12 ton)	0,079	0,136	0,150	0,217	0,150	0,217	0,272	0,329	0,460	0,527	0,460	0,527
Zwaar (12,5-40 ton)	0,035	0,095	0,080	0,152	0,800	0,152	0,229	0,289	0,390	0,462	0,390	0,462
Binnenvaart												
Klein	2,100											
Medium	4,227											
Groot	6,311											
Spoorvervoer												
Intermodaal												
Gecombineerd	0,0 (-0,23)											
Bloktrein												

Uit de analyse van de voertuigkilometers blijkt dat de aangepaste tarieven er nu wel goed in slagen om de verschuiving van het vrachtvervoer van het hoofdwegennet naar het onderliggende wegennet tegen te gaan, zelfs in die mate dat er nu een licht omgekeerd effect begint te spelen waarbij het aantal voertuigkilometers van (vooral) zware vrachtwagens op snelwegen toeneemt en deze op de (meeste) onderliggende wegen vermindert tegenover het BAU scenario. Doordat in totaliteit het aantal gereden voertuigkilometers zelfs licht toeneemt, zal ook de resulterende CO₂-uitstoot toenemen. Het implementeren van deze tarieven zal dus enerzijds wel resulteren in het stimuleren van het gebruik van de hoofdwegen voor vrachtvervoer. Anderzijds zal hierdoor evenwel vaak geopteerd worden voor een iets langere route met hoger brandstofverbruik maar wel met lagere totale kosten rekening houdende met de tarieven. Deze maatregel ondersteunt dus het bereiken van bepaalde duurzame mobiliteitsdoelstellingen op vlak van doorstroming en verkeersveiligheid maar conflicteert met het realiseren van de doelstelling van CO₂-reductie. Dit is niet helemaal verrassend, aangezien enerzijds de CO₂-gerelateerde heffing uit de tarieven werd verwijderd en anderzijds door de hoogte van de externe congestiekosten de tarieven vooral op dat vlak gaan inspelen. Deze analyse toont wel aan dat de implementatie van een kilometerheffing weloordacht dient te gebeuren, met inschatting van het effect van de heffing op de verschillende duurzaamheidsaspecten van het transportsysteem. Verder onderzoek met bijkomende modeldoorrekeningen en sensitiviteitsanalyse op de belangrijkste beïnvloedende parameters lijkt daarom aangewezen.

Kilometerheffing scenario 8

Dit was een tussenliggende stap in de modeldoorrekening van het voorkeurscenario in het SVRM. In deze stap werden de aangepaste tarieven uit Tabel 5 toegepast in een tweede doorrekening van het voorkeurscenario in het SVRM. Aangezien uit de modeldoorrekeningen van scenario 5-7 bleek dat deze kilometerheffing een negatieve impact had op de CO₂-besparingen werd er in deze variant geopteerd om de kilometerheffing enkel in België toe te passen (aangezien deze variant in scenario 1 en 2 resulteerde in grotere CO₂-reducties dan de Europese variant in scenario 3). Het uiteindelijke resultaat was echter geen significante verbetering van de totale CO₂-emissiereductie. Op vlak van afgelegde voertuigkilometers (zie Tabel 3) kan er wel vastgesteld worden dat dit voor zware vrachtwagens iets minder sterk stijgt dan in de scenario's 5-7, maar voor de lichte vrachtwagens is er wel een sterkere stijging. Aangezien dit voorkeurscenario evenwel tal van maatregelen combineert (zie fiche "Voorkeurscenario") is het niet mogelijk het effect van de individuele maatregelen te analyseren.

Op basis van deze doorrekening werd het echter wel duidelijk dat een implementatie van een gedifferentieerde kilometerheffing verder onderzoek vereist om de gepaste modaliteiten en gedifferentieerde tarieven te bepalen. De invoering van een kilometerheffing die alle duurzaamheidsimpacten van het transportsysteem gelijktijdig optimaliseert en verzoent met andere doelstellingen van het mobiliteitsbeleid lijkt immers moeilijk, zonet onmogelijk. Aangezien de onderzoekers evenwel duidelijk willen beklemtonen dat de internalisering van externe transportkosten een belangrijke maatregel blijft tot verduurzaming van het transportsysteem, maar anderzijds de modeldoorrekening in SVRM van de hier voorgestelde aangepaste tarieven (met vermijden van verschuiving naar onderliggend wegennet) in een gecombineerd voorkeurscenario resulteert in een stijging van de CO₂-emissies, werd er voor de integratie van een kilometerheffing in het voorkeurscenario geopteerd om de huidige kilometerheffing te implementeren maar dan toegepast op het volledige netwerk.

Kilometerheffing scenario 9¹⁷³

In dit scenario werd het huidige systeem van de kilometerheffing behouden op basis van de tarieven die gelden vanaf 1/1/2018, maar nu uitgebreid naar het volledige wegennet van België en Nederland (dus ook op het onderliggende wegennet in België). Gewogen voor de voertuigcategorieën die gebruikt worden in het SVRM komt dit neer op € 0,096 per kilometer voor lichte vrachtwagens en € 0,148 per kilometer voor zware vrachtwagens. Voor bestelwagens is hetzelfde tarief overgenomen als voor de personenwagens, meer bepaald € 0,05 per kilometer in België. Het gaat hier dus over een kilometerheffing die enkel gedifferentieerd is naar voertuigtype, en dus niet langer beschouwd kan worden als een gedifferentieerde, volledige internalisering van externe kosten. Er wordt nogmaals beklemtoond dat dit laatste vanuit een verduurzaming van het mobiliteitsstelsel in zijn geheel de voorkeur blijft genieten, maar een dergelijke implementatie vereist verder onderzoek gelet op de complexiteit van de impact op de verschillende duurzaamheidsaspecten.

Anderzijds is dit scenario alvast een realistische want haalbare variant, gelet op het feit dat deze kilometerheffing momenteel reeds geïmplementeerd is op de (meeste) hoofdwegen in België, en er ook in de buurlanden vergelijkbare systemen bestaan of waarschijnlijk ingevoerd zullen worden. Vandaar dat de tarieven ook in Nederland worden toegepast. In Duitsland wordt het LKW-Maut systeem meegenomen en in Frankrijk geldt er op tal van hoofdwegen een tolsysteem.

Door het uitbreiden van de kilometerheffing naar het onderliggende wegennet, is er op vlak van afgelegde voertuigkilometers nog steeds een lichte verschuiving bij de zware vrachtwagens naar de snelwegen (zie Tabel 3), maar de totaal afgelegde kilometers bij de zware vrachtwagens daalt nu ten opzichte van BAU, met een positief effect op de resulterende CO₂-emissies. De tarieven op het onderliggende wegennet maken ook dat de afgelegde voertuigkilometers bij de bestelwagens afnemen doordat de toegenomen kosten tot verdere optimalisatie zullen leiden. De totale CO₂-reductie van dit voorkeurscenario komt uit op -1,5% (in vergelijking met een stijging met +1,3% bij het voorkeurscenario met kilometerheffing-scenario 8). Er wordt in het verdere verloop van de studie dan ook gewerkt met deze variant geïmplementeerd in het SVRM voorkeurscenario (zie fiche "Voorkeurscenario").

Bronnen :

- Delhay, De Ceuster, Vanhove, Maerivoet (2017) Internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen: actualisering 2016, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, door Transport & Mobility Leuven.
- Delhay, Mayeres (2018) Cijfermatige ondersteuning voor de evaluatie van klimaatmitigerende maatregelen actieplan 2021-2030 – Mobiliteit, Rapport voor Vlaamse Overheid Departement omgeving, Afdeling Energie, Klimaat en Groene economie
- Gibson, G., Varma, A., Cox, V. (Ricardo-AEA), Korzhenevych, A., Dehnen, N. (DIW econ), Bröcker, J., Holtkamp, M. and Meier, H. (CAU) (2014) *Update of the Handbook on External Costs of Transport*. Final Report for the European Commission – DG Mobility and Transport, London, UK.
- Onderzoek Federale overheid en Climact obv o.m. gegevens Planbureau

¹⁷³ Dit wordt reeds besproken in het eerste deel van de fiche als de in het voorkeurscenario weerhouden kilometerheffing maar wordt hier hernomen om de bespreking van de opeenvolgende kilometerheffing-scenario's te vervolledigen.

Bijlagen: Cijfertabellen externe kosten en belastingen/heffingen

Tabel 52: Marginale externe ongevalskosten (Delhaye et al., 2017)

meek (€/vkm)		stad	snelwegen	andere wegen	Gemiddelde
2014					
lichte vrachtwagen	diesel	0,029	0,016	0,043	0,029
zware vrachtwagen 3.5-12 t	diesel	0,019	0,011	0,030	0,019
zware vrachtwagen +12 t	diesel	0,019	0,011	0,030	0,019
goederentrein	diesel				0,234
goederentrein	elektrisch				0,234
Binnenvaart	klein				0,001
	middelgroot				0,001
	groot				0,001

Tabel 53: Marginale externe geluidskosten (Delhaye et al., 2017)

meek (€/vkm)		Gemiddelde
2014		
lichte vrachtwagen	diesel	0,012
zware vrachtwagen 3.5-12 t	diesel	0,012
zware vrachtwagen +12 t	diesel	0,012
goederentrein	diesel	0,547
goederentrein	elektrisch	0,547
Binnenvaart	klein	0,000
	middelgroot	0,000
	groot	0,000

Tabel 54: Marginale externe milieukosten (Delhaye et al., 2017)

meek (€/vkm)		stad	snelwegen	andere wegen	Gemiddelde
2014					
lichte vrachtwagen	diesel	0,089	0,057	0,058	0,065
zware vrachtwagen 3.5-12 t	diesel	0,177	0,108	0,109	0,127
zware vrachtwagen +12 t	diesel	0,244	0,172	0,173	0,186
goederentrein	diesel	7,187	7,187	7,187	7,187
goederentrein	elektrisch	0,505	0,505	0,505	0,505
Binnenvaart	klein	1,738	1,738	1,738	1,738
	middelgroot	5,562	5,562	5,562	5,562
	groot	9,534	9,534	9,534	9,534

Tabel 55: Marginale externe infrastructuurkosten (Delhaye et al., 2017)

meek (€/vkm)		Gemiddelde
2014		
lichte vrachtwagen	diesel	0,000
zware vrachtwagen 3.5-12 t	diesel	0,013
zware vrachtwagen +12 t	diesel	0,029
goederentrein	diesel	0,307
goederentrein	elektrisch	0,307
Binnenvaart	klein	1,082
	middelgroot	1,082
	groot	1,082

Tabel 56: Marginale externe congestiekosten (Delhaye et al., 2017)

meek (€/vkm)		stad		snelwegen		andere wegen		gemiddelde	
		piek	dal	piek	dal	piek	dal	piek	dal
2014									
lichte vrachtwagen	diesel	0,124	0,063	0,274	0,091	0,087	0,058	0,215	0,086
zware vrachtwagen 3.5-12 t	diesel	0,248	0,126	0,548	0,181	0,175	0,115	0,430	0,172
zware vrachtwagen +12 t	diesel	0,248	0,126	0,548	0,181	0,175	0,115	0,430	0,172
goederentrein	diesel							0,000	0,000
goederentrein	elektrisch							0,000	0,000
Binnenvaart	klein							0,000	0,000
	middelgroot							0,000	0,000
	groot							0,000	0,000

Tabel 57: Marginale belastingen en heffingen (Delhaye et al., 2017)

meek (€/vkm)		Gemiddelde
2014		
lichte vrachtwagen	diesel	0,073
zware vrachtwagen 3.5-12 t	diesel	0,163
zware vrachtwagen +12 t	diesel	0,256
goederentrein	diesel	2,537
goederentrein	elektrisch	2,539
Binnenvaart	klein	0,029
	middelgroot	0,145
	groot	0,291

Tabel 58: Marginale externe kosten van CO₂ emissies (Delhaye et al., 2017)

meek (€/vkm)		stad	snelwegen	andere wegen	Gemiddelde
2014					
lichte vrachtwagen	diesel	0,030	0,030	0,030	0,030
zware vrachtwagen 3.5-12 t	diesel	0,049	0,049	0,049	0,049
zware vrachtwagen +12 t	diesel	0,093	0,093	0,093	0,093
goederentrein	diesel	2,701	2,701	2,701	2,701
goederentrein	elektrisch	0,457	0,457	0,457	0,457
Binnenvaart	klein	0,692	0,692	0,692	0,692
	middelgroot	2,273	2,273	2,273	2,273
	groot	4,015	4,015	4,015	4,015

03.

Voorkeur- scenario

03. Voorkeurscenario roadmap

Korte beschrijving :

In deze fiche wordt de synthese van het onderzoeksproject gegeven. Op basis van de modeldoorrekeningen, de literatuurstudie, het draagvlakonderzoek en feedback van experts¹ werden de maatregelen geselecteerd die opgenomen worden in de roadmap. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen maatregelen die de basis van het voorkeurscenario vormen en maatregelen die optioneel worden toegevoegd. De besparingen worden berekend ten opzichte van een referentiescenario met basisjaar 2013 en ten opzichte van een *business-as-usual* scenario (BAU) bij ongewijzigd beleid in 2030.

De eerste categorie omvat maatregelen die haalbaar en noodzakelijk worden geacht om significante CO₂-emissiereductie tegen 2030 te realiseren. De tweede categorie bevat maatregelen waarvan het besparingspotentieel en de implementeerbaarheid tegen 2030 moeilijker in te schatten zijn, maar waarvan korte opvolging wordt aanbevolen om ze bij een positieve evolutie mee te kunnen integreren in de roadmap. Daarnaast zijn er een aantal maatregelen die door de onderzoekers niet worden weerhouden in de roadmap, hetzij omdat het besparingspotentieel beperkt is, hetzij omdat de kosteneffectiviteit niet goed scoort, hetzij omdat de technologische vooruitgang naar 2030 te onzeker is om nu de mogelijke impact te beoordelen, hetzij een combinatie van bovenstaande elementen. Daarbij wordt wel rekening gehouden met het feit dat maatregelen die een groot potentieel naar zero-emissietransport in 2050 en verder vertegenwoordigen, mogelijk wel mee opgenomen worden om het transitiepad naar de nieuwe technologie te bevorderen en/of te faciliteren.

Deze fiche is opgebouwd uit drie delen. Eerst wordt de selectie van de maatregelen voor de roadmap besproken, opgedeeld in basismaatregelen en optionele maatregelen. Vervolgens wordt het besparingspotentieel van de gecombineerde maatregelen becijferd. Er wordt afgesloten met een bespreking van de resultaten en enkele bedenkingen in kader van het realiseren van de 2030 doelstellingen.

Selectie van de maatregelen

Werkwijze

De verschillende onderzoekstappen die werden genomen om te komen tot een selectie van maatregelen voor het voorkeurscenario van de roadmap staan beschreven in de fiche "Inleiding".

De uiteindelijke selectie is gebaseerd op het CO₂-reductiepotentieel, de timing van mogelijke implementatie, de voorwaarden en barrières, de potentiële lock-in en secundaire effecten, de impact op luchtvervuiling en een inschatting van de kosteneffectiviteit. Voor details en onderbouwing met betrekking tot de verschillende maatregelen wordt verwezen naar de individuele fiches.

Basismaatregelen Roadmap

Onderstaande maatregelen worden als basis opgenomen in het voorkeurscenario. Dit zijn dus maatregelen die vanuit de analyse naar voor komen als maatregelen die realistisch, haalbaar en essentieel zijn in het kader van broeikasgasemissiereductie naar 2030 toe. Sommige maatregelen werden niet gemodelleerd of in detail geanalyseerd via afzonderlijke fiches omdat ze eerder algemeen zijn en/of moeilijk te kwantificeren, maar hebben toch hun plaats in de roadmap vanwege het ondersteunende karakter voor de implementatie van de andere maatregelen. Het gaat hier vooral om bewustmakingsmaatregelen (*awareness*) welke op zich geen rechtstreekse impact hebben op CO₂-reductie, maar die wel cruciaal zijn om de benodigde mentaliteitswijziging te realiseren en gedragsverandering naar meer duurzaamheid in de transportsector te initiëren. Ze werken dus eerder indirect mee aan de doelstellingen. De maatregelen werden opgedeeld in een aantal rubrieken naargelang de hoofdfocus van de maatregel.

¹ Deze feedback werd enerzijds verzameld via de verschillende werkgroep- en stuurgroepvergaderingen, en anderzijds via feedback van experts uit verschillende beleidsdomeinen tijdens het nalezen van de verschillende maatregelen- en achtergrondfiches.

Modale verschuiving(Act and shift)

- Multimodaal infrastructuur (fiche "Multimodaal infrastructuur")
- Multimodaal subsidie (fiche "Multimodaal subsidie")
- Havenscenario doelstellingen modale verdeling (fiche "Havenscenario")
- Ruimtelijke planning (fiche "Ruimtelijke planning")²

Transportvermijding (Avoidance)

- Verhogen benuttingsgraad (zie fiche "Operationele en technische efficiëntieverbeteringen in logistiek")³
- Integratie ecodriving in rijlessen en cursussen voor chauffeurs (hervorming rij-opleiding) (zie fiche "Operationele en technische efficiëntieverbeteringen in logistiek")

Technologische vernieuwing (Anticipation)

- Batterij elektrische voertuigen (BEV's) (zie fiche "Batterij elektrische voertuigen in wegvervoer")
- Biobrandstoffen (zie fiche "Combinatie van diesel met aardgas en biodiesel met biomethaan")⁴
- Stedelijke phase-out verbrandingsmotoren (zie fiche "Stedelijke phase-out")
- Energiebesparing spoorvervoer (zie fiche "Energiebesparing spoorvervoer")⁵
- Energiebesparing binnenvaart (zie fiche "Energiebesparing binnenvaart")⁶
- Technische optimalisatiemaatregelen voor bestaande vrachtwagens (zie fiche "Operationele en technische efficiëntieverbeteringen in logistiek")
- CO₂ emissiestandaarden voor nieuwe vrachtwagens en bestelwagens (zie fiche "CO₂ emissiestandaarden voor nieuwe vrachtwagens en bestelwagens")⁷
- O&O ondersteuning ter bevordering van duurzame innovatie in de transportsector⁸

Overkoepelend

Een aantal maatregelen hebben een impact op de verschillende rubrieken. Het gaat dan vooral om marktinstrumenten die inwerken op de prijs en dus zowel een bewustmakingsaspect omvatten als een sturend effect naar transportvermijding (avoidance), modale verschuiving (act & shift) en inzet van nieuwe technologie (anticipation).

- Koolstofbijdrage (zie fiche "Koolstofbijdrage").
- Kilometerheffing (met aangepaste tarieven) (zie fiche "Kilometerheffing").

Bewustwordingsverhogende maatregelen (Awareness)

Naast de hierboven opgesomde gemodelleerde maatregelen zijn er ook een reeks maatregelen die een belangrijke faciliterende rol kunnen spelen in het realiseren van de in de roadmap opgenomen maatregelen, maar die zelf niet rechtstreeks modelleerbaar zijn. Het directe besparingspotentieel valt dan ook moeilijk te becijferen, maar ze vervullen wel een essentiële functie bij het uitrollen van de maatregelen. Het gaat dan bijvoorbeeld over:

- Sensibilisering van stakeholders via vrijwillige initiatieven (bijvoorbeeld opleiding, certificaten Lean & Green, vrijwillige CO₂ rapportering).
- Verplichte en vrijwillige deelname aan groene vrachtprogramma's. Voor (middel)grote bedrijven gaat het om een verplichte gestandaardiseerde CO₂-emissie-rapportering, liefst op basis van een Europese of nog beter globale standaard (cf. GLEC framework⁹). Voor KMO's is dit mogelijk moeilijker te implementeren en kan vooral de vrijwillige rapportering gestimuleerd worden, eventueel via financiële incentives/fiscale stimuli.
- Verplichte en vrijwillige bewustmakingscampagnes. Een voorbeeld van de eerste categorie is het verplichten van eco-labelling waarin de CO₂ transport impact van producten en diensten moet vermeld worden (hier is een koppeling met CO₂-rapportering). Een voorbeeld van de tweede categorie is het integreren van een lessenpakket rond transportduurzaamheid in het onderwijs.

² Dit kan eveneens gecategoriseerd worden onder "transportvermijding" aangezien dit naast modale verschuiving ook bundeling en dus het verhogen van de benuttingsgraad kan faciliteren.

³ Dit omvat het bundelen van ladingen en vermijden van lege trips.

⁴ Dit omvat het gebruik van geavanceerde duurzame biobrandstoffen, eventueel gecombineerd in gemengd brandstofsysteem met duurzaam biomethaan.

⁵ Deze brede categorie omvat ook maatregelen gericht op het aantrekkelijker maken van het vrachtvervoer per spoor (en dus op het realiseren van modale verschuiving) en het verbeteren van de benuttingsgraad. In principe past dit dus ook onder de categorieën modale verschuiving en transportvermijding. Het meeste potentieel naar emissiereductie zit evenwel bij de technologische ingrepen (ook op ICT-vlak).

⁶ Idem als opmerking bij energiebesparing spoorvervoer.

⁷ Hier gaat het om technische optimalisatiemaatregelen voor nieuwe voertuigen.

⁸ Dit omvat ook het stimuleren van onderzoek en ontwikkeling in kader van physical internet (waarbij goederen in een volledig open en verbonden netwerk 'zelf' hun ideale routes met bijbehorend transportmiddel kiezen van de verlader naar de klant). Dit stimuleert het verhogen van de beladingsgraad, modale verschuiving via synchromodaal transport, het gebruik duurzame transportmodi, enz., en stimuleert zodoende ook de implementatie van andere roadmap maatregelen.

⁹ Global Logistics Emission Council framework. Dit raamwerk werd ontwikkeld door het Smartfreight Centre en is één van de leidende methodologieën voor het consistent berekenen van de broeikasgasafdruk van multimodale toeleveringsketens. <www.smartfreightcentre.org/glecframework/glec-framework>

- Opstellen van Freight Quality Partnerships en Sustainable Urban Logistics Plans (SULP): dit is gekoppeld aan het realiseren van de stedelijke phase-out maar gaat breder en stimuleert de implementatie van maatregelen in de Roadmap.

Optionele maatregelen roadmap

Onderstaande maatregelen worden optioneel mee opgenomen in het voorkeurscenario. Dit zijn maatregelen waarbij in de analyse is gebleken dat ze een mogelijk potentieel hebben naar CO₂-emissiereductie toe maar dat er meer onzekerheid is naar technologische en operationele haalbaarheid met het oog op 2030 en/of dat ze gepaard gaan met een negatieve lock-in en/of dat er ongewenste secundaire effecten optreden. Deze maatregelen worden evenwel niet a priori uitgesloten van opname in de roadmap en (sommige) zullen waarschijnlijk zelfs noodzakelijk zijn om de emissiereductiedoelstellingen in 2030 en 2050 te realiseren maar vereisen verdere analyse en opvolging om hun potentieel ten gronde te kunnen inschatten.

Overkoepelend

- Fiscale kostenverhoging wegvervoer (o.a. aanpassing professionele diesel) (zie fiche "Fiscale kostenverhoging wegvervoer")

Uit de stakeholderconsultatie in het kader van deze studie (op basis van een on-line bevraging en een MAMCA workshop) bleek het draagvlak voor een aanpassing van het systeem van terugvordering van een deel van de accijnzen op diesel twijfelachtig. Het aanpassen van de fiscaliteit van het wegvervoer dient voor de sector in zijn totaliteit bekeken te worden (samen met andere maatregelen zoals innovatiesteun en fiscale aspecten zoals de kilometerheffing en loonlasten). Deze fiscale kostenverhoging wordt door de onderzoekers in kader van CO₂-emissiereductie an sich wenselijk geacht, maar gelet op de relatief geringe impact op het aantal gereden voertuigkilometer en de onzekerheid met betrekking tot de implementatie wordt deze maatregel opgenomen bij de optionele maatregelen.

Transportvermijding (Avoidance)

- Verduurzamen stedelijke logistiek via o.a. gebruik van stedelijke distributiecentra (zie fiche "Stedelijke logistiek")¹⁰
- 3D printing¹¹

¹⁰ Het gaat hier dus om maatregelen bovenop een stedelijke phase-out van verbrandingsmotoren (welke reeds werd opgenomen bij de basismaatregelen). Gelet op het feit dat deze bijkomende maatregelen eerder stedelijke duurzaamheid in een bredere context trachten te verbeteren, maar ook een mogelijk bijkomend CO₂-besparingseffect realiseren, worden ze hier optioneel mee in de roadmap opgenomen. Vanuit het perspectief van CO₂-reductie is een stedelijke phase-out van verbrandingsmotoren echter prioritair in de roadmap.

¹¹ Deze technologie werd in het kader van deze studie niet geanalyseerd, maar verdient wel opvolging gelet op de mogelijke fundamentele impact op de transportsector en ermee gerelateerde broeikasgasemissies. Vanwege het specifieke karakter van deze technologie en het huidige gebrek aan studiemateriaal is het echter niet mogelijk om hier gefundeerde uitspraken over te doen in kader van deze roadmap. Wel kan opgemerkt worden dat bepaalde studies aangeven dat de impact van 3D printing op de wereldhandel op termijn zeer significant kan worden, maar dat deze impact zich vooral na 2030 situeert (zie bijvoorbeeld <https://www.ingwb.com/media/2088633/3d-printing-report-031017.pdf>). Een specifiek onderzoeksproject lijkt aangewezen om het potentieel van 3D printing op de Vlaamse economie en de mogelijke impact op de transportsector tegen 2030 en nadien te kunnen inschatten.

¹² Deze maatregel wordt opgenomen in bepaalde varianten van het voorkeurscenario, als overgangstechnologie naar duurzaam biomethaan.

¹³ Vanuit het perspectief van vermindering van luchtvervuilende emissies kan CNG/LNG in de nabije toekomst wel significante baten opleveren, maar ook hier dient op termijn naar zero-emissie gestreefd te worden.

¹⁴ Zie fiche "kilometerheffing". De volledige internalisering van externe kosten leverde in de modeldoorrekeningen een aantal verrassende effecten op die verdere studie noodzakelijk. Het blijkt alvast dat het verzoenen van verschillende duurzaamheidsaspecten zoals emissiereductie, verkeersveiligheid en vermindering van congestie geen sinecure is.

Technologische vernieuwing (Anticipation)

- Waterstof (zie fiche "Waterstof")
- CNG/LNG en CBM/LBM (zie fiche "CNG/LNG")¹²
- Platooning multibrand on-the-fly (zie fiche "Platooning")
- Electric Road System (ERS) (zie fiche "ERS")

Met betrekking tot CNG/LNG dient de belangrijke kanttekening geplaatst te worden dat de optionele opname in het voorkeurscenario moet bekeken worden in het licht van de transitie naar duurzaam gecompriemd biomethaan (CBM) en vloeibaar biomethaan (LBM). Het is immers enkel als transitie naar een duurzamer alternatief dat deze op fossiele brandstof gebaseerde technologie een plaats heeft in de CO₂-emissie roadmap.¹³ In de tussenfase kan CNG/LNG ook, weliswaar relatief beperkte, CO₂-emissiebesparingen realiseren, maar indien deze piste zou opgenomen worden moet er sterk over gewaakt worden om lock-in te voorkomen (hetgeen zou optreden als de transitie naar duurzaam biomethaan zich niet zou doorzetten). Voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar de fiche "CNG/LNG en CBM/LBM voertuigen").

Maatregelen die resulteren in een verschuiving van (zwaar) vrachtwagenverkeer van het hoofdwegennet naar het onderliggende wegennet werden om redenen van verkeersveiligheid en leefbaarheid eveneens niet weerhouden. Deze maatregelen kunnen na correctie voor deze adverse effecten mogelijk wel opgenomen worden in de roadmap. Het gaat bijvoorbeeld om een kilometerheffing met volledige internalisering van externe kosten zonder aangepaste tarieven¹⁴ of op kosten gebaseerde (onbeperkte) routeoptimalisatie voor vrachtverkeer.

Besparingspotentieel van gecombineerde maatregelen

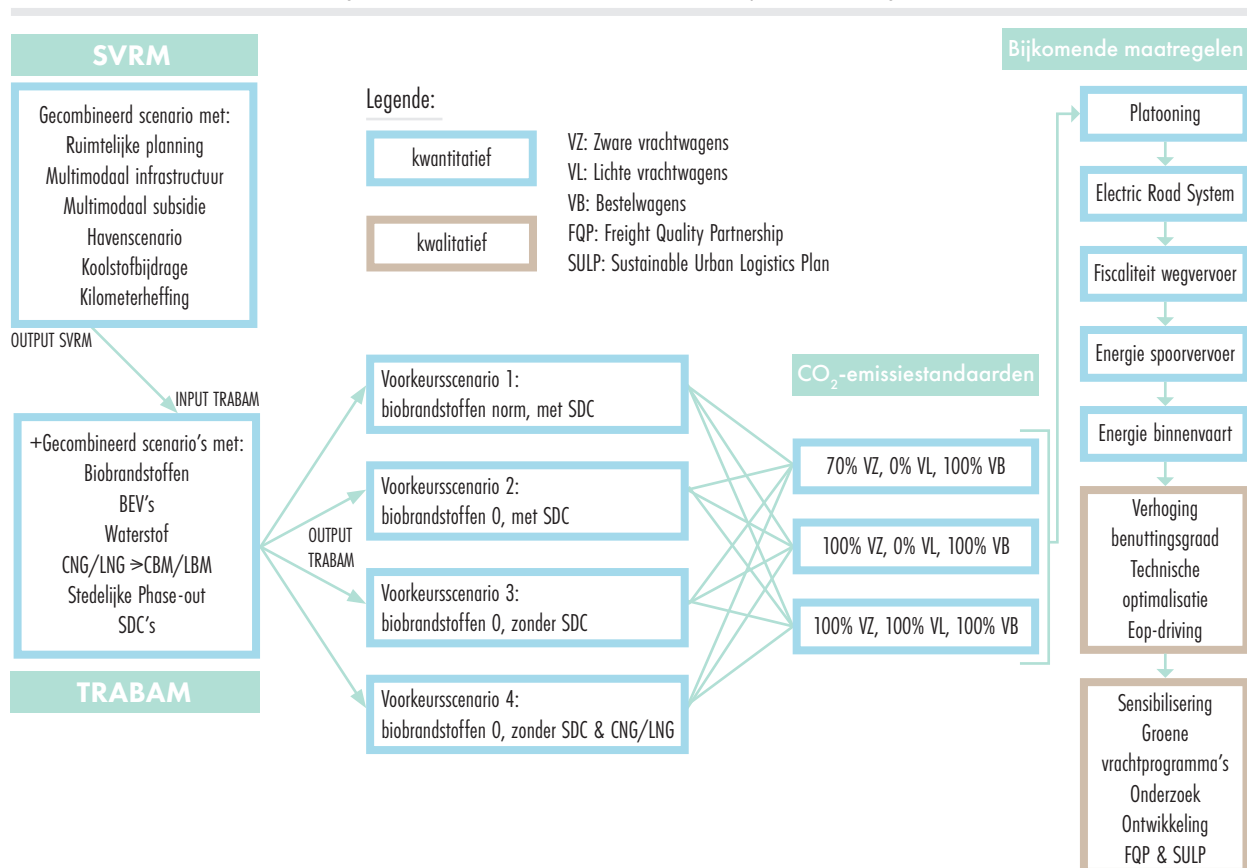
Werkwijze

Het berekenen van de CO₂-emissiebesparing van het voorkeurscenario gebeurt stapsgewijs. In een eerste stap worden de maatregelen die individueel gemodelleerd werden in het Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen (SVRM) en die worden opgenomen in het voorkeurscenario van de roadmap gecombineerd gesimuleerd in het SVRM om het besparingspotentieel van de gecombineerde maatregelen te berekenen. In een tweede stap wordt hetzelfde proces herhaald, maar dan voor de maatregelen die weerhouden werden in het voorkeurscenario en die nu gecombineerd gemodelleerd worden in TRABAM. Hierbij wordt de output van de gecombineerde SVRM-modellering (voertuigkilometers van de verschillende voertuigcategorieën voor wegvervoer) gebruikt als input in TRABAM (op basis van de oorsprongs-bestemmingsmatrices van de gecombineerde SVRM run)¹⁵. In de TRABAM-modeldoorrekeningen worden hierbij enkele varianten van het voorkeurscenario doorgerekend om het effect van bepaalde individuele maatregelen in het gecombineerde scenario te kunnen inschatten. In een derde stap wordt het effect van de CO₂-emissiestandaarden voor nieuwe vrachtwagens in

rekening gebracht op de overblijvende benzine- en dieselvrachtoertuigen. In een vierde stap worden een aantal bijkomende maatregelen toegevoegd die een bijkomend besparingspotentieel vertegenwoordigen. Nog andere maatregelen worden pas in deze fase aan het voorkeurscenario toegevoegd omdat ze niet gemodelleerd werden. In de mate van het mogelijke worden ze hier toch meegenomen op een kwantitatieve manier. Maatregelen waarvan het besparingspotentieel moeilijker te kwantificeren is worden pro-memorie opgenomen.

Onderstaand schema geeft een overzicht van de verschillende stappen die werden doorlopen bij het berekenen van het gecombineerde besparingspotentieel van de verschillende varianten van het voorkeurscenario.

Figuur 43: Overzicht varianten voorkeurscenario en bijkomende maatregelen



¹⁵ TRABAM neemt de voertuigkilometers voor spoor en binnenvaart eveneens over uit het SVRM maar modelleert geen verdere modale verschuiving. De in TRABAM gemodelleerde maatregelen hebben dus enkel een impact op het wegvervoer. De potentiële impact op modale verdeling wordt kwalitatief besproken in de betrokken fiches.

Modeldoorrekeningen met het SVRM :

In deze eerste stap worden dus de in het voorkeurscenario weerhouden maatregelen die in het SVRM geanalyseerd werden in een gecombineerd scenario doorgerekend in het SVRM. Volgende maatregelen werden in dit voorkeurscenario opgenomen.

- Ruimtelijke planning (zoals beschreven in fiche "Ruimtelijke planning")
- Multimodaal infrastructuur (zoals beschreven in fiche "Multimodaal infrastructuur")
- Multimodaal subsidie (aangepast naar afstandskost -11,27% in plaats van -30%, zoals beschreven in fiche "Multimodaal subsidie")
- Havenscenario (doelstellingen idem zoals beschreven in fiche "Havenscenario")
- Koolstofbijdrage (aangepast naar basis 100 €/ton CO₂ i.p.v. 40 €/ton CO₂ voor alle modi, zoals beschreven in fiche "koolstofbijdrage").
- Kilometerheffing (zoals uitgebreid beschreven in fiche "kilometerheffing"). De uiteindelijk gehanteerde tarieven voor de kilometerheffing zijn:
 - Bestelwagens: 5 eurocent per km (zelfde als voor personenwagens)
 - Lichte vrachtwagens: 9,6 eurocent per km
 - Zware vrachtwagens: 14,8 eurocent per km
 - Voor alle wegtypes en alle periodes is hetzelfde tarief gehanteerd per voertuigcategorie. Dit tarief is ook toegepast op alle wegen in België en Nederland (naast tarieven LKW-maut in Duitsland en toltarieven op hoofdwegen in Frankrijk).

De resultaten van deze modellering worden hieronder weergegeven. Voor een gedetailleerde bespreking van deze modeldoorrekeningen verwijzen we naar het rapport "Doorrekeningen roadmap vrachtvervoer met Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen" in bijlage.

Met betrekking tot de multimodale maatregelen is wat extra uitleg geboden, aangezien de modeldoorrekeningen daar op een stapsgewijze manier werden uitgevoerd. Een eerste individuele modeldoorrekening gebeurde op basis van een subsidiescenario's met een kostenreductie van -30% (maximaal toegelaten subsidiebedrag). Een tweede modeldoorrekening was een combinatie van dit maximale subsidiescenario en het multimodale infrastructuurscenario. In het voorkeurscenario werd vervolgens de combinatie van een (realistischer) aangepast subsidiescenario met een gereduceerde afstandskost van -11,27% en het multimodale infrastructuurscenario doorgerekend. Daar bovenop werd in het voorkeurscenario de ambitie op vlak van modale verdeling van de havens via aantrekkelijkheidsconstanten (die niet gedefinieerde maatregelen inhouden) eerder 'kunstmatig' doorgevoerd. Door het havenscenario in een tweede stap door te voeren wordt de impact van deze minder geschikte manier van modeldoorrekening beperkt. Het dient benadrukt te worden dat dit enkel een technisch-modelmatige benadering is en dat de bijdrage van de havens groter is dan het verschil op basis van deze stapsgewijze modellering laat vermoeden.¹⁶

Nota: bestelwagen (<3,5 ton), lichte vrachtwagen (>3,5 ton en <12 ton) en zware vrachtwagen (>12 ton).

Tabel 59: CO₂-emissies van maatregelen doorgerekend met het SVRM

Vervoerwijze/scenario	Ref 2013	Ref 2013 BAU	Ruimtelijke planning	Multimodaal subsidie -30%	Multimodaal infrastructuur en subsidie -30% (excl. doelstellingen havenscenario)	Koolstofaks	Voorkeurscenario SVRM final (multimodaal subsidie -11,27% en incl. doelstellingen havenscenario en kilometerheffing)
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer zware vrachtwagen	2.824	3.445	3.429	3.321	3.322	3.312	3.389
Wegvervoer lichte vrachtwagen	497	524	523	524	523	523	528
Wegvervoer bestelwagen	430	421	407	414	414	414	388
Weg totaal	3.750	4.390	4.358	4.257	4.259	4.247	4.287
Binnenvaart	71	118	119	157	157	117	133
Spoor	23	34	31	35	35	35	53
Totaal	3.844	4.543	4.509	4.450	4.451	4.399	4.473
% verschil t.o.v. 2030 BAU			-0,7%	-2,1%	-2,0%	-3,2%	-1,5%
% verschil t.o.v. 2013		18,2%	17,3%	15,8%	15,8%	14,4%	16,3%
Besparing CO ₂ t.o.v. 2030 BAU			34	93	92	144	70

¹⁶ Voor een meer gedetailleerde analyse van de bijdrage van de verschillende multimodale maatregelen tot de CO₂-emissiereductie in het voorkeurscenario zijn bijkomende analyses vereist met o.a. extra individuele en gecombineerde doorrekeningen van de verschillende maatregelvarianten.

Er is een lichte afwijking mogelijk tussen de som van de drie categorieën wegvervoer en "Weg totaal". Deze wordt veroorzaakt door een correctie die werd toegevoegd voor het verschil in congestieniveau's tussen bepaalde maatregelen en het 2030 BAU scenario om tot de totale CO₂-emissies voor wegvervoer te komen. Door de afname in het aantal voertuigkilometers dat wordt gereden op wegen met een saturatiegraad boven 85% is er een bijkomende daling van de CO₂-uitstoot door de verbeterde brandstofefficiëntie op het gedeelte dat niet langer in (zware) congestie gereden wordt. Daarbij wordt uitgegaan van een meerverbruik van 30% op gesatureerde wegen.¹⁷ Dit congestie-effect is voor de hier opgenomen maatregelen evenwel zeer beperkt: ten opzichte van het 2030 BAU scenario daalt het aantal voertuigkilometers gereden op gesatureerde wegen tussen de 1,6% en 3,6%. Gelet echter op het relatief kleine aandeel van de gesatureerde kilometers in het totaal aantal kilometers resulteert dit in aanpassingen van de CO₂-uitstoot voor het wegvervoer tussen de 0,013% en 0,029% voor de individuele modeldoorrekeningen. Voor het gecombineerde scenario inclusief kilometerheffing is dit effect significanter omdat hier de daling in gesatureerde voertuigkilometers veel sterker is (-55,6%) door het effect van de kilometerheffing, wat resulteert in een bijkomende CO₂-daling van 0,436%.

Het CO₂ besparingspotentieel van de gecombineerde maatregelen komt uit op -1,5% ten opzichte van het 2030 Business As Usual (BAU)-scenario. Ten opzichte van het 2013 referentiescenario betekent dit nog altijd een stijging van CO₂-uitstoot met 16,3%. Wat ook meteen opvalt is dat het uiteindelijke besparingspercentage van het gecombineerde voorkeurscenario allerm minst een optelsom is van de besparingspercentages van de individuele maatregelen. Dit zou erop kunnen wijzen dat de modale verschuivingseffecten van sommige maatregelen tegen mekaar lijken in te werken maar het kan deels ook verklaard worden door de basisopzet van de vervoersmodellen, die beide uitgaan van een constante transportvraag (volkomen prijsinelasticiteit). Er kan dus niet zomaar besloten worden om bepaalde maatregelen uit het voorkeurscenario te halen om deze reden. Het lijkt er volgens de onderzoekers eerder op te wijzen dat het besparingspercentage van het voorkeurscenario op deze manier conservatief ingeschat wordt. Anderzijds lijkt een beperkt besparingspercentage ook wel overeen te stemmen met de realiteit: de gemodelleerde maatregelen streven hoofdzakelijk een modale verschuiving na, en die blijkt in de praktijk weinig reactief, onder andere door beperkingen in markt bereik van multimodaal vervoer en de beperkte kruiselasticiteiten. Uit eerdere analyses met het SVRM is bovendien gebleken dat het moeilijk te voorspellen is hoe een combinatie van scenario's op elkaar inspeelt. Op zich zijn daarvoor complexere analyses vereist met afzonderlijke doorrekeningen. Rekening houdende met deze elementen werd er door de onderzoekers de voorkeur aan gegeven om verder te werken met de geselecteerde maatregelen uit het gecombineerde scenario, eerder dan te opteren voor één enkele individuele hoger scorende maatregel. In deze optiek beschouwen we de modeldoorrekeningen als een ondersteuning voor

de studie, maar is de selectie van maatregelen in de roadmap ook gebaseerd op de andere relevante informatie in de maatregelenfiches. De relatief lage CO₂-emissiereductie van het gecombineerde voorkeurscenario in SVRM is een eerder conservatieve raming en mag dus als ondergrens beschouwd worden.

In de bijlage achteraan deze fiche kan men de tabel terugvinden met al de modelresultaten van het SVRM, dus ook van de modeldoorrekeningen van de maatregelen die uiteindelijk niet werden weerhouden in het voorkeurscenario voor de roadmap.

Modeldoorrekening met TRABAM:

In de volgende stap worden de maatregelen die in TRABAM gemodelleerd werden en die in het voorkeurscenario weerhouden worden, gecombineerd in een modeldoorrekening in TRABAM. Om de effecten van de maatregelen uit het voorkeurscenario die in het SVRM gecombineerd doorgerekend werden mee te nemen, wordt de oorsprongs-bestemmingsmatrix per transportmodus uit het SVRM gebruikt als inputmatrix in TRABAM. Dat houdt in dat de matrix omgezet wordt in transport orders die de agents (transporteurs) gaan vervullen met de transportvloot die ze ter beschikking hebben. Ze doen dit via een optimalisatieproces dat routing, congestie, voertuigkeuze en aandrijving in beschouwing neemt. Zodoende wordt het gecombineerd effect van de twee groepen maatregelen uit het voorkeurscenario zoveel mogelijk meegenomen. Door de verschillen in de beide modellen blijven er natuurlijk bepaalde aspecten die niet meegenomen worden. Zo zal een bijkomende modale verschuiving door de TRABAM-maatregelen niet tot uiting komen, omdat de modale verschuiving om technische redenen niet meegenomen wordt in TRABAM. Dit is eigen aan het combineren van vervoersmodellen.¹⁸

Volgende maatregelen worden in het voorkeurscenario van TRABAM opgenomen:

- maatregelen die gerelateerd zijn aan voertuigtechnologie:
 - Biobrandstoffen (zie fiche "Combinatie van diesel met aardgas en biodiesel met biomethaan")
 - Batterij elektrische voertuigen (BEV's) (zie fiche "Batterij elektrische voertuigen")
 - Waterstof (zie fiche "Waterstof")
 - CNG/LNG en CBM/LBM (zie fiche "CNG/LNG en CBM/LBM-voertuigen"). Deze technologie wordt in variant 4 uit de analyse gelaten.
- maatregelen die gerelateerd zijn aan regulering:
 - Stedelijke phase-out verbrandingsmotoren (zie fiche "Stedelijke phase-out")

¹⁷ Smokers R. en Rozendal, W. (1998) Invloed van congestie op brandstofverbruik en emissies van vrachtwagens. TNO, Delft.

¹⁸ Om zoveel mogelijk consistentie tussen de vervoersmodellen TRABAM en SVRM te verzekeren werd voor het basisjaar 2013 en het toekomstjaar 2030 BAU een drieledige kalibratie uitgevoerd. Deze had betrekking op het aantal voertuigkilometer per type weg, op de ruimtelijke spreiding van de voertuigkilometer per tijdsblok van het SVRM (om te verifiëren of dezelfde wegen gebruikt werden) en op de saturatiegraad (gerelateerd aan de personenwagens op het netwerk). Voor al deze drie parameters werden gelijke patronen gevonden. Enkel congestie was iets meer uitgesproken in TRABAM (maar vertoonde hetzelfde patroon). De resulterende CO₂-emissies van beide modeldoorrekeningen op basis van de voertuigkilometers wijken dan ook maar licht af. De procentuele afwijking tussen TRABAM en SVRM is respectievelijk 0,23% voor referentiejaar 2013 en 3,27% voor 2030 BAU (met licht hogere uitkomsten voor TRABAM).

- Stedelijke Distributiecentra (SDC) (zie fiche "Stedelijke logistiek")

Er worden vier varianten van het voorkeurscenario gemodelleerd om het effect van toevoegen of weglaten van bepaalde maatregelen op het besparingspotentieel in te schatten. De verschillende varianten onderscheiden zich op vlak van drie maatregelen:

- het al dan niet verplicht werken met stedelijke distributiecentra: deze maatregel bleek uit het stakeholderoverleg weinig draagvlak te hebben en is zodoende mogelijk niet evident om te implementeren;
- het al dan niet meenemen van biobrandstoffen als zijnde een klimaatneutrale aandrijving: de CO₂-emissies van biobrandstoffen worden in de Europese en internationale inventarisatierichtlijnen gelijk gesteld aan nul, maar we bekijken hier ook een iets minder optimistische variant aangezien dit immers afhankelijk is van de mate waarin er voldoende hoeveelheid klimaatneutrale biobrandstof geproduceerd kan worden;
- het al dan niet opnemen van CNG/LNG in de roadmap: dit is immers enkel wenselijk als transitietechnologie in kader van de inzet van duurzaam biomethaan, maar vertegenwoordigd anderzijds op zich ook een bepaald CO₂-besparingspotentieel.

De vier varianten van het voorkeurscenario worden hieronder daarom als volgt gedefinieerd:

- voorkeur 1: voorkeurscenario met SDC, biobrandstoffen niet zero emissie. In deze variant is er een verplicht gebruik van de stedelijke distributiecentra voor stedelijk vrachtvervoer en worden biobrandstoffen niet als klimaatneutraal beschouwd maar wordt de aangeleverde emissiefactor gehanteerd (zie fiche "Emissiefactoren"). Dit veronderstelt dat er onvoldoende geavanceerde klimaatneutrale biobrandstoffen beschikbaar gaan zijn om aan de totale transportvraag te voldoen.
- voorkeur 2: voorkeurscenario met SDC, biobrandstoffen zero emissie. In deze variant is er een verplicht gebruik van stedelijke distributiecentra voor stedelijk vrachtvervoer en zijn er voldoende geavanceerde klimaatneutrale biobrandstoffen¹⁹ beschikbaar voor het wagenpark, zoals beschreven in de fiche "Combinatie van diesel met aardgas en biodiesel met biomethaan".
- voorkeur 3: voorkeurscenario zonder SDC, klimaatneutrale biobrandstoffen. In deze variant is er geen verplicht gebruik van stedelijk distributiecentrum voor stedelijk vrachtvervoer (op basis van de stakeholderbevraging in deze studie bleek het draagvlak voor een verplicht gebruik van SDC erg laag te zijn)²⁰ en worden geavanceerde klimaatneutrale biobrandstoffen aangewend.

- voorkeur 4: voorkeurscenario zonder SDC, klimaatneutrale biobrandstoffen en geen CNG/LNG. Idem als variant 3 maar als bijkomende wijziging wordt geen CNG/LNG-technologie meegenomen. Dit laat toe te bepalen wat de impact zou zijn van het niet aanwenden van natuurlijk aardgas. Het verschil in CO₂-emissie kwantificeert dus op die manier het belang van het al dan niet meenemen van CNG/LNG als overgangstechnologie in de gerealiseerde CO₂-besparing.

Een bijzondere opmerking dient hier toegevoegd te worden met betrekking tot waterstof. Uit de fiche "waterstof" blijkt dat er enig voorbehoud gemaakt wordt om deze technologie op te nemen in de basis van het voorkeurscenario vanwege de onzekerheid met betrekking tot de technologische ontwikkeling en de voldoende beschikbaarheid van betaalbare duurzame waterstof voor transportdoeleinden naar 2030 toe. Gelet echter op het potentieel van de technologie op de langere termijn en de noodzakelijke bijdrage van FCEV om in de richting van de besparingsdoelstellingen te evolueren, werd de maatregel wel optioneel mee opgenomen in het gecombineerde scenario in TRABAM. In de roadmap maken de onderzoekers daarbij wel de nota dat het besparingspotentieel van deze maatregel onder voorbehoud van de technologische evolutie en het aanbod van duurzaam waterstof is. Er wordt hier een korte opvolging van de internationale evolutie en lokaal faciliterend beleid van O&O en demonstratieprojecten aanbevolen.

Hieronder worden de modelresultaten van de TRABAM-doorrekeningen weergegeven, zowel de individuele modeldoorrekeningen van de maatregelen die in de verschillende varianten van het voorkeurscenario zijn meegenomen, als de vier gecombineerde voorkeurscenario's. Wat de voorkeurscenario's betreft valt meteen op dat voorkeurscenario 2 (met stedelijk distributiecentrum, klimaatneutrale biobrandstoffen en CNG/LNG) de hoogste besparing oplevert (-19,6% ten opzichte van 2030 BAU) en ook een besparing realiseert ten opzichte van het 2013 referentiescenario (-2,1%). Indien geopteerd wordt om CNG/LNG niet op te nemen in de roadmap, dan realiseert men op dit niveau een iets lagere besparing van -17,9% tov 2030 BAU en zo goed als een status quo ten opzichte van referentiejaar 2013 (-0,1%).

Achteraan deze fiche worden al de modelresultaten van TRABAM meegegeven, inclusief de modeldoorrekeningen van de maatregelen die uiteindelijk in eerste instantie niet werden weerhouden in de basis van het voorkeurscenario voor de roadmap (zoals ERS en platooning). Als tussentijdse conclusie kan men hier al wel stellen dat de combinatie van de tot hier opgenomen maatregelen weliswaar een significante reductie realiseert ten opzichte van het 2030 BAU-scenario maar er ten opzichte van het 2013 referentiescenario slechts een beperkte CO₂-besparing gerealiseerd wordt (ondanks het cumulatieve effect van de technologische maatregelen die in TRABAM werden doorgerekend). In de volgende twee stappen wordt bekeken wat de cumulatieve impact is van de toevoeging van niet-gemodelleerde maatregelen die in aanmerking komen voor opname in de roadmap.

¹⁹ Met dien verstande dat er bij het gebruik van duurzaam geproduceerde biomethaan een oplossing dient gevonden te worden om methaanlekage te vermijden, zowel tijdens voertuiggebruik als bij transport en tankopslag, om als volledig well-to-tank zero-emissie vervoer beschouwd te kunnen worden.

²⁰ Daarnaast wordt in de fiche "Stedelijke logistiek" al de nuance aangebracht dat reeds optimaal gebundelde goederenstromen die op een duurzame wijze de stad binnen komen niet over het SDC zouden dienen te passeren.

Tabel 60: CO₂-emissies van maatregelen doorgerekend met TRABAM

Vervoerwijze/scenario	Ref basisjaar SVRM 2013	2030 BAU	Biobrandstoffen	Biobrandstoffen zero-emissie	Electriciteit (BEV's & Hybride)
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer	3.759	4.539	4.485	4.175	4.457
Binnenvaart	71	118	118	118	118
Spoor	23	34	34	34	34
Totaal	3.853	4.691	4.638	4.328	4.610
% verschil t.o.v. 2030 BAU			-1,1%	-7,7%	-1,7%
% verschil t.o.v. 2013		21,8%	20,4%	12,3%	19,6%
Besparing CO₂ t.o.v. 2030 BAU			54	363	81

Vervoerwijze/scenario	LNG/CNG	LBM/CBM (zero emissie)	Stedelijke logistiek	Stedelijke phase-out zero	Stedelijke phase-out Hybrid	Waterstof
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer	4.448	4.217	4.489	4.076	4.348	4.390
Binnenvaart	118	118	118	118	118	118
Spoor	-34	34	34	34	34	34
Totaal	4.601	4.39	4.641	4.228	4.501	4.543
% verschil t.o.v. 2030 BAU	-1,9%	-6,9%	-1,1%	-9,9%	-4,1%	-3,2%
% verschil t.o.v. 2013	19,4%	13,4%	20,5%	9,7%	16,8%	17,9%
Besparing CO₂ t.o.v. 2030 BAU	91	322	50	463	190	149

Tabel 61: Voorkeursscenario's

Vervoerwijze/scenario	Ref basisjaar SVRM 2013	2030 BAU	voorkeur 1: Biobrandstoffen norm, MET SDC	voorkeur 2: Biobrandstoffen KN, MET SDC	voorkeur 3: Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC	voorkeur 4: Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC & LNG/CNG
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer	3.759	4.539	4.029	3.588	3.631	3.664
Binnenvaart	71	118	133	133	133	133
Spoor	23	34	53	53	53	53
Totaal	3.853	4.691	4.215	3.774	3.816	3.849
% verschil t.o.v. 2030 BAU			-10,2%	-19,6%	-18,7%	-17,9%
% verschil t.o.v. 2013		21,8%	9,4%	-2,1%	-1,0%	-0,1%
Besparing CO₂ t.o.v. 2030 BAU			477	918	875	842

*Nota: EF: Emissiefactoren
KN: Klimaatneutraal
SDC: Stedelijk distributiecentrum

Stap 3: CO₂ emissiestandaarden voor nieuwe vrachtwagens en bestelwagens

In deze stap wordt er gekeken wat het effect is van de invoering van CO₂-emissiestandaarden voor nieuwe vrachtwagens en bestelwagens. Momenteel ligt er een voorstel op tafel van de Europese Commissie met betrekking tot de invoering van CO₂-emissiestandaarden voor zware vrachtwagens en de herziening van de standaarden voor bestelwagens (zie fiche "CO₂ emissiestandaarden voor nieuwe vrachtwagens en bestelwagens"). Er worden drie varianten van dit scenario beschouwd waarin de CO₂-emissiestandaarden van toepassing zijn op telkens een ander deel van de gereden voertuigkilometers (vkm):

- Het huidige voorstel van de Europese Commissie waarbij de CO₂-emissiestandaarden waarbij er van uitgegaan wordt dat de standaarden van toepassing gaan zijn op vier categorieën van vrachtwagens die ongeveer 70% van vkm voor zware vrachtwagens uitmaken en op alle bestelwagens (100% van vkm). Voor lichte vrachtwagens gelden er geen CO₂-emissiestandaarden (0% van voertuigkilometer).
- Een tussenscenario waarbij de CO₂-emissiestandaarden worden ingevoerd op de totaliteit van de zware vrachtwagens en dus van toepassing zijn op 100% van de vkm voor zware vrachtwagens. Voor de andere categorieën gelden de percentages van het bovenstaande scenario. Dit scenario werd toegevoegd om na te gaan wat het effect zou zijn van een invoering van de CO₂-emissienormen op alle categorieën van zware vrachtwagens (en niet enkel de 4 categorieën zoals voorzien in het huidige voorstel van de Europese Commissie).
- Een verregaand scenario: 100% van vkm voor zowel zware vrachtwagens, lichte vrachtwagens als bestelwagens. Dit scenario werd toegevoegd om na te gaan wat het effect zou zijn van de invoering van de CO₂-emissiestandaarden op alle voertuigcategorieën, inclusief de lichte vrachtwagens. De mogelijkheid om ook voor deze andere categorieën voertuigen CO₂-emissiedoelstellingen te voorzien is in het huidige voorstel afhankelijk gemaakt van een tussentijdse evaluatie in 2022.

De invoering van CO₂-emissiestandaarden werd niet rechtstreeks in de vervoersmodellen doorgerekend, maar via een afzonderlijke berekening toegepast op de resterende vrachstromen die nog vervoerd worden door vrachtvoertuigen met verbrandingsmotoren na het invoeren van de alternatieve aandrijvingen in het voorkeurscenario. Voor een gedetailleerde beschrijving van de berekening van de gebruikte emissiefactoren en de werkwijze wordt verwezen naar de fiche "CO₂-emissiestandaarden voor nieuwe vrachtwagens en bestelwagens". Deze nieuw afgeleide emissiefactoren worden dus enkel toegepast op de vrachstromen over de weg uit TRABAM die nog met benzine- en diesellootjes worden gereden. Zoals besproken in de fiche wordt er conservatief van uitgegaan dat er jaarlijks 6,7% van de voertuigvloot bij de zware vrachtwagens vervangen wordt (gemiddelde leeftijd 15 jaar). Voor bestelwagens kan er verwacht worden dat de gemiddelde levensduur lager is, maar wordt op basis van de impact-analyse uitgevoerd door de Europese Commissie de gemiddelde levensduur eveneens op 15 jaar gezet (zie fiche "CO₂ emissiestandaarden voor nieuwe vrachtwagens en bestelwagens").

In het eerste scenario worden de CO₂-emissiestandaarden van toepassing geacht op 70% van de voertuigkilometers gereden door zware vrachtwagens en 100% van de voertuigkilometers gereden door bestelwagens. Tegen een jaarlijks vervangingspercentage van 6,7% betekent dit dat er in 2030 respectievelijk zo'n 25,7% en 36,7% van de voertuigkilometers gereden worden met zware vrachtwagens²¹ en de bestelwagens die aan de strengere emissienormen voldoen die van kracht worden in 2025.²² De strengere emissiestandaarden tegen 2030²³ gaan vanzelfsprekend nog niet zoveel effect hebben voor de CO₂ uitstoot in 2030 zelf, maar geleidelijk aan meer effect genereren in de jaren nadien. Op basis van de vervangingsratio's zal er in 2030 immers slechts respectievelijk zo'n 2,3% en 3,3% van de voertuigkilometers gereden door zware vrachtwagens en bestelwagens aan de nieuwe emissienormen voldoen²⁴. Voor de andere twee scenario's worden de aandelen van de voertuigkilometers die onderworpen zijn aan de strengere emissienormen volgens dezelfde methodiek berekend. De resultaten worden weergegeven in de tabel hieronder. Hierbij valt meteen op dat deze maatregel, door de zeer geleidelijke introductie in het voertuigenpark in eerste instantie slechts een beperkte bijkomende reductie van enkele procenten realiseert in het gecombineerde scenario tegen 2030 bij de vooropgestelde vervangingsratio's²⁵. Op langere termijn (na 2030) zal het effect van deze maatregel pas echt beginnen spelen en een grotere omvang kennen, ook als opstap naar scherpere targets. Om deze maatregel reeds op kortere termijn naar 2030 meer effect te laten sorteren zijn ambitieuzere targets vereist en/of snellere vervangingsratio's voor de voertuigvloot.

²¹ Voor vrachtwagens zijn de emissiestandaarden in het eerste scenario maar van toepassing op vier categorieën die ongeveer 70% van de voertuigkilometers uitmaken, dus zal de CO₂-emissiebesparing op een relatief kleiner aandeel van de vloot en dus ook de voertuigkilometers van toepassing zijn vergeleken met bestelwagens waar de CO₂-emissiestandaarden van toepassing zijn op de volledige vloot.

²² De huidige voorstellen van de Europese Commissie voorzien een CO₂-emissiereductie voor zware vrachtwagens van -15% ten opzichte van referentiejaar 2019 en voor bestelwagens van -20% ten opzichte van referentiejaar 2020.

²³ Voor 2030 werd op basis van de huidige voorstellen van de Europese Commissie uitgegaan van een CO₂-emissiereductie voor zware vrachtwagens van -30% ten opzichte van referentiejaar 2019 en voor bestelwagens van -30% ten opzichte van referentiejaar 2020.

²⁴ Aangezien de voertuigen doorheen het jaar vervangen worden, wordt verondersteld dat vervangingen lineair doorheen de tijd verlopen, zodat er gemiddeld over een gans jaar genomen de helft van 6,7% voertuigen gerekend mag worden. Anderzijds zullen fabrikanten tussen 2025 en 2030 al geleidelijk aan meer energie-efficiënte vrachtwagens op de markt brengen om tegen 2030 de nieuwe normen te halen en is de gemiddelde levensduur van voertuigen op de Vlaamse wegen mogelijk jonger dan 15 jaar, zodat het besparingspotentieel hier conservatief ingeschat wordt.

²⁵ Eerdere berekeningen met snellere vervangingsratio's voor de vrachtwagens (gemiddelde levensduur 10 jaar resulteerden in significantere besparingen ten opzichte van 2030 BAU tot 25% in gecombineerd voorkeurscenario 2 bij emissiestandaarden van toepassing op 70% van de voertuigkilometers van zware vrachtwagens en tot 28% indien van toepassing op 100% van al de voertuigkilometers.

Op basis van het huidige voorstel van de Europese Commissie (maatregel 70% Zware vrachtwagens, 0% Lichte vrachtwagens, 100% Bestelwagens) komt de CO₂-besparing tussen de -12,3% (voorkeurscenario 1) en de -21,7% (voorkeurscenario 2) ten opzichte van 2030 BAU. Vergeleken met de 2013 referentie realiseert voorkeurscenario 2 nu wel een besparing van -4,7%. Voor het meest ambitieuze scenario van de CO₂-emissiestandaarden (100% van alle voertuig-categorieën) wordt de maximale besparing van voorkeurscenario 2 verder opgetrokken tot -22,9% t.o.v. 2030 BAU en -6,1% t.o.v. 2013 referentie.

Tabel 62: Impact van CO₂-emissiestandaarden op CO₂-emissies

70% VZ, 0%VL, 100%VB						
Vervoerwijze/ scenario	Ref basisjaar SVRM 2013	2030 BAU	voorkeur 1: Biobrandstoffen EF, MET SDC	voorkeur 2: Biobrandstoffen KN, MET SDC	voorkeur 3: Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC	voorkeur 4: Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC & LNG/CNG
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer	3.759	4.539	3.928	3.487	3.530	3.563
Binnenvaart	71	118	133	133	133	133
Spoor	22	34	53	53	53	53
Totaal	3.853	4.691	4.113	3.673	3.715	3.748
% verschil t.o.v. 2030 BAU			-12,3%	-21,7%	-20,8%	-20,1%
% verschil t.o.v. 2013		21,8%	6,8%	-4,7%	-3,6%	-2,7%
Besparing CO ₂ t.o.v. 2030 BAU			578	1.019	976	943
100% VZ, 0%VL, 100%VB						
Vervoerwijze/ scenario	Ref basisjaar SVRM 2013	2030 BAU	voorkeur 1: Biobrandstoffen EF, MET SDC	voorkeur 2: Biobrandstoffen KN, MET SDC	voorkeur 3: Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC	voorkeur 4: Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC & LNG/CNG
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer	3.759	4.539	3.889	3.448	3.490	3.523
Binnenvaart	71	118	133	133	133	133
Spoor	22	34	53	53	53	53
Totaal	3.853	4.691	4.074	3.633	3.676	3.709
% verschil t.o.v. 2030 BAU			-13,2%	-22,6%	-21,7%	-20,9%
% verschil t.o.v. 2013		21,8%	5,7%	-5,7%	-4,6%	-3,7%
Besparing CO ₂ t.o.v. 2030 BAU			617	1.058	1.016	983
100% VZ, 100%VL, 100%VB						
Vervoerwijze/ scenario	Ref basisjaar SVRM 2013	2030 BAU	voorkeur 1: Biobrandstoffen EF, MET SDC	voorkeur 2: Biobrandstoffen KN, MET SDC	voorkeur 3: Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC	voorkeur 4: Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC & LNG/CNG
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer	3.759	4.539	3.875	3.434	3.476	3.509
Binnenvaart	71	118	133	133	133	133
Spoor	22	34	53	53	53	53
Totaal	3.853	4.691	4.060	3.619	3.662	3.695
% verschil t.o.v. 2030 BAU			-13,5%	-22,9%	-21,9%	-21,2%
% verschil t.o.v. 2013		21,8%	5,4%	-6,1%	-5,0%	-4,1%
Besparing CO ₂ t.o.v. 2030 BAU			631	1.072	1.030	996

Nota:

EF: Emissiefactoren;
KN: Klimaatneutraal;
SDC: Stedelijk distributiecentrum;
VZ: zware vrachtwagens;
VL: lichte vrachtwagens;
VB: bestelwagens

Stap 4: Bijkomende maatregelen

In deze stap wordt het bijkomende CO₂ besparingspotentieel van maatregelen in rekening gebracht die tot hiertoe nog niet werden opgenomen. Het gaat enerzijds om maatregelen die gemodelleerd werden en in eerste instantie niet werden toegevoegd aan de basis van het voorkeurscenario maar wel optioneel in aanmerking komen, en anderzijds om maatregelen die niet werden gemodelleerd in het SVRM of TRABAM. Voor de niet-modellering zijn een aantal redenen aan te halen:

- het effect van sommige maatregelen valt moeilijk te capteren in 1 van beide modellen vanwege de specificiteiten van het model.
- er werden in het kader van deze studie een groot aantal modeldoorrekeningen met de beide vervoersmodellen doorgevoerd.²⁶ Toch was het gelet op het groot aantal potentiële emissiereducerende maatregelen noodzakelijk om een selectie te maken van de maatregelen die individueel of gecombineerd doorgerekend konden worden met de vervoersmodellen.
- sommige maatregelen zijn moeilijk te kwantificeren maar kunnen toch een belangrijke bijdrage leveren (denk bijvoorbeeld aan bepaalde bewustwordingscampagnes).

Om te analyseren welke CO₂-reductiebijdrage deze bijkomende maatregelen kunnen betekenen bovenop de reeds doorgerekende voorkeurscenario's wordt verder gebouwd op twee hierboven berekende scenario's: een maximaal scenario en een scenario dat nauw aansluit bij het huidige voorstel van de Europese Commissie rond CO₂-emissiestandaarden:

- voorkeurscenario 2 (met SDC en zero-emissie biobrandstoffen met CO₂ emissiestandaarden voor alle voertuigen. Dit is het scenario dat tot aan stap 3 de hoogste CO₂ besparing realiseerde van -6,1% ten opzichte van 2013 Referentie.
- voorkeurscenario 4 (zonder SDC, biobrandstoffen zero emissie, geen CNG/LNG) met CO₂ emissiestandaarden voor 70% van de voertuigkilometers van zware vrachtwagens en 100% van de voertuigkilometers van bestelwagens (huidig voorstel Europese Commissie). Dit is een gematigder scenario dat een besparing van -2,7% oplevert ten opzichte van 2013 Referentie.

Voor de berekening van de CO₂-reductiebijdrage van deze maatregelen aan het voorkeurscenario wordt het effect van deze maatregelen stapsgewijs toegevoegd aan de twee geselecteerde voorkeurscenario's 2 en 4 (zie Schema berekening besparingspotentieel roadmap).

In een eerste tussenstap wordt het effect van twee maatregelen die individueel in TRABAM gemodelleerd werden, toegevoegd: Electric Road System (ERS) (zie fiche "ERS") en Platooning multibrand on-the-fly (zie fiche "Platooning").

Bij de berekening wordt het potentieel van deze maatregelen toegevoegd, ervan uitgaande dat deze maatregelen complementair aan de bestaande maatregelen worden toegevoegd. Bijvoorbeeld voor ERS betekent dit dat het wordt ingevoerd naast de introductie van BEV's. Beide maatregelen geven een bijzonder interessante en complementaire combinatie aangezien een ERS-systeem net gericht is op het elektrificeren van zware vrachtwagens waar decarbonisatie met BEV's niet evident is. Dit is te zien aan het kleine percentage batterij-elektrische zware vrachtwagens in de modeldoorrekening. Bij de berekening wordt in rekening gebracht dat via de ERS-maatregel een bijkomend deel van de voertuigkilometers gereden door zware vrachtwagens op diesel nu door zero-emissie voertuigen worden gereden. Dit betekent dat op dit deel van de voertuigkilometers de besparing door CO₂-emissiestandaarden berekend in stap 3 komt te vervallen, wat een kleine correctie vereist. Gemiddeld genomen wordt in het individuele ERS-scenario 2,6% van de voertuigkilometers van zware vrachtwagens op de snelwegen via het ERS-systeem gereden (en op dit gedeelte zullen de CO₂ emissiestandaarden dus geen effect hebben).

Voor platooning wordt verondersteld dat de besparing gerealiseerd wordt door de mix aan voertuigen in het voorkeurscenario. Een (relatief kleine) fractie van de energie-efficiëntieverbetering door platooning zal dus ook gerealiseerd worden door andere dan dieselvrachtwagens, waardoor de besparing in het gecombineerde scenario wellicht lager zal liggen dan in de modeldoorrekening van de individuele maatregel. In het voorkeurscenario schommelt voor zware vrachtwagens het aandeel van zero-emissievoertuigen in de voertuigkilometers op snelwegen in de verschillende voertuigklassen rond de 15,9%. De assumptie wordt aangenomen dat er verhoudingsgewijs voor 15,9% van de platooning-kilometers geen CO₂-reductie gerealiseerd wordt.²⁷ In de stapsgewijze berekening wordt eerst het effect van platooning toegevoegd en vervolgens van ERS.

Uit de tabel hieronder kunnen we afleiden dat platooning de besparing tov 2013 Referentie verhoogt tot -6,7% voor Voorkeur 2 en -3,3% voor Voorkeur 4. Met ERS daaraan toegevoegd wordt dit respectievelijk -9,2% en -5,9%. Daarnaast wordt ook nog een maatregel bijkomend meegenomen die in het SVRM werd gemodelleerd:

- Fiscale kostenverhoging wegvervoer (o.a. aanpassing professionele diesel) (zie fiche "Fiscale kostenverhoging wegvervoer").

Daar het maatschappelijke draagvlak bij de economische actoren en dus ook de politieke haalbaarheid voor het afschaffen van de recuperatie van accijnzen laag wordt ingeschat, werd deze niet meegenomen in de modellering van de basismaatregelen in het voorkeurscenario in het SVRM. Dit betekent niet dat er gesteld wordt dat deze maatregel geen waardevolle bijdrage kan leveren aan de decarbonisatie van het vrachtovervoer. De afschaffing van de terugvordering van de accijnzen is niet eenvoudig te realiseren maar wordt wel als wenselijk te beschouwd. Door het specifieke karakter van deze maatregel is de CO₂-besparing niet zo eenduidig te becijferen. Enerzijds is er de werkelijke CO₂-besparing door de hogere kostprijs van transport. Uit de SVRM-modeldoorrekeningen blijkt dat deze eerder beperkt is en bovendien

²⁶ 18 modeldoorrekeningen met SVRM en 20 modeldoorrekeningen met TRABAM.

²⁷ De energiebesparing die elektrische vrachtwagens zouden opleveren wordt niet meegenomen. Optimalisatie van dit systeem waarin de eerste truck en eventueel ook de volgende truck van een peleton aangedreven worden door de ERS biedt mogelijks hogere reducties.

niet zomaar bij de besparing van het gecombineerde scenario kan opgeteld worden. Daarnaast is er het effect op de Vlaamse CO₂-emissie-inventaris die relevant is voor de rapportering naar de Europese Commissie toe. Zoals uit de fiche blijkt zou dit mogelijk een significante besparing opleveren, maar vanuit een conservatieve benadering houden we het op een bijkomende besparing van 0,5% voor het wegtransport (het resultaat van de individuele modeldoorrekening in het SVRM). Deze bijkomende besparing wordt enkel doorerekend op het resterende aandeel van voertuigkilometers dat in het voorkeurscenario met dieselvoertuigen wordt gereden (respectievelijk 72,6% voor bestelwagens, 78,5% voor lichte vrachtwagens, en 84,1% voor zware vrachtwagens).

Met deze maatregel erbij komt de totale besparing op -9,7% voor voorkeurscenario 2 en -6,4% voor voorkeurscenario 4.

In een volgende tussenstap worden cumulatief nog een aantal niet gemodelleerde maatregelen toegevoegd:

- Energiebesparing spoorvervoer (zie fiche "Energiebesparing spoorvervoer")
- Energiebesparing binnenvaart (zie fiche "Energiebesparing binnenvaart")
- Verhogen benuttingsgraad (zie fiche "Operationele en technische efficiëntieverbeteringen in logistiek").
- Technische optimalisatiemaatregelen voor bestaande vrachtwagens (aandrijf- en motorsysteem, warmterecuperatie, gewicht, aerodynamica,...) (zie fiche "Operationele en technische efficiëntieverbeteringen in logistiek")
- Integratie ecodriving in rijlessen en cursussen voor chauffeurs (hervorming rij-opleiding) (zie fiche "Operationele en technische efficiëntieverbeteringen in logistiek")

Het verbeteren van de logistieke efficiëntie op basis van de laatste drie maatregelen kan bijkomende CO₂-besparingen opleveren. In de fiche "Operationele en technische efficiëntieverbeteringen in logistiek" worden op basis van inschattingen in de wetenschappelijke literatuur deze potentiële besparingen zoveel mogelijk gekwantificeerd, maar deze

maatregelen komen minder in aanmerking voor modeldoorrekeningen in het SVRM en TRABAM.

Het effect van de technische optimalisatie van bestaande dieseltrucks is evenwel reeds (grotendeels) vervat in de daling van de in de modellering gehanteerde emissiefactoren voor dieselvrachtwagens en bestelwagens voor 2013 en 2030. Het effect van ecodriving zit eveneens deels geïntegreerd in de besparing die gerealiseerd zal worden door de CO₂ emissiestandaarden. Om dit te bereiken zullen de vrachtwagenfabrikanten immers technologische ingrepen zoals geoptimaliseerd automatisch schakelen integreren zodat brandstofefficiënt rijden gestandaardiseerd wordt in deze voertuigen.

De effectieve CO₂-besparing die het verhogen van de benuttingsgraad in het voorkeurscenario in combinatie met al de andere maatregelen kan realiseren tegen 2030 is moeilijker te kwantificeren. Veel zal afhangen van de stappen die de logistieke sector zelf zet om tot een effectieve verhoging van de benuttingsgraad te komen (zie fiche "Operationele en technische efficiëntieverbeteringen in logistiek"). Logistieke efficiëntieverbeteringen in wegvervoer kunnen echter ook de kosten van wegvervoer relatief doen dalen ten opzichte van de andere modi en daarbij een secundair effect veroorzaken waarbij een deel van de CO₂-besparing door reverse modale verschuiving verloren gaat. Vanwege de onzekerheid met betrekking tot het uiteindelijke effect werd deze maatregel enkel kwalitatief mee opgenomen in het voorkeurscenario.

De verduurzaming in het spoorvervoer (zie fiche "Energiebesparing spoorvervoer" voor de oplijsting van de potentiële maatregelen) doet de totale besparing stijgen tot -10,0% voor voorkeurscenario 2 en -6,7% voor voorkeurscenario 4. De verduurzaming in de binnenvaart (zie fiche "Energiebesparing binnenvaart" voor de oplijsting van de potentiële maatregelen) doet de besparing verder toenemen tot -10,7% voor Voorkeur 2 en -7,3% voor Voorkeur 4 ten opzichte van 2013 Referentie. Als we het afzetten tegenover 2030 BAU dan bedraagt de besparing -26,6% voor Voorkeur 2 en -23,9% voor voorkeurscenario 4.

Het overzicht van het effect van de gekwantificeerde bijkomende maatregelen wordt weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 63: Voorkeurscenario 2* met bijkomende maatregelen

Vervoerwijze/scenario	Ref basisjaar SVRM 2013	2030 BAU	Voorkeurscenario 2	+100% VZ	+100% VZ + Platooning	+100% VZ + ... + ERS	+100% VZ + ... + Fiscaliteit	+100% VZ + ... + Spoor	+100% VZ + ... + Binnenvaart
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer	3.759	4.539	3.588	3.434	3.410	3.313	3.292	3.292	3.292
Binnenvaart	71	118	133	133	133	133	133	133	107
Spoor	22	34	53	53	53	53	53	42	42
Totaal	3.852	4.691	3.774	3.619	3.595	3.498	3.478	3.467	3.442
% verschil t.o.v. 2030 BAU			-19,6%	-22,9%	-23,4%	-25,4%	-25,9%	-26,1%	-26,6%
% verschil t.o.v. 2013		21,8%	-2,1%	-6,1%	-6,7%	-9,2%	-9,7%	-10,0%	-10,7%
Besparing CO ₂ t.o.v. 2030 BAU			918	1.072	1.096	1.193	1.214	1.224	1.250

* met o.a. Biobrandstoffen
Klimaatneutraal en stedelijke distributiecentra

Nota:
ERS: Electric Road System

70% VZ: zie stap 3

Tabel 64: Voorkeurscenario 4* met bijkomende maatregelen

Vervoerwijze/scenario	Ref basisjaar SVRM 2013	2030 BAU	Voorkeurscenario 4	+70% VZ	+70% VZ + Platooning	+70% VZ + ... + ERS	+70% VZ + ... + Fiscaal	+70% VZ + ... + Spoor	+70% VZ + ... + Binnenvaart
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer	3.759	4.539	3.664	3.563	3.539	3.441	3.420	3.420	3.420
Binnenvaart	71	118	133	133	133	133	133	133	107
Spoor	22	34	53	53	53	53	53	42	42
Totaal	3.852	4.691	3.849	3.748	3.725	3.626	3.606	3.596	3.570
% verschil t.o.v. 2030 BAU			-17,9%	-20,1%	-20,6%	-22,7%	-23,1%	-23,4%	-23,9%
% verschil t.o.v. 2013		21,8%	-0,1%	-2,7%	-3,3%	-5,9%	-6,4%	-6,7%	-7,3%
Besparing CO ₂ t.o.v. 2030 BAU			842	943	967	1.065	1.086	1.096	1.121

Daarnaast zijn er nog een aantal maatregelen waarvan de CO₂ besparing moeilijker te kwantificeren is, maar die wel kwalitatief worden toegevoegd aan de roadmap. Het gaat om faciliterende en stimulerende maatregelen die er voor moeten zorgen dat de hiervoor opgenomen maatregelen in de praktijk worden opgepikt en toegepast. Het gaat om volgende maatregelen:

- Sensibilisering van stakeholders via vrijwillige initiatieven (bijvoorbeeld opleiding, certificaten Lean & Green, vrijwillige CO₂ rapportering)
- Opgelegde deelname groene vrachtprogramma's voor (middel)grote bedrijven met verplichte gestandaardiseerde CO₂-emissies rapportering (Europese standaard cf. GLEC). Voor KMO's is dit mogelijk moeilijker te implementeren en kan vooral de vrijwillige rapportering gestimuleerd worden, eventueel via financiële incentives/fiscale stimuli.
- Verplichte en vrijwillige bewustmakingscampagnes. Voorbeeld van de eerste categorie is het verplichten van eco-labelling waarin de CO₂ transport impact van producten en diensten moet vermeld worden (hier is een koppeling met de CO₂ rapportering hierboven vermeld). Voorbeeld van de twee categorie is het integreren van een lessenkompakket rond transportduurzaamheid in het onderwijs.
- Stimuleren onderzoek en ontwikkeling van physical internet (waarbij goederen in een volledig open en verbonden netwerk 'zelf' hun ideale routes met bijbehorend transportmiddel kiezen van de verlader naar de klant). Dit stimuleert verhogen beladingsgraad, modale verschuiving via synchromodaal transport, gebruik duurzame transportmodi,... en stimuleert dus ook de implementatie van de reeds opgenomen maatregelen.
- Opstellen van Freight Quality Partnerships en Sustainable Urban Logistics Plans (SULP): dit is gekoppeld aan het realiseren van de stedelijke phase-out maar gaat breder en stimuleert de implementatie van maatregelen in de Roadmap.
- O&O ondersteuning ter bevordering van innovatie in de transportsector om zo de ontwikkeling van energie-efficiëntieverbeterende technologieën te versnellen en tevens de uitrol van demonstratieprojecten in Vlaanderen te faciliteren. Daarbij dient ingezet te worden op technologieën die de grootste potentiële meerwaarde voor Vlaanderen inhouden op vlak van economie en duurzaamheid.

Bespreking resultaten en bedenkingen in kader van de roadmap 2030

CO₂-resultaten roadmap t.o.v. basisjaar 2005

Uit de bovenstaande analyse blijkt dat de potentiële CO₂-besparing van de gecombineerde maatregelen uitkomt tussen de -7,3% en -10,7% voor de 2030 emissies vergeleken met het referentiejaar van de modellering 2013, afhankelijk van de beschouwde combinatie van maatregelen. Om dit af te zetten tegen basisjaar 2005 is een referentie doorrekening voor dat jaar met het SVRM nodig. Bij het ontbreken hiervan is een extrapolatie gebeurt waarbij de uitkomst van het basisjaar 2013 in het SVRM werd vergeleken met de cijfers van de MIRA kerndataset²⁸. Deze laatste zijn immers per jaar beschikbaar en gaan terug tot 2005. De terugrekening is dan een extrapolatie van basisjaar 2013 in het SVRM naar 2005 volgens de evolutie van de kerndataset. Dat levert volgende tabel op.

Tabel 65: CO₂-resultaten roadmap t.o.v. basisjaar 2005

Vervoerwijze/ scenario	Referentiejaar 2005 Extrapolatie o.b.v. MIRA kerndataset	Ref. basisjaar SVRM 2013	2030 BAU	Voorkeur 2: 100% VZ + Platooning + ERS + Fiscaliteit + Spoor + Binnenvaart	Voorkeur 4: 70% VZ + Platooning + ERS + Fiscaliteit + Spoor + Binnenvaart
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer	3.858	3.759	4.539	3.292	3.420
Binnenvaart	82	71	118	107	107
Spoor	29	23	34	42	42
Totaal	3.969	3.853	4.691	3.442	3.570
% verschil t.o.v. 2030 BAU				-26,6%	-23,9%
% verschil t.o.v. referentiejaar 2005			18,2%	-13,3	-10,1%
Besparing CO ₂ t.o.v. 2005				527	399

Ten opzichte van 2005 levert de combinatie van alle maatregelen in het voorkeursscenario een CO₂-besparing tussen -10,1% en -13,3%.

Toetsing van de roadmap aan het ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan 2030

De totale besparing van de gecombineerde maatregelen in het voorkeursscenario levert een significante reductie van de CO₂-emissies, maar nog steeds een stuk verwijderd van de Belgische doelstelling van een reductie van 35% voor non-ETS sectoren (gebouwen, transport, landbouw en kleinere industrieën) voor 2030 ten opzichte van 2005. In het recente ontwerp Vlaamse Klimaatbeleidsplan 2021-2030²⁹ wordt deze doelstelling voor transport in het beleidscenario vertaald naar een minimale reductie van broeikasgasemissies tegen 2030 met minstens 27% ten opzichte van 2005. Daarbij worden in de doorrekening van het beleidscenario wel belangrijke trendverschillen vastgesteld tussen personen- en goederenwegvervoer. Dankzij de afname van de verkeersvolumes en de relatief sterke vergroening van het wagenpark wordt voor het personenvervoer een daling van de broeikasgasemissies verwacht van 51% in de periode 2005-2030,

²⁸ <https://www.milieurapport.be/>

²⁹ Vlaamse Overheid (2018) Vlaams klimaatbeleidsplan 2021-2030. VR 2018 2007 DOC.0830/2TER

terwijl bij het goederenvervoer over de weg de verdere toename van de voertuigkilometers en de relatief beperkte vergroening van de vloot nog steeds tot een toename van de broeikasgasemissies met 3% leiden tussen 2005 en 2030.³⁰ Dit staat tegenover een toename in broeikasgassen met 19% voor goederenvervoer in het BAU-scenario (bij ongewijzigd beleid) in het ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030.³¹

De modeldoorrekeningen van het voorkeurscenario lijken aan te geven dat deze +3% subdoelstelling voor goederenvervoer in het beleidsscenario haalbaar is als de maatregelen uit het voorkeurscenario geïmplementeerd worden. Belangrijk is daarbij evenwel dat dit vooral gerealiseerd wordt door in het wagenpark in te grijpen. De gehanteerde veronderstellingen in kader van zero-emissievoertuigen zijn daarbij cruciaal. Zo zal het effect van de assumptie om de bijdrage van biobrandstoffen als zero emissie te beschouwen zeer groot zijn (dit verklaard tot tot 9% van de daling wanneer voorkeurscenario 1 en 2 vergeleken worden). Indien daar een conservatievere veronderstelling gehanteerd wordt (voorkeurscenario 1), wordt de subdoelstelling immers nog maar nipt gehaald. Ook voor de andere wagenpark-gerelateerde maatregelen zijn de veronderstellingen met betrekking tot vlootaandelen van alternatieve aandrijvingen cruciaal. Bovendien kan de vraag gesteld worden of de subdoelstelling van +3% CO₂-emissies voor goederenvervoer het realiseren van de -35% doelstelling voor de gehele non-ETS sector niet hypothekeert. Dit zal immers afhangen van de kostenefficiëntie van maatregelen in de verschillende sectoren en het draagvlak van de sectoren ten opzichte van elkaar. Ook in het licht van de recent verkondigde doelstelling van de Europese Commissie om klimaatneutraliteit te bereiken tegen 2050 dient een pad naar verdere decarbonisatie in overweging genomen te worden.³² Er wordt door de onderzoekers dan ook van uitgegaan dat er niet a priori gesteld kan worden dat bepaalde maatregelen overbodig zijn en uit de roadmap gelaten kunnen worden.

Daar de effectieve CO₂-impact van de maatregelen gepaard gaat met een zekere mate van onzekerheid (o.a. sterk afhankelijk van de toekomstige kosteneffectiviteit van een bepaalde technologie), lijkt het noodzakelijk een marge in CO₂-besparingspotentieel in het voorkeurscenario in te bouwen.

Naast de CO₂-emissies is het ook interessant om te kijken naar de evolutie van de voertuigkilometers. De modellering in het SVRM toont een verwachte toename in het aantal voertuigkilometers voor goederenvervoer tussen het 2013 SVRM-referentiescenario en het 2030 BAU-scenario (bij ongewijzigd beleid) van 16% voor wegvervoer, 62% voor spoor en 51% voor binnenvaart. Ter vergelijking: in het ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 wordt in het 2030 BAU-scenario voor zwaar vrachtverkeer over de weg een toename verondersteld van de voertuigkilometers met 19% in 2030 ten opzichte van 2015 en voor personenverkeer en licht vrachtverkeer een beperkte toename met 1%.

Hierbij wordt een trendmatige ontwikkeling van de mobiliteit zonder bijkomend beleid verondersteld en een stijgende bevolking en toename van het aantal arbeidsplaatsen. Daarnaast wordt voor binnenvaart in België een groei verwacht van 47% van het aantal tonkm tussen 2010 en 2030. Voor spoor wordt uitgegaan van een groei tussen 2010 en 2030 van 84,5% voor goederenvervoer met een gelijkblijvende verdeling tussen diesel en elektrisch spoorverkeer.³³ Door het verschil in gehanteerde categorieën en periodes is de vergelijking tussen de roadmap en het ontwerp Vlaams Klimaatbeleid niet rechtstreeks te maken, maar qua grootte-orde lijken de groeipercentages, zeker voor wegvervoer en binnenvaart, vergelijkbaar.

In het ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 wordt een beperking van de toename in voertuigkilometer tot maximaal 14% voor zwaar vrachtverkeer vooropgesteld tussen 2015 en 2030 via het sturen van mobiliteitsontwikkeling, terwijl dit voor personenverkeer en licht vrachtverkeer resulteert in een afname van het aantal voertuigkilometers met 12% in 2030 ten opzichte van 2015 (Vlaamse Overheid, 2018). Als we kijken naar het doorgerekende voorkeurscenario van de roadmap, dan zien we dat daar na invoering van de maatregelen de toename in voertuigkilometers voor goederenvervoer over de weg tussen 2013 en 2030 uitkomt op 13,89%³⁴, wat dus in lijn ligt met de cijfers in het ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan. Vergeleken met de eerder vermelde verwachte toename van 16% voor wegvervoer in het 2030 BAU-scenario in het SVRM komt deze 13,89% overeen met een daling van 12,5% in voertuigkilometers over de weg. Gelet op het aantal geïmplementeerde maatregelen in het voorkeurscenario geeft de modeldoorrekening aan dat het reduceren van voertuigkilometers niet evident is. Hierbij dient wel de nuance gemaakt te worden dat er in het SVRM uitgegaan wordt van een inelastische transportvraag (zie fiche "Elasticiteit").

Zoals hiervoor aangegeven werd er bij de selectie van de maatregelen die uiteindelijk in het voorkeurscenario van de roadmap worden opgenomen een onderscheid gemaakt tussen enerzijds de maatregelen die tot de kern van de roadmap behoren, en die een essentieel onderdeel uitmaken van een roadmap die de broeikasgasemissies van vrachtvervoer in Vlaanderen moet aanpakken, en anderzijds de maatregelen die optioneel tot de roadmap toegevoegd worden. Daar uit de analyse blijkt dat er weinig tot geen marge is om maatregelen a priori uit te sluiten, is er voor deze optionele maatregelen verdere opvolging en onderzoek aangewezen om te bepalen of en in welke mate er moet op ingezet worden. Het maakt ook dat maatregelen met relatief grote barrières, potentiële lock-ins en secundaire effecten niet zomaar buiten beschouwing gelaten kunnen worden, maar dat er bekeken moet worden of en in welke mate deze negatieve elementen gereduceerd of weggewerkt kunnen worden om een implementatie mogelijk te maken.

³⁰ Vlaamse Overheid (2018) Vlaams klimaatbeleidsplan 2021-2030. VR 2018 2007 DOC.0830/2TER

³¹ In het SVRM is de toename van CO₂-emissies in het goederenvervoer in het 2030 BAU scenario ten opzichte van het basisjaar 2005 18,2%. Deze cijfers liggen dus in lijn met elkaar.

³² Europese Commissie (2018) A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. COM(2018) 773 final

³³ Er wordt voor spoorvervoer in het ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan 2012-2030 evenwel niet aangegeven of dit groeipercentage is uitgedrukt in tonnage, voertuigkilometers of tonkilometers.

³⁴ TRABAM voertuigkilometers per dag: 2013 referentiescenario 24.095.533 vkm versus 2030 voorkeurscenario 27.442.299 vkm

Implementatie van de roadmap

Gelet op het bovenstaande blijkt er een noodzaak om alvast de in de basis van het voorkeurscenario opgenomen maatregelen te implementeren en waar mogelijk maximaal in te zetten. Om de te behalen CO₂-emissiereductie nog verder te vergroten lijkt de meest aangewezen piste het vergroten van de percentages van zero-emissievoertuigen bij de zware vrachtwagencategorie (>12 ton), aangezien deze categorie verantwoordelijk is voor veruit het grootste aandeel van de aan vrachttransport gerelateerde broeikasgasemissies. Uit de analyse blijkt echter, niet verwonderlijk, dat dit segment het moeilijkst te decarboniseren is. Enerzijds zijn er de uitdagingen op vlak van elektrificatie met batterij-technologie, anderzijds is er de uitdaging om tegen 2030 voldoende aanbod te hebben van betaalbare duurzame brandstoffen zoals waterstof, biomethaan en biodiesel. Andere mogelijkheden zoals ERS veronderstellen aanzienlijke infrastructuur- en voertuuginvesteringen in technologieën die hun technisch en economisch potentieel nog moeten bewijzen. Idealiter zorgt een doorbraak in één van de hogervermelde technologieën voor een economisch competitief alternatief voor dieselvrachtwagens waarop maximaal kan ingezet worden, maar waarschijnlijker is dat verschillende technologieën naast elkaar ontwikkeld zullen (moeten) worden die allemaal hun steentje moeten bijdragen tot de decarbonisatie van de vrachttransportsector. Daarnaast dient maximaal ingezet te worden op het overschakelen naar opties voor zero-emissie vervoer die momenteel reeds bestaan voor zwaar vrachtvervoer, zoals geëlektrificeerd spoorvervoer. Uitgaande van beperkte voor- en natransporten resulteert een modale verschuiving naar elektrisch spoorvervoer, waar dit mogelijk is, immers in sterke CO₂-emissiereducties. Ook belangrijk zijn operationele aspecten zoals het verhogen van de benuttingsgraden in de verschillende transportmodaliteiten, waarvan de CO₂-besparingspercentages nog kunnen toegevoegd worden aan de modelresultaten.

Het lijkt hierbij cruciaal de wereldwijde ontwikkelingen tot decarbonisering van vrachttransport van kortbij op te volgen om het beleid af te stemmen op de potentieel meest waardevolle decarbonisatiepistes. Om op de hoogte te blijven van nieuwe ontwikkelingen en de kansrijke voor Vlaanderen ervan correct te kunnen inschatten kan best maximaal ingezet worden op betrokkenheid bij het uitvoeren van pilootprojecten in lokale en internationale onderzoeksprogramma's. Voor grensoverschrijdend lange-afstandstransport zijn per definitie internationale oplossingen vereist en dient ingezet te worden op Europese oplossingen. Daarbij kan Vlaanderen mee aansturen op werkelijk duurzame oplossingen en vermijden dat verkeerde keuzes gemaakt worden die resulteren in lock-ins met negatieve secundaire effecten (zoals het verwerken van plastic in *recycled carbon fuels*).

Een ander belangrijk aspect zijn de fiscale beleidsinstrumenten die aangewend kunnen worden. Uit de modeldoorrekeningen bleek bijvoorbeeld dat het verminderen van CO₂-emissies via een kilometerheffing die de verschillende externe transportkosten internaliseert niet evident is, gelet op de complexiteit om de verschillende duurzaamheidsimpacts gelijktijdig te verbeteren. Een rechtsreeks koolstofbijdrage lijkt op dat vlak een geschikter instrument om de externe kosten van CO₂-emissies te internaliseren.

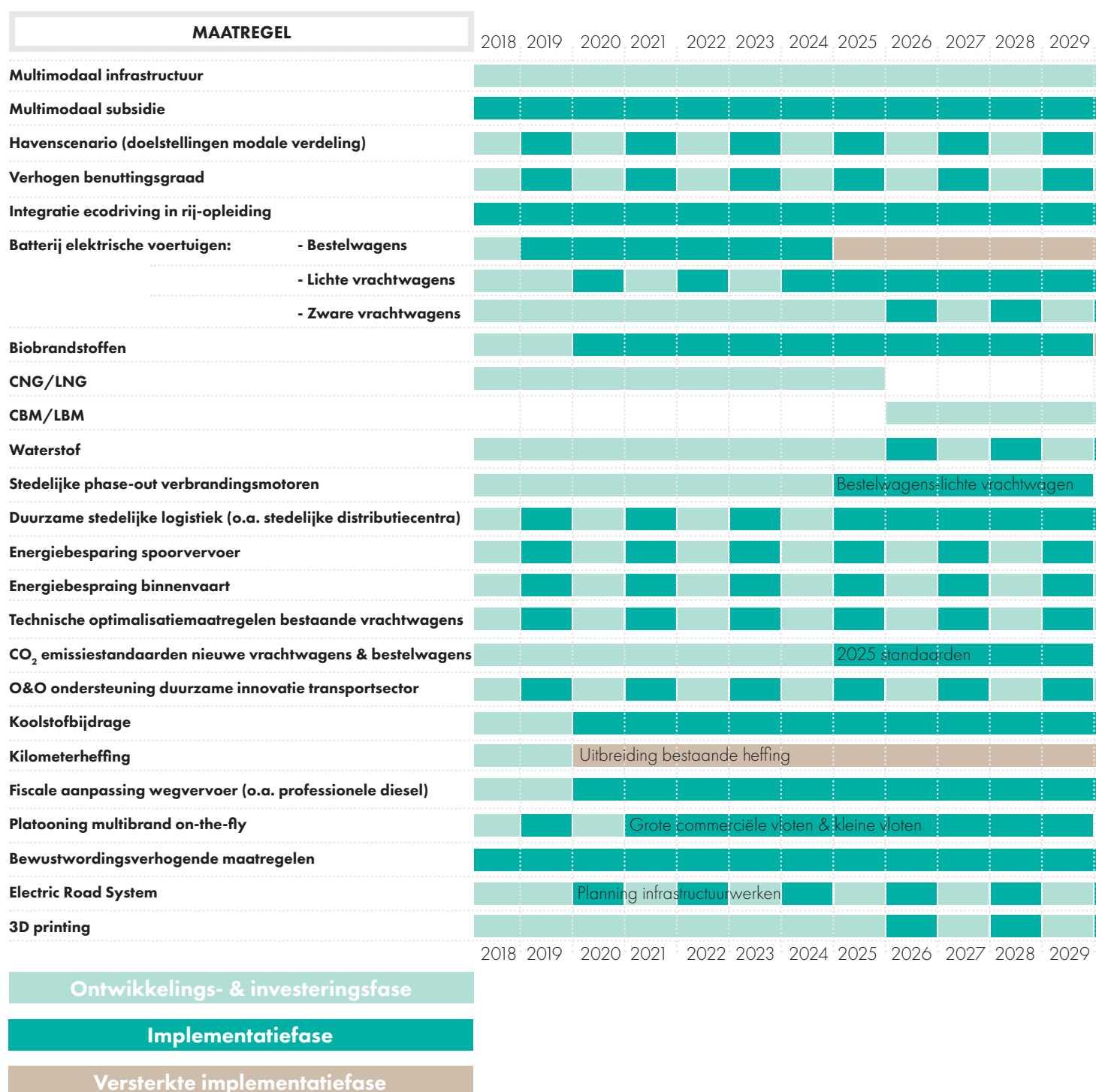
In het licht van al de bovenstaande bedenkingen wordt geadviseerd om deze roadmap als een dynamisch werkinstrument te beschouwen, welke periodiek bijgesteld kan en moet worden in het licht van de emissiedoelstellingen en als wel op basis van voortschrijdend wetenschappelijk en proefondervindelijk inzicht met betrekking tot technologieën en maatregelen die nu nog kampen met relatief grote onzekerheden op vlak van technische, operationele en economische slaagkansen. Uit de analyse blijkt dat er op het vlak van decarboniseren van vrachttransport weinig marge is om maatregelen a priori uit te sluiten of te focussen op een beperkt aantal maatregelen. Er lijkt eerder nood aan een geïntegreerde en gecoördineerde aanpak tussen verschillende domeinen (energie, ruimtelijke ordening, mobiliteit, onderwijs, economie,...) om met een breed scala aan maatregelen deze uitdaging het hoofd te bieden.

Overzicht timing maatregelen

In onderstaande figuur wordt een indicatie gegeven van de timing van de mogelijke implementatie van de in het voorkeurscenario opgenomen maatregelen. Hierbij worden zowel de basismaatregelen als optionele maatregelen meegenomen. Het gaat hier om een eerder ruwe inschatting van het tijdstip waarop de maatregel implementeerbaar wordt geacht op basis van de informatie in de individuele maatregelenfiches. De daadwerkelijke implementatie zal in realiteit doorgaans afhankelijk zijn van het al dan niet vervuld zijn van verscheidene operationele, financiële, technologische, fiscale, juridische en/of andere randvoorwaarden. Dit overzicht is bedoeld als hulpmiddel bij het vertalen van de roadmap naar een uitgewerkte strategie voor de decarbonisatie van het goederenvervoer.

In het schema wordt een onderscheid gemaakt tussen de ontwikkelings- en investeringsfase (oranje), de implementatiefase (lichtgroen) en de versterkte implementatiefase (donkergroen). Het onderscheid tussen de fases is niet altijd strikt te maken, aangezien er vaak een implementatie van een CO₂-emissiebesparende maatregel zal starten terwijl verdere investeringen en ontwikkelingen doorlopen. Een geblokte oranje-groene lijn geeft aan dat ontwikkeling en implementatie van de maatregel over een ganse periode samen blijven verlopen. De versterkte implementatiefase (in donkergroen) geeft een indicatie wanneer een bepaalde maatregel een substantieel versterkt CO₂-effect kan genereren. Dit is een enigszins arbitrair gegeven bij sommige maatregelen, maar voor andere maatregelen is dit sterker afgebakend. Zo zal bijvoorbeeld voor de CO₂-emissiestandaarden vanaf 2030 een strengere doelstelling voor nieuwe voertuigen gelden dan vastgelegd voor 2025.

Figuur 44: Tijdslijn van de maatregelen



2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050



Interpretatie resultaten: onzekerheden en bedenkingen

Bij het interpreteren van de resultaten van deze studie wordt de kanttekening gemaakt dat er tijdens de analyse van het voorkeurscenario steeds geopteerd werd om de emissie-reducties zo realistisch mogelijk in te schatten maar in geval van twijfel vooral bedachtzaam te zijn voor te optimistische aannames. Ook als uit de modeldoorrekeningen besparingspercentages naar voor kwamen die lager lagen dan verwacht, werden deze niet via aanpassing van de assumpties of andere kunstgrepen verhoogd.

Volgende onzekerheden worden geacht een belangrijke impact te hebben op het berekende CO₂-besparingspotentieel van het voorkeurscenario:

- Onzekerheid over de effecten en mogelijkheden van toekomstige technologieën;
- Onzekerheden over de implementatiesnelheden van de beschouwde technologieën, met daaraan gekoppeld onzekerheid over de snelheid van vlootvernieuwing (penetratiegraad van alternatieve aandrijvingen in 2030);
- Tegenstrijdige data over impact van technologieën ;
- Modelassumpties in de gehanteerde vervoersmodellen, waaronder bijvoorbeeld gehanteerde elasticiteiten, toewijzingsalgoritmes en groeivoeten van voertuigcategorieën.³⁵
- Onzekerheid met betrekking tot cumulatief effect van gecombineerde maatregelen in het SVRM.

Met deze voorzichtige aanpak wordt vermeden om zich "rijk te rekenen" in CO₂-besparingen. Zo bleek bijvoorbeeld dat de maatregelen om een modale verschuiving naar spoor en binnenvaart te realiseren eerder beperkte resultaten opleverden en dat dit effect zelfs verder gedempt werd wanneer de maatregelen gecombineerd gesimuleerd werden. Dit lijkt contra-intuïtief en mogelijk spelen hier bepaalde beperkingen van de modeldoorrekeningen waaronder de veronderstelling van inelasticiteit van de transportvraag (zie fiche "elasticiteit"). Daar in het verleden in de praktijk evenwel gebleken is dat een duurzame, significante modale verschuiving van weg naar spoor of binnenvaart niet zo eenvoudig te realiseren is, hebben we de conservatieve inschattingen van modeldoorrekeningen behouden.

Ook wat de percentages van alternatieve aandrijftechnologieën in de voertuigvloot betreft, hebben we de in het kader van Clean Power for Transport aangeleverde percentages behouden, ook al zou een opwaartse invulling van deze waarden, zeker voor zero-emissie technologieën zoals batterij-elektrische voertuigen, significant hogere CO₂-besparingen kunnen realiseren. Maar ook hier leert het verleden dat de introductie van nieuwe voertuigtechnologieën moeilijker verloopt dan gepland of gehoopt, dus ook hier werd erover gewaakt om niet zomaar deze percentages te verhogen. Het lijkt meer aangewezen om het basisscenario te behouden met de gebruikte parameters, en vervolgens aan de hand van een sensitiviteitsanalyse op maatregelniveau het opwaartse potentiaal van maatregelen te toetsen.

Volgens dezelfde filosofie werd ook geen besparingspercentage toegekend aan maatregelen die niet of moeilijk te modelleren en/of kwantificeren zijn. Zoals daarbij aangegeven bestaat er immers enerzijds het gevaar om besparingen dubbel te tellen of anderzijds het risico te optimistische inschattingen te maken.

³⁵ Wat de groeivoet van de verschillende voertuigcategorieën betreft en de evolutie in afgelegde voertuigkilometers, dient aangestipt te worden dat dit vooral voor de categorie bestelwagens een uitdaging blijkt te zijn (zie fiche "Toegepaste vervoersmodellen").

Bijlagen :

Tabel 66: SVRM modelleringen incl. niet weerhouden maatregelen

Vervoerwijze/ scenario	Ref 2013	Ref 2013 SO	Multimodaal en -30% totaal IWT en spoor	Ruimtelijke planning	-30% totaal IWT en spoor	-20% totaal alle modi	-20% totaal weg	+10% afstand weg	Koolstofaks	KmHeffing 1 (België/ enkel weg)	KmHeffing 2 (België/ alle modi)
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Wegvervoer zware vrachtwagen	2.824	3.445	3.322	3.429	3.321	3.374	3.445	3.425	3.312	3.012	3.021
Wegvervoer lichte vrachtwagen	497	524	523	523	524	524	524	524	523	468	467
Wegvervoer bestelwagen	430	421	414	407	414	439	441	417	414	408	388
Weg totaal excl. cong. effect	3.750	4.390	4.260	4.359	4.258	4.337	4.409	4.366	4.249	3.888	3.876
Weg totaal	3.750	4.390	4.259	4.358	4.257	4.336	4.409	4.365	4.247	3.863	3.851
Binnenvaart	71	118	157	119	157	139	115	119	117	117	120
Spoor	23	34	35	31	35	33	32	35	35	32	33
Totaal	3.844	4.543	4.451	4.509	4.450	4.507	4.556	4.519	4.399	4.013	4.003
% verschil t.o.v. 2030 BAU			-2,03%	-0,74%	-2,05%	-0,78%	0,29%	-0,53%	-3,17%	-11,68%	-11,89%
% verschil t.o.v. 2013		18,2%	15,8%	17,3%	15,8%	17,3%	18,5%	17,6%	14,4%	4,4%	4,1%
Besparing CO ₂ t.o.v. 2030 BAU			92	34	93	36	-13	24	144	530	540

Tabel 67: TRABAM modelleringen incl. niet weerhouden maatregelen

Vervoerwijze/ scenario	Ref basisjaar SVRM 2013	Ref 2030	Biobrandstoffen emissiefactor	Biobrandstoffen klimaatneutraal	Electricificatie (BEV's en Hybride)	LNG / CNG	LBM / CBM (zero emissie)	ERS	Stedelijke logistiek	Platooning binnen	Platooning buiten
CO ₂ jaarlijks	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
Weg	3.759	4.539	4.485	4.175	4.457	4.448	4.217	4.439	4.489	4.515	4.511
Binnenvaart	71	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118
Spoor	23	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Totaal	3.853	4.691	4.638	4.328	4.610	4.601	4.369	4.591	4.641	4.668	4.663
% verschil t.o.v. 2030 BAU			-1,1%	-7,7%	-1,7%	-1,9%	-6,9%	-2,1%	-1,1%	-0,5%	-0,6%
% verschil t.o.v. 2013		21,8%	20,4%	12,3%	19,6%	19,4%	13,4%	19,2%	20,5%	21,1%	21,0%
Besparing CO ₂ t.o.v. 2030 BAU			54	363	81	91	322	100	50	24	28

KmHefing 3 (Europa/enkel weg)	Voorkeurscenario 1	KmHefing 5 (Europa/alle modi/ aangepast)	KmHefing 6 (Europa/enkel weg/ aangepast/ koolstofaks alle modi)	KmHefing 7 (Europa/ enkel weg/ aangepast/ koolstofaks enkel weg)	Voorkeurscenario SVRM final
CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)
3.508	3.399	3.528	3.515	3.516	3.389
502	498	530	529	529	528
390	376	417	399	399	388
4.400	4.273	4.476	4.444	4.445	4.306
4.377	4.250	4.476	4.444	4.445	4.287
125	148	121	121	123	133
36	50	34	34	34	53
4.537	4.448	4.632	4.600	4.603	4.473
-0,13%	-2,08%	1,96%	1,25%	1,32%	-1,55%
18,0%	15,7%	20,5%	19,7%	19,7%	16,3%
6	95	-89	-57	-60	70

Stedelijke phase-out zero	Stedelijke phase-out hybrid	Waterstof	Voorkeur 1: Biobrandstoffen EF, MET SDC	Voorkeur 2: Biobrandstoffen KN, MET SDC	Voorkeur 3: Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC	Voorkeur 4: Biobrandstoffen KN, ZONDER SDC en ZONDER LNG/CNG
CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	CO ₂ (kton)	
4.076	4.348	4.390		3.588	3.631	3.664
118	118	118	133	133	133	133
34	34	34	53	53	53	53
4.228	4.501	4.543	4.215	3.774	3.816	3.849
-9,9%	-4,1%	-3,2%	-10,2%	-19,6%	-18,7%	-17,9%
9,7%	16,8%	17,9%	9,4%	-2,1%	-1,0%	-0,1%
463	190	149	477	918	875	842

Lijst van de figuren:

Figuur 1: Multi-Actor weergave van resultaat MAMCA workshop	p.8	Figuur 22: Broeikasgas-emissiebalans voor synthetisch methaan op basis van windenergie (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.57
Figuur 2: Overzicht varianten voorkeurscenario en opgenomen maatregelen	p.9	Figuur 23: Pathways voor elektriciteit (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.58
Figuur 3: Air pollution, door Clay Bennet, 2015.	p.17	Figuur 24: Broeikasgas-emissiebalans voor fossiele en nucleaire elektriciteit WTT pathways (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.59
Figuur 4: Wereldhittekaart	p.17	Figuur 25: Broeikasgas-emissiebalans voor hernieuwbare elektriciteit op basis van hout en wind WTT pathways (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.60
Figuur 5: Sectorale aandelen in de Vlaamse niet-ETS broeikasgassen in 2016 (Bron: Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030, Vlaamse Overheid 2018)	p.18	Figuur 26: Broeikasgas-emissiebalans voor biogas tot elektriciteit WTT pathways (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.61
Figuur 6: Uitstootdoelstellingen en effectieve broeikasgasuitstoot in Vlaanderen. (Bron: MOV, 2018, Presentatie Klankbordgroep)	p.19	Figuur 27: Pathways voor vloeibaar waterstof (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.62
Figuur 7: Evolutie van de tonkilometers in België, naar vervoersmodus. (Bron: MOBI, 2017 gebaseerd op cijfers ITB en STATBEL)	p.19	Figuur 28: Pathways voor gecombineerd waterstof (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.63
Figuur 8: Evolutie van de voertuigkilometers en efficiëntie van verkeer over de weg in Vlaanderen. (Bron: Vlaamse Overheid, Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 (VR 2018 2007 DOC.0830/2TER)	p.19	Figuur 29: WTT broeikasgas-emissiebalans voor geselecteerde pathways van gecombineerd waterstof uit aardgas (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.64
Figuur 9: Evolutie van de broeikasgasuitstoot van de niet-ETS sectoren in de EU (Bron: EU transport in figures, Statistical Pocketbook 2016, EC)	p.20	Figuur 30: WTT broeikasgas-emissiebalans voor geselecteerde pathways van gecombineerd waterstof uit steenkool en hout (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.65
Figuur 10: Overzicht van de emissies en prognoses voor de transportsector (inclusief brandstofsplus) 2005-2030 (Bron: Vlaamse Overheid, Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 (VR 2018 2007 DOC.0830/2TER)	p.20	Figuur 31: WTT broeikasgas-emissiebalans voor geselecteerde pathways van gecombineerd waterstof via elektrolyse (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.66
Figuur 11: Vergelijking saturatiegraad wegnetwerk in 2030 tussen Strategisch Vrachtmodel Vlaanderen versie 4.1.1 en TRABAM (bron: VUB-MOBI).	p.25	Figuur 32: Aanbevolen waarden voor externe kosten van klimaatverandering (€/ton CO ₂) in Maibach et al. (2008)	p.78
Figuur 12: TRABAM netwerk (bron: VUB-MOBI).	p.26	Figuur 33: Stadsgewesten (Van Hecke & Luyten, 2009)	p.107
Figuur 13: TRABAM Methodologie (bron: VUB-MOBI)	p.26	Figuur 34: Aandeel van de voertuigvloot in 2030 volgens aandrijving voor bestelwagens, lichte en zware vrachtovertuigen.	p.113
Figuur 14: Emissienormen voor binnenschepen (CCNR) en wegvoertuigen (Euro VI) (bron: Platina, 2012)	p.36	Figuur 35: Totale kost van eigenaarschap voor diesel, benzine en batterij-elektrische voertuigen in België (Lebeau, et al. 2015).	p.121
Figuur 15: Bron: Siemens AG / MO TI EH / Akerman (2015)	p.47	Figuur 36: TCO - BEV 1 (Bron: TNO, 2018)	p.122
Figuur 16: Overzicht van potentiële LCFF-productieroutes (E4Tech, 2018)	p.50	Figuur 37: TCO - BEV 2 (Bron: TNO, 2018)	p.123
Figuur 17: BKG WTT-emissiebalans voor op ruwe olie gebaseerde brandstoffen (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.51	Figuur 38: Power-to-X valorisatiepaden (Thomas et al., 2016)	p.129
Figuur 18: Levenscyclus broeikasgasemissies op basis van Globiom en de richtlijn hernieuwbare energie in vergelijking met de basislijn van fossiele brandstoffen (Bron: Transport & Environment, 2016)	p.53	Figuur 39: Additionele kost voor vier broeikasgasreductiescenario's vergeleken met referentiescenario (enkel fossiele brandstoffen) (Bron: Moutak et al., 2016 op basis van Kasten et al., 2016)	p.134
Figuur 19: Analyse van onzekerheid ILUC-effecten (Bron: Wolter et al., 2017)	p.54	Figuur 40: Toepassing van Electric Road System op de Vlaamse autosnelwegen (VUB)	p.157
Figuur 20: CNG en LNG Pathways (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.55	Figuur 41: Cumulatieve brandstofverbruikseffecten en bijbehorende terugverdientijden voor efficiëntie-technologieën van de trekker-opleggers in 2030 (Meszler et al., 2018)	p.190
Figuur 21: Broeikasgas-emissiebalans voor CNG WTT pathways (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014)	p.56	Figuur 42: Brandstofbesparingspotentieel van gecombineerde technologiepakketten voor > 16 ton trekker-oplegger met geoptimaliseerde oplegger (TNO et al., 2018)	p.195
		Figuur 43: Overzicht varianten voorkeurscenario en bijkomende maatregelen	p.236
		Figuur 44: Tijdslijn van de maatregelen	p.250

Lijst van de tabellen:

Tabel 1: CO ₂ -besparingspotentieel van het voorkeurscenario en bijkomende maatregelen	p.10	Tabel 28: Aandeel van de voertuigvloot in 2030 volgens aandrijving voor bestelwagens, lichte en zware vrachtoertuigen.	p.120
Tabel 2: Emissies voorkeurscenario t.o.v. 2005	p.10	Tabel 29: Batterij-elektrische voertuigen voor wegtransport (Bron: TNO, 2018)	p.122
Tabel 3: Vergelijking TRABAM & SVRM	p.27	Tabel 30: Aandeel van de voertuigvloot in 2030 volgens aandrijving voor bestelwagens, lichte en zware vrachtoertuigen.	p.140
Tabel 4: Emissiefactoren per voertuigtype 2013 (COPERT4v11.4)	p.30	Tabel 31: Kapitaalkosten voor benzine, diesel en aardgas wegvoertuigen in 2020 (Kollamthodi et al., 2016)	p.142
Tabel 5: Voertuigkilometers per vrachtwagen- en wegtype, Vlaanderen 2013 (FOD Mobiliteit, 2017)	p.31	Tabel 32: Jaarlijkse brandstofkosten (exclusief taksen en accijnzen) voor benzine, diesel en methaan wegvoertuigen in 2020 (Kollamthodi et al., 2016)	p.143
Tabel 6: Gewogen emissiefactoren per voertuigtype 2013 (Eigen berekeningen)	p.31	Tabel 33: Totale geannaliseerde marginale kapitaal-, brandstof- en tankinfrastructuur meerkosten voor methaan wegvoertuigen ten opzichte van conventionele voertuigen in 2020 (Kollamthodi et al., 2016)	p.144
Tabel 7: Emissiefactoren per voertuigtype 2030 (VITO)	p.32	Tabel 34: Totale jaarlijkse kapitaal-, brandstof- en tankinfrastructuurkosten voor benzine, diesel en aardgas wegvoertuigen in 2020 (Kollamthodi et al., 2016)	p.144
Tabel 8: Gewogen emissiefactoren weg 2030 (Eigen berekeningen)	p.33	Tabel 35: Kollamthodi et al. (2016)	p.149
Tabel 9: Selectie detail emissiefactoren binnenvaart 2016 (EMMOSS v3.2)	p.35	Tabel 36: Aandeel van de voertuigvloot in 2030 volgens aandrijving voor bestelwagens, lichte en zware vrachtoertuigen.	p.150
Tabel 10: Gewogen emissiefactoren binnenvaart 2013 en 2030 (Eigen berekeningen)	p.35	Tabel 37: Totale jaarlijkse kapitaal-, brandstof- en tankinfrastructuurkosten voor wegvoertuigen met gemengd brandstofsysteem (diesel en methaan) in 2020 (Kollamthodi et al., 2016)	p.152
Tabel 11: Geaggregeerde elasticiteiten voor een 5% kostenreductie (Beuthe et al., 2014)	p.39	Tabel 38: ICCT, 2017	p.161
Tabel 12: Tonkilometer-elasticiteiten per NST-R categorie voor een 5% kostenreductie (Beuthe et al., 2014)	p.40	Tabel 39: Voertuigkilometers per vrachtwagen- en wegtype, Vlaanderen 2013 (FOD Mobiliteit, 2017)	p.174
Tabel 13: Vergelijking van de kosten- en tijdselasticiteiten per tonkilometer uit BasGoed, NODUS en SVRM (Borremans et al., 2015)	p.41	Tabel 40: Emissiefactoren aangepast voor CO ₂ -emissiestandaarden in 2025 (VUB-MOBI, 2018 op basis van emissiefactoren Departement Omgeving/VITO, 2017)	p.175
Tabel 14: Test Cycle Vehicle Energy Efficiency Ratio at Different Average Speeds	p.46	Tabel 41: Emissiefactoren aangepast voor CO ₂ -emissiestandaarden in 2030 (VUB-MOBI, 2018 op basis van emissiefactoren Departement Omgeving/VITO, 2017)	p.176
Tabel 15: Brandstoffen en hulpbronnen (Bron: JEC-Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE, 2014))	p.49	Tabel 42: Sensitiviteitsanalyse kostenverlaging (logistieke efficiëntie)	p.181
Tabel 16: Sensitiviteitsanalyse kostenverlaging (koolstofbijdrage)	p.76	Tabel 43: Modale verschuiving in de kostensensitiviteit modeldoorrekening	p.182
Tabel 17: Update aanbevolen waarden voor externe kosten van klimaatverandering (€/ton CO ₂) gebaseerd op Gibson et al. (2014) en Delhay et al. (2017)	p.78	Tabel 44: Reductiepotentieel brandstofverbruik van individuele maatregelen voor >16 ton trekker-opleggers (TNO et al., 2018)	p.193
Tabel 18: Prognose fiscaal systeem	p.84	Tabel 45: Holtman et al. (2016)	p.193
Tabel 19: Sensitiviteitsanalyse kostenverlaging (logistieke efficiëntie)	p.85	Tabel 46: PLATINA 2 overzicht en evaluatie van veelbelovende maatregelen	p.197
Tabel 20: Kosten wegvervoer	p.85		p.204
Tabel 21: Vervoerswijze/scenario	p.88	Tabel 47: Overzicht scenario's kilometerheffing	p.218
Tabel 22: Modale verdeling - Ruimtelijke planning	p.89	Tabel 48: Totale externe kosten zonder correctie accijnzen/heffingen	p.220
Tabel 23: Modale verdeling - Multimodaal vervoer - subsidie	p.93	Tabel 49: voertuigkilometers voor wegvervoer (per voertuig- en wegtype), binnen vaart en spoor voor de verschillende kilometerheffing-scenario's	p.222
Tabel 24: Modale verdeling - Multimodaal vervoer - infrastructuur	p.97	Tabel 50: Externe kostentarieven scenario 4	p.224
Tabel 25: Overzicht gewenste wijziging in modale verdeling	p.102	Tabel 51: Externe kostentarieven scenario 5, 6 en 7	p.225
Tabel 26: Overzicht gewenste wijziging in modale verdeling voor de haven van Antwerpen	p.102	Tabel 52: Marginale externe ongevalskosten (Delhay et al., 2017)	p.228
Tabel 27: Overzicht gewenste wijziging in modale verdeling voor de haven van Gent	p.102		

Tabel 53: Marginale externe geluidskosten (Delhayé et al., 2017)	p.228
Tabel 54: Marginale externe milieukosten (Delhayé et al., 2017)	p.228
Tabel 55: Marginale externe infrastructuurkosten (Delhayé et al., 2017)	p.228
Tabel 56: Marginale externe congestiekosten (Delhayé et al., 2017)	p.229
Tabel 57: Marginale belastingen en heffingen (Delhayé et al., 2017)	p.229
Tabel 58: Marginale externe kosten van CO ₂ emissies (Delhayé et al., 2017)	p.229
Tabel 59: CO ₂ -emissies van maatregelen doorgerekend met het SVRM	p.237
Tabel 60: CO ₂ -emissies van maatregelen doorgerekend met TRABAM	p.240
Tabel 61: Voorkeursscenario's	p.240
Tabel 62: Impact van CO ₂ -emissiestandaarden op CO ₂ -emissies	p.242
Tabel 63: Voorkeursscenario 2 met bijkomende maatregelen	p.244
Tabel 64: Voorkeursscenario 4 met bijkomende maatregelen	p.245
Tabel 65: CO ₂ -resultaten roadmap t.o.v. basisjaar 2005	p.246
Tabel 66: SVRM modelleringen incl. niet weerhouden maatregelen	p.254
Tabel 67: TRABAM modelleringen incl. niet weerhouden maatregelen	p.254

