

De milieu-impact van de evolutie van de transportvraag tegen 2030

September 2012

Ina De Vlieger, ina.devlieger@vito.be,
Dominique Gusbin, dg@plan.be,
Bruno Hoornaert, bho@plan.be,
Inge Mayeres, inge.mayeres@vito.be,
Hans Michiels, hans.michiels@vito.be,
Marie Vandresse, vm@plan.be,
Marlies Vanhulsel, marlies.vanhulsel@vito.be

Federaal Planbureau

Het Federaal Planbureau (FPB) is een instelling van openbaar nut.

Het FPB voert beleidsrelevant onderzoek uit op economisch, sociaal-economisch vlak en op het vlak van leefmilieu. Hiertoe verzamelt en analyseert het FPB gegevens, onderzoekt het aanneembare toekomstscenario's, identificeert het alternatieven, beoordeelt het de gevolgen van beleidsbeslissingen en formuleert het voorstellen.

Het stelt zijn wetenschappelijke expertise onder meer ter beschikking van de regering, het Parlement, de sociale gesprekspartners, nationale en internationale instellingen. Het FPB zorgt voor een ruime verspreiding van zijn werkzaamheden. De resultaten van zijn onderzoek worden ter kennis gebracht van de gemeenschap en dragen zo bij tot het democratisch debat.

Het Federaal Planbureau is EMAS en Ecodynamische Onderneming (drie sterren) gecertificeerd voor zijn milieubeheer.

url: <http://www.plan.be>

e-mail: contact@plan.be

Publicaties

Terugkerende publicaties:

Vooruitzichten

De "Short Term Update"

Planning Papers (laatste nummer):

Het doel van de "Planning Papers" is de analyse- en onderzoekswerkzaamheden van het Federaal Planbureau te verspreiden.

111 De Belgische milieurekeningen - Milieu-economische rekeningen 1990-2008
Guy Vandille, Lies Janssen - September 2012

Working Papers (laatste nummer):

10-12 Fragiliteit van de financiële structuur van de niet-financiële ondernemingen in de marktsector in België in 2007 en 2010
Hilde Spinnewyn, Michel Dumont - Juli 2012

Overname wordt toegestaan, behalve voor handelsdoeleinden, mits bronvermelding.

Verantwoordelijke uitgever: Henri Bogaert

Wettelijk Depot: D/2012/7433/30

Federaal Planbureau
Kunstlaan 47-49, 1000 Brussel
tel.: +32-2-5077311
fax: +32-2-5077373
e-mail: contact@plan.be
<http://www.plan.be>

Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek
Boeretang 200, 2400 Mol
tel.: +32-14-335511
fax: +32-14-335599
e-mail: vito@vito.be
<http://www.vito.be>

De milieu-impact van de evolutie van de transportvraag tegen 2030

September 2012

Ina De Vlieger, ina.devlieger@vito.be, Dominique Gusbin, dg@plan.be,
Bruno Hoornaert, bho@plan.be, Inge Mayeres, inge.mayeres@vito.be,
Hans Michiels, hans.michiels@vito.be, Marie Vandresse, vm@plan.be,
Marlies Vanhulsel, marlies.vanhulsel@vito.be

Abstract - In september 2012 publiceerden het Federaal Planbureau en de FOD Mobiliteit en Vervoer een nieuwe referentieprojectie voor de langetermijnevolutie van transport in België (FPB en FOD M&V, 2012). Naast de evolutie van het personen- en goederenvervoer en de transportkosten, stelt de publicatie ook emissievooruitzichten op voor de broeikasgassen en de belangrijkste pollutanten en berekent ze de milieukosten die eraan verbonden zijn. Voor deze berekeningen werkte het Federaal Planbureau samen met VITO in het kader van het LIMOBEL- en PROLIBIC-project, beide gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid.

Deze Working Paper beschrijft de methodologie om de impact van transport op het milieu te berekenen en omvat een meer gedetailleerde analyse van de evolutie tegen 2030 van de CO₂-, NO_x- en PM_{2,5}-emissies veroorzaakt door vervoer. Deze gedetailleerde studie omvat onder meer een decompositieanalyse die de verschillende verklarende factoren voor die evolutie kwantificeert.

Jel Classification - Q25, R41

Keywords - Emissies, broeikasgassen, langetermijnvooruitzichten, personen- en goederenvervoer, pollutanten

Inhoudstafel

Synthese.....	1
1. Inleiding	3
2. Transportvooruitzichten: belangrijkste resultaten.....	4
2.1. Personenvervoer	4
2.2. Goederenvervoer	5
3. Emissiefactoren	6
3.1. Uitlaatemissies	7
3.1.1. Wegverkeer	7
3.1.2. Spoorverkeer	9
3.1.3. Binnenvaart	11
3.2. Emissies verbonden aan de productie en het transport van energiedragers	11
3.3. Niet-uitlaatemissies	13
4. Monetaire waardering van de schade van de emissies.....	14
4.1. Methodologie	14
4.2. Resultaten	16
5. Milieu-impact van transport	20
5.1. Algemene evolutie van de emissies	20
5.2. Gedetailleerde analyse van de evolutie van de uitlaatemissies	22
5.2.1. CO ₂ -uitlaatemissies	22
5.2.2. NO _x -uitlaatemissies	24
5.2.3. PM _{2,5} -uitlaatemissies	25
5.3. Milieukosten	26
6. Decompositieanalyse van de evolutie van vervoeremissies	27
6.1. Inleiding	27
6.2. Methodologie	27
6.2.1. Algemene methode	27
6.2.2. Methode voor personenauto's	28
6.2.3. Voorafgaande opmerkingen bij de voorstelling van de resultaten	29
6.3. CO ₂ -uitlaatemissies	30
6.3.1. Personenvervoer	30
6.3.2. Goederenvervoer	31

6.4. NO _x -uitlaatemissies	32
6.5. PM _{2,5} -uitlaatemissies	33
7. Conclusie	34
Referenties	36

Lijst van tabellen

Tabel 1	Belangrijkste resultaten van de langetermijnvooruitzichten voor transport - projectie bij ongewijzigd beleid.....	5
Tabel 2	Aandeel van biobrandstoffen in benzine- en diesilverbruik van wegtransport	8
Tabel 3	Aandeel van de alternatieve auto's in de nieuwe aankopen.....	9
Tabel 4	Aandeel van de herlaadbare auto's (PHEV's) in het totaal aantal nieuwe hybride auto's	9
Tabel 5	Gemiddelde emissiefactoren voor de uitlaatemissies van wegtransport.....	9
Tabel 6	Gemiddelde emissiefactoren voor de uitlaatemissies van binnenvaart en het spoor (dieseltreinen)	10
Tabel 7	Emissiefactoren voor de productie en het transport van energiedragers (Belgische markt) ...	12
Tabel 8	Emissiefactoren voor de elektriciteitsproductie	13
Tabel 9	Emissiefactoren voor de niet-uitlaatemissies van PM _{2,5}	13
Tabel 10	Samenvatting van de marginale externe kosten van luchtverontreiniging (PM _{2,5} en NO _x) en klimaatverandering	19
Tabel 11	Verkeersindicatoren voor de verschillende vervoersmodi.....	28

Lijst van figuren

Figuur 1	Overzicht van de algemene methodologie van de verschillende E-Motion modules	6
Figuur 2	Externe gezondheidskosten per ton PM _{2,5} uitgestoten in België volgens aard van de impact ..	16
Figuur 3	Externe gezondheidskosten per ton PM _{2,5} uitgestoten in België volgens plaats van de impact	17
Figuur 4	Externe gezondheidskost per ton NO _x uitgestoten in België volgens aard van de impact	18
Figuur 5	Externe gezondheidskost per ton NO _x uitgestoten in België volgens plaats van de impact	18
Figuur 6	Totale emissies van het personen- en het goederenvervoer in België (weg, spoor, binnenvaart) - referentieprojectie	20
Figuur 7	Uitlaatemissies (links) en indirecte (rechts) emissies van het personen- en het goederenvervoer in België (weg, spoor, binnenvaart) - referentieprojectie	21
Figuur 8	Aandeel van de uitlaat- en niet-uitlaatemissies en de indirecte emissies in de totale CO ₂ -, NO _x - en PM _{2,5} -emissies van het personen- en goederenvervoer in België (weg, spoor, binnenvaart) - referentieprojectie	22

Figuur 9	Aandeel van het goederen- en personenvervoer in de CO ₂ -uitlaatmissies	23
Figuur 10	CO ₂ -uitlaatmissies - evolutie per type transport en per vervoermiddel	23
Figuur 11	Aandeel van het personen- en goederenvervoer in de NO _x -uitlaatmissies van transport	24
Figuur 12	Directe NO _x -emissies - evolutie per type transport en per vervoermiddel	24
Figuur 13	Aandeel van het personen- en goederenvervoer in de PM _{2,5} -uitlaatmissies van transport	25
Figuur 14	Directe PM _{2,5} -emissies - evolutie per type transport en per vervoermiddel	25
Figuur 15	Evolutie van de milieukosten van transport (CO ₂ , NO _x en PM _{2,5}) en modale verdeling	26
Figuur 16	Decompositieanalyse van de evolutie van de CO ₂ -uitlaatmissies door het personenvervoer tussen 2008 en 2030 - referentieprojectie	30
Figuur 17	Decompositieanalyse van de evolutie van de CO ₂ -uitlaatmissies door het goederenvervoer tussen 2008 en 2030 - referentieprojectie	31
Figuur 18	Decompositieanalyse van de evolutie van de NO _x -uitlaatmissies door het personen- (links) en goederenvervoer (rechts) tussen 2008 en 2030 - referentieprojectie	32
Figuur 19	Decompositieanalyse van de evolutie van de PM _{2,5} -uitlaatmissies door het personen- (links) en goederenvervoer (rechts) tussen 2008 en 2030 - referentieprojectie	33

Synthese

In september 2012 publiceerden het Federaal Planbureau en de FOD Mobiliteit en Vervoer een nieuwe referentieprojectie voor de evolutie van de transportvraag in België tegen 2030 (FPB en FOD M&V, 2012). Naast de evolutie van het personen- en goederenvervoer en de transportkosten, stelt de publicatie ook vooruitzichten op voor de vervoeremissies van broeikasgassen en de belangrijkste polluenten en berekent ze de milieukosten die eraan verbonden zijn. Voor deze berekeningen werkte het Federaal Planbureau samen met VITO in het kader van het LIMOBEL- en PROLIBIC-project, beide gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid.

Deze Working Paper beschrijft de methodologie om de impact van transport op het milieu te berekenen en omvat een meer gedetailleerde analyse van de evolutie tegen 2030 van de CO₂-, NO_x- en PM_{2,5}-emissies veroorzaakt door vervoer, met een bijzondere focus op de uitlaatemissies. Deze gedetailleerde studie omvat onder meer een decompositieanalyse die de verschillende verklarende factoren voor de evolutie van de uitlaatemissies kwantificeert.

De emissies en het energieverbruik worden berekend met behulp van het E-Motion model ('Energy-and emission MOdel for Transport with geographical distributIOn') dat werd ontwikkeld door VITO. Dit gebeurt voor de drie Belgische gewesten en voor de volgende transportmodi: het wegverkeer, het spoorvervoer, de binnenvaart, het maritiem transport en "off-road" transport. De bijdrage van E-Motion aan de vooruitzichten uit de referentieprojectie is tweeledig. Eerst en vooral geeft het model energieverbruiksfactoren die als input gebruikt worden bij de berekening van de gebruikerskost van de transportmodi. Anderzijds laat het toe om het totale energieverbruik en de emissies en zo gemiddelde emissiefactoren voor gebruik in het PLANET-model te berekenen. De maatschappelijke schade die de emissies veroorzaken, komt uit een gedetailleerde studie die werd uitgevoerd voor België over de effecten van PM_{2,5} en NO_x-emissies op de menselijke gezondheid. Voor de broeikasgassen baseren we ons op cijfers uit de literatuur.

Volgens de projectie bij ongewijzigd beleid neemt de transportactiviteit aanzienlijk toe tussen 2008 en 2030, zowel voor het personenvervoer (+ 20% reizigerskilometers) als voor het goederenvervoer (+68% tonkilometers). Die stijging weerspiegelt de evolutie van de economische groei en de sociodemografische veranderingen. Ze blijft niet zonder impact op het milieu. Die impact is enerzijds het gevolg van de evolutie van de emissies (uitlaat- en niet-uitlaatemissies en indirecte emissies) van polluenten van het vervoer en anderzijds van de milieukosten die deze emissies veroorzaken. De CO₂-uitlaatemissies (het voornaamste broeikasgas) van het vervoer stijgen met 12% tussen 2008 en 2030. De uitlaatemissies van NO_x en PM_{2,5} dalen echter respectievelijk met 77% en 81%. Het wegvervoer is de grootste uitstootbron van CO₂ en van de twee lokale polluenten over de periode 2008-2030.

In 2008 schommelen de milieukosten verbonden aan de uitlaatemissies van CO₂, NO_x en PM_{2,5} tussen 147 en 961 miljoen euro (in euro van 2008) afhankelijk van de monetaire waardering van de schade veroorzaakt door CO₂. Tussen 2008 en 2030 stijgen de milieukosten aanzienlijk ondanks de sterke daling van de emissies van de twee lokale polluenten (NO_x en PM_{2,5}): van +168% (hoge CO₂-waarde) tot +384% (lage CO₂-waarde). Die evolutie wordt enerzijds verklaard door de toename van de

CO₂-emissies van het vervoer en anderzijds door de toename in de tijd van de externe marginale kosten als gevolg van de wijzigingen in de concentratie van de polluenten, de demografische evoluties en de stijging van het bbp per hoofd.

De decompositieanalyse toont de verklarende factoren van de evolutie van de emissies van polluenten en vooral de rol van de technologische maatregelen om de impact van de vervoersactiviteiten op het milieu te beperken, namelijk de Euronormen en de regelgeving om de energie-efficiëntie van voertuigen te verbeteren.

Voor de NO_x- en PM_{2,5}-emissies blijkt uit de resultaten van de decompositieanalyse dat de technologische maatregelen (katalysators, deeltjesfilters, enz.) grotendeels de verwachte daling van de uitlaatemissies tegen 2030 verklaren.

Voor de CO₂-emissies hangt de rol van de technologische maatregelen af van het type vervoer (personen of goederen). De CO₂-uitlaatemissies van het personenvervoer nemen af in de projectie. Die daling wordt grotendeels verklaard door de verdieseling van het wagenpark, de verbetering van de energie-efficiëntie van voertuigen dankzij de huidige Europese regelgeving en de toename van nieuwe motoraandrijvingen (hybride en elektrische) en door het toegenomen gebruik van biobrandstoffen. Voor het goederenvervoer stijgen de CO₂-emissies met 42% in 2030 ten opzichte van 2008. Die stijging wordt verklaard door de sterke groei van het goederenvervoer tegen 2030, die niet kan worden gecompenseerd door de toename van de gemiddelde beladingsgraad en evenmin door de modale verschuiving ten gunste van het spoorvervoer en de binnenvaart en de toename van de energie-efficiëntie van vrachtwagens en bestelwagens.

De evolutie bij ongewijzigd beleid van de CO₂-uitlaatemissies van het vervoer toont dat het huidige beleid niet volstaat om die emissies in België te verminderen. De Europese Commissie heeft in maart 2011 een Witboek Transport goedgekeurd (EC, 2011 b) waarin een transportstrategie is uitgetekend om tegen 2050 de broeikasgasemissies afkomstig van die sector met 60% te verlagen. Dat cijfer stemt overeen met een emissiereductie van ongeveer 70% ten opzichte van 2008. Het document vermeldt ook dat de doelstelling tegen 2030 voor het transport erin bestaat de broeikasgasemissies met ongeveer 20% te verlagen ten opzichte van het niveau van 2008.

De bovenvermelde doelstellingen zijn doelstellingen op Europees niveau. De referentieprojectie toont echter aan dat er nieuwe beleidsmaatregelen vereist zijn (op Belgisch en/of Europees niveau) om aan te sluiten bij de gewenste trend. In dat opzicht heeft de Europese Commissie in juli 2012 voorstellen van nieuwe CO₂-emissievoorschriften voor wagens en bestelwagens tegen 2020 voorgesteld (respectievelijk 95g CO₂/km en 147g CO₂/km). Ondanks het milieuvoordeel dat deze nieuwe regelgeving zal opleveren, zullen ook andere beleidsmaatregelen nodig zijn, zoals maatregelen ter bevordering van minder vervuilende transportmodi en multimodaal transport.

1. Inleiding

In september 2012 publiceerden het Federaal Planbureau en de FOD Mobiliteit en Vervoer een nieuwe referentieprojectie voor de evolutie van de transportvraag in België tegen 2030 (FPB en FOD M&V, 2012). Naast de evolutie van het personen- en goederenvervoer en de transportkosten, stelt de publicatie ook vooruitzichten op voor de vervoeremissies van broeikasgassen en de belangrijkste polluenten en berekent ze de milieukosten die eraan verbonden zijn. Voor deze berekeningen werkte het Federaal Planbureau samen met VITO in het kader van het LIMOBEL- en PROLIBIC-project, beide gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid.

Deze Working Paper beschrijft meer in detail de methode die gevolgd werd voor de vooruitzichten voor de milieu-impact van transport in de referentieprojectie. Hiertoe ondernemen we de volgende stappen. In deel 2 starten we met een korte samenvatting van de transportvooruitzichten van de referentieprojectie. Vervolgens bespreken we in deel 3 de methodologie van het E-Motion model dat gebruikt werd om de emissie- en energieverbruiksfactoren te bepalen. Deel 4 gaat dieper in op de berekening van de schade die de emissies veroorzaken. Voor de externe gezondheidskosten van de PM_{2,5}- en NO_x-emissies baseren we ons daarvoor op een recente studie voor België die rekening houdt met een mogelijke verandering van deze kosten over de tijd heen, ten gevolge van demografische evoluties of veranderingen in de achtergrondconcentraties. Voor de broeikasgassen gebruiken we resultaten uit de literatuur. Op basis van de informatie uit deel 2 tot deel 4 werden de vooruitzichten opgesteld voor de emissies van transport tot 2030 en van de milieuschade die eraan verbonden is (deel 5). Om meer inzicht te krijgen in de factoren die aan de basis liggen van de evolutie van de emissies hebben we ten slotte een decompositieanalyse uitgevoerd (deel 6). Hierna gaan we na in welke mate de voorziene evoluties te verklaren zijn door de verwachte veranderingen in de transportvraag, de modale keuze, de bezettings- of beladingsgraad, de technologie of de introductie van biobrandstoffen.

In de referentieprojectie voor de evolutie van de transportvraag in België tegen 2030 (FPB en FOD M&V, 2012) houdt de impact van vervoersactiviteiten op het milieu rekening met de uitlaat- en de niet-uitlaatemissies en de indirecte emissies. De indirecte emissies zijn de zogenaamde Bron-tot-Tank ('Well-to-Tank')-emissies die vrijkomen bij de productie en het transport van brandstoffen en bij de elektriciteitsproductie voor transport. De niet-uitlaatemissies van fijn stof, ten slotte, zijn emissies die veroorzaakt worden door de slijtage van remmen, banden, het wegdek en de sporen. De vooruitzichten voor de vervoeremissies omvatten zeven lokale polluenten (CO, NO_x, PM_{2,5}, NMVOS, SO₂, NH₃ en Pb) en drie broeikasgassen (CO₂, CH₄ en N₂O).

Om de voorstelling te vereenvoudigen, gaat deze Working Paper nader in op de *drie* meest significante polluenten van transport – CO₂, NO_x en PM_{2,5} – en analyseert hij meer in detail de evolutie van de *uitlaatemissies* (aandeel van het personen- en goederenvervoer en van de vervoermiddelen, verklarende factoren, enz.). De evolutie van de andere polluenten wordt voorgesteld in de publicatie over de vooruitzichten van de transportvraag tegen 2030 (FPB en FOD M&V, 2012).

2. Transportvooruitzichten: belangrijkste resultaten

Bij ongewijzigd beleid gaat de projectie van de transportvraag in België uit van een voortzetting van het huidige prijsbeleid en van de uitvoering van bestaande Europese richtlijnen, die voorzien in nieuwe Euronormen, een betere energie-efficiëntie voor voertuigen en een hoger gebruik van biobrandstoffen (zie deel 3.1). De evolutie van de energieprijzen is gebaseerd op de laatste energievoorzichten van het Federaal Planbureau (FPB, 2011b). De gemiddelde jaarlijkse groei van de ruwe olieprijs (in reële prijzen) bedraagt 1,3% voor de periode 2008-2030. Dat impliceert dat de reële benzine- en dieselprijzen aan de pomp met respectievelijk 13% en 8% zouden stijgen tussen 2008 en 2030. Voor de toekomstige evolutie van het wagenpark, gaat de projectie bij ongewijzigd beleid uit van een langzame maar geleidelijke integratie van alternatieve voertuigen (zie deel 3.1). De referentieprojectie gaat uit van een gemiddelde jaarlijkse bbp-groei van 1,6% over de periode 2008-2030. Die hypothese is gebaseerd op de middellange- en langetermijnvooruitzichten van het Federaal Planbureau die medio 2011 werden gepubliceerd. Een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte hypothesen in het kader van de referentieprojectie is beschikbaar in de publicatie (FPB en FOD M&V, 2012). De referentieprojectie werd gerealiseerd met behulp van versie 3.2 van het PLANET-model.

2.1. Personenvervoer

We onderscheiden drie verplaatsingsmotieven voor het personenvervoer: woon-werk, woon-school en 'andere motieven'. Deze laatste betreffen verplaatsingen voor vrije tijd, boodschappen, vakantie... en stonden in 2008 in voor 64% van het totaal aantal trips.

De belangrijkste evoluties voor het personenvervoer worden weergegeven in Tabel 1. Het totaal aantal reizigerskm stijgt met 20% tussen 2008 en 2030, of een gemiddelde jaarlijkse groei van 0,8%. Voor de woon-werktrips stijgt het aantal reizigerskm met 11% tussen 2008 en 2030. Wat de woon-schooltrips betreft, stijgt het aantal reizigerskm met 40% tussen 2008 en 2030. De reizigerskm voor de 'andere motieven', ten slotte, kennen een groei van 21% over de periode 2008-2030. Tabel 1 vertaalt ook de evoluties per verplaatsingstype in gemiddelde jaarlijkse groei.

De dominante positie van de auto in het totaal aantal reizigerskm wijzigt niet tussen 2008 en 2030 (81% in 2008 en 80% in 2030). Tussen die twee jaren is er een lichte verschuiving van carpooling naar het solo gebruik van de auto. Het aandeel afgelegde reizigerskm met carpooling daalt van 31% in 2008 naar 26% in 2030 en het aantal afgelegde reizigerskm door alleenrijdende automobilisten stijgt van 50% in 2008 naar 54% in 2030. De toename van de transportactiviteit, en meer specifiek van het wegvervoer, veroorzaakt een grotere wegcongestie, wat ertoe leidt dat een groter aandeel reizigerskm wordt afgelegd met andere modi dan het wegvervoer, namelijk met de trein (7% in 2008 en 9% in 2030), de metro (0,4% in 2008 en 0,6% in 2030) en te voet en per fiets (3% in 2008 en 4% in 2030). Het aandeel van de reizigerskm per bus daalt van 6% in 2008 naar 4% in 2030 aangezien dat vervoermiddel bijzonder getroffen wordt door de gestegen tijdskosten die voortvloeien uit een toegenomen wegcongestie. Het aandeel van de tram blijft stabiel over de gehele projectieperiode (0,8%).

2.2. Goederenvervoer

De belangrijkste evoluties voor het goederenvervoer worden weergegeven in Tabel 1. Bij ongewijzigd beleid stijgt het totaal aantal tonkm in België met 68% tussen 2008 en 2030, of een gemiddelde jaarlijkse groei van 2,4%. De evolutie van het aantal tonkm op het Belgisch grondgebied is meer uitgesproken voor het internationaal transport dan voor het nationaal transport. Tussen 2008 en 2030 zou het aantal tonkm in België voor de afvoer, de aanvoer en de doorvoer respectievelijk toenemen met 94%, 76% en 67%. Het nationaal transport zou met 52% toenemen. Tabel 1 vertaalt ook de evoluties per type goederenstroom in gemiddelde jaarlijkse groei.

In 2030 blijft de vrachtwagen het dominante vervoermiddel. Het aandeel van het wegtransport (vrachtwagen en bestelwagen) daalt echter licht (75% in 2008 en 71% in 2030) ten voordele van het spoor (11% in 2008 en 15% in 2030) en in mindere mate van de binnenvaart (13% in 2008 en 14% in 2030).

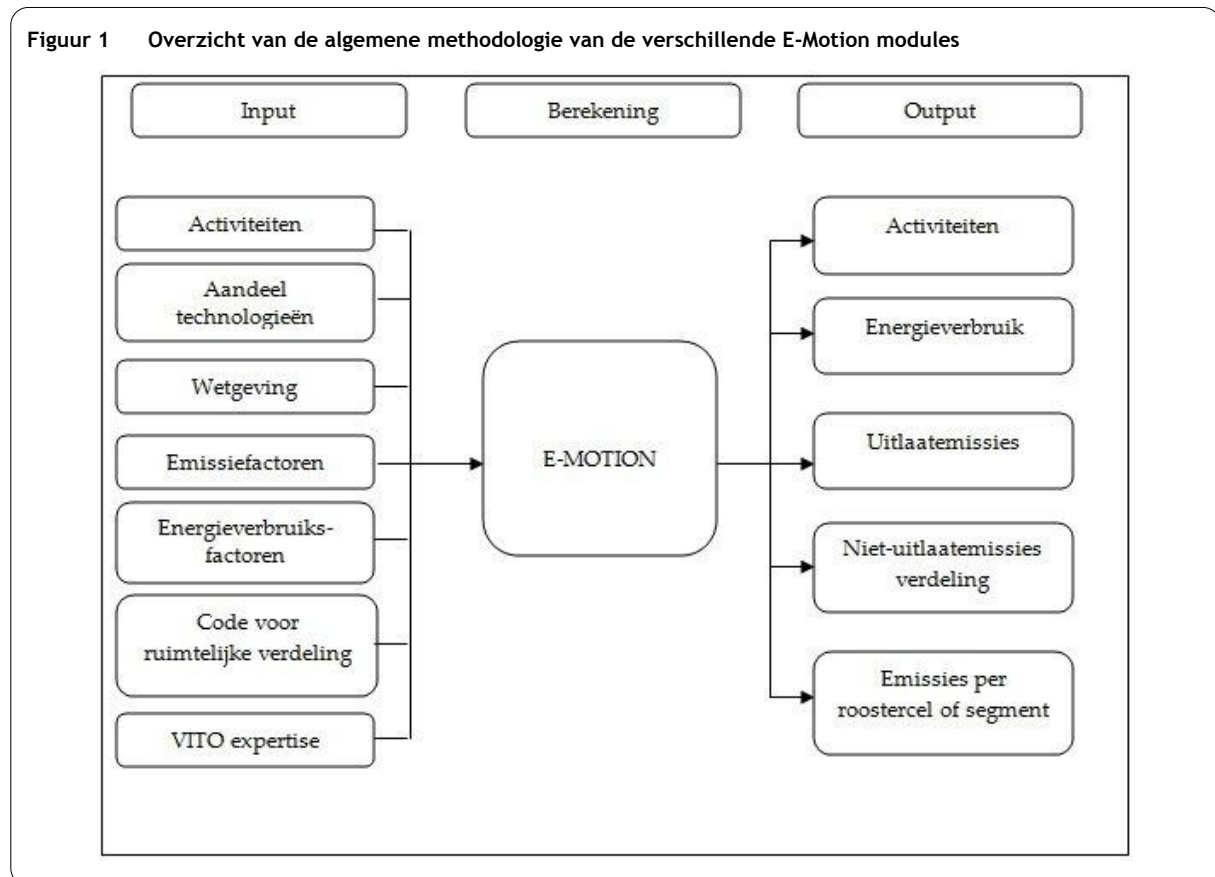
Tabel 1 Belangrijkste resultaten van de langetermijnvooruitzichten voor transport - projectie bij ongewijzigd beleid

	2008	2030	2008-2030	2008-2030
	Aantal (miljard)	Aantal (miljard)	Verandering (%)	Jaarlijkse gemiddelde groei voet (%)
Personenvervoer				
<i>Reizigerskm in België</i>				
Woon-werk	33,7	37,4	11	0,5
Woon-school	8,6	12,1	40	1,5
Overige motieven	79,7	96,7	21	0,9
Totaal	122,0	146,2	20	0,8
<i>Aandeel vervoermiddelen in reizigerskm in België</i>				
Auto solo	49,9	54,3		
Carpooling	31,0	26,2		
Trein	7,3	8,8		
Bus	6,3	4,1		
Tram	0,8	0,8		
Metro	0,4	0,6		
Te voet/fiets	2,8	3,9		
Motor	1,4	1,4		
Goederenvervoer				
<i>Vervoerde tonnage - weg, spoor en binnenvaart</i>				
Nationaal	27,5	41,6	52	1,9
Aanvoer	13,8	24,3	76	2,6
Afvoer	14,3	27,8	94	3,1
Doorvoer zonder overslag	10,1	16,9	67	2,3
Totaal	65,7	110,7	68	2,4
<i>Aandeel vervoermiddelen in tonkm in België</i>				
Vrachtwagen	71,2	67,1		
Bestelwagen	4,0	4,1		
Trein	11,5	14,7		
Binnenvaart	13,3	14,1		

Bron: PLANET V3.2, FPB en FOD M&V, 2012.

3. Emissiefactoren

De emissies en het energieverbruik worden berekend met behulp van het E-Motion-model ('Energy- and emission MOdel for Transport with geographical distributIOn') dat werd ontwikkeld door VITO. Dit gebeurt voor de drie Belgische gewesten en voor de volgende transportmodi: het wegverkeer, het spoorvervoer, de binnenvaart, het maritiem transport en "off-road" transport. Het model wijst de resultaten ook geografisch toe aan het transportnetwerk. Figuur 1 geeft een overzicht van de algemene methodologie van de E-Motion modules.



De bijdrage van E-Motion aan de vooruitzichten uit de referentieprojectie is tweeledig. Eerst en vooral geeft het model energieverbruiksfactoren die als input gebruikt worden bij de berekening van de gebruikerskost van de transportmodi. Anderzijds laat het toe om het totale energieverbruik en de emissies en zo gemiddelde emissiefactoren voor gebruik in het PLANET-model te berekenen.

E-Motion gebruikt een bottom-up benadering om de milieu-impact van de verschillende transportmodi te kwantificeren. Voor de historische jaren (1990-2010) is het model gebaseerd op gedetailleerde statistieken over de mobiliteit en de voertuig- en vaartuigvloot. Voor de ontwikkeling van toekomstscenario's volgt VITO de vooruitzichten voor de evolutie van de mobiliteit en de technologieën zorgvuldig op. Het model werd reeds ingezet voor meerdere scenario-oefeningen tot 2030 (De Vlieger et al., 2009; Pelkmans et al., 2011) en voor visie-oefeningen tot 2060 (Michiels et al., 2011a).

De basisvergelijkingen voor de berekening van de emissies en het energieverbruik van de verschillende modi zijn:

$$Emissies_{i,j,m} = \sum_{t=0}^n activiteit_{t,i,m} \times emissiefactor_{t,j,m} \quad (1)$$

en

$$Energieverbruik_{i,m} = \sum_{t=0}^n activiteit_{t,i,m} \times energieverbruiksfactor_{t,m} \quad (2)$$

waarbij de index i refereert naar de jaren, j naar de pollutanten, m naar de modi en t naar de technologieën.

De emissie- en energieverbruiksfactoren zijn technologiespecifiek en hangen o.a. af van het brandstoftype, de leeftijd en de aanwezigheid van nabehandeling of retrofitting. De bestaande en toekomstige wetgeving bepaalt sterk zowel de penetratiegraad van nieuwe technologieën als het energieverbruik van deze technologieën. Naast de uitlaatemissies berekent het model ook de niet-uitlaatemissies (van deeltjes en metalen) en de zogenaamde “well-to-tank” (WTT) emissies die verbonden zijn aan de productie en het transport van de energiedragers.

Voor de meeste transportmodi (behalve de auto's) is de definitie van de technologieën in het PLANET-model minder gedetailleerd dan in het E-Motion-model. Om de gemiddelde emissie- en energieverbruiksfactoren voor het PLANET-model te berekenen, draait E-Motion daarom eerst scenario's op het meest gedetailleerde niveau, om vervolgens op basis van deze resultaten gemiddelde factoren te berekenen.

3.1. Uitlaatemissies

3.1.1. Wegverkeer

De emissie- en energieverbruiksfactoren van de wegmodi zijn een functie van de gemiddelde snelheid. E-Motion vertrekt van COPERT 4 voor de conventionele brandstoffen (benzine, diesel en LPG) (EMEP/CORINAIR, 2007). Voor de alternatieve technologieën integreert VITO de eigen expertise op basis van metingen en internationale literatuur. Voor personenauto's integreert het E-Motion-model de resultaten van de CO₂-monitoring en de effecten van de CO₂-wetgeving. Het model maakt een onderscheid tussen acht voertuigtypes met een verdere onderverdeling volgens technologie, leeftijd van het voertuig, cilinderinhoud of tonnage. Ook de Euronorm is een belangrijke parameter die de emissies en het energieverbruik beïnvloedt. Het model houdt rekening met de implementatiedata van de Europese emissierichtlijnen voor nieuwe voertuigen om elk voertuig toe te wijzen aan een Euronorm. Hierbij wordt aangenomen dat nieuwe technologieën een aantal maanden voor het van kracht worden van de richtlijnen geïntroduceerd worden.

In deze Working Paper werd gewerkt met de emissie- en energieverbruiksfactoren zoals bepaald in het LIMOBEL-project (De Vlieger et al., 2011). Ten opzichte van die studie werden er echter twee belangrijke aanpassingen doorgevoerd.

De eerste aanpassing betreft de NO_x-emissiefactoren van Euro 5- en Euro 6-auto's. Recente literatuur toont aan dat de werkelijke NO_x-emissies van een Euro 5-dieselauto niet lager zijn dan die van een Euro 4-auto (Hausberger, 2010; Weiss et al., 2011). De NO_x-emissies van een Euro 5 dieselauto zouden eerder op het Euro 2- of Euro 3-niveau liggen. In het E-Motion model worden de NO_x-emissiefactoren van Euro 5-dieselauto's daarom gelijk gesteld aan het gemiddelde van de Euro 2- en Euro 3-dieselauto's. Voor de andere pollutanten (HC, CO en PM) doen de Euro 5-dieselauto's het echter wel goed¹.

Volgens Vonk en Verbeek (2010) stoot een Euro 6-dieselauto in reële verkeersomstandigheden slechts 30% of minder NO_x uit dan een Euro 5-dieselauto. Deze bevindingen zijn echter gebaseerd op een klein aantal auto's uit de hogere prijsklasse die bovendien weinig kilometers afleggen. De mate waarin deze resultaten representatief zijn voor de hele toekomstige vloot is onduidelijk. Toch verwachten we dat de nabehandelingssystemen voor de NO_x-emissies van Euro 6 dieselauto's doeltreffend genoeg zullen zijn om ook in reële verkeersomstandigheden te voldoen aan de Euro 6-norm. Voor Euro 6 dieselauto's hebben we daarom de NO_x limietwaarde toegepast (0,08 g/km).

De tweede aanpassing ten opzichte van LIMOBEL houdt een verhoging in van het elektriciteitsverbruik van elektrische voertuigen (volledig elektrisch (BEV) en hybride herlaadbaar (PHEV)), op basis van een literatuuroverzicht en (beperkte) metingen op de weg van elektrische auto's door VITO. De nieuwe waarden houden er rekening mee dat de elektriciteit niet enkel nodig is voor de aandrijving van het voertuig maar ook voor andere functies (klimaatregeling, verlichting...). Bovendien betreffen deze waarden het verbruik in reële omstandigheden eerder dan het theoretisch verbruik tijdens een testcyclus.

In de referentieprojectie nemen we ook het effect mee van biobrandstoffen op de emissiefactoren voor de uitlaatemissies. Biobrandstoffen worden verondersteld CO₂-neutraal te zijn. Het effect op de andere pollutanten is gebaseerd op EMEP/CORINAIR (2007). Tabel 2 geeft de hypothesen van de referentieprojectie weer over het aandeel van biobrandstoffen voor het wegtransport. Tot 2020 is de evolutie gebaseerd op het Vlaams Klimaatplan (Cools et al., 2012). Nadien wordt het aandeel constant gehouden op het niveau van 2020.

Tabel 2 Aandeel van biobrandstoffen in benzine- en diesilverbruik van wegtransport
Vol%

	2008	2015	2020	2025	2030
Benzine	1,21	6,12	6,48	6,48	6,48
Diesel	1,36	5,52	5,78	5,78	5,78

Bron: observaties tot 2010 (EUROSTAT), 2011-2020: VITO, gebaseerd op Vlaams Klimaatplan, 2021-2030: niveau van 2020.

De referentieprojectie veronderstelt een stijgend aandeel van alternatieve auto's (vooral na 2020). In 2030 is het aandeel in de nieuwe auto's 17% voor hybride auto's op benzine, 15% voor hybride auto's

¹ Voor de PM emissies is dit enkel het geval indien het gebruikspatroon van de dieselauto overeenstemt met hetgeen waarvoor hij bedoeld is, m.a.w. als de auto geregeld langere trajecten tegen hogere snelheid aflegt om de roetfilter te regenereren.

op diesel en 5% voor volledig elektrische auto's (Tabel 3). Bij de hybride auto's stijgt het aandeel van de hybride herlaadbare auto's (PHEV's) in de referentieprojectie van 10% in 2015 tot 75% in 2030 (Tabel 4).

Tabel 3 Aandeel van de alternatieve auto's in de nieuwe aankopen
%

	2010	2015	2020	2025	2030
Hybride - benzine	0,6	5,6	10,0	13,6	15,0
Hybride - diesel	0,0	0,8	5,5	11,4	17,3
Volledig elektrisch	0,009	0,0	0,0	2,5	5,0

Bron: 2010: DIV; vanaf 2015: op basis van MIRA REF (De Vlieger et al., 2009).

Tabel 4 Aandeel van de herlaadbare auto's (PHEV's) in het totaal aantal nieuwe hybride auto's
%

	2010	2015	2020	2025	2030
Herlaadbaar	0	10	25	50	75

Bron: MIRA-REF (De Vlieger et al., 2009)

Tabel 5 geeft de gemiddelde emissiefactoren voor de uitlaatemissies van CO₂, NO_x en PM_{2,5} voor wegtransport in 2008 en de vooruitzichten voor 2020 en 2030 (in procentuele verandering t.o.v. 2008). De dalende waarden zijn te verklaren door de introductie van de strengere Euronormen en door de verplichting om de brandstofefficiëntie te verhogen. De emissiefactoren houden rekening met de aanwezigheid van biobrandstoffen en alternatieve auto's.

Tabel 5 Gemiddelde emissiefactoren voor de uitlaatemissies van wegtransport

Voertuigen	Polluenten	2008	2020	2030
		(g/vkm)	(% verandering t.o.v. 2008)	(% verandering t.o.v. 2008)
Motorfiets	CO ₂	84,80	-13,4	-16,1
	NO _x	0,19	27,6	35,6
	PM _{2,5}	0,07	-52,3	-69,0
Auto	CO ₂	160,80	-16,3	-27,2
	NO _x	0,63	-51,3	-86,0
	PM _{2,5}	0,03	-73,3	-84,4
Bestelwagen	CO ₂	222,30	-13,0	-16,5
	NO _x	1,07	-50,9	-71,2
	PM _{2,5}	0,08	-84,4	-96,5
Vrachtwagen	CO ₂	679,30	-8,2	-8,5
	NO _x	6,80	-85,1	-91,7
	PM _{2,5}	0,14	-88,7	-91,4

vkm = voertuigkilometer

Bron: VITO en PLANET V3.2

3.1.2. Spoorverkeer

Voor het spoorverkeer baseert E-Motion zich op Ex-TREMIS (Chiffi et al., 2009) en EMMOSS (Vanherle et al., 2007). Het model vertrekt van het jaarlijks aantal treinkm, opgesplitst volgens het treintype (goederen vs. personen), de energiebron (diesel vs. 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. 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).

Het resultaat is het energieverbruik per treintype, dienstentype, energiebron, technologieklasse en activiteit en vormt de basis voor de berekening van de uitlaatemissies. Dit gebeurt met behulp van IPCC (1997, 2006) voor de brandstofgerelateerde emissiefactoren (CO₂, N₂O en CH₄), de Europese emissiewetgeving rekening houdend met de Belgische zwavelinhoud van brandstoffen voor SO₂ (FAPETRO, 2003) en de Europese wetgeving 2004/26/EC, een amendement van 97/68/EC, voor de technologiegerelateerde emissiefactoren (NO_x, PM, CO en HC).

Vervolgens berekent E-Motion de gemiddelde emissie- en energieverbruiksfactoren die een input vormen voor het PLANET-model.

Tabel 6 geeft de uitlaatemissies van CO₂, NO_x en PM_{2,5} voor het spoorvervoer met dieselmotoren voor 2008 en de vooruitzichten voor 2020 en 2030 in de referentieprojectie. De tabel maakt een onderscheid tussen het treintype (personen vs. goederen). De emissiefactoren dalen voor de dieseltreinen dankzij de verbeterde brandstofefficiëntie van de diesellocomotieven en de technologische verbeteringen die opgelegd worden door het Railenergy project (UIC, 2006) en de Europese richtlijn 2004/26/EC.

Tabel 6 Gemiddelde emissiefactoren voor de uitlaatemissies van binnenvaart en het spoor (dieseltreinen)

Voertuigen	Polluenten	2008	2020 (% verandering t.o.v. 2008)	2030 (% verandering t.o.v. 2008)
Binnenschip	g/tkm CO ₂	27,5	-8,3	-8,5
	g/tkm NO _x	0,48	-38,5	-44,9
	g/tkm PM _{2,5}	0,01	-33,4	-40,2
Trein - goederenvervoer	g/tkm CO ₂	9,46	-4,69	-4,71
	g/tkm NO _x	0,16	-22,35	-22,32
	g/tkm PM _{2,5}	0,003	-16,29	-16,21
Trein - personenvervoer	g/rkm CO ₂	3,54	-7,3	-7,3
	g/rkm NO _x	0,03	-65,2	-65,2
	g/rkm PM _{2,5}	0,001	-73,9	-73,9

rkm = reizigerskilometer, tkm = tonkilometer

Bron: VITO en Planet V3.2.

3.1.3. Binnenvaart

De E-Motion module voor de binnenvaart is gebaseerd op de EMS-protocollen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003a & 2003b). Omdat gedetailleerde gegevens enkel beschikbaar zijn voor de waterwegen beheerd door nv De Scheepvaart, berekent het model eerst de emissie- en energieverbruiksfactoren voor deze waterwegen. Vervolgens worden deze geëxtrapoleerd naar het totale netwerk in België, rekening houdend met de CEMT-klasse van de waterwegen.

De vaartuigen worden onderverdeeld in functie van het scheepstype (motor vs. duwboot), scheepsklasse (bv. Kempenaar, Groot Rijnschip, klein duwkonvooi) en tonklasse (< 300 ton, 301-650 ton, ..., > 2000 ton), naast een classificatie volgens de beladingsgraad (met of zonder lading). Daarnaast houdt het model rekening met de technologieklasse van het bouwjaar van de aandrijfmotor. De EMS-protocollen maken een onderscheid tussen 7 technologieklassen. De laatste klasse, die de meest recente CCR-1 technologie omvat, wordt in E-Motion verder onderverdeeld volgens de klassen gedefinieerd in EMMOSS (Vanherle et al., 2007).

Op basis van deze gegevens en de methodologie van de EMS-protocollen, wordt het vereist vermogen en het energieverbruik berekend. Vervolgens schat het model het brandstofverbruik en de emissies. De resultaten per CEMT-klasse voor de representatieve waterwegen vormen dan de basis voor de berekening voor alle Belgische waterwegen.

De historische data over de activiteiten op de waterwegen betreffen het aantal tonkm, zoals gerapporteerd door de verschillende administraties. Voor de havens wordt het totaal aantal tonkm in de havens geschat op basis van gegevens van de studiedienst van de Vlaamse Regering. Het wordt uitgesplitst over de verschillende havens in functie van hun aandeel in het totaal aantal geladen en geloste ton. Voor de toekomstige aandelen van de scheepstypes en technologieklassen baseren we ons op MIRA-S (De Vlieger et al., 2009). Er wordt verondersteld dat deze evoluties ook van toepassing zijn op België.

Tabel 6 toont de evolutie van de emissiefactoren voor de binnenvaart voor CO₂, NO_x en PM_{2.5}. De emissiefactoren zijn gewogen over de verschillende scheepstypes en technologieklassen. De daling van de emissiefactoren is te danken aan technologische verbeteringen.

3.2. Emissies verbonden aan de productie en het transport van energiedragers

Om de totale impact op de luchtverontreiniging en de klimaatverandering te berekenen en om een juiste beoordeling te maken van de verschillende technologieën, moet men ook rekening houden met de emissies die optreden bij de productie en het transport van de verschillende energiedragers. Dit zijn de zogenaamde "Well-to-tank" (WTT)-emissies.

Voor de broeikasgassen gebruiken we de WTT-emissiefactoren uit JEC (2008). Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen verschillende productie- en transportpaden. Voor de andere polluenten vertrekken we van den Boer et al. (2008) voor de conventionele brandstoffen en Boureima et al. (2009) voor biobrandstoffen en biogas. In het geval van ontbrekende informatie werd een beroep gedaan op SUSATRANS (De Vlieger et al., 2005).

Tabel 7 geeft de WTT-emissiefactoren voor verschillende energiedragers. De tabel geeft ook informatie over de grondstoffen waaruit zij geproduceerd worden.

- De typische mix voor biobrandstoffen, biogas en waterstof in België werd bepaald in het BIOSSES-project (Pelkmans et al., 2011). De referentieprojectie veronderstelt dat er enkel biobrandstoffen van de eerste generatie gebruikt worden, wat in overeenstemming is met het conservatief karakter van het scenario.
- Voor CNG vormen de IEA-vooruitzichten voor het aanbod van gas in de EU het startpunt. Het aandeel van het Europees gas daalt hierin van +/- 70% in 2005 tot 25% in 2030, terwijl het aanbod van aardgas dat aangevoerd wordt via pijpleidingen stijgt van 7% tot 46%. De helft daarvan zou komen uit West-Siberië en de andere helft uit het gebied rond de Kaspische Zee. De rest wordt ingevoerd als LNG.

Tabel 7 Emissiefactoren voor de productie en het transport van energiedragers (Belgische markt)
g/MJ

Energiedrager	Bron	CO ₂ eq			NO _x			PM		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
diesel	ruwe olie	14,5	16,0	17,5	0,021	0,018	0,018	0,002	0,002	0,002
benzine	ruwe olie	12,9	14,6	16,4	0,026	0,022	0,022	0,003	0,003	0,003
LPG	ruwe olie	8,1	8,5	8,9	0,020	0,017	0,017	0,002	0,002	0,002
kerosine	ruwe olie	14,2	16,1	18,1	0,299	0,256	0,256	0,002	0,002	0,002
diesel olie	ruwe olie	11,5	12,7	13,9	0,017	0,014	0,014	0,002	0,002	0,002
HFO	ruwe olie	10,1	11,3	12,6	0,017	0,014	0,014	0,002	0,002	0,002
biodiesel	mix	44,6	35,3	32,8	0,143	0,090	0,036	0,033	0,021	0,008
FT-diesel	bosbouw		6,9	6,9	0,101	0,063	0,025	0,021	0,013	0,005
bio-ethanol	mix	40,8	33,9	27,0	0,178	0,111	0,044	0,192	0,120	0,048
CNG	aardgas	12,6	15,0	17,4	0,011	0,011	0,011	0,001	0,001	0,001
biogas	mix	20,5	18,6	16,7	0,022	0,014	0,005	0,005	0,003	0,001
waterstof	mix	112,8	139,0	126,1	0,078	0,084	0,090	0,003	0,005	0,007

HFO = heavy fuel oil, FT-diesel = Fischer-Tropsch diesel, CNG = compressed natural gas

Voor conventionele brandstoffen en CNG wordt een stijging van de WTT-emissiefactoren verwacht. Het tijdperk van de gemakkelijk te ontginnen en goedkope ruwe olie en aardgas loopt ten einde. Bovendien wordt het steeds moeilijker voor de productie om de vraag te volgen. Daarom zullen er meer onconventionele en moeilijk bereikbare oliebronnen moeten ontgonnen worden, zoals olie uit de poolgebieden, ultrazware ruwe olie of teerzanden (Canada).

Voor biobrandstoffen en biogas verwacht het scenario een daling van de emissiefactoren door het gebruik van efficiëntere en schonere tractoren en transportmiddelen en door de verdere optimalisering van de productieprocessen.

De emissies verbonden aan de elektriciteitsproductie zijn gebaseerd op de baseline van de langetermijnenergievooruitzichten voor België (FPB, 2011). Het scenario veronderstelt een geleidelijke uitdoving van kernenergie in België wat grotendeels gecompenseerd wordt door elektriciteitsproductie op basis van fossiele brandstoffen (aardgas en steenkool), maar ook door een toenemend aandeel van de hernieuwbare energiebronnen (24% in 2030 in vergelijking met 5% in 2008).

De emissiefactoren worden weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Emissiefactoren voor de elektriciteitsproductie
g/kWh

	2010	2020	2030
CO ₂	183	201	332
NO _x	0,14	0,16	0,24
PM _{2,5}	0,02	0,03	0,05

Bron: FPB, 2011

3.3. Niet-uitlaatemissies

De niet-uitlaatemissies van het wegtransport zijn afkomstig van de slijtage van de banden en de remmen, de slijtage van de weg en opwaaiend stof. Bij het spoortransport worden ze veroorzaakt door de slijtage van de wielen, remmen, sporen en stroomleidingen. De emissiefactoren uit Tabel 9 zijn gebaseerd op EMEP/CORINAIR (2003) en Sleuwaert et al. (2006).

Tabel 9 Emissiefactoren voor de niet-uitlaatemissies van PM_{2,5}

	Eenheid	2010	2020	2030
Motorfiets	mg/km	5,7	5,6	5,6
Auto	mg/km	11,2	11,2	11,3
Bestelwagen	mg/km	15,8	16,0	16,0
Vrachtwagen	mg/km	47,1	46,6	46,7
Goederen- en personentrein	Diesel	g/km	3,86	3,86
- gewone dienst	Elektriciteit		4,05	4,05
Goederentrein - rangeren	g/km	0,30	0,27	0,27

Bron: De Vlieger et al. (2011)

4. Monetaire waardering van de schade van de emissies

In dit hoofdstuk gaan we dieper in op de maatschappelijke schade die de emissies veroorzaken. De laatste 20 jaar zijn de inzichten over de externe kosten van transport gegroeid. Wat betreft de milieukosten zijn de meeste studies uitgevoerd op Europees niveau, of met weinig onderlinge verschillen tussen de landen (ExternE, 2005; NEEDS, 2007b; IMPACT, 2008). Hier stellen we de resultaten voor van een gedetailleerde studie die werd uitgevoerd voor België over de effecten van PM_{2,5} en NO_x-emissies op de menselijke gezondheid (Michiels et al., 2011b). Voor broeikasgassen baseren we ons op cijfers uit de literatuur.

4.1. Methodologie

Om de schadelijke effecten van de PM_{2,5} en NO_x-emissies op de menselijke gezondheid te bepalen, maken we gebruik van de “Impact Pathway”-benadering (ExternE, 2005). Gegeven de langetermijnhorizon van deze studie is het belangrijk om er expliciet mee rekening te houden dat de marginale externe gezondheidskosten afhangen van de achtergrondconcentraties. Men kan immers verwachten dat de achtergrondconcentraties zich op lange termijn zullen wijzigen. De berekeningen werden daarom uitgevoerd voor drie jaren: 2007, 2020 en 2030.

Voor beide pollutanten hebben we de marginale externe gezondheidskosten berekend door een vergelijking te maken tussen een “business-as-usual” (BAU)-scenario en een alternatief scenario met lagere transportemissies van de pollutant. De marginale externe gezondheidskosten werden verkregen door het verschil in de gezondheidskosten van de twee scenario’s te delen door het verschil in emissies.

Het alternatieve scenario veronderstelt dat de Belgische transportemissies (van PM_{2,5} of NO_x) 20% lager zijn dan in het BAU-scenario. De transportemissies omvatten alle uitstoot in België van het wegverkeer, het spoorverkeer, de binnenvaart, het maritiem transport tussen de Belgische zeehavens en het landen en opstijgen van vliegtuigen.

Volgens de “Impact Pathway”-methode hebben we de volgende stappen uitgevoerd:

- Stap 1: In deze stap berekenden we met behulp van het BeEUROS model (Michiels et al., 2011b) het verschil in atmosferische concentraties van het alternatief scenario t.o.v. het BAU-scenario. Daarbij werd de concentratie van 5 pollutanten bepaald: primair PM_{2,5} (PM_{2,5} pr), primair PM₁₀ (PM₁₀ pr), nitraat- en sulfaataerosolen <2,5 µm (nitr_{2,5} en sulf_{2,5}) en ozon (O₃). Het resultaat van deze eerste stap is een verschil in concentratieniveaus in een 15x15 km raster voor elk van de 5 pollutanten.
- Stap 2: De tweede stap gebruikte gedetailleerde kaarten van de Europese bevolking (ook 15x15 km, gebaseerd op de Census 2001 van Eurostat) om in te schatten hoeveel mensen er worden blootgesteld aan die concentratieniveaus. Er werd enkel rekening gehouden met de Belgische bevolking en een deel van de bevolking van de buurlanden (Duitsland, Frankrijk, Luxemburg, Nederland en het Verenigd Koninkrijk) omdat het overgrote deel van de effecten plaatsvindt

binnen dit gebied. Daarnaast werd er rekening gehouden met de groei en veranderde samenstelling van de bevolking op basis van de vooruitzichten van het Federaal Planbureau (2009).

- Stap 3: De derde stap berekende de impact op de menselijke gezondheid (i.e. het aantal verloren levensjaren/ziektedagen/opnames in het ziekenhuis, enz.) van de verandering in de blootstelling. Hiervoor werd een DALY-berekeningstool gebruikt die sets van dosis-respons-functies omvat, gebaseerd op Europese projecten zoals ExternE (2005), CAFE (2005) en NEEDS (2007a). Voor een gedetailleerd overzicht verwijzen we naar Michiels et al. (2011b).
- Stap 4: In de laatste stap werden de effecten omgezet in een monetaire waarde. Deze houdt rekening met zowel de zuivere economische kosten als met de bereidheid tot betalen om de gezondheidsrisico's te verminderen. De monetaire waarden zijn gebaseerd op NEEDS (2006, 2009) en op specifieke aanbevelingen voor België uit Franckx et al. (2009).

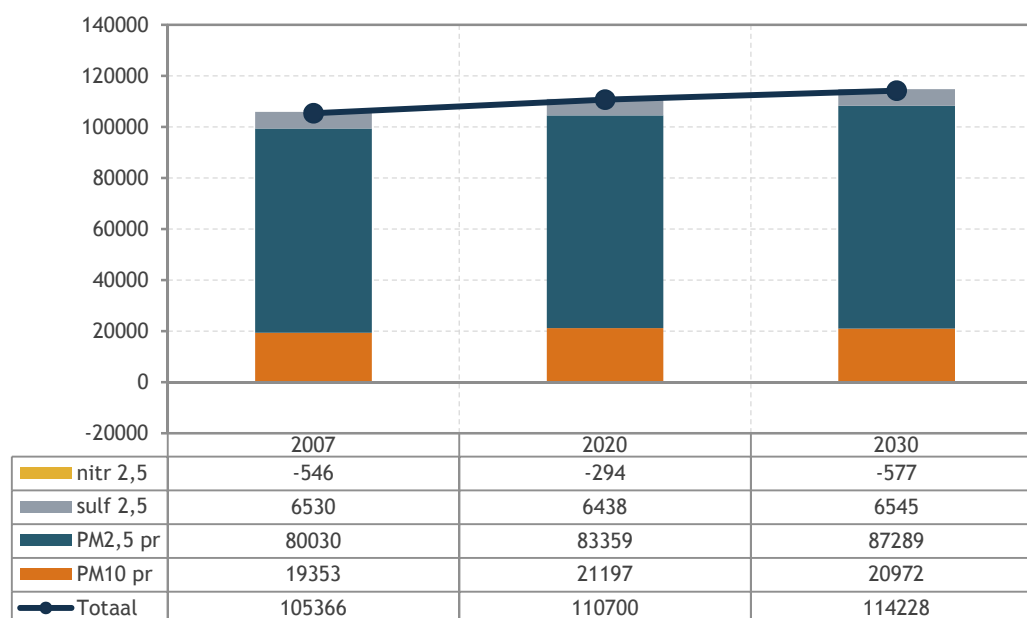
Deze studie maakt geen onderscheid volgens de plaats van uitstoot (stedelijke gebieden, landelijke gebieden en autosnelwegen). De resultaten moeten dus geïnterpreteerd worden als gemiddelde waarden voor de uitstoot op het hele Belgische territorium.

4.2. Resultaten

De marginale externe gezondheidskosten van PM_{2,5} variëren van 105 duizend EUR'08/ton (2007) en 111 duizend EUR'08/ton (2020) tot 114 duizend EUR'08/ton (2030). De stijgende trend wordt volledig verklaard door de demografische evoluties. Uit Figuur 2 blijkt dat het grootste deel (94 tot 95%) van de PM_{2,5}-emissies effect heeft via de primaire PM_{2,5} (en dus ook PM₁₀ pr) concentraties. De resterende 5 tot 6% kan toegeschreven worden aan de vorming van sulfaataerosolen. Voor alle concentratiepolluenten zijn de kosten positief, behalve voor de nitraatfractie. Deze laatste waarde is echter te klein om beschouwd te worden als een belangrijke marginale baat.

De resultaten zijn vergelijkbaar met de ExternE-resultaten van Friedrich & Bickel (2001) en IMPACT (2008). Ze zijn iets lager dan de cijfers in MIRA (2010). Dit kan verklaard worden doordat de MIRA-studie in de modelketen concentratie- en bevolkingskaarten gebruikt met een hogere resolutie.

Figuur 2 Externe gezondheidskosten per ton PM_{2,5} uitgestoten in België volgens aard van de impact
EUR'08/ton

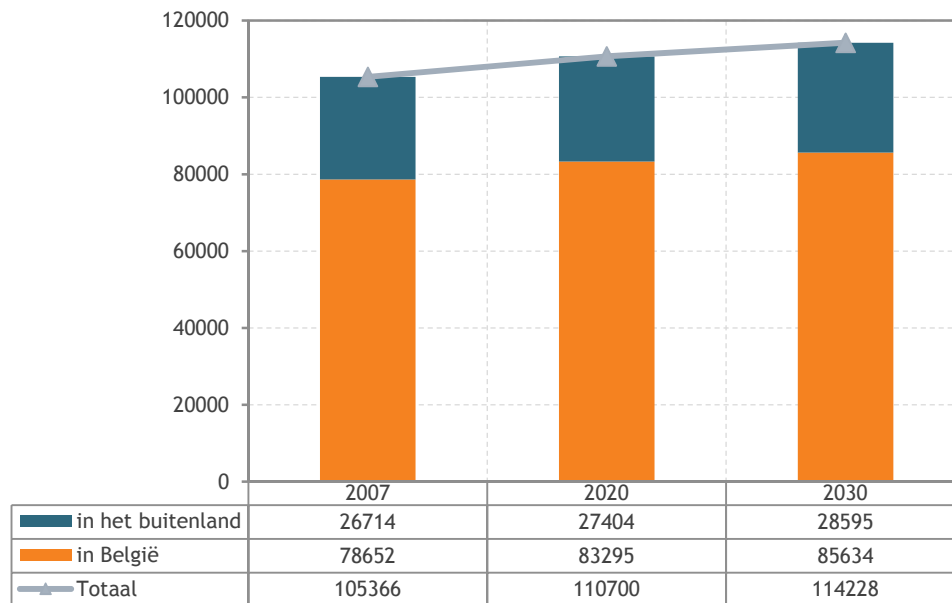


Bron: Michiels et al. (2011b)

In 2020 en 2030 is respectievelijk 8% en 11% van de marginale externe gezondheidskosten van PM_{2,5} toe te wijzen aan demografische evoluties (bevolkingsgroei en verschuivingen tussen leeftijdsklassen) sinds 2007. Dit betekent dat deze kosten zonder de geprojecteerde bevolkingsevolutie redelijk vlak zouden verlopen in de tijd.

Er kan ook een onderscheid gemaakt worden tussen de effecten in België en het buitenland (Figuur 3). We vinden dat 25% van de marginale externe gezondheidskosten van PM_{2,5} te wijten is aan effecten in het buitenland.

Figuur 3 Externe gezondheidskosten per ton PM_{2,5} uitgestoten in België volgens plaats van de impact
EUR'08/ton

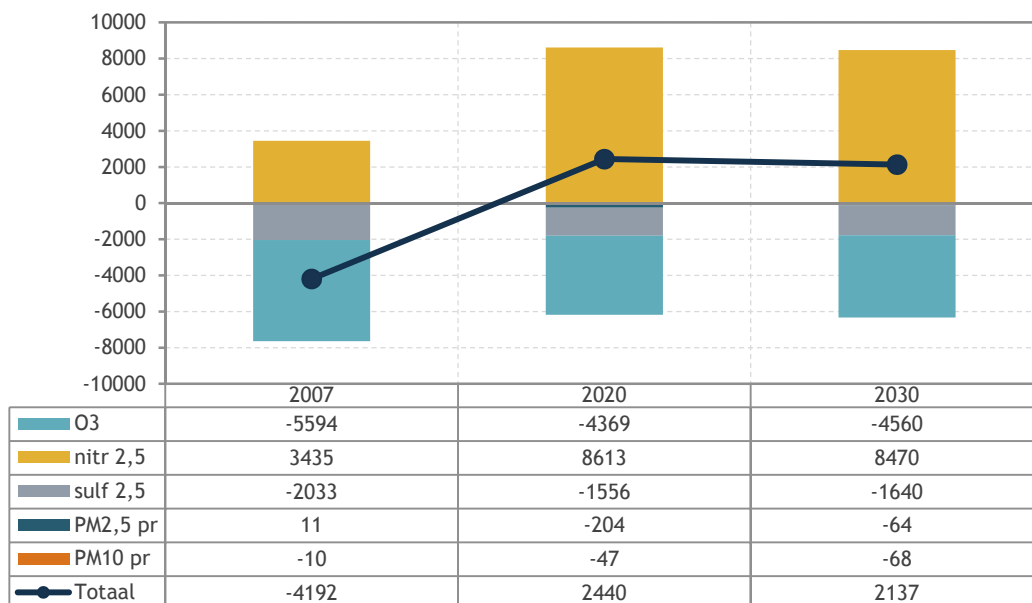


Bron: Michiels et al. (2011b)

De marginale externe gezondheidskosten van de NO_x-emissies (Figuur 4) zijn gelijk aan resp. 2,4 en 2,1 duizend EUR'08/ton in 2020 en 2030. Voor 2007 bekommen we echter een kost gelijk aan -4,2 duizend EUR'08/ton, d.w.z. een marginale externe gezondheidsbaat. In 2007 overtreffen de baten van een lagere concentratie van ozon en sulfaataerosolen de kosten van de vorming van nitraataerosolen. In 2020 en 2030 is het beeld verschillend omdat de baten verbonden aan ozon en sulfaataerosolen kleiner geworden zijn dan de kosten verbonden aan nitraataerosolen.

De cijfers verschillen van MIRA (2010) en dit omwille van 3 redenen. Ten eerste bestreek de MIRA-studie enkel Vlaanderen, terwijl we hier heel België opnemen en de bevolkingsdichtheid verschilt in de twee gebieden. Ten tweede worden er andere emissiegegevens gebruikt. Ten derde laten de sectordefinities in MIRA (2010) niet toe om enkel de transportsector als afgeïjnd geheel te bekijken.

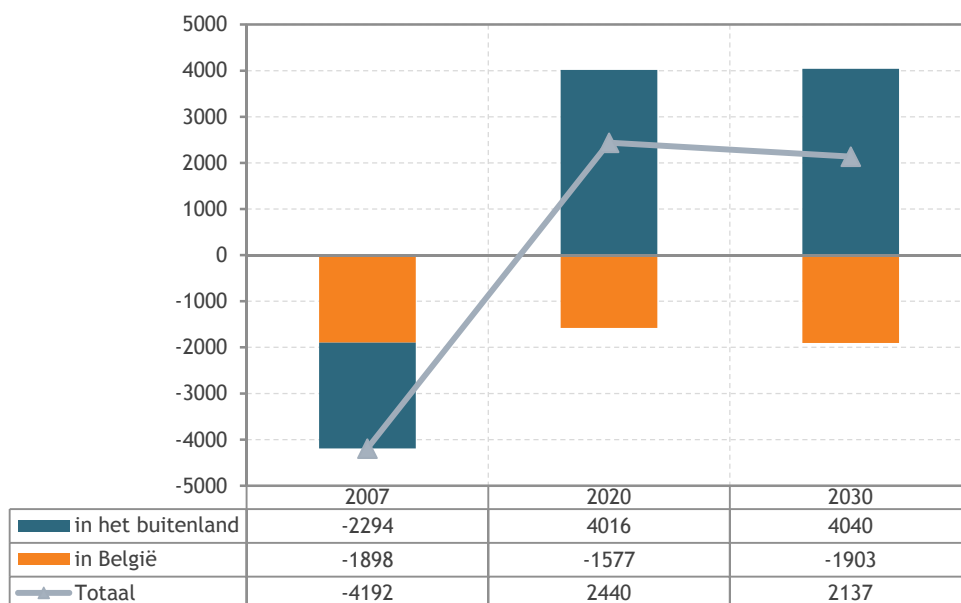
Figuur 4 Externe gezondheidskost per ton NO_x uitgestoten in België volgens aard van de impact
EUR'08/ton



Bron: Michiels et al. (2011b)

De impact van de demografische evolutie sinds 2007 bedraagt 8% in 2020 en 16% in 2030. Daarnaast vinden we dat de marginale externe gezondheidskosten van NO_x binnen België negatief zijn voor alle jaren (Figuur 5). In 2007 wordt deze baat nog versterkt door effecten in het buitenland, terwijl in 2020 en 2030 de kosten in het buitenland groter zijn dan de baten in België. Over het algemeen is het grootste deel van de marginale externe gezondheidskosten van NO_x toe te wijzen aan de effecten in het buitenland.

Figuur 5 Externe gezondheidskost per ton NO_x uitgestoten in België volgens plaats van de impact
EUR'08/ton



Bron: Michiels et al. (2011b)

Voor de effecten op klimaatverandering baseren we ons op IMPACT (2008). Die studie berekent voor de korte en middellange termijn (2010 en 2020) de vermijdingskosten omdat er beleidsdoelstellingen beschikbaar zijn voor deze periode en de onzekerheid lager is. Voor de lange termijn (2030 en later), waarvoor er nog geen internationale overeenkomsten bestaan, zijn de aanbevolen waardes gebaseerd op schadekosten, en dus meer consistent met de benadering die we voor PM_{2,5} en NO_x gebruiken. De studie geeft een centrale waarde met een onder- en bovengrens.

Tabel 10 geeft een overzicht van de cijfers van de marginale externe milieukosten voor de verschillende pollutanten en drie jaren, uitgedrukt in €'08. In deze tabel wordt nog geen rekening gehouden met de toekomstige evolutie van het reëel inkomen². Voor de luchtpolluenten houdt deze tabel enkel rekening met de effecten op de menselijke gezondheid

Tabel 10 Samenvatting van de marginale externe kosten van luchtverontreiniging (PM_{2,5} en NO_x) en klimaatverandering

Polluent	EUR'08/ton			Bron
	2007	2020	2030	
PM _{2,5}	105366	110700	114228	LIMOBEL (De Vlieger et al., 2011)
NO _x	-4192	2440	2137	LIMOBEL
CO ₂ -equivalenten				
Laag	7	18	23	
Centraal	26	42	56	IMPACT (2008)
Hoog	46	72	104	

² In het PLANET-model wordt er verondersteld dat de monetaire waardering van de traditionele pollutanten in dezelfde mate verandert als het reële bbp per capita.

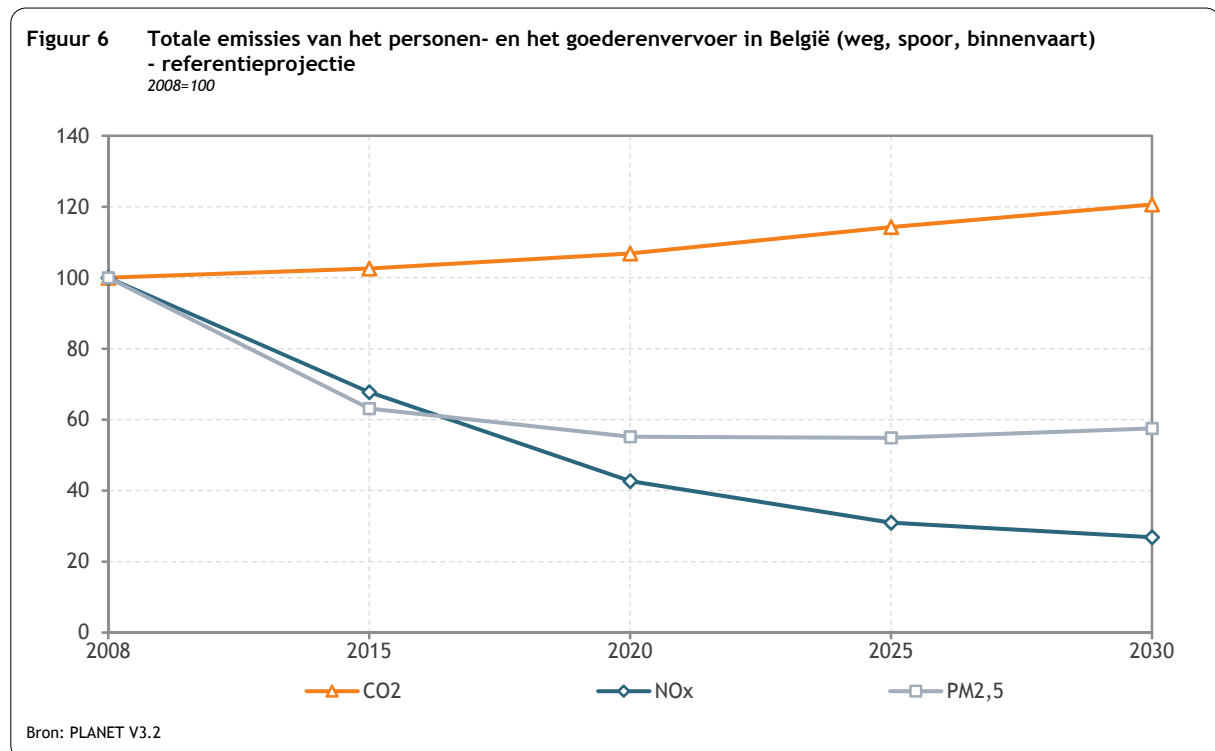
5. Milieu-impact van transport

Dit hoofdstuk beschrijft de impact van de vervoersactiviteit op de CO₂-, NO_x- en PM_{2,5}-emissies en de milieukosten die eraan verbonden zijn. Na een voorstelling van de algemene evolutie van de emissies en van de respectievelijke rol van de uitlaat en niet-uitlaatemissies en de indirecte emissies in de totale vervoeremissies (deel 5.1), geven we een gedetailleerde analyse van de evolutie van de uitlaatemissies per type transport (personen of goederen) en per vervoermiddel (deel 5.2), gevolgd door de evaluatie van de milieukosten die de uitlaatemissies van vervoer veroorzaken (deel 5.3).

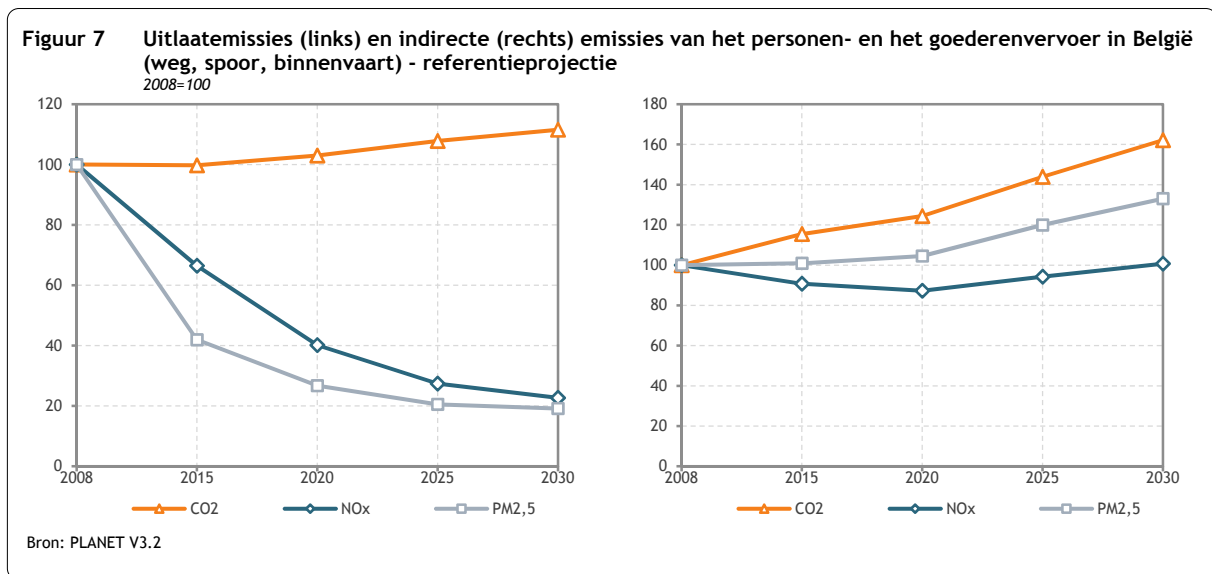
5.1. Algemene evolutie van de emissies

Figuur 6 toont de evolutie van de totale CO₂-, NO_x- en PM_{2,5}-emissies van het wegvervoer, het spoorvervoer en het binnenvaartvervoer van personen en goederen in België. De totale emissies omvatten de uitlaat- en de niet-uitlaatemissies (enkel in het geval van fijn stof) en de indirecte emissies.

Bij ongewijzigd beleid stijgen de totale CO₂-emissies verbonden met de vervoersactiviteit tot een niveau dat in 2030 21% hoger is dan in 2008. De constante verbetering van de energie-efficiëntie van de voertuigen volstaat niet om het effect van de toegenomen vervoersactiviteit op de emissies tegen te gaan. Omgekeerd dalen de totale emissies van NO_x en PM_{2,5} tot een niveau dat in 2030 lager is dan in 2008 (respectievelijk -73% en -42%). Bij ongewijzigd beleid zouden de uitlaatemissies van die twee pollutanten eerst sterk dalen (door de technologische verbeteringen van de voertuigen) en nadien meer gematigd (NO_x) of zich stabiliseren (PM_{2,5}) door de groeiende activiteit van het personen- en goederenvervoer die het effect van de technologische evolutie verkleint of compenseert.

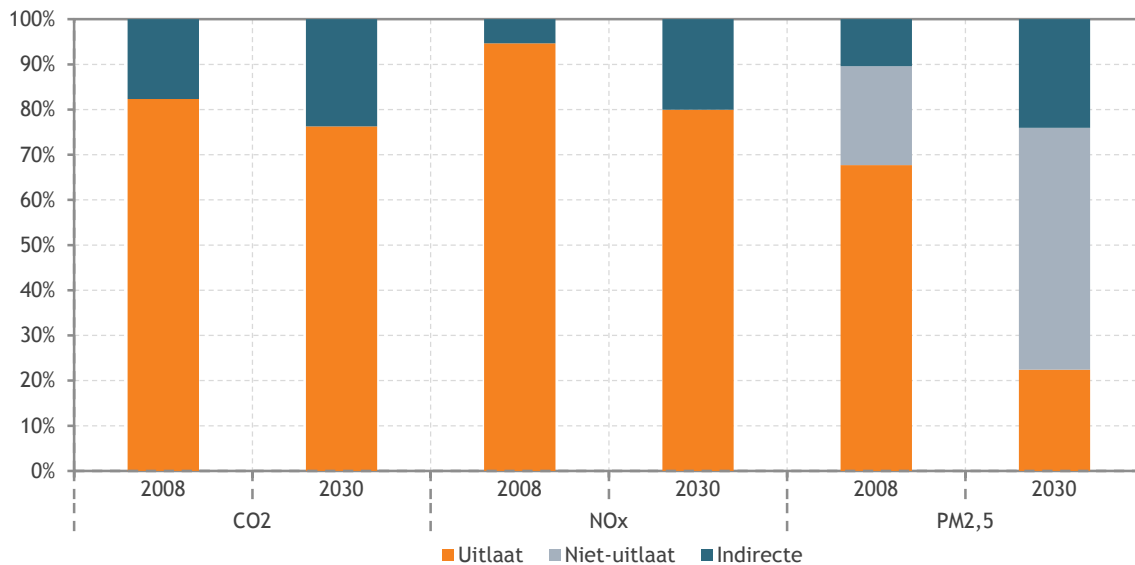


Figuur 7 toont de evolutie van de uitlaatemissies (linkergrafiek) en de indirecte emissies (rechtergrafiek) van de drie onderzochte pollutanten. Wat CO₂ betreft, wordt de opgetekende trend voor de uitlaatemissies (+ 12% tussen 2008 en 2030) versterkt door de forse stijging van de indirecte emissies (+ 60% tussen 2008 en 2030) die vooral het gevolg is van de ontmanteling van de kerncentrales. Wat NO_x betreft, wordt de zeer forse daling van de uitlaatemissies tussen 2008 en 2030 (-77%) enigszins afgezwakt door de stijging van de indirecte emissies aangezien voor de totale emissies de daling nog slechts 73% bedraagt (zie Figuur 6). Terwijl de uitlaatemissies van PM_{2,5} tussen 2008 en 2030 dalen met 81%, stijgen de indirecte PM_{2,5}-emissies met 33% en de niet-uitlaatemissies met 27%. De stijging van die twee emissiecategorieën verklaart waarom de daling van de totale emissies van PM_{2,5} tussen 2008 en 2030 slechts 42% bedraagt (zie Figuur 6).



Figuur 8 toont de relatieve aandelen van de uitlaat- en niet-uitlaatemissies en de indirecte emissies in de totale vervoeremissies en hun evolutie tussen 2008 en 2030. Ondanks een daling van het aandeel van de uitlaatemissies van CO₂ en NO_x in de totale vervoeremissies tussen 2008 en 2030 (van 83% naar 76% voor CO₂ en van 95% naar 80% voor NO_x) blijven de uitlaatemissies overheersen en bepaalt hun evolutie de trend van de totale emissies. De PM_{2,5}-emissies worden niet enkel beïnvloed door de uitlaatemissies en de indirecte emissies maar ook steeds meer door de niet-uitlaatemissies. Bijgevolg stijgt het aandeel van de niet-uitlaatemissies van 22% in 2008 tot 54% in 2030.

Figuur 8 Aandeel van de uitlaat- en niet-uitlaatemissies en de indirecte emissies in de totale CO₂-, NO_x- en PM_{2,5}-emissies van het personen- en goederenvervoer in België (weg, spoor, binnenvaart) - referentieprojectie



Bron: PLANET V3.2

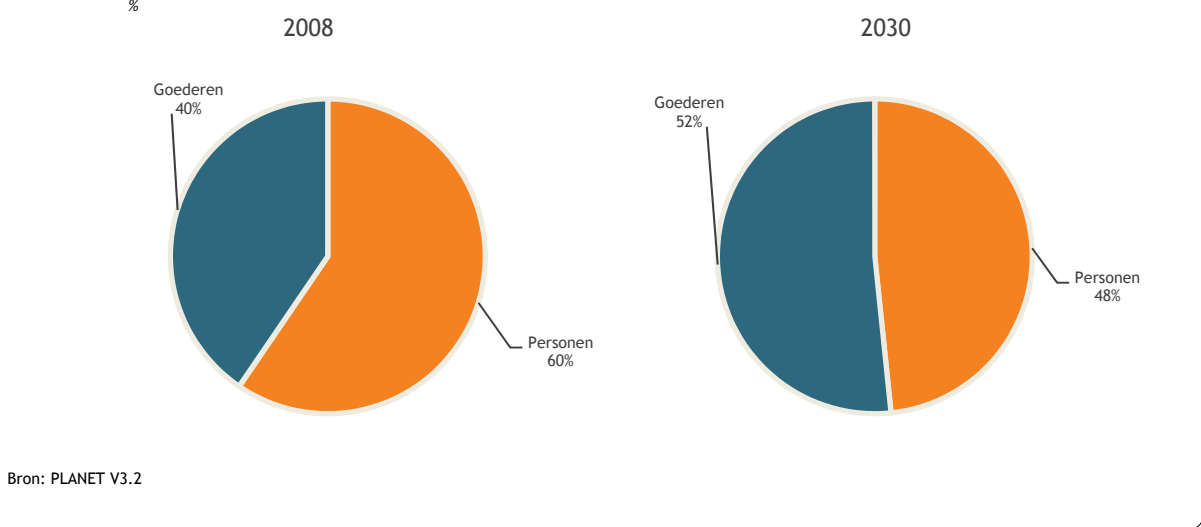
5.2. Gedetailleerde analyse van de evolutie van de uitlaatemissies

5.2.1. CO₂-uitlaatemissies

In 2008 is 60% van de CO₂-uitlaatemissies van de vervoersactiviteit afkomstig van het personenvervoer (Figuur 9). In 2030 bedraagt dit aandeel nog slechts 48% en heeft het goederenvervoer de grootste CO₂-uitstoot met een aandeel van 52%. Dit resultaat wordt verklaard door de regelmatige daling van de CO₂-emissies van het personenvervoer en de voortdurende toename van de CO₂-emissies van het goederenvervoer (Figuur 10).

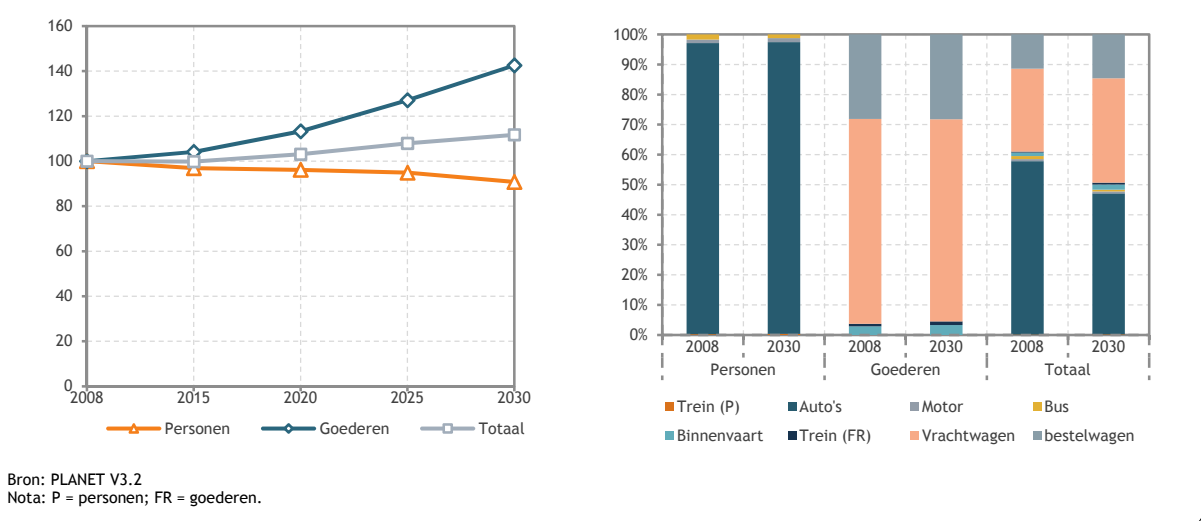
De CO₂-emissies van het personenvervoer dalen inderdaad met 10% tussen 2008 en 2030, terwijl die van het goederenvervoer tijdens dezelfde periode stijgen met 43%. De daling van de CO₂-emissies van het personenvervoer vloeit vooral voort uit de huidige regelgeving over de gemiddelde CO₂-uitstoot van nieuwe voertuigen, namelijk 130g CO₂ per km in 2015, wat het negatief effect van de grotere transportactiviteit op de CO₂-emissies compenseert. Er bestaat een analoge reglementering voor bestelwagens (175g CO₂ per km in 2017) maar niet voor vrachtwagens. Bijgevolg wordt de evolutie van de emissies meer 'gestuurd' door de toename van het aantal tonkm op Belgisch grondgebied.

Figuur 9 Aandeel van het goederen- en personenvervoer in de CO₂-uitlaatmissies



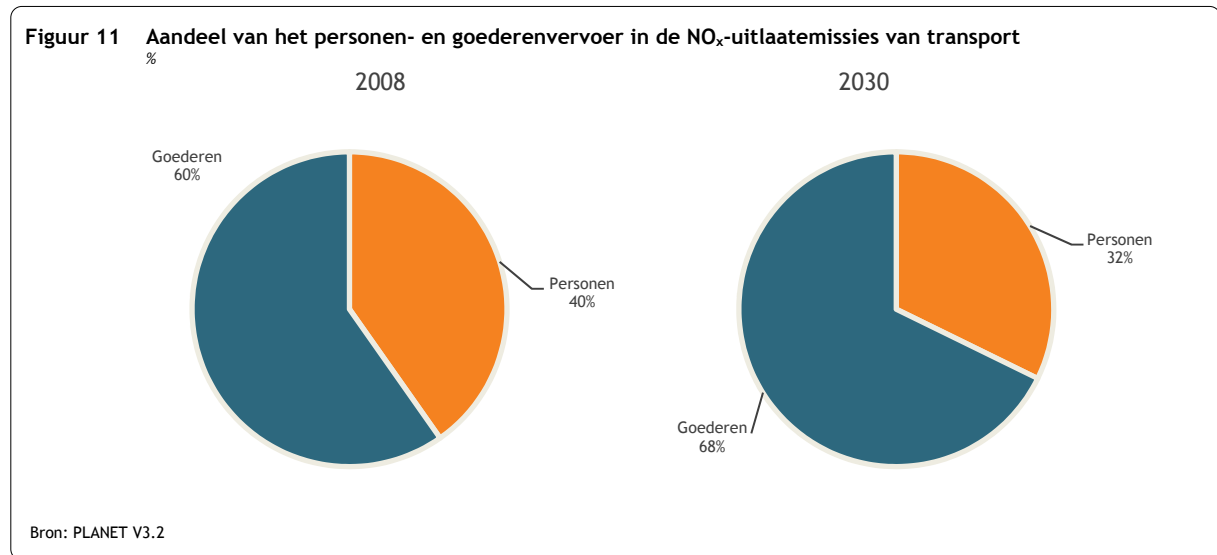
Het wegvervoer is de belangrijkste bron voor de CO₂-uitlaatmissies van transport (Figuur 10). Het vervoer met de auto vertegenwoordigt 97% van de CO₂-uitlaatmissies van het personenvervoer in 2008 en 2030. De CO₂-emissies van vrachtwagens en bestelwagens vertegenwoordigen 96% van de CO₂-emissies van het goederenvervoer in 2008 en 2030 (68% voor vrachtwagens en 28% voor bestelwagens). De CO₂-uitlaatmissies die niet te wijten zijn aan het wegvervoer zijn afkomstig van schepen en dieseltreinen.

Figuur 10 CO₂-uitlaatmissies - evolutie per type transport en per vervoermiddel
2008 = 100 (linkerfiguur) en % (rechterfiguur)

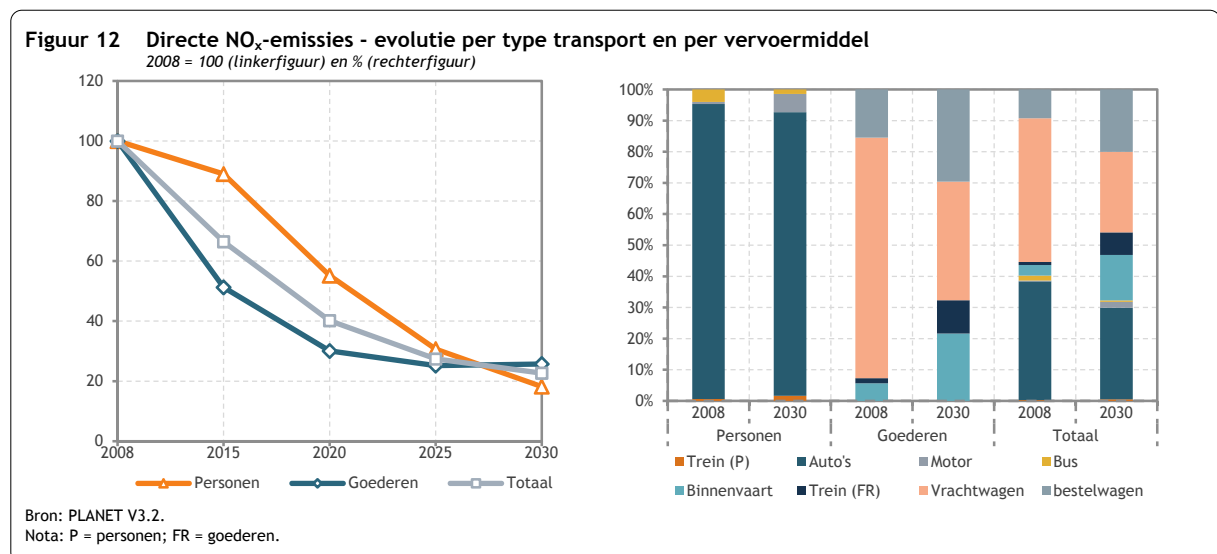


5.2.2. NO_x-uitlaatmissies

In 2008 vertegenwoordigt het goederentransport 60% van de NO_x-uitlaatmissies van de vervoersactiviteit (Figuur 11). Als gevolg van de op lange termijn grotere daling van de NO_x-emissies van het personenvervoer (-82% in 2030 ten opzichte van 2008) in vergelijking met die van het goederentransport (-74%) stijgt het aandeel van het goederenvervoer in de totale NO_x-uitlaatmissies van de vervoersactiviteit tot 68% in 2030. Figuur 12 vergelijkt de evolutie van de NO_x-uitlaatmissies van het personen- en het goederenvervoer.

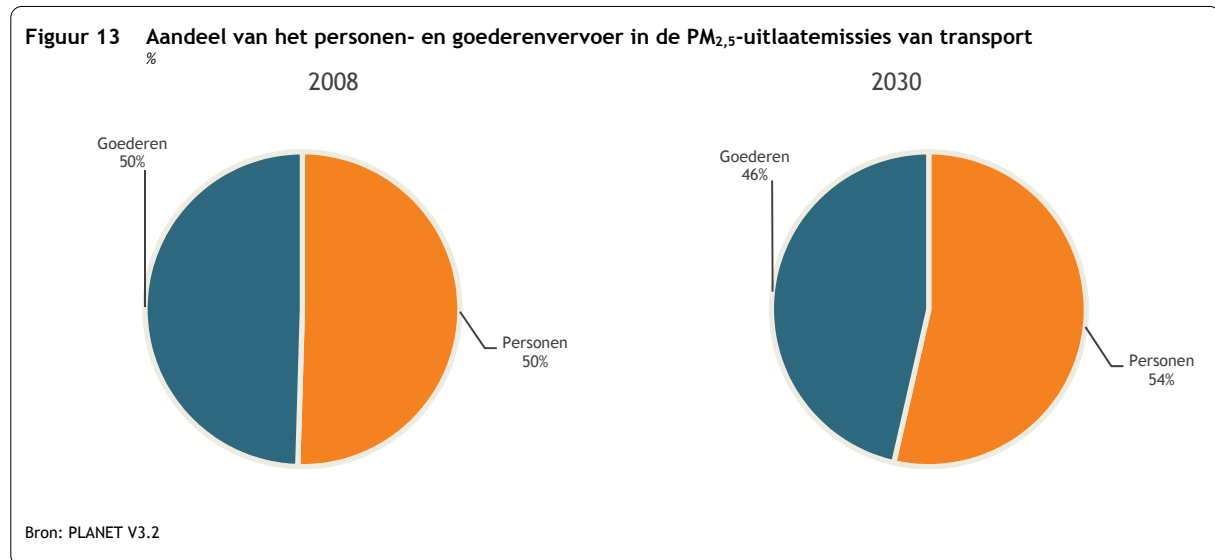


De daling van de NO_x-emissies van het personenvervoer moet hoofdzakelijk worden toegeschreven aan de personenwagens. De emissies dalen met 83% tussen 2008 en 2030. De daling van de NO_x-emissies van het goederenvervoer is toe te schrijven aan het vervoer per vrachtwagen waarvan de emissies met 87% dalen tussen 2008 en 2030. Die evoluties hebben een weerslag op de verdeling van de NO_x-emissies per transportmiddel. Het aandeel van voertuigen in de totale NO_x-uitlaatmissies van de vervoersactiviteit daalt van 38% in 2008 tot 29% in 2030. Het aandeel van het transport per vrachtwagen daalt van 46% in 2008 naar 26% in 2030.

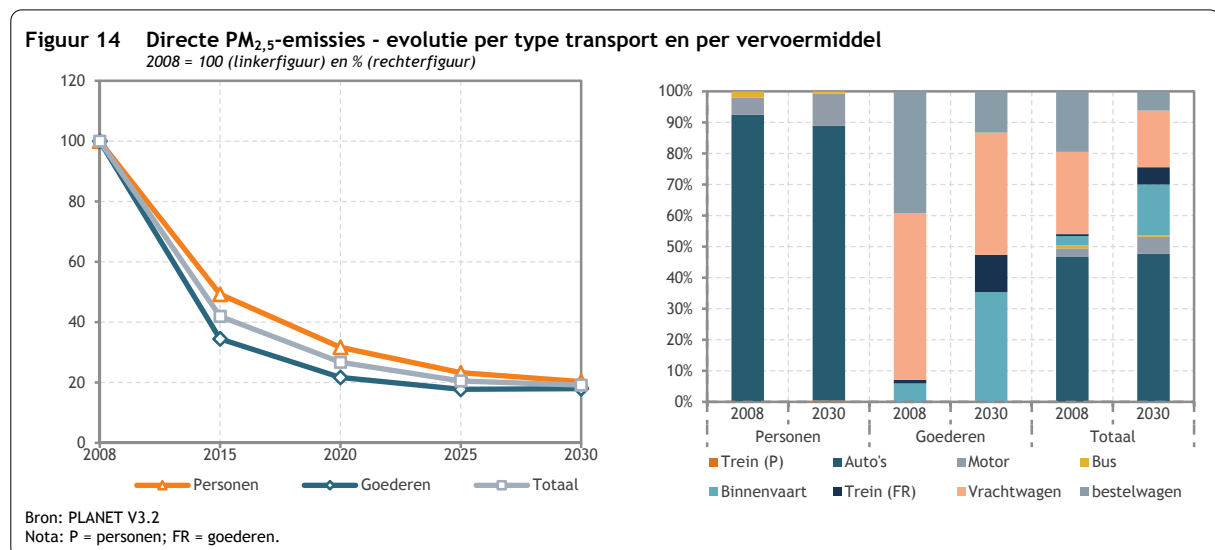


5.2.3. PM_{2,5}-uitlaatmissies

Terwijl in 2008 de uitlaatmissies van fijn stof (PM_{2,5}) van het personen- en het goederenvervoer elk goed zijn voor de helft van de totale uitlaatmissies verbonden aan de vervoersactiviteit neemt het personenvervoer de bovenhand in 2030 met een aandeel van 54% (Figuur 13). Zoals blijkt uit Figuur 14, wordt de toename van het aandeel van het personenvervoer verklaard door de iets grotere daling van de PM_{2,5}-emissies van het goederentransport (-82% tussen 2008 en 2030) in vergelijking met die van het personenvervoer (-80%).



Opnieuw wordt de daling van de totale PM_{2,5}-uitlaatmissies hoofdzakelijk verklaard door de daling van de emissies van het wegvervoer. De PM_{2,5}-emissies dalen met 80% voor het vervoer per personenwagens, met 87% voor het vervoer per vrachtwagen en met 94% voor het vervoer per bestelwagens. Wat de modale verdeling betreft, blijft het aandeel van de PM_{2,5}-emissies van de personenwagens stabiel (47% in 2008 en 2030), terwijl de aandelen voor vrachtwagens en bestelwagens dalen van 27% in 2008 tot 18% in 2030 voor vrachtwagens en van 19% tot 6% voor bestelwagens.



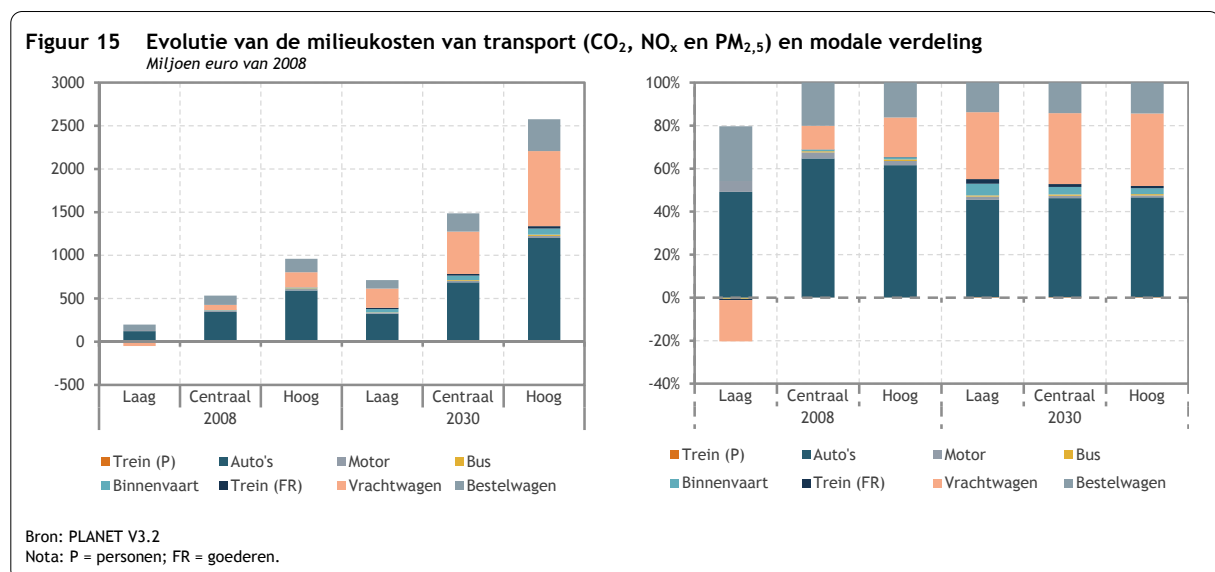
5.3. Milieukosten

De milieukosten die in dit deel aan bod komen, zijn de milieukosten verbonden aan de vervoersactiviteit, meer bepaald de kosten van schade veroorzaakt door de uitlaatmissies van polluenten. Onder transport verstaat men het wegvervoer, het spoorvervoer en het binnenvaartvervoer van personen en goederen. Om de coherentie met de vorige delen te waarborgen, gaat het om de milieukosten als gevolg van CO₂-, NO_x- en PM_{2,5}-emissies. Die drie polluenten zijn in 2030 verantwoordelijk voor meer dan 94% van de milieukosten van transport.

Figuur 15 toont de evolutie van de milieukosten tussen 2008 en 2030. Hoofdstuk 4 geeft de monetaire waarden van de schade door de diverse polluenten. Die waarden worden gebruikt om de milieukosten te berekenen. Voor CO₂, het belangrijkste broeikasgas, worden drie waarden voorgesteld (laag, centraal en hoog). Die vork weerspiegelt de onzekerheid over de waarde van de milieuschade als gevolg van de broeikasgasemissies.

In 2008 situeren de milieukosten verbonden aan de uitlaatmissies van CO₂, NO_x en PM_{2,5} zich tussen 147 en 961 miljoen euro (in euro van 2008), afhankelijk van de monetaire waardering van de schade veroorzaakt door CO₂. Tussen 2008 en 2030 stijgen de milieukosten aanzienlijk ondanks een grote daling van de emissies van de twee lokale polluenten (NO_x en PM_{2,5}): van 168% (hoge CO₂-waarde) tot 384% (lage CO₂-waarde). Die evolutie wordt enerzijds verklaard door de toename van de CO₂-emissies van transport en anderzijds door de stijging in de tijd van de externe marginale kosten als gevolg van de veranderingen in concentratie van de polluenten, de demografische evoluties en de stijging van het bbp per hoofd (zie Hoofdstuk 4).

Het aandeel van de milieukosten als gevolg van het vervoer per vrachtwagen stijgt tussen 2008 en 2030, ongeacht de waarde die wordt gekozen voor de schade als gevolg van de uitstoot van broeikasgassen. Voor de centrale waarde stijgt dat aandeel van 11% in 2008 tot 33% in 2030. Volgens het principe van de communicerende vaten daalt het aandeel van het vervoer per auto van 65% in 2008 naar 46% in 2030.



6. Decompositieanalyse van de evolutie van vervoeremissies

6.1. Inleiding

Het doel van dit hoofdstuk is te peilen naar welke factoren bijdragen tot de evolutie van de uitlaatemissies van CO₂, NO_x en PM_{2,5} zoals voorgesteld in het vorige hoofdstuk. Met behulp van een decompositieanalyse kan de invloed van de verschillende verklarende variabelen op de evolutie van emissies over de periode 2008-2030, zoals vooropgesteld door het PLANET-model, gekwantificeerd worden. Het detail van de analyse hangt sterk af van de variabelen gebruikt in het model. De modellering is het meest uitgebreid voor het vervoer per personenauto, waarvoor gegevens beschikbaar zijn over de grootte en de samenstelling van het wagenpark. Het model laat een volledige beschrijving van het voertuigenpark toe voor elk jaar en dit per autotype (brandstof), grootte (cilinderinhoud) and Euronorm van het voertuig. Voor de andere vervoermiddelen voor personenvervoer (bus, tram en metro (BTM), motorfietsen en reizigerstreinen) en het goederenvervoer is het voertuigenpark niet gemodelleerd in het PLANET-model.

6.2. Methodologie

6.2.1. Algemene methode

De evolutie van de uitlaatemissies wordt beïnvloed door vijf factoren: de verandering in de vervoersvraag, de modale keuze, het aantal reizigers of het aantal ton per voertuig (gemiddelde bezetting in het geval van personenvervoer en gemiddelde belading in het geval van goederenvervoer), de technologieën en het aandeel van biobrandstoffen.

De uitstoot POL_i^{bio} van vervoermiddel i wordt in de volgende formule gegoten:

$$POL_i^{bio} = \frac{POL_i^{bio}}{POL_i} \cdot \frac{POL_i}{TI_i} \cdot \frac{TI_i}{MI_i} \cdot \frac{MI_i}{MI} \cdot MI \quad (3)$$

Hierin is:

- POL: de fysische hoeveelheid uitstoot, niet gecorrigeerd voor blending met biobrandstoffen;
- TI: verkeersindicator (zie verder);
- MI: vervoersindicator (zie verder);

De decompositie van de vooropgestelde verandering van de uitstoot kan geschreven worden als volgt:

$$\Delta POL_i^{bio} = a_i \cdot \Delta \left(\frac{POL_i^{bio}}{POL_i} \right) + b_i \cdot \Delta \left(\frac{POL_i}{TI_i} \right) + c_i \cdot \Delta \left(\frac{TI_i}{MI_i} \right) + d_i \cdot \Delta \left(\frac{MI_i}{MI} \right) + e_i \cdot \Delta(MI) \quad (4)$$

met a_i, b_i, c_i, d_i, e_i coëfficiënten berekend op basis van PLANET-outputdata.

De vooropgestelde verandering van de uitstoot is dus de som van vijf ‘effecten’:

- biobrandstof: de verandering van POL_i^{bio}/POL_i , vermenigvuldigd met a_i ;
- technologische veranderingen: de verandering van POL_i/TI_i , vermenigvuldigd met b_i ;
- bezetting/lading: de verandering van TI_i/MI_i , vermenigvuldigd met c_i ;
- modal shift: de verandering van MI_i/MI , vermenigvuldigd met d_i ;
- vervoersvraag: de verandering van MI , vermenigvuldigd met e_i .

De eenheid van de verkeersindicator TI hangt af van de eenheid waarin de specifieke emissies (POL/TI) in het PLANET-model worden uitgedrukt. Die hangen af van de vervoersmodus (zie Tabel 11):

Tabel 11 Verkeersindicatoren voor de verschillende vervoersmodi

Vervoersmodus	Indicator
Weg	Voertuigkilometer
Binnenscheepvaart	Tonkilometer
Spoor	Bruto tonkilometer

De vervoersindicator MI wordt uitgedrukt in termen van reizigerskilometer voor personenvervoer en in termen van tonkilometer in het geval van goederenvervoer.

Bijmenging met biobrandstof heeft invloed op de uitstoot, afhankelijk van de pollutent, het vervoermiddel en het bijmengingspercentage.

6.2.2. Methode voor personenauto's

Voor personenauto's zijn de eerste twee factoren in vergelijking (3) gemiddelde waarden voor het park. Om rekening te houden met de brandstoftechnologie en de grootte van de motor, wordt de berekening van de emissies als volgt verfijnd:

$$POL_i^{bio} = \left(\sum_{j,k} \frac{POL_{ijk}^{bio}}{POL_{ijk}} \cdot \frac{POL_{ijk}}{TI_{ijk}} \cdot \frac{TI_{ijk}}{TI_{ij}} \cdot \frac{TI_{ij}}{TI_i} \right) \cdot \frac{TI_i}{MI_i} \cdot \frac{MI_i}{MI} \cdot MI \quad (5)$$

Hierin is het vervoermiddel i de personenauto en verwijst j naar de technologie en k naar de grootte van de motor.

De eerste twee termen uit vergelijking (4) worden dan vervangen door:

$$\sum_{j,k} \left[a_{ijk} \cdot \Delta \left(\frac{POL_{ijk}^{bio}}{POL_{ijk}} \right) + b_{ijk} \cdot \Delta \left(\frac{POL_{ijk}}{TI_{ijk}} \right) + f_{ijk} \cdot \Delta \left(\frac{TI_{ijk}}{TI_{ij}} \right) + g_{ij} \cdot \Delta \left(\frac{TI_{ij}}{TI_i} \right) \right] \quad (6)$$

met $a_{ijk}, b_{ijk}, f_{ijk}, g_{ij}$ coëfficiënten berekend op basis van PLANET output data.

De eerste term in de som komt overeen met het biobrandstofeffect. De andere drie effecten zijn:

- verandering van brandstofefficiëntie/emissiefactor: de verandering van $PO_{L_{ijk}}/TI_{ijk}$, vermenigvuldigd met b_{ijk} ;
- verschuiving grootte: de verandering TI_{ij}/TI_i , vermenigvuldigd met f_{ijk} ;
- brandstofverschuiving: de verandering van TI_{ijk}/TI_{ij} , vermenigvuldigd met g_{ij} .

6.2.3. Voorafgaande opmerkingen bij de voorstelling van de resultaten

De algemene decompositieanalyse werd uitgevoerd voor de vooropgestelde evolutie van de uitlaatemissies van CO_2 , NO_x en $PM_{2,5}$ over de periode 2008-2030. De resultaten van de 'verfijnde' decompositieanalyse voor personenauto's zullen enkel voor de CO_2 -emissies worden voorgesteld.

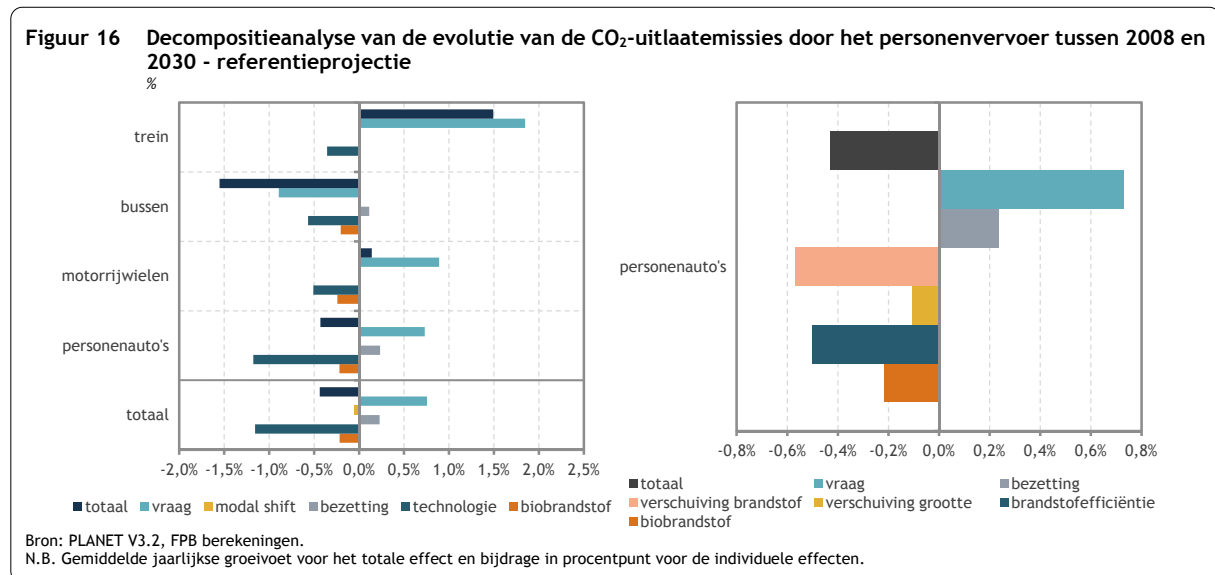
De verandering van de uitstoot wordt uitgedrukt in relatieve termen, met name ten opzichte van het basisjaar 2008. De bijdragen van de individuele effecten aan die verandering worden uitgedrukt in procentpunten (pp). Om een vergelijking met het historische cijfers mogelijk te maken wordt de gemiddelde jaarlijkse groeivoet gehanteerd. Die laatste wordt berekend als het rekenkundige gemiddelde van de absolute verandering van de uitstoot over de periode 2008-2030. Op die manier wordt de additiviteit van de verschillende effecten gerespecteerd.

De grafieken in de volgende delen stellen de resultaten van de decompositie voor per type transport (personen/goederen) en per vervoermiddel. De additiviteit van de effecten gaat enkel op voor de analyse per vervoermiddel en voor het totale personen- en goederenvervoer. Het 'modal shift'-effect is enkel van tel voor het totale personen- en goederenvervoer. Voor die categorie heeft het 'vraag'-effect betrekking op de totale vraag naar personen- of goederenvervoer. Voor de analyse per vervoermiddel heeft dat effect betrekking op de vervoersvraag naar dat vervoermiddel.

6.3. CO₂-uitlaatemissies

6.3.1. Personenvervoer

Figuur 16 toont het resultaat van de decompositie voor de CO₂-emissies. Ondanks een toenemende vraag naar **personenvervoer** (bijdrage +0,76 pp) en een dalende bezetting (bijdrage: +0,23 pp), wordt een daling van de uitstoot door personenvervoer van 0,44% per jaar vooropgesteld tussen 2008 en 2030.



De belangrijkste factor die bijdraagt tot de daling zijn technologische veranderingen (bijdrage -1,16 pp). Het bijmengen van biobrandstoffen doet daar -0,22 pp bovenop. De verschuiving naar energiezuinigere vervoersmodi, in casu het spoor, draagt ook bij aan de daling. De impact is echter beperkt tot -0,05 pp.

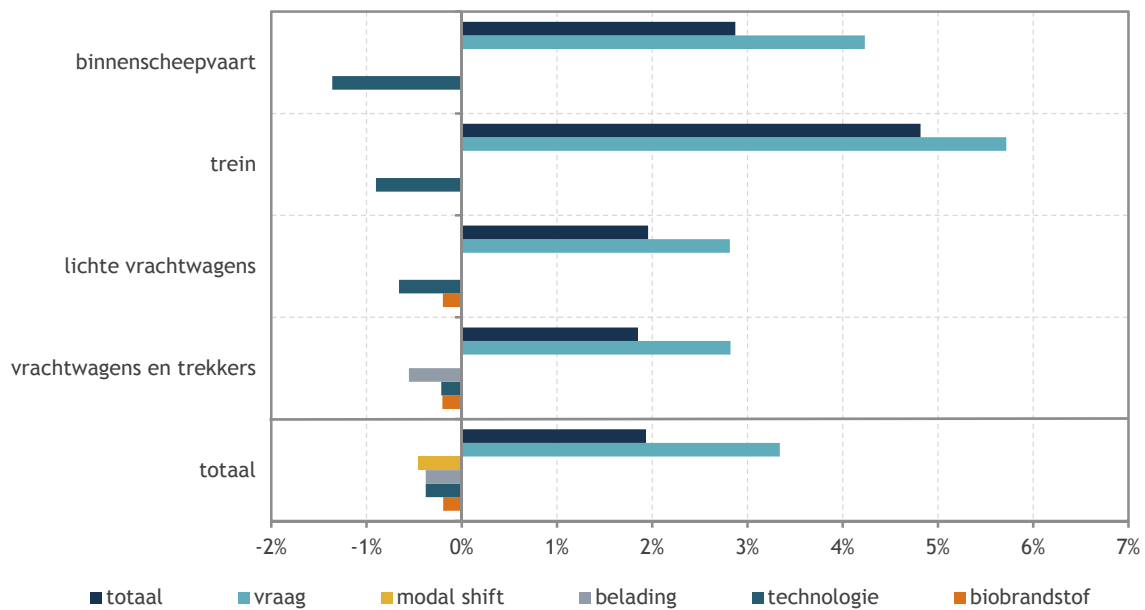
Voor de *trein* en *motorrijwielen* kunnen technologische verbeteringen de groei van de vervoersvraag niet compenseren. De CO₂-uitstoot groeit jaarlijks respectievelijk met 1,49% en 0,14% over de periode 2008-2030. De sterkste reductie (-1,55%) is voor rekening van *bussen*, in de eerste plaats omwille van een dalende vervoersvraag.

De uitstoot door het dominante vervoermiddel, de *personenauto*, krimpt met 0,43% per jaar. De rechtse grafiek splitst de evolutie van die emissies verder op. Het effect van technologische veranderingen omvat drie componenten: (i) een verschuiving van benzineauto's naar dieselauto's en de ontwikkeling van alternatieve aandrijvingen (bijdrage -0,57 pp), (ii) een hogere brandstofefficiëntie (bijdrage -0,50 pp) en (iii) een verschuiving naar kleinere personenauto's (bijdrage -0,11 pp).

6.3.2. Goederenvervoer

In tegenstelling tot het personenvervoer, wordt voor **goederenvervoer** een toename van de CO₂-emissies vooropgesteld. Tussen 2008 en 2030 groeit de uitstoot gemiddeld met 1,93% per jaar. Noch modal shift (bijdrage -0,45 pp), noch een stijgende belading (bijdrage -0,38 pp), noch een lager brandstofverbruik (bijdrage -0,38 pp) of bijmenging van biobrandstoffen (bijdrage -0,19 pp) kunnen de stijgende vraag naar goederenvervoer (bijdrage +3,34 pp) compenseren.

Figuur 17 Decompositieanalyse van de evolutie van de CO₂-uitlaatemissies door het goederenvervoer tussen 2008 en 2030 - referentieprojectie



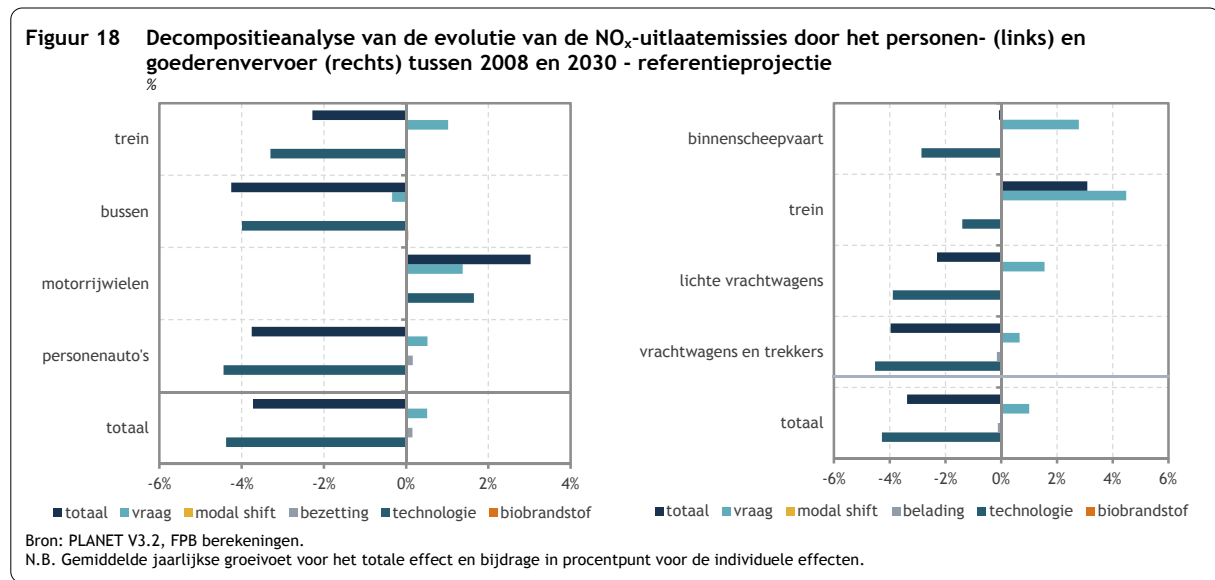
Bron: PLANET V3.2, FPB berekeningen.

N.B. Gemiddelde jaarlijkse groeiquote voor het totale effect en bijdrage in procentpunt voor de individuele effecten.

Dezelfde conclusies gaan op voor de analyse per vervoermiddel. Door de modale verschuiving naar de *binnenscheepvaart* en het *spoor*, is de toename van de uitstoot het grootst voor die twee modi, respectievelijk 2,87% en 4,82% gemiddeld per jaar.

6.4. NO_x-uitlaatemissies

Voor de NO_x-emissies van het **personenvervoer** wordt een daling met gemiddeld 3,72% per jaar over de projectieperiode vooropgesteld. De stijgende vraag en een dalende bezetting (bijdrage +0,66 pp) worden meer dan gecompenseerd door technologische vooruitgang in emissiereductie (bijdrage -4,38 pp). De technologische verbetering wordt opgelegd door steeds striktere Euronormen. De effecten van modal shift en de bijmenging van biobrandstoffen op de evolutie van de NO_x-emissies zijn verwaarloosbaar.



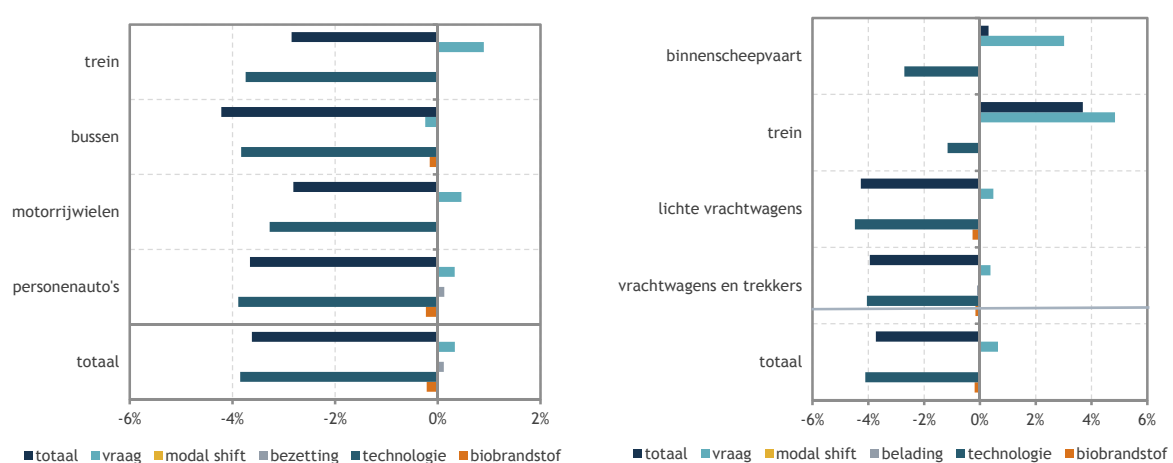
Dankzij een dalende vervoersvraag in combinatie met verbeterde emissiereductietechnieken, is de daling van de NO_x-emissies het grootst voor *bussen*: -4,25% per jaar. De technologische vooruitgang in emissiereductie is kleiner voor *treinen*, maar volstaat wel om de stijgende vervoersvraag te compenseren. Globaal dalen de NO_x-emissies van dieseltreinen gemiddeld met 2,28% per jaar. Door het ontbreken van technologische vorderingen in de emissiereductie, groeit de uitstoot van *motorrijwielen* gemiddeld met 3,03% per jaar aan.

De NO_x-emissies van het **goederenvervoer** dalen gemiddeld met 3,38% per jaar. De stijgende vervoersvraag (bijdrage +1,00 pp) wordt meer dan gecompenseerd door technologische vorderingen in NO_x-emissiereductie (bijdrage -4,28 pp). Het effect van die technologische vooruitgang is het grootst voor *bestelwagens* en *vrachtwagens* en het kleinst voor de *trein*. Enkel voor de *trein* wegen de technologische vorderingen niet op tegen het effect van de toenemende vervoersvraag.

6.5. PM_{2,5}-uitlaatemissies

Net als voor de NO_x-emissies, compenseert de technologische vooruitgang in de PM_{2,5}-emissiereductie ruimschoots de stijgende vervoersvraag naar **personenvervoer** en de dalende bezetting. De technologische verbetering wordt opgelegd door steeds striktere Euronormen. Over de periode 2008-2030 zouden de PM_{2,5}-emissies gemiddeld met 3,62% per jaar dalen. In tegenstelling tot voor de NO_x-emissies, draagt de bijmenging van biobrandstoffen wel bij tot die daling (bijdrage -0,22 pp). Het effect van de modal shift is beperkt.

Figuur 19 Decompositieanalyse van de evolutie van de PM_{2,5}-uitlaatemissies door het personen- (links) en goederenvervoer (rechts) tussen 2008 en 2030 - referentieprojectie



Bron: PLANET V3.2, FPB berekeningen.

N.B. Gemiddelde jaarlijkse groeiëet voor het totale effect en bijdrage in procentpunt voor de individuele effecten.

Voor alle vervoermiddelen compenseren technologische vorderingen in de PM_{2,5}-emissiereductie de stijgende vervoersvraag. De daling van de PM_{2,5}-emissies is het grootst voor *bussen* (-4,22%), dankzij een combinatie van een dalende vervoersvraag en verbeterde emissiereductie. Voor de personenauto speelt, naast verbeterde emissiereductietechnieken, ook het stijgende aandeel van dieselauto's een rol. Een hoger aandeel dieselauto's leidt naar hogere PM_{2,5}-emissies. Dat effect is echter beperkt.

PM_{2,5}-emissies door het **goederenvervoer** zouden een terugval van 3,73% gemiddeld per jaar noteren, in de eerste plaats dankzij technologische verbeteringen in de PM_{2,5}-emissiereductie (bijdrage -4,11 pp). Bijmengen van biobrandstoffen drukt de PM_{2,5}-emissies, maar de bijdrage ervan is beperkt -0,19 pp. Voor de *trein* en *binnenscheepvaart*, wegen de technologische vorderingen niet op tegen de vooropgestelde stijging van de vervoersvraag over de projectieperiode.

7. Conclusie

Het doel van deze Working Paper is tweevoudig: een gedetailleerde voorstelling van de methodologie om de impact van de vervoersactiviteit op het milieu te evalueren en een grondige analyse van die impact tegen 2030, en meer bepaald van de rol van de verschillende factoren die een invloed hebben op de evolutie van de uitlaatmissies van het personenvervoer en het goederenvervoer.

De referentieprojectie voor de evolutie van de transportvraag in België tegen 2030 (FPB en FOD M&V (2012)) toont een sterke toename van de vervoersactiviteit tussen 2008 en 2030, zowel voor het personenvervoer (+ 20% voor de reizigerskm) als voor het goederenvervoer (+ 68% voor de tonkm). Die stijging weerspiegelt de evolutie van de economische groei en de sociodemografische veranderingen. De ontwikkeling van de vervoersactiviteit heeft een impact op het milieu. De emissies van de lokale polluenten, NO_x en PM_{2,5}, dalen echter respectievelijk met 77% en 81% tussen 2008 en 2030. Ook de CO₂-uitlaatmissies voor het personenvervoer zullen dalen (-10%), terwijl ze voor het goederenvervoer toenemen (+43%). De CO₂-uitlaatmissies van het vervoer stijgen in totaal met 12% in 2008 en 2030. De referentieprojectie toont ook aan dat vooral het wegvervoer verantwoordelijk is voor de uitlaatmissies van CO₂ en lokale polluenten.

In 2008 situeren de milieukosten verbonden aan de uitlaatmissies van CO₂, NO_x en PM_{2,5} zich tussen 147 en 961 miljoen euro (in euro van 2008), afhankelijk van de monetaire waardering van de schade veroorzaakt door CO₂. Tussen 2008 en 2030 stijgen de milieukosten aanzienlijk ondanks een grote daling van de emissies van de twee lokale polluenten (NO_x en PM_{2,5}): met 168% (hoge CO₂-waarde) tot 384% (lage CO₂-waarde).

De voorgestelde decompositieanalyse toont de rol van de technologische maatregelen die genomen werden om de uitlaatmissies van het vervoer te verminderen, namelijk de Euronormen en de Europese regelgeving ter verbetering van de energie-efficiëntie van voertuigen. De technologische maatregelen verklaren in grote mate de daling van de NO_x- en PM_{2,5}-uitlaatmissies. Wat het wegvervoer betreft, leidt de integratie van alternatieve voertuigen ook tot een daling van de emissies van NO_x en PM_{2,5}, zij het in mindere mate. Het toenemend gebruik van biobrandstoffen drukt ook in beperkte mate de uitstoot van PM_{2,5}. Al die maatregelen samen maken het mogelijk de uitlaatmissies van die twee polluenten aanzienlijk te verminderen en dit ondanks de stijgende vervoersactiviteit.

Voor de CO₂-emissies verschilt de evolutie volgens het type vervoer (personen of goederen). De CO₂-emissies van het personenvervoer nemen af in de projectie. Die daling is vooral het gevolg van de maatregelen ter verbetering van de energie-efficiëntie van voertuigen. Een van die maatregelen is de Europese regelgeving die de gemiddelde emissie van personenvoertuigen vastlegt op 130g CO₂ per kilometer in 2015. De introductie van biobrandstoffen en elektrische voertuigen (hybride of volledig elektrisch) heeft eveneens een positieve impact op de CO₂-emissies van het personenvervoer. Voor het goederenvervoer zijn er ook CO₂-emissievereisten voor nieuwe bestelwagens (175g CO₂ per kilometer in 2017) maar niet voor vrachtwagens. De CO₂-emissies stijgen dus als gevolg van het toegenomen goederenvervoer. Tegen 2030 kan noch een hogere beladingsgraad, noch de lichte verschuiving naar

het spoor en de binnenvaart of de hogere energie-efficiëntie van de voertuigen de toename van het goederenvervoer compenseren.

De evolutie bij ongewijzigd beleid van de CO₂-uitlaatmissies van het vervoer toont dat het huidige beleid niet volstaat om de emissies in België te verminderen. Dit kan vragen doen rijzen binnen de context van de Europese doelstelling om de broeikasgasemissies met 80 à 95% te verlagen tegen 2050 ten opzichte van het niveau van 1990 (CO₂ is het belangrijkste broeikasgas). *De routekaart voor een concurrerende koolstofarme economie tegen 2050* (EC, 2011a) die de Europese Commissie in maart 2011 heeft goedgekeurd en aangeeft hoe zulke doelstellingen kunnen worden bereikt, toont dat, naargelang het scenario, de broeikasgasemissies van de transportactiviteit, in vergelijking met 1990, met 54% à 67% verminderd moeten worden tegen 2050. In het licht van die analyse heeft de Europese Commissie in maart 2011 ook een Witboek Transport goedgekeurd (EC, 2011 b) waarin een transportstrategie wordt uitgetekend om tegen 2050 de broeikasgasemissies van die sector met 60% te verlagen. Dat cijfer stemt overeen met een emissiereductie van ongeveer 70% tegenover 2008. Het document vermeldt ook dat de doelstelling tegen 2030 voor het transport erin bestaat de broeikasgasemissies met ongeveer 20% te verlagen ten opzichte van het niveau van 2008.

De bovenvermelde doelstellingen zijn doelstellingen op Europees niveau. De referentieprojectie toont echter aan dat er nieuwe beleidsmaatregelen vereist zijn (op Belgisch en/of Europees niveau) om aan te sluiten bij de gewenste trend. In dat opzicht heeft de Europese Commissie in juli 2012 voorstellen van nieuwe CO₂-emissievoorschriften voor wagens en bestelwagens tegen 2020 voorgesteld (respectievelijk 95g CO₂/km en 147g CO₂/km). Ondanks het milieuvoordeel dat deze nieuwe regelgeving zal opleveren, zullen ook andere beleidsmaatregelen nodig zijn, zoals maatregelen ter bevordering van minder vervuilende transportmodi en multimodaal transport.

Referenties

- Boureima F-S., V. Wynen, N. Sergeant, M. Maarten, H. Rombaut & J. Van Mierlo (2009), *BIOSES: Bio-fuel Sustainable End use - Task 2.1: Emission-impact Well-to-Tank*, VUB, study financed by Belgian Science Policy Office.
- CAFE (2005), *Clean Air for Europe, Methodology for the Cost-Benefit Analysis for CAFÉ, Volume 3: Uncertainty in the CAFE CBA: Methods and First Analysis*.
- http://ec.europa.eu/environment/archives/cafes/activities/pdf/cba_method_vol3.pdf [03/06/2010].
- Chiffi, C., D. Fiorello, I. De Vlieger & L. Schrooten (2009), *EX-TREMIS - Exploring non road Transport Emissions in Europe: Development of a Reference System on Emissions Factors for Rail, Maritime and Air Transport*, IPTS - Institute for Prospective Technological Studies, DG-JRC, Seville, Spain.
- Cools, I., E. Meynaerts, K. Aernouts, N. Renders, P. Lodewijks, I. De Vlieger & K. Schoeters (2012), *Ondersteuning bij de ontwikkeling van het Vlaams Klimaatbeleidsplan*. Studie uitgevoerd in opdracht van LNE.
- De Vlieger I., I. Mayeres, H. Michiels, L. Schrooten, M. Vanhulsel, D. Gusbin, M. Vandresse, A. Van Steenberghe, D. Dewaele & B. Jourquin (2011), *Limobel - Long-Run Impacts of Policy Packages on Mobility in Belgium*, Final report, study financed by the Belgian Science Policy Office. http://www.belspo.be/belspo/SSD/science/Reports/LIMOBEL%20final%20report_ML.pdf
- De Vlieger I., L. Pelkmans, S. Verbeiren, E. Cornelis, L. Schrooten, L. Int Panis, S. Proost & J. Knockaert (2005), *Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium (SUSATRANS)*. Final report. Study financed by the Belgian Science Policy Office.
- De Vlieger, I., L. Pelkmans, L. Schrooten, J. Vankerkom, M. Vanderschaeghe, R. Grispen, D. Borremans, K. Vanherle, E. Delhay, T. Breemers & C. De Geest (2009), *Toekomstverkenning MIRA-S 2009 - Wetenschappelijk rapport - Sector 'Transport': referentie- en Europa-scenario*, VITO - MOW - TML - MIRA, studie voor VMM-MIRA.
- den Boer L.C., F.P.E. Brouwer & H.P. van Essen (2008), *Studie naar Transport Emissies van Alle Modaliteiten (STREAM)*. Versie 2.0. CE Delft.
- EC (2011a) *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, COM(2011) 112 final.
- EC (2011b) *White Paper, Roadmap to a single transport area – Towards a competitive and resource efficient transport system* (COM(2011) 144 final).
- EMEP/CORINAIR (2003), *B770, Road vehicle tyre and brake wear, and road surface wear, Activities 070700-070800, Emission Inventory Guidebook*.
- EMEP/CORINAIR (2007), *EMEP/CORINAIR Emission inventory Guidebook - 2007: Group 7 - Road transport*, EEA. <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP/CORINAIR5/>
- ExternE (2005), *Externalities of Energy, Methodology 2005 Update*, IER, Universität Stuttgart, Germany, European Commission, Directorate-General for Research.
- FAPETRO (2003) *Verslag van de activiteiten van het Fonds voor de analyse van aardolieproducten*, 2002.

- Federaal Planbureau en Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer (2012), *Vooruitzichten van de transportvraag in België tegen 2030*, september 2012.
- Federaal Planbureau (2011), *Economische vooruitzichten 2010-2015*, mei 2011.
- Hoge Raad Van Financiën (2011), *Jaarlijks verslag van de Studiecommissie van de Vergrijzing*, juni 2011.
- Federaal Planbureau (2011), *Energievoorzichten voor België tegen 2030*, Federaal Planbureau, november 2011.
- Federaal Planbureau (2009), *Bevolkingsvoorzichten 2007-2060*.
- http://www.plan.be/databases/database_det.php?lang=nl&TM=46&IS=60&DB=DEMOG&ID=26 [20/01/2010].
- Franckx, L., A. Van Hyfte, S. Bogaert, S. Vermoote & A. Hunt (2009), *Reële Milieugerelateerde Gezondheidskosten in Vlaanderen*. http://www.lne.be/themas/milieu-en-gezondheid/onderzoek/rapport_gezondheidskosten [20/10/2010].
- Friedrich, R. & P. Bickel (2001), *Environmental External Costs of Transport*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hausberger, S. (2010), *Fuel Consumption and Emissions of Modern Passenger Cars - Carried out under contract of BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft)*, Graz University of Technology - Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics.
- IMPACT (2008), *Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector, Internalisation Measures and Policies for All External Costs of Transport (IMPACT)*, CE Delft. [http://www.ce.nl/publicatie/eindrapporten_impact_\(internalisation_measures_and_policies_for_all_external_cost_of_transport_\)/701](http://www.ce.nl/publicatie/eindrapporten_impact_(internalisation_measures_and_policies_for_all_external_cost_of_transport_)/701) [19/01/2010].
- IPCC (2006), *IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, Chapter 3: Mobile combustion, Table 3.4.2*. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>)
- IPPC (1997), *IPPC 1996 Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3 - Reference Manual*, IPPC.
- JEC (2008), *Description and detailed energy and GHG balance of individual pathways. Appendix 2 of the "Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context"*. Well-to-tank Report Version 3.0 November 2008.
- Michiels H., T. Denys, C. Beckx, L. Schrooten & S. Vernailen (2011a), *Policy Pathways for a Cleaner Belgian Car Fleet*, Conference proceedings van BIVEC/GIBET Transport Research Day 2011, 25/05/2011, Namur.
- Michiels, H., L. Int Panis, I. De Vlieger & I. Mayeres (2011b), *LIMOBEL Annex 2 – External Environmental Cost Model for Transport*, study financed by Belgian Science Policy Office. <http://www.belspo.be/belspo/SSD/science/Reports/LIMOBEL%20Annexes%202-7.pdf>
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2003a), *Emissieregistratie en –Monitoring Scheepvaart (EMS): Deel I, protocollen*, Rijkswaterstaat, 25/11/2003.

- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2003b), *Emissieregistratie en –Monitoring Scheepvaart (EMS): Deel II, achtergronddocumenten*, Rijkswaterstaat, 25/11/2003.
- MIRA (2010), *MIRA O&O - Actualisering van de Externe Milieuschadeposten (Algemeen voor Vlaanderen) met Betrekking tot Luchtverontreiniging en Klimaatverandering*, Studie uitgevoerd door VITO in opdracht van MIRA, 143pp.
- NEEDS (2006), *New Energy Externalities Developments for Sustainability, Final Report on the Monetary Valuation of Mortality Risks from Air Pollution*, NEEDS Deliverable n° 6.7 – RS 1b, 55 pp.
- NEEDS (2007a), *New Energy Externalities Developments for Sustainability, A set of concentration-response functions*. NEEDS Deliverable 3.7 – RS1b/WP3, 162 pp.
- NEEDS (2007b), *New Energy Externalities Developments for Sustainability, Description of Updated and Extended Draft Tools for the Detailed Site-Dependent Assessment of External Costs*, NEEDS Technical Paper n° 7.4 – RS 1b, 64 pp.
- NEEDS (2009), *New Energy Externalities Developments for Sustainability, A Review of Monetary Values for Health End-Points, Transferability of These Values and the Effect of Adjusted Values on the External Costs*, NEEDS Technical Paper n° 4.2a – RS 1d, 40 pp.
- Pelkmans, L., I. De Vlieger, C. Beckx, G. Lenaers, J. Van Mierlo, F.-S. Boureima, J. De Ruyck, S. Bram, C. Macharis, L. Turcksin, J.-M. Jossart & L. Mertens (2011), *BIOSSES - Sustainable biofuel use in Belgium*, Final scientific report, study financed by Belgian Science Policy Office.
- Sleuwaert, F., C. Polders, H. Van Rompaey, L. Schrooten, I. De Vlieger, P. Berghmans, I. Vanderreydt, N. Bleux, L. Janssen & J. Vankerkom (2006), *Optimalisatie en actualisatie van de emissie-inventaris fijn stof in het kader van internationale ontwikkelingen 2006/IMS/R/391*.
- UIC (2006) *Railenergy project, 6th Framework programme 2006-2010*, www.railway-energy.org, consultation October 2007.
- Vanherle, K., B. Van Zeebroeck & J. Hulskotte (2007), *Emissiemodel voor spoorverkeer en scheepvaart in Vlaanderen: EMMOSS*. Carried out for the Flemish Environmental Agency (VMM) by Transport & Mobility Leuven (TML).
- Vonk, W.A. & R.P. Verbeek (2010), *Verkennde metingen van schadelijke uitlaatgasemissies van personenvoertuigen met Euro-6 dieseltechnologie*, TNO-rapport MON-RPT-2010-02278, in opdracht van Ministerie van VROM.
- Weiss M., P. Bonnel, R. Hummel, A. Provenza & U. Manfredi (2011), *On-Road Emissions of Light Duty Vehicles in Europe*, Environ. Sci. Technol. 45(19) 8575-81.