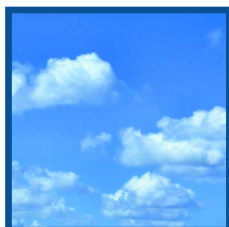


# Actualisering van de externe milieuschadekosten (algemeen voor Vlaanderen) met betrekking tot luchtverontreiniging en klimaatverandering



Studie uitgevoerd in opdracht van  
MIRA, Milieurapport Vlaanderen

Onderzoeksrapport

MIRA/2010/03, december 2010

# ***Eindrapport***

## ***Actualisering van de externe milieuschadepkosten (algemeen voor Vlaanderen) met betrekking tot luchtverontreiniging en klimaatverandering***

Leo De Nocker, Hans Michiels, Felix Deutsch, Wouter Lefebvre,  
Jurgen Buekers, Rudi Torfs

**Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA,  
Milieurapport Vlaanderen**

MIRA/2010/03

December 2010



Dit rapport verschijnt in de reeks MIRA Ondersteunend Onderzoek van de Vlaamse Milieumaatschappij. Deze reeks bevat resultaten van onderzoek gericht op de wetenschappelijke onderbouwing van het Milieurapport Vlaanderen.

Dit rapport is ook beschikbaar via [www.milieurapport.be](http://www.milieurapport.be).

Contactadres:

Vlaamse Milieumaatschappij  
Milieurapportering (MIRA)  
Van Benedenlaan 34  
2800 Mechelen  
tel. 015 45 14 61  
[mira@vmm.be](mailto:mira@vmm.be)

Wijze van citeren:

Leo De Nocker, Hans Michiels, Felix Deutsch, Wouter Lefebvre, Jurgen Buekers, Rudi Torfs (2010), Actualisering van de externe milieuschadeposten (algemeen voor Vlaanderen) met betrekking tot luchtverontreiniging en klimaatverandering, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2010/03, VITO.

## Inhoudstafel

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Inhoudstafel</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>Inhoudstafel figuren</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>Inhoudstafel tabellen</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>Samenvatting</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>1 Focus van dit onderzoek</b> .....  | <b>16</b> |
| 1.1 Wat zijn externe kosten en waarom is het een relevante indicator ? .....          | 16        |
| 1.2 Nood aan actuele kengetallen .....  | 16        |
| 1.2.1 Kengetallen aansluitend op Vlaamse en Europese kennis en data .....             | 17        |
| 1.3 Factoren die omvang van externe kosten bepalen .....                              | 18        |
| 1.3.1 Van specifieke berekeningen naar kengetallen .....                              | 18        |
| 1.3.2 Focus op volksgezondheid .....  | 18        |
| 1.3.3 Externe kosten gerelateerd aan fijn stof .....                                  | 18        |
| 1.3.4 Externe kosten gerelateerd aan ozon .....                                       | 19        |
| 1.4 Conclusies voor afleiden kengetallen .....  | 19        |
| 1.4.1 Onderscheid naar sectoren .....   | 19        |
| 1.4.2 Kengetallen voor marginale emissies uit Vlaamse sectoren .....                  | 20        |
| 1.4.3 Kengetallen voor emissies uit gans Vlaanderen .....                             | 20        |
| 1.4.4 Verkenning van de evolutie externe kosten in nabije toekomst .....              | 21        |
| 1.5 Keuze van methodiek en bouwstenen voor bepaling kengetallen .....                 | 21        |
| 1.5.1 Voortbouwen op het Europese kennisgeheel (ExternE-Needs) .....                  | 21        |
| 1.5.2 Integratie van Vlaamse modellen en data .....                                   | 23        |
| 1.6 Prioriteiten en werkwijze voor actualisatie kengetallen .....                     | 23        |
| 1.6.1 Kengetallen MEK volksgezondheid (fijn stof en ozon) .....                       | 23        |
| 1.6.2 Kengetallen voor andere impacts van emissies naar lucht .....                   | 24        |
| 1.6.3 Kengetallen voor impacts van emissies van zware metalen .....                   | 24        |
| 1.6.4 Kengetallen voor broeikasgasemissies .....                                      | 24        |
| 1.7 Opbouw van dit rapport .....  | 25        |
| <b>2. Methodologie MEK gezondheid</b> .....   | <b>26</b> |
| 2.1 Bouwstenen voor bepaling externe kosten .....                                     | 26        |
| 2.1.1 Verfijning schadefunctie-methode met "Vlaamse" bouwstenen .....                 | 26        |
| 2.1.2 Stappen voor modelleren luchtkwaliteit .....                                    | 27        |
| 2.1.3 Bepaling van blootstelling .....  | 29        |
| 2.1.4 Begroting van Gezondheidsimpacts .....  | 30        |
| 2.1.5 Opmerkingen over interpretatie van deze dosis-effect relaties .....             | 31        |
| 2.1.6 Monetaire waardering van gezondheidsimpacts uit Ex-Daly .....                   | 35        |
| 2.2 Werkwijze voor berekening via gedetailleerde modelruns .....                      | 39        |
| 2.2.1 Definitie van emissiereductie-scenario's voor berekening marginale kosten ..... | 39        |
| 2.2.2 Selectie van emissiescenario's .....  | 40        |
| 2.2.3 Berekening van verspreiding en blootstelling impacts .....                      | 42        |
| 2.2.4 Berekening van impacts en hun monetaire waardering .....                        | 44        |
| 2.2.5 Berekening van kengetallen voor externe kosten per ton poll .....               | 44        |
| 2.3 Benaderende inschatting voor spoor, water en canyoneffect .....                   | 44        |
| 2.3.1 Afleiden van kengetallen voor spoorverkeer en waterwegen .....                  | 44        |
| 2.3.2 Vereenvoudigde aanpak voor verrekening van het canyon-effect .....              | 45        |
| <b>3 Resultaten externe kosten gezondheid</b> .....                                   | <b>46</b> |
| 3.1 Overzicht .....   | 46        |
| 3.2 MEK gezondheidseffecten primair emissies van fijn stof .....                      | 46        |
| 3.2.1 MEK van gezondheidseffecten van emissies van PM 2,5 .....                       | 46        |
| 3.2.2 MEK van gezondheidseffecten van emissies PMco <sub>a</sub> .....                | 49        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2.3 MEK van gezondheidseffecten van emissies van PM 10 .....                             | 50        |
| 3.2.4 MEK van gezondheidseffecten van niet-uitlaat PM emissies transport .....             | 52        |
| 3.3 MEK gezondheidseffecten fijn stof precursoren SO <sub>2</sub> en NO <sub>x</sub> ..... | 52        |
| 3.3.1 MEK gezondheidseffecten emissies van SO <sub>2</sub> .....                           | 53        |
| 3.3.2 MEK gezondheidseffecten emissies van NO <sub>x</sub> op secundair fijn stof .....    | 56        |
| 3.4 MEK gezondheidseffecten van ozonprecursoren NO <sub>x</sub> en NMVOS .....             | 60        |
| 3.4.1 MEK gezondheidseffecten via ozon van emissies van NO <sub>x</sub> .....              | 60        |
| 3.4.2 MEK gezondheidseffecten via ozon van emissies van NMVOS .....                        | 61        |
| 3.4.3 Discussie en interpretatie .....   | 63        |
| 3.5 Vergelijking met Europese modellen, en vroegere kengetallen .....                      | 64        |
| 3.5.1 Doelstelling en afbakening .....   | 64        |
| 3.5.2 Algemene beschouwingen .....   | 64        |
| 3.6 Vergelijking met EcoSense web .....  | 65        |
| 3.6.1 Doelstelling en methode .....  | 65        |
| 3.6.2 Vergelijking met EcoSense web voor primair fijn stof .....                           | 66        |
| 3.6.3 Vergelijkingen voor SO <sub>2</sub> via secundair fijn stof .....                    | 66        |
| 3.6.4 Vergelijkingen voor NO <sub>x</sub> via secundair stof .....                         | 67        |
| 3.6.5 Vergelijkingen voor NO <sub>x</sub> via ozon .....                                   | 67        |
| 3.6.6 Vergelijkingen voor NMVOS via ozon .....   | 68        |
| 3.6.7 Besluit uit vergelijking met EcoSense-web .....                                      | 69        |
| 3.7 Vergelijking met Europees "handboek externe kosten transport" .....                    | 69        |
| 3.8 Vergelijking met vroegere schattingen in kader ExternE en MIRA .....                   | 70        |
| 3.8.1 Evolutie inschatting externe kosten van PM 10 uit hoge schouwen .....                | 70        |
| 3.8.2 Vergelijking met ExDaly 2009 .....   | 71        |
| 3.9 Kengetallen MEK gezondheid in Vlaanderen en buurregio's .....                          | 71        |
| <b>4 Andere impacts .....</b>  | <b>74</b> |
| 4.1 Inleiding .....  | 74        |
| 4.2 Impacts op landbouw .....  | 74        |
| 4.2.1 Baten van SO <sub>2</sub> emissies voor landbouw .....                               | 74        |
| 4.2.2 Impacts op landbouwgewassen van NMVOS en NO <sub>x</sub> via ozon .....              | 74        |
| 4.2.3 Impacts van stikstofdepositie en zure neerslag .....                                 | 75        |
| 4.2.4 Discussie en besluit .....   | 75        |
| 4.3 Impacts op materialen en gebouwen .....  | 76        |
| 4.3.1 Schade door vermindering levensduur bouwmaterialen .....                             | 76        |
| 4.3.2 Schade door vervuiling van gebouwen door fijn stof .....                             | 76        |
| 4.3.3 Discussie en besluit .....   | 77        |
| 4.4 Impacts op biodiversiteit .....  | 77        |
| 4.4.1 Methodologie .....   | 77        |
| 4.4.2 Beschikbare bouwstenen om deze methode toe te passen .....                           | 79        |
| 4.4.3 Resultaten en discussie .....  | 80        |
| 4.5 Impacts op volksgezondheid in andere EU landen .....                                   | 80        |
| 4.6 Externe kosten van emissies van NH <sub>3</sub> .....                                  | 82        |
| 4.7 Externe kosten van emissies naar lucht van zware metalen .....                         | 83        |
| <b>5 Kengetallen externe kosten Broeikasgassen .....</b>                                   | <b>84</b> |
| 5.1 Methodes en data voor externe kosten klimaatverandering .....                          | 84        |
| 5.1.1 Kengetal externe kosten broeikasgassen in MIRA 2005 en<br>onderbouwing .....         | 84        |
| 5.1.2 Nieuwe informatie in vogelvlucht .....   | 84        |
| 5.2 Externe kosten klimaat op basis schadekosten .....                                     | 84        |
| 5.2.1 Achtergrond bij de modellen en bepalende factoren .....                              | 84        |
| 5.2.2 Waardering van de effecten .....   | 89        |
| 5.2.3 Ordes van grootte van de externe kosten .....  | 90        |
| 5.2.4 Besluit .....  | 92        |
| 5.3 Preventiekosten als basis kengetallen externe kosten .....                             | 92        |
| 5.3.1 Principe van de preventiekosten methode .....  | 92        |
| 5.3.2 Preventiekosten voor emissies broeikasgassen .....                                   | 92        |
| 5.4 Kengetallen voor broeikasgassen .....  | 95        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.4.1 Externe kosten voor CO <sub>2</sub> .....                                    | 95         |
| 5.4.2 Externe kosten voor verschillende broeikasgassen .....                       | 97         |
| <b>6 Kengetallen voor externe kosten.....</b>                                      | <b>98</b>  |
| 6.1 Welk kengetal kiezen? .....  | 98         |
| 6.1.1 Onderscheid in kengetallen voor emissies naar lucht.....                     | 98         |
| 6.1.2 Opmerkingen en aanbevelingen bij deze kengetallen .....                      | 99         |
| 6.1.3 Onderscheid in kengetallen voor emissies van BKG .....                       | 100        |
| 6.2 Kengetallen voor emissies naar lucht per sector en pollutent.....              | 100        |
| 6.2.1 Samenvattende tabel voor sectoren emissies 2010 en 2020 .....                | 100        |
| 6.2.2 Aandeel van verschillende impactcategorieën 2010 en 2020.....                | 102        |
| 6.2.3 Kengetallen voor andere jaren, met focus op NO <sub>x</sub> .....            | 109        |
| 6.3 Externe kosten van emissies van NH <sub>3</sub> .....                          | 111        |
| 6.4 Externe kosten van emissies naar lucht van zware metalen .....                 | 111        |
| 6.5 Kengetallen voor broeikasgassen .....  | 111        |
| 6.6 Consistentie met andere kengetallen .....                                      | 112        |
| 6.7 Aanbevelingen voor verder onderzoek .....                                      | 113        |
| <b>7 Literatuurlijst .....</b>   | <b>115</b> |
| <b>8 Afkortingen, begrippen.....</b>   | <b>119</b> |
| <b>9 Eenheden .....</b>  | <b>120</b> |
| <b>Bijlage A: Methode om output BeLEUROS en IFDM-RIO te linken met ExDaly.....</b> | <b>121</b> |

## Inhoudstafel figuren

|  |    |
|--|----|
| Figuur 1: De keten-effect benadering om de schadefunctie-methode toe te passen .....   | 17 |
| Figuur 2: Bouwstenen voor toepassing schadefunctie methode voor bepaling externe kosten emissies uit verschillende sectoren in Vlaanderen .....  | 27 |
| Figuur 3: Situering van het gehanteerde BelEUROS grid voor de bepaling van effecten op luchtkwaliteit in Vlaanderen en in de buurregio's .....   | 28 |
| Figuur 4: Illustratie van het flexibel grid gehanteerd voor berekening van verspreiding van emissies van transport in IFDM-RIO, in functie van de afstand tot de as van de weg. ....                               | 29 |
| Figuur 5: Illustratie van de input van emissiescenario's voor berekening van externe kosten van transport op verschillende wegen .....   | 42 |
| Figuur 6: Illustratie van de output van Beleuros voor verschillende pollutanten .....  | 43 |
| Figuur 7: Illustratie van de output van berekeningen voor verspreiding van emissies van wegen in Vlaanderen .....  | 44 |
| Figuur 8: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM 2.5 voor verschillende sectoren, voor de huidige situatie (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....             | 47 |
| Figuur 9: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM coarse(in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....   | 50 |
| Figuur 10: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM10 (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....  | 51 |
| Figuur 11: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van SO <sub>2</sub> (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....   | 53 |
| Figuur 12: Bijdrage van componenten van secundair fijn stof aan MEK van emissies van SO <sub>2</sub> , voor de achtergrondconcentraties 2007 en voor 2020 (in euro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....             | 56 |
| Figuur 13: Evolutie 2007 – 2020 van marginale externe gezondheidskosten via fijn stof van emissies van NO <sub>x</sub> (emissies uit lage schouwen) (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....                  | 57 |
| Figuur 14: Bijdrage van componenten van secundair fijn stof aan MEK van emissies van NO <sub>x</sub> , voor de achtergrondconcentraties 2007, 2010, 2015 en voor 2020 (in euro <sub>2009</sub> /ton emissie) ..... | 59 |
| Figuur 15: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van NO <sub>x</sub> via ozon (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....  | 60 |
| Figuur 16: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van NMVOS via ozon (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....  | 62 |
| Figuur 17: De verschillende stappen om de schadefunctie-methode toe te passen op verlies van biodiversiteit .....  | 78 |
| Figuur 18: De keten-effect benadering om de schadekosten van uitstoot van broeikasgassen te kwantificeren en waarderen, en benodigde informatie .....  | 85 |
| Figuur 19: De heuvelvormige curve voor dosis-effect relaties van klimaatverandering .....  | 87 |
| Figuur 20: Overzicht van de mogelijke risico's van klimaatverandering en hun intensiteit in functie van de temperatuurstijging .....   | 88 |
| Figuur 21: externe schadekosten klimaatverandering volgens verschillende modellen voor emissies in verschillende jaren (2005 tot 2095) .....   | 91 |
| Figuur 22: Overzicht van marginale reductiekosten van wereldwijd beleid om verschillende klimaatdoelstellingen te realiseren .....   | 94 |
| Figuur 23: Overzicht van de schadekosten van CO <sub>2</sub> emissies uit modelstudies bij verschillende aannames (in euro/ton CO <sub>2</sub> eq.) .....  | 96 |

## Inhoudstafel tabellen

|   |    |
|---|----|
| Tabel 1: Overzicht van de actualisatie en aanpassing instrumenten in de verschillende stappen voor de berekening van externe kosten voor volksgezondheid .....  | 24 |
| Tabel 2: Overzicht van de gebruikte DR-relaties gezondheid.....   | 33 |
| Tabel 3: Overzicht van de geactualiseerde monetaire waardes voor de verschillende gezondheidseffecten .....   | 37 |
| Tabel 4: Overzicht van de uitgevoerde simulaties .....  | 41 |
| Tabel 5: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM 2.5 voor verschillende sectoren, voor de huidige situatie (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) ..... | 48 |
| Tabel 6: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM 2.5 voor verschillende sectoren, voor zichtjaar 2020 (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....      | 49 |
| Tabel 7: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM coa voor hoge en lage schouwen, voor 2010 en 2020 (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....         | 50 |
| Tabel 8: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM 10 voor hoge en lage schouwen, voor 2010 en 2020 (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....          | 52 |
| Tabel 9: Marginale externe gezondheidskosten via fijn stof van emissies van SO <sub>2</sub> (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....   | 54 |
| Tabel 10: Bijdragen van verschillende factoren aan de groei van externe kosten van SO <sub>2</sub> via fijn stof van 2007 tot 2020 (stijging in % t.o.v. referentiejaar) .....                        | 55 |
| Tabel 11: Marginale externe gezondheidskosten via fijn stof van emissies van NO <sub>x</sub> voor hoge en lage schouwen, voor 2010 en 2020 (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....              | 58 |
| Tabel 12: Bijdragen van verschillende factoren aan de groei van externe kosten van NO <sub>x</sub> via fijn stof van 2007 tot 2020 (stijging in % t.o.v. referentiejaar).....                         | 58 |
| Tabel 13: Marginale externe gezondheidskosten via ozon van emissies van NO <sub>x</sub> , voor 2007, 2010 en 2020 (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie).....  | 61 |
| Tabel 14: Bijdragen van verschillende factoren aan de groei van externe kosten van NO <sub>x</sub> via ozon van 2007 tot 2020 (stijging in % t.o.v. referentiejaar).....                              | 61 |
| Tabel 15: Marginale externe gezondheidskosten via ozon van emissies van NMVOS, voor 2007, 2010 en 2020 (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie).....   | 63 |
| Tabel 16: Bijdragen van verschillende factoren aan de groei van externe kosten van NMVOS via ozon van 2007 tot 2020 (in % ) .....   | 63 |
| Tabel 17: Vergelijking van MEK voor gezondheid voor emissies van primair fijn stof uit Vito 2010 en EcoSense web, in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie .....   | 66 |
| Tabel 18: Vergelijking van MEK voor effecten op secundair fijn stof voor emissies van SO <sub>2</sub> , volgens Vito 2010 en EcoSense web, in keuro/ton emissie .....                                 | 67 |
| Tabel 19: Vergelijking van MEK voor effecten op secundair fijn stof voor emissies van NO <sub>x</sub> , voor uit Vito 2010 en EcoSense web, in keuro/ton emissie .....                                | 67 |
| Tabel 20: Vergelijking van MEK voor effecten op ozon voor emissies van NO <sub>x</sub> , uit Vito 2010 en EcoSense web, in keuro/ton emissie .....  | 68 |
| Tabel 21: Vergelijking van MEK voor effecten op ozon voor emissies van NMVOS, voor uit Vito 2010 en EcoSense web, in keuro/ton emissie .....  | 69 |
| Tabel 22: Vergelijking van MEK voor gezondheid voor emissies van primair fijn stof PM10 volgens Vito 2010 en EcoSense web, in keuro/ton emissie .....   | 71 |
| Tabel 23: Effect van de actualisatie van de monetaire waarderingsstap op de monetaire resultaten van ExDaly 2009 (ExDaly = 100) .....   | 71 |
| Tabel 24: Kengetallen voor externe kosten voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's van emissies naar lucht in 2010 (in keuro <sub>2009</sub> /ton) .....  | 72 |
| Tabel 25: Kengetallen voor externe kosten voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's van emissies naar lucht in 2020 (in keuro <sub>2009</sub> /ton) .....  | 72 |
| Tabel 26: MEK voor effecten op landbouwgewassen voor emissies van NMVOS, NO <sub>x</sub> en SO <sub>2</sub> op basis van EcoSense web in keuro/ton emissie .....                                      | 74 |
| Tabel 27: MEK voor effecten op landbouwgewassen via ozon voor emissies van NO <sub>x</sub> en NMVOS, EcoSense web, in keuro/ton emissie .....   | 75 |
| Tabel 28: MEK voor effecten op bouwmaterialen voor emissies van NO <sub>x</sub> en SO <sub>2</sub> , EcoSense web, in keuro/ton emissie .....   | 76 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabel 29: MEK voor effecten op biodiversiteit voor emissies van NMVOS, NO <sub>x</sub> en SO <sub>2</sub> , EcoSense web, in keuro/ton emissie .....   | 80  |
| Tabel 30: MEK voor effecten op gezondheid buiten Vlaanderen en de buurregio's, op basis van EcoSense web, in keuro/ton emissie .....   | 82  |
| Tabel 31: Aandeel van de MEK voor effecten op gezondheid buiten Vlaanderen en de buurregio's in het geheel van externe kosten .....  | 82  |
| Tabel 32: MEK van emissies van NH <sub>3</sub> uit België (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie).....   | 83  |
| Tabel 33: MEK voor effecten op gezondheid van emissies naar lucht van zware metalen en dioxines, uit Vlaamse bron op basis EcoSense web .....  | 83  |
| Tabel 34: Illustratie van het relatieve belang van onzekere impactcategorieën op de verwachte schade door klimaatverandering (uitgedrukt als % van het mondiale GDP per capita, van klimaatverandering onder een BAU scenario, verdisconteert aan 0,1 %) .....                             | 89  |
| Tabel 35: Illustratie van de bandbreedte op schattingen externe kosten voor emissies van CO <sub>2</sub> in het jaar 2055, in functie van aannames over discontovoeten (pure tijdsvoorkeur) en al dan niet hoger waarden van impacts in arme landen op basis prijzen van rijke landen..... | 90  |
| Tabel 36: De 'sociale kost van koolstof', geschat voor Defra, UK, uit 2005 .....   | 90  |
| Tabel 37: De marginale reductiekost voor voldoen aan lange termijn klimaatdoelstellingen, geschat volgens enkele studies (in euro/tonCO <sub>2</sub> -eq) .....  | 95  |
| Tabel 38: Kengetallenreeks voor externe kosten van de voornaamste broeikasgassen voor emissies in periode 2010-2050. (in euro <sub>2009</sub> /ton pollutant).....   | 97  |
| Tabel 39: Kengetallenreeks voor externe kosten van de voornaamste broeikasgassen 2010-2050 .....   | 97  |
| Tabel 40: Samenvattende tabel voor kengetallen voor externe kosten van emissies naar lucht uit Vlaanderen in 2010 (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....  | 101 |
| Tabel 41: Samenvattende tabel voor kengetallen voor externe kosten van emissies naar lucht uit Vlaanderen in 2020 (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie) .....  | 102 |
| Tabel 42: Verwachte evolutie externe kosten van emissies naar lucht uit Vlaanderen tussen 2010 - 2020 (kengetal voor 2010=100) .....   | 102 |
| Tabel 43: Kengetallen voor externe kosten van emissies naar lucht in 2010 (in keuro <sub>2009</sub> /ton) .....  | 104 |
| Tabel 44: Kengetallen voor externe kosten van emissies naar lucht in 2020 (in keuro <sub>2009</sub> /ton) .....  | 107 |
| Tabel 45: Totale MEK voor emissie van NO <sub>x</sub> , kengetallenreeks voor tussenliggende jaren op basis van lineaire interpolatie voor periode tussen 2010 en 2020. (in keuro <sub>2009</sub> /ton).....   | 110 |
| Tabel 46: MEK van emissies van NH <sub>3</sub> uit België (in keuro <sub>2009</sub> /ton emissie).....   | 111 |
| Tabel 47: MEK voor effecten op gezondheid van emissies naar lucht van zware metalen en dioxines volgens EcoSense web (2010) .....  | 111 |
| Tabel 48: Kengetallenreeks voor externe kosten van de voornaamste broeikasgassen voor emissies in periode 2010-2050 .....  | 112 |

## Samenvatting

Dit rapport bevat een set van kengetallen voor de berekening van de externe kosten van luchtverontreinigende stoffen en broeikasgassen. De externe kosten of milieuschadeposten hebben betrekking op de schade aan menselijke gezondheid, ecosystemen, gebouwen en economie als gevolg van een activiteit. Dit leidt tot een verlies aan welvaart voor inwoners in Vlaanderen en het buitenland, voor deze en toekomstige generaties. De omvang en evolutie van de externe of milieuschadeposten ten gevolge van luchtverontreiniging vormen één van de indicatoren voor het MIRA rapport die de toestand van het milieu vertaalt naar gevolgen voor mens en economie.

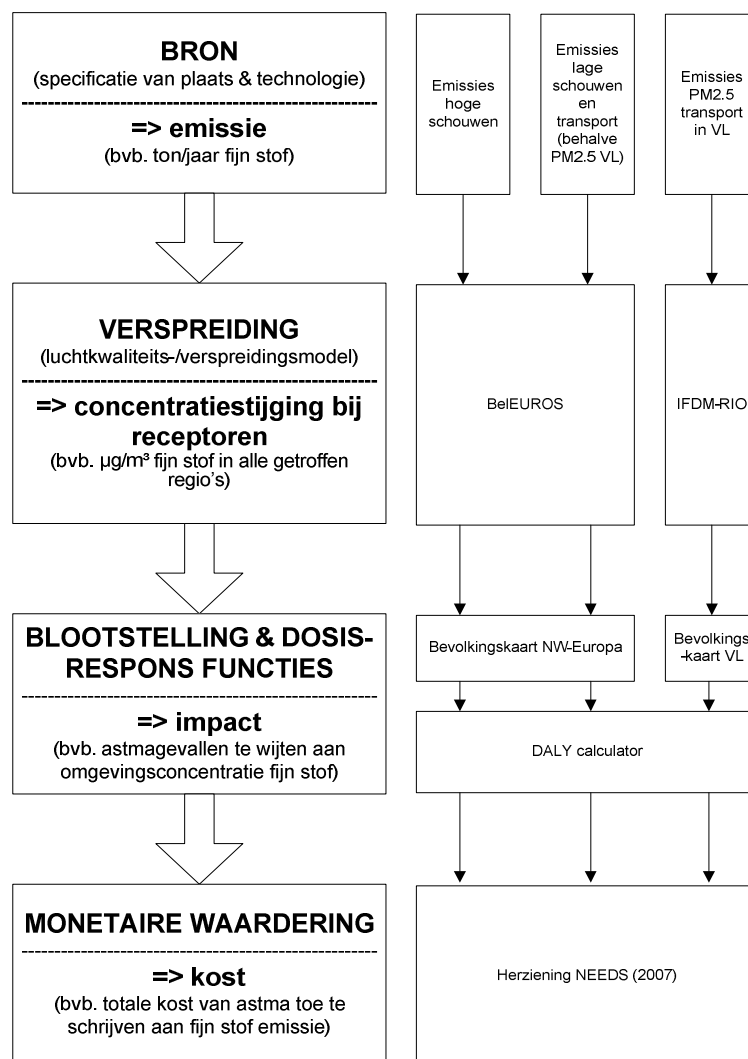
### Externe kosten van emissies naar lucht

Bij de actualisatie van de kengetallen van luchtverontreinigende stoffen passen we de schadefunctie-methode toe (zie figuur S1). We gebruiken voor de verschillende stappen vooral emissie-, verspreidings- en blootstellingsdata en modellen uit Vlaanderen, omdat dit meer gedetailleerde berekeningen toelaat en consistent is met informatie uit andere publicaties van MIRA. Op deze wijze zijn de kengetallen ook consistent met inschatting van deze effecten in het kader van de MIRA rapportage. Dit combineren we met de sterke punten van de Europese impact-assessment modellen en studies, met name op het vlak van informatie rond dosis-effect relaties voor volksgezondheid en hun waardering in geldtermen. De monetaire waardering bouwt verder op het Europese onderzoek maar houdt verder rekening met data rond kosten van gezondheidszorgen in Vlaanderen. Figuur S1 geeft aan welke bouwstenen we gebruikt hebben in de verschillende stappen van de schadefunctie-methode.

De emissies, concentraties, gezondheidsimpacts en kosten werden berekend voor 24 verschillende scenario's. We voerden berekeningen uit voor de sectoren hoge schouwen, lage schouwen en transport, de parameters fijn stof PM (2.5 en coarse), NMVOS, SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> en de steekjaren 2010 en 2020. Om het marginale effect van een sector te bepalen, gaan we uit van een daling van de emissies met 20% in vergelijking met het referentiescenario. Door het verschil in externe kosten tussen scenario's te delen door het initiële emissieverschil, berekenen we de marginale externe kost, uitgedrukt in een hoeveelheid euro per ton emissie. Op deze wijze werden de externe gezondheidskosten in Vlaanderen en de buurregio's in detail gemodelleerd.

Daarnaast werden ook de impacts buiten de buurregio's meegenomen, aan de hand van resultaten van het Europese model om externe kosten te berekenen. Deze methodiek is consistent, gebruikt dezelfde dosis-effect relaties en monetaire waardering, maar gebruikt andere dispersiemodellen op een ruwer grid. Naast de gezondheidsimpact worden ook de impact van luchtverontreiniging op landbouwgewassen, bouwmaterialen en gebouwen en biodiversiteit meegenomen op basis van berekeningen via dit Europese model.

Deze gedetailleerde berekeningen voor Vlaanderen illustreren het belang om lokale factoren beter in rekening te brengen. De impacts van verkeer schatten we op deze basis hoger in dan in Europese modellen. Vooral de externe kosten van secundaire pollutanten worden echter anders ingeschat, wat het belang illustreert van een meer gedetailleerde verrekening van achtergrondconcentraties. Dit is vooral van belang voor externe kosten van NO<sub>x</sub> emissies voor de huidige situatie (2010), waar de berekeningen via het BelEUROS model tot lagere externe kosten leiden dan via de bron-receptor matrices van EMEP die in het Europese EcoSense model worden gebruikt.



*Figuur S1: Bouwstenen voor toepassing schadefunctie methode voor bepaling externe kosten emissies uit verschillende sectoren in Vlaanderen*

In onderstaande tabel zijn de resultaten samengevat voor de emissies in 2010. Voor  $\text{NO}_x$  rapporteren we resultaten inclusief en exclusief ozon. Omdat  $\text{NO}_x$  bijdraagt aan zowel vorming als afbraak van ozon, en omdat in de huidige situatie bij de emissie van één ton  $\text{NO}_x$  het effect van afbraak in onze regio groter is leiden emissies van  $\text{NO}_x$  netto tot lagere ozonconcentraties en negatieve externe kosten. We moeten hierbij opmerken dat deze indicator voor marginale externe kosten geen volledig beeld geeft van de bijdrage van  $\text{NO}_x$  aan de ozonproblematiek. Bij grote emissiereducties van  $\text{NO}_x$  en NMVOS die in de toekomst wel zouden kunnen gerealiseerd worden (40 % reductie van de  $\text{NO}_x$ - en NMVOS-emissies boven op de emissies van het MIRA Europa-scenario 2020) verwachten we dat de jaargemiddelde ozonconcentraties niet verder toenemen maar deze emissiereducties een daling van de jaargemiddelde ozonconcentraties in Vlaanderen tot gevolg zullen hebben. De externe milieuschadecosten van  $\text{NO}_x$ -emissies alleen zullen waarschijnlijk echter ook in de verdere toekomst negatief blijven, maar dit werd niet onderzocht in kader van deze studie.

Tabel S2 illustreert dat de impacts op volksgezondheid in Vlaanderen en buurregio's het grootste aandeel hebben in de totale externe kosten. Voor primair fijn stof zijn gezondheidsimpacts de enige die gekwantificeerd werden. Voor  $\text{SO}_2$ , NMVOS en  $\text{NO}_x$  zijn ook impact gerekend op

landbouwgewassen, bouwmaterialen en biodiversiteit maar hun aandeel is beperkt (resp. 8%, 5% en 22%, NO<sub>x</sub> excl. ozon).

Tabel S1 : Samenvattende tabel voor kengetallen voor externe kosten van emissies naar lucht in 2010 (in keuro<sub>2009</sub> /ton emissie ).

| Emissies in 2010   | PM2,5 | PMcoa<br>(e) | PM10<br>(f) | SO <sub>2</sub><br>(g) | NMVOS<br>(h) | NO <sub>x</sub> excl<br>ozon (i) | NO <sub>x</sub> incl<br>ozon (j) |
|--|-------|--------------|-------------|------------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Energiesector, industrie, diensten en huishoudens</b> |       |              |             |                        |              |                                  |                                  |
| Hoge schouwen  | 22,4  | 5,1          | 17,1        | 9,6                    | 7,6          | 4,2                              | 0,7                              |
| Lage schouwen  | 140,9 | 25,0         | 125,5       | 10,1                   | 7,5          | 6,3                              | 0,6                              |
| <b>Transport</b>   |       |              |             |                        |              |                                  |                                  |
| <b>Wegtransport (a)</b>                                  |       |              |             |                        |              |                                  |                                  |
| Stad (b)   | 475,2 | 25,0         | (c)         | 10,1                   | 7,5          | 6,3                              | 0,6                              |
| Snelweg  | 135,5 | 25,0         | (c)         | 10,1                   | 7,5          | 6,3                              | 0,6                              |
| Platteland (d)   | 139,9 | 25,0         | (c)         | 10,1                   | 7,5          | 6,3                              | 0,6                              |
| Binnenvaart  | 135,5 | 25,0         | (c)         | 10,1                   | 7,5          | 6,3                              | 0,6                              |
| Spoor  | 140,9 | 25,0         | (c)         | 10,1                   | 7,5          | 6,3                              | 0,6                              |

Kengetallen zijn afgeleid voor uitlaat emissies. We nemen aan dat deze kengetallen ook de beste benadering vormen voor niet-uitlaatemissies.

voor centrum steden in Vlaanderen

nb= niet beschikbaar, te bepalen in functie van aandeel PM2,5 in PM10 fractie.

omvat alle wegverkeer behalve stad en snelweg

PM coarse of deeltjes met een diameter tussen 2.5 en 10 µm.

externe kosten PM2,5 en PMcoa kan men optellen zonder gevaar voor dubbeltellingen.

de impacts van PM10 zijn afhankelijk van aandeel PM2,5 en PM coarse (2.5-10) in PM10

optellen voor dubbeltellingen met externe kosten PM2,5 of PMcoa (zie paragraaf 6.1.1)

omvat impact van SO<sub>2</sub> op volksgezondheid via fijn stof

omvat impact NMVOS op volksgezondheid via ozon

omvat impact van NO<sub>x</sub> op volksgezondheid via fijn stof

impact van NO<sub>x</sub> via ozon is netto negatief.

Tabel S2: Aandeel van impactcategorieën op totale externe kosten : voorbeeld voor lage schouwen 2010 (in %).

| lage schouwen 2010 | PM2,5 | PMcoa | SO <sub>2</sub><br>(a) | NM VOS | NO <sub>x</sub> excl<br>ozon (a) | NO <sub>x</sub> via<br>ozon |
|--------------------|-------|-------|------------------------|--------|----------------------------------|-----------------------------|
| MEK Gezondheid     | 100%  | 100%  | 92%                    | 95%    | 78%                              | 98%                         |
| binnen Vlaanderen  | 75%   | 75%   | 25%                    | 12%    | 6%                               | 38%                         |
| in buurtregio's    | 24%   | 24%   | 52%                    | 75%    | 54%                              | 62%                         |
| in rest Europa     | 1%    | 1%    | 15%                    | 7%     | 18%                              | -1%                         |
| MEK andere impacts | nb    | nb    | 8%                     | 5%     | 22%                              | 2%                          |
| landbouwgewassen   |       |       | -1%                    | 6%     | -1%                              | 2%                          |
| bouwmaterialen     | nNb   | nb    | 5%                     | 0%     | 1%                               | 0%                          |
| biodiversiteit     |       |       | 4%                     | -1%    | 21%                              | 0%                          |

impacts op gezondheid via bijdrage aan secundair fijn stof

nb: niet beschikbaar

De externe kosten voor 2020 zijn hoger voor alle pollutanten omwille van bevolkingsgroei en vergrijzing en omdat we aannemen dat effecten in de toekomst hoger worden gewaardeerd in lijn met hogere koopkracht per capita door economische groei (samen + 24 %) (Tabel S3)(voor cijfers in keuro/ton zie tabel 44). Voor secundaire pollutanten (secundair fijn stof en ozon) zijn ook de veranderingen in achtergrondconcentraties, als gevolg van lagere emissies in Vlaanderen en Europa, van belang. Hierdoor stijgen de externe kosten van NMVOS iets minder snel, maar is de

stijging hoger voor SO<sub>2</sub>. De stijging is heel groot voor NO<sub>x</sub>, zowel voor impacts via secundair fijn stof als via ozon.

Deze cijfers illustreren dat men voor toepassingen rekening moet houden met de verwachte evolutie van externe kosten. Vooral voor NO<sub>x</sub> kan men de kengetallen voor de huidige situatie (2010) niet hanteren voor toekomstige jaren. Deze conclusie wordt gedeeld met recent Europees onderzoek (ExternE-Needs) waarbij men ook cijfers voor 2010 en 2020 apart rapporteert. Er zijn evenwel nog weinig studies en data over de verwachte evolutie van externe kosten, en welke factoren hier het meeste toe bijdragen.

Tabel S3: Verwachte evolutie externe kosten van emissies naar lucht uit Vlaanderen tussen 2010 - 2020 (kengetal voor 2010= 100).

| Emissies in 2020  | PM2,5 | PMcoa | PM10 | SO <sub>2</sub> | VOS | NO <sub>x</sub><br>excl<br>ozon | NO <sub>x</sub> incl<br>ozon |
|---|-------|-------|------|-----------------|-----|---------------------------------|------------------------------|
| <i>Energiesector, industrie, diensten en huishoudens, transport</i> |       |       |      |                 |     |                                 |                              |
| Hoge schouwen   | 124   | 124   | 124  | 138             | 113 | 259                             | 1269                         |
| Lage schouwen   | 124   | 124   | 124  | 138             | 115 | 205                             | 1456                         |

### Externe kosten emissies van CO<sub>2</sub> en broeikasgassen

De inschatting van de externe kosten voor **broeikasgasemissies** voor MIRA 2005 was gebaseerd op een schaduwprijs voor CO<sub>2</sub> van 20 euro/ton. Sinds 2005 is er bijkomende informatie ter beschikking gekomen rond het schatten van externe kosten via de schadefunctie-methode (schade door klimaatwijziging) en de preventiekosten-methode (marginale reductiekosten). De meest recente studies gebruiken kengetallen die in hun onderbouwing zowel aansluiten bij de literatuur over de schadekosten als de preventiekosten verbonden aan de doelstelling van een maximale opwarming met 2°C. De centrale schattingen voor externe kosten op basis van schadekosten en preventiekosten zijn van eenzelfde orde van grootte en beide stijgen in de tijd.

De resultaten van recente studies wijzen op getallen die beduidend hoger zijn dan de 20 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. van 2005. Daarom werd een kengetallenreeks afgeleid voor externe kosten die stapsgewijs stijgen tot 100 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. in 2030 en 220 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq in 2050 (zie tabel S4).

Tabel S4: Kengetallenreeks voor externe kosten van de voornaamste broeikasgassen voor emissies in periode 2010-2050.

|                | Broeikasgas     |                 |                  |                 |
|----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
|                | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | SF <sub>6</sub> |
| <b>GWP</b>     | 1               | 21              | 310              | 23900           |
| <b>eenheid</b> | euro/ton        | keuro/ton       | keuro/ton        | keuro/ton       |
| 2010           | 20              | 0,42            | 6,2              | 478             |
| 2020           | 60              | 1,26            | 18,6             | 1434            |
| 2030           | 100             | 2,1             | 31               | 2390            |
| 2040           | 160             | 3,36            | 49,6             | 3824            |
| 2050           | 220             | 4,62            | 68,2             | 5258            |

*Global warming potential op basis van SAR, IPCC, 1996*

### Externe kosten emissies van NH<sub>3</sub>

Verder geven we ook een cijfer voor externe kosten van emissies van ammoniak (NH<sub>3</sub>). Deze emissies leveren eveneens een bijdrage aan de vorming van secundair fijn stof. Op basis van het Europese Ecosense web en Source-Receptor matrices van EMEP wordt de externe kost geschat op

30 keuro2009/ton emissie NH<sub>3</sub>. Omdat modellen verschillen is dit resultaat niet direct te vergelijken met de schattingen voor SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>.

Tabel S5: MEK van emissies van NH<sub>3</sub> uit België (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie).

| MEK NH <sub>3</sub> | Emissies in 2010 | Emissies in 2020 |
|---------------------|------------------|------------------|
| Totaal              | 30               | 33               |

### Externe kosten emissies van zware metalen

We hebben verder resultaten overgenomen uit vroegere studies van ExternE naar externe kosten van zware metalen. Tabel S6 geeft een overzicht van deze kosten voor volksgezondheid van emissies van zware metalen, rekening houdend met blootstelling via lucht, drinkwater en de voedselketen. De cijfers zijn gebaseerd op een Europees model (Watson) en geactualiseerd naar 2010.

Tabel S6 : MEK voor effecten op gezondheid van emissies naar lucht van zware metalen en dioxines volgens EcoSense web.

|              | hoge schouwen | eenheid                              | lage schouwen<br>hoge schouwen =100 |
|--------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Cd           | 99,1          | in keuro <sub>2009</sub> /ton        | 111%                                |
| As           | 627           | in keuro <sub>2009</sub> /ton        | 112%                                |
| Ni           | 2,72          | in keuro <sub>2009</sub> /ton        | 183%                                |
| Pb           | 329           | in keuro <sub>2009</sub> /ton        | 106%                                |
| Hg           | 9,47          | in miljoen euro <sub>2009</sub> /ton | 100%                                |
| Cr*          | 15,7          | in keuro <sub>2009</sub> /ton        | 180%                                |
| Cr-VI*       | 78,4          | in keuro <sub>2009</sub> /ton        | 180%                                |
| Formaldehyde | 0,24          | in keuro <sub>2009</sub> /ton        | 100%                                |
| Dioxines     | 43794         | in miljoen euro <sub>2009</sub> /ton | 100%                                |

\* Externe kosten voor Cr en Cr-VI mogen niet samen gebruikt worden.

Bron : Gebaseerd op Preiss, 2008c

### Opmerkingen en aanbevelingen voor verder onderzoek

De resultaten van deze studie zijn op verschillende vlakken verschillend van kengetallen afgeleid uit Europese studies. Dit toont het belang om lokale informatie en lokale verspreidingsmodellen te integreren in het Europese ExternE raamwerk voor berekening van externe kosten. Hier is tot nu toe nog weinig onderzoek naar gebeurd. Hierbij moet men onderscheid maken tussen de gevolgen van gebruik van andere verspreidingsmodellen, een fijner grid en lokaal specifieke data. In verhouding tot bijv. gezondheidsimpacts en monetaire waardering heeft men minder onderzoek gedaan naar de gevolgen van keuzes van verspreidingsmodellen.

De kengetallen hebben betrekking op marginale emissiereducties (berekend aan de hand van een daling van die emissies met 20 %). Er is bijkomend onderzoek nodig om te weten in welke mate de externe kosten veranderen als emissies meer dan 20 % dalen.

Deze studie toont dat er meer onderzoek nodig is naar hoe externe kosten evolueren in de tijd als gevolg van evolutie in demografie, economie en milieu. Deze studie bevestigt het belang van wijzigingen in achtergrondconcentraties voor externe kosten voor de secundaire pollutanten fijn stof en ozon. Gezien de grote dalingen van de emissies in Europa in het recente verleden en ook in de nabije toekomst heeft de emissie van één ton van een voorloper van fijn stof- of ozon een verschillend effect naargelang het tijdstip (jaar) van de emissie. Men kan niet verwachten dat de effecten constant in de tijd blijven. Dit is vooral van groot belang voor NO<sub>x</sub>.

Er zijn nog geen berekeningen gedaan voor externe kosten van emissies van NH<sub>3</sub> in Vlaanderen op basis van het BeLEUROS model.

In ExternE-Needs is een eerste inschatting gemaakt voor impacts op biodiversiteit, gebaseerd op data uit verschillende Europese landen. Het is nodig om deze methodiek ook toe te passen met Vlaamse data en modellen.

Er ontbreken rekenregels of kengetallen voor impacts van fijn stof op vervuiling van gebouwen, met inbegrip van historische vervuiling.

Er ontbreken studies naar waardering van gezondheidseffecten in Vlaanderen. Gezondheidseffecten zijn de belangrijkste bron van externe kosten en hun waardering is voor een groot stuk gebaseerd op data voor andere Europese landen.

Er is nood aan een instrument om sneller en consistent resultaten uit verspreidingsmodellen door te rekenen naar externe kosten.

## **1 Focus van dit onderzoek**

### **1.1 Wat zijn externe kosten en waarom is het een relevante indicator ?**

De Externe kosten of milieuschadeposten van een activiteit hebben betrekking op de schade aan menselijke gezondheid, ecosystemen, gebouwen en economie, als gevolg van die activiteit. Dit leidt tot een verlies aan welvaart voor inwoners in Vlaanderen en het buitenland, voor deze en toekomstige generaties. De omvang en evolutie van de externe of milieuschadeposten vormen één van de indicatoren voor het MIRA rapport die de (veranderingen in) de toestand van het milieu vertaalt naar gevolgen voor mens en economie. Een andere indicator is de mate waarin die externe kosten geïnternaliseerd zijn in de prijzen van elektriciteit en transport, wat aangeeft in welke mate die kosten worden afgewenteld op de maatschappij en volgende generaties. Naarmate zij meer geïnternaliseerd zijn zullen de marktprijzen ons meer in de richting duwen van milieuvriendelijker technologie, brandstoffen en producten.

Dit rapport heeft betrekking op externe kosten van de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen (die van belang zijn voor de energie- en transportsector), en broeikasgassen. In het kader van MIRA zijn deze externe kosten reeds gebruikt om te toetsen in welke mate externe kosten van elektriciteit en transport zijn geïnternaliseerd (Torfs et al, 2005, De Ceuster; 2004 ). Ten tweede worden dit soort kengetallen ook veelvuldig gebruikt als een indicator voor milieukwaliteit of milieuvriendelijkheid van een activiteit, om kosten en baten van technologieën, strategieën en maatregelen af te wegen in het kader van wetenschappelijke of beleidsvoorbereidende studies.

De externe milieukosten van transport, elektriciteitsproductie en industrie zijn gebaseerd op kengetallen voor emissies vermenigvuldigd met kengetallen voor externe kosten per ton emissie (bijv. kg PM<sub>2,5</sub>/voertuigkm x euro/kg PM<sub>2,5</sub> emissie). De focus van dit rapport is de berekening van marginale externe kosten (verder afgekort als MEK) van emissies van deze pollutanten uit bronnen in Vlaanderen.

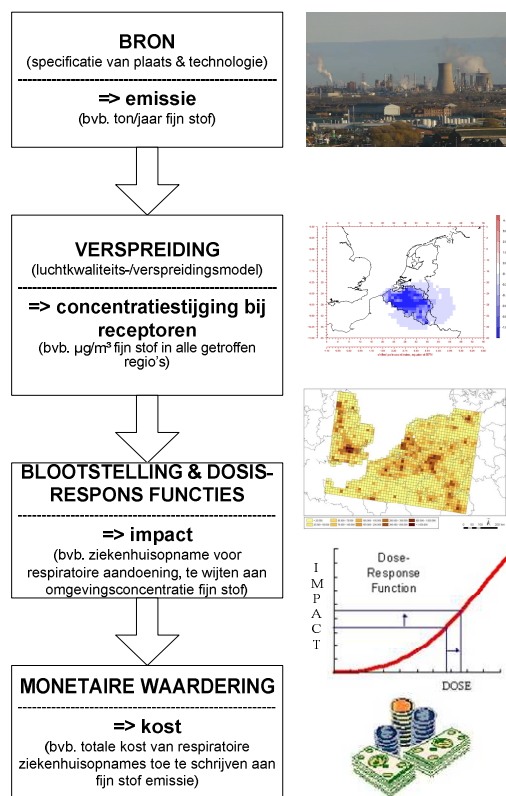
### **1.2 Nood aan actuele kengetallen**

Om de nood aan meer actuele kengetallen te begrijpen moeten we eerst naar de methodes kijken waarop deze berekend zijn. We maken hierbij een onderscheid tussen emissies naar lucht van fijn stof, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en NMVOS enerzijds en broeikasgassen anderzijds.

Voor emissies naar lucht (niet broeikasgassen) zijn deze gebaseerd op de schadefunctie methode, waarbij in detail de effecten van pollutanten op gezondheid, gewassen, gebouwen en ecosystemen wordt gemodelleerd en geschat (zie figuur 1). Hiertoe wordt een keten-effect benadering en model gebruikt, dat volgt hoe een pollutant zich verspreidt (stap 2), hoe mensen of ecosystemen hieraan worden blootgesteld en welke effecten dit heeft op bijv. volksgezondheid. Tot slot worden deze individuele effecten gewaardeerd in termen van verlies (of winst) aan welvaart en uitgedrukt in euro's. In de praktijk waren deze kengetallen gebaseerd op de studie die de ExternE methode, modellen en data hanteren, die in de loop der jaren gedeeltelijk zijn geactualiseerd. De ExternE methode is een rekenraamwerk voor de berekening van externe kosten van energie en transport. Het is ontwikkeld in het kader van Europese onderzoeksprogramma's sinds 1992 en daarna verder onderhouden en toegepast (EC, 1996; Bickel et al, 2001, EC, 2005, Preiss 2008a).

De toetsing in MIRA 2005 gebeurde aan de hand van kengetallen die de stand van kennis rond 2004 weerspiegelde, en omdat zowel de milieusituatie als onze inzichten sindsdien zijn geëvolueerd dringt een actualisatie van die kengetallen zich op.





*Figuur 1: De keten-effect benadering om de schadefunctie-methode toe te passen*

Voor broeikasgassen zijn deze kengetallen gebaseerd op een andere aanpak. Er zijn weliswaar modellen die de schadefunctie methode toepassen voor klimaatverandering, maar deze omvatten niet alle relevante impacts en de onzekerheden zijn naar verhouding groter. Daarom wordt voor broeikasgassen de methodiek van schaduwkosten gehanteerd. Deze weerspiegelt de kost van de maatregelen nodig om doelstellingen met betrekking tot de reductie van uitstoot van broeikasgassen te halen. De kengetallen uit 2005 weerspiegelen de stand van zaken van toen, zowel met betrekking tot doelstellingen als inzichten in de kosten van de nodige maatregelen. Sindsdien zijn ook de schattingen van kosten aan de hand van de schadefunctie-methode verder geëvolueerd.

Omdat in de loop der jaren er verschillende kengetallen ontwikkeld zijn, is het voor de potentiële gebruiker niet makkelijk om hierin een verantwoorde keuze te maken en een consistente set van kengetallen samen te stellen. Dit rapport beoogt om een set van kengetallen voor verschillende pollutanten te maken en te onderbouwen. Omdat de methodes en data m.b.t. pollutanten naar lucht en broeikasgassen zo verschillen worden beide apart behandeld.

### **1.2.1 Kengetallen aansluitend op Vlaamse en Europese kennis en data**

Bij de actualisatie van de kengetallen uit MIRA 2005 willen we relatieve sterktes van de Europese modellen en data (ExternE-Needs) combineren met modellen en informatie uit Vlaanderen. Kort samengevat komt dit erop neer dat we voor de eerste stappen vooral (emissie-, verspreidings- en blootstellings-) data en modellen uit Vlaanderen willen gebruiken, omdat dit meer gedetailleerde berekeningen toelaat en consistent is met informatie uit MIRA rapportage. Deze combineren we met de sterke punten van de Europese impact-assessment modellen en projecten, met name op het vlak van informatie rond dosis-effect relaties voor volksgezondheid en hun monetaire waardering.

Hierbij is het nuttig om kennis te hebben van de voornaamste factoren en mechanismen die de omvang van de externe kosten bepalen.

## 1.3 Factoren die omvang van externe kosten bepalen

### 1.3.1 Van specifieke berekeningen naar kengetallen

Eén van de grote lessen uit de berekeningen van externe kosten per ton pollutant is dat zij voor één pollutant sterk kunnen verschillen tussen landen, locaties, sectoren en afhangen van achtergrondconcentraties. Idealiter zou men externe kosten moeten berekenen voor een elke specifieke bron (bijv. een elektriciteitscentrale of een auto die een bepaald traject rijdt ) op een specifieke plaats en tijd. De bedoeling van kengetallen is om via een beperkte set van getallen de externe kost benaderend in te schatten.

De verschillen zijn echter te groot om voor elke pollutant maar één kengetal te geven. Daarom is voor deze studie niet één kengetal per pollutant berekend, maar is er een onderscheid gemaakt op basis van de voornaamste factoren die de omvang van externe kosten bepalen. We maken daarom onderscheid naar:

- Sector (industrie, handel en diensten, huishoudens en transport), wat samenhangt met de hoogte van de schouw (hoog, laag, bij de grond);
- Voor transport onderscheid tussen type verkeer;
- Achtergrondconcentraties, met onderscheid tussen huidige situatie en situatie 2020 met lagere emissies.

Dit leidt enerzijds tot een beperkte set van kengetallen en laat anderzijds toe om toch belangrijke verschillen in externe kosten mee te geven. Deze keuze is gebaseerd op een analyse van de factoren die de externe kosten bepalen. We maken hierbij onderscheid tussen impacts op volksgezondheid gerelateerd aan fijn stof en aan ozon en andere impacts.

### 1.3.2 Focus op volksgezondheid

Uit de informatie over externe kosten voor luchtverontreiniging blijkt dat de effecten op volksgezondheid voor emissies uit Vlaanderen de belangrijkste impactcategorie zijn. De focus van actualisatie zal ook hierop betrekking hebben.

De andere impacts worden wel meegenomen, maar niet in detail berekend.

### 1.3.3 Externe kosten gerelateerd aan fijn stof

We bespreken ten eerste de gevolgen op volksgezondheid gerelateerd aan **fijn stof**. Dit omvat de effecten van primair fijn stof, met onderscheid naar grootte van de stofdeeltjes. Ten tweede is ook secundair fijn stof belangrijk, met name nitraat en sulfaat aerosolen gevormd door de uitstoot van fijn stof precursoren  $\text{NO}_x$  en  $\text{SO}_2$ .

De factoren die de omvang van de externe kosten per ton pollutant bepalen zijn:

- Het effect op de gemiddelde jaarconcentraties van fijn stof: Gezondheidseffecten zijn hieraan lineair gerelateerd.
- De grootte van de stofdeeltjes: voor  $\text{PM}_{2,5}$  (deeltjes kleiner dan  $2.5 \mu\text{m}$ ) worden grotere gezondheidsimpacts toegeschreven dan grotere deeltjes ( $\text{PM}_{\text{coarse}}$  of deeltjes met een diameter tussen  $2.5 \mu\text{m}$  en  $10 \mu\text{m}$ ).  $\text{PM}_{10}$  omvat een mengeling van  $\text{PM}_{2,5}$  en  $\text{PM}_{\text{coarse}}$ .
- De schouwhoogte: deeltjes uit hogere schouwen verspreiden zich verder.
- De bevolkingsdichtheid nabij de bron bepaalt mee de blootstelling en impacts op volksgezondheid. Deze factor is belangrijker voor lagere schouwen dan hogere schouwen en is erg belangrijk voor emissies laag bij de grond van de transportsector. Daarom is het noodzakelijk om voor verkeer onderscheid te maken tussen verkeer in de stad, het platteland, snelweg, vaarwegen en spoorwegen. Deze moeten dus met een groot ruimtelijk detail worden geanalyseerd.

- De bron: er is discussie in welke mate sommige deelfracties (bijv. emissies uitlaat van verkeer, niet-uitlaat emissies, secundair PM) meer of minder gezondheidseffecten hebben.
- De externe kosten van emissies van hoge schouwen situeren zich voor een stuk in de buurlanden.
- De achtergrondconcentraties van fijn stof precursoren bepalen mee hoeveel secundaire deeltjes er gevormd worden als gevold van de uitstoot van één ton NO<sub>x</sub> of SO<sub>2</sub> in Vlaanderen. Hierdoor zijn de externe kosten per ton pollutent (bijv. SO<sub>2</sub>) ook afhankelijk van de emissies van andere pollutenten (bijv. NO<sub>x</sub> en NH<sub>3</sub>). Deze achtergrondconcentraties kunnen lokaal verschillen en evolueren in de tijd als gevolg van dalende emissies in Vlaanderen en Europa.

### **1.3.4 Externe kosten gerelateerd aan ozon**

Ten tweede onderscheiden we effecten op volksgezondheid gerelateerd aan vorming van **ozon**. Dit effect is complexer en moeilijker in kengetallen te vatten omwille van verschillende redenen:

- De dosis-effect relaties die nu gehanteerd worden relateren schade aan volksgezondheid aan concentraties boven de 35ppb (= 70µg/m<sup>3</sup>), waartoe een specifieke indicator SOMO35 wordt bepaald (dit is het gecumuleerde ozonoverschot boven de 35ppb, berekend op basis van de maximum dagelijkse 8-uursgemiddelde ozonconcentratie).
- Het effect van emissie van ozonprecursoren op vorming en afbraak van ozon is niet-lineair. De emissie van een ton NMVOS zal de jaargemiddelde ozonconcentraties doen toenemen, en dus aanleiding geven tot schade aan volksgezondheid. Voor NO<sub>x</sub> is de relatie complexer. Omwille van de zogenaamde ozonheuvel zal in de huidige context in Vlaanderen de emissie van één extra ton NO<sub>x</sub> (en dit is vooral NO en enkel in mindere mate NO<sub>2</sub>) eerder leiden tot een afname van jaargemiddelde concentraties en de SOMO35 indicator in Vlaanderen. In onze regio is het effect van NO op de afbraak van ozon veel belangrijker dan de bijdrage die NO<sub>x</sub> kan leveren aan de ozonvorming. Dus leiden NO<sub>x</sub>-emissies in onze regio quasi altijd tot een afname van de ozonconcentratie. Dit betekent dat een daling van emissies kan leiden tot een stijging van de externe kosten. Dit wordt verklaard omdat bij de huidige achtergrondconcentraties de bijdrage van NO<sub>x</sub> aan de afbraak van ozon belangrijker is dan de bijdrage aan de vorming van ozon. Het vergt grote emissiereducties om aan de andere kant van de ozonheuvel te geraken, waarbij de bijdrage aan vorming van ozon domineert op de bijdrage aan afbraak van ozon. Het is momenteel nog niet precies geweten waar de ozonheuvel juist ligt ((zie MIRA 2007 achtergrond document fotochemische luchtverontreiniging). Het is verder mogelijk en zelf waarschijnlijk dat de ozonheuvel verschilt van locatie tot locatie

Samengevat zijn kengetallen voor externe kosten van ozonprecursoren meer onzeker en zijn ze in principe enkel geldig voor gegeven achtergrondconcentraties en berekende emissiereducties. De externe kosten per ton emissie van bijv. NO<sub>x</sub> hangt dus af van emissies andere ozonprecursoren (VOS ) en van de beschouwde emissiereductie van NO<sub>x</sub>.

Merk ook op dat emissies van NO<sub>x</sub> aanleiding geven tot afbraak van ozon in Vlaanderen maar op andere plaatsen tot vorming van ozon. Kengetallen m.b.t. totale effecten kunnen dus belangrijke ruimtelijke verschillen maskeren.

## **1.4 Conclusies voor afleiden kengetallen**

### **1.4.1 Onderscheid naar sectoren**

Op basis van deze factoren kunnen we afleiden welk onderscheid we moeten maken voor de berekening van betrouwbare kengetallen.

- Om de externe kosten op volksgezondheid van primair fijn af te leiden is vooral belangrijk voldoende onderscheid te maken tussen:
  - de hoogte van de emissiebron (met onderscheid tussen hoge en lage schouwen, en emissies bij de grond (transport)).
  - ruimtelijke context voor externe kosten van transport met onderscheid tussen stad, platteland en snelweg.

- en omvang van de deeltjes (PM<sub>2,5</sub> en PM coarse).

Deze indeling is afgeleid op basis van vroegere studies voor Vlaanderen en Europa.

- Voor de afleiding van betrouwbare kengetallen voor de externe kosten van emissies van fijn stof precursoren (SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>) is het moeilijker om a priori te bepalen welk onderscheid we moeten maken. We weten in het algemeen dat achtergrondconcentraties een grote rol kunnen spelen, maar er is nauwelijks empirisch onderzoek voorhanden om te bepalen welke elementen hierbij doorslaggevend kunnen zijn (Int Panis et al, 2008).
- In deze studie kunnen we niet alle mogelijke elementen meenemen. We beperken ons tot het onderscheid tussen:
  - hoge en lage schouwen en
  - tussen achtergrondconcentraties voor twee referentie jaren (de huidige situatie (2010) en voor een verwachte daling van de emissies van andere pollutanten in 2020).

#### **1.4.2 Kengetallen voor marginale emissies uit Vlaamse sectoren**

Voor de berekening van marginale emissiereducties moet men een aanname maken hoe men het begrip marginaal gaat invullen. In principe kan dat bijv. 1 kg of 1 ton zijn, maar deze veranderingen zijn te klein om tot op meer dan 100 km van de bron effecten op luchtkwaliteit te berekenen. Ten tweede zou de bruikbaarheid van dergelijke kengetallen bij niet lineaire effecten beperkt zijn omdat men geen informatie heeft van effecten bij een reductie van bijv. 100 ton. Daarom hanteert men in de literatuur emissiereducties met 15 à 20 % (Preiss, 2008; Jensen et al, 2008).

In lijn hiermee berekenen we de marginale externe kost aan de hand van een emissiereductie voor één sector met 20 % (zie ook verder paragraaf 2.2.1) en de gemiddelde kost voor een daling met 20 % gebruiken we als benadering voor de marginale kost.

Voor externe kosten van primair fijn stof kan men de resultaten zonder problemen hanteren voor gelijk welke emissiereductie omdat effecten lineair zijn.

Voor secundair fijn stof is het mogelijk dat deze benadering minder nauwkeurig is voor bijv. grote emissiereducties van SO<sub>2</sub> of NO<sub>x</sub>. Omdat de literatuur (Jensen et al 2008, Int Panis et al, 2008) aangeeft dat veranderingen in de achtergrondconcentraties veel belangrijker zijn dan variaties in de omvang van de emissiereducties, focussen we in deze studie op variaties in de achtergrondconcentraties. We berekenen dus eerst de verwachte concentraties in 2020, rekening houdend met de verwachte dalingen van emissies in Vlaanderen en het buitenland. En dan bekijken we het effect van een marginale daling van emissies van één pollutant in 2020.

Voor effecten via ozon weten we dat deze niet lineair zijn. Om deze problematiek goed te vatten zou men een hele reeks van scenario's moeten doorrekenen waarbij verschillende ozonprecursoren telkens verder gereduceerd worden. Dergelijke oefening valt buiten het bestek van deze studie. We houden wel rekening met andere studies bij de interpretatie van de resultaten.

Om tot een consistente set van kengetallen te komen berekenen we voor ozon dezelfde emissiereducties (-20 %) als voor andere pollutanten. Dit betekent dat deze kengetallen onzekerder zijn voor emissiereducties die verder gaan dan deze 20 %. Voor scenario's met veel grotere emissiereducties is het aangewezen om specifieke berekeningen te maken met luchtkwaliteitsmodellen. Omwille van niet lineaire effecten is het moeilijk om deze effecten goed weer te geven met enkele kengetallen.

#### **1.4.3 Kengetallen voor emissies uit gans Vlaanderen**

Genk en Drogenbos voor elektriciteitscentrales) of specifieke trajecten voor transport (bijv. een rit in de stad, een stukje snelweg). Het is moeilijk om van dergelijke studies kengetallen af te leiden omdat hierbij de vraag rijst naar transfereerbaarheid naar een andere locatie binnen Vlaanderen of naar representativiteit voor die sector in Vlaanderen. Dit is vooral van belang voor emissies van

primair fijn stof uit lage schouwen en van de transportsector, omdat de bevolkingsdichtheid nabij de bron hiervoor van groot belang is.

De focus van deze studie is om kengetallen te bepalen die gelden voor emissies uit Vlaanderen, met onderscheid naar sectoren, type verkeer en achtergrondconcentraties. De kengetallen zijn zo berekend dat ze rekening houden met de locaties van de emissies in Vlaanderen. Het kengetal zelf geeft een gemiddelde voor het geheel van die locaties, zonder dat we verder onderscheid kunnen maken naar mogelijke verschillen tussen bijv. het Oosten en het Westen van het land.

#### **1.4.4 Verkenning van de evolutie externe kosten in nabije toekomst**

We verwachten dat externe kosten per ton pollutant kunnen veranderen in de tijd als gevolg van 4 elementen:

- Verandering van emissies in Vlaanderen en Europa leiden tot andere achtergrondconcentraties. Dit heeft twee gevolgen:
  - Voor bepaalde impactcategorieën met niet lineaire dosis-effect relaties leidt dit tot lagere impacts. Dit is het geval voor effecten van SO<sub>2</sub> op landbouw, en effecten van bijv. emissies van NMVOS op volksgezondheid via ozon.
  - Ten tweede heeft dit effect op de vorming van secundaire pollutanten als gevolg van de uitstoot van precursoren van fijn stof en ozon.
- Demografische evolutie met onderscheid tussen groei van bevolking en vergrijzing.
- Economische groei doet de monetaire waarde van de effecten stijgen.

Het is a priori niet duidelijk hoe groot het netto effect van deze veranderingen zal zijn.

Daarom maken we in deze studie een verkenning in welke mate en richting externe kosten in de toekomst kunnen evolueren. Hierbij is rekening gehouden met de verwachte evolutie in emissies in Vlaanderen en heel Europa, verwachte evolutie van bevolking en economische groei. Hiervoor is het zichtjaar (2020) gekozen.

Het gaat hier om een verkenning van de mogelijke evolutie, omdat binnen het bestek van deze studie niet alle facetten kunnen uitgediept worden.

### **1.5 Keuze van methodiek en bouwstenen voor bepaling kengetallen**

#### **1.5.1 Voortbouwen op het Europese kennisgeheel (ExternE-Needs)**

De berekende kengetallen hebben een belangrijke Europese dimensie. Ten eerste zijn de kengetallen oorspronkelijk ontwikkeld in het kader van Europese onderzoeksprojecten en zijn zij ook veelvuldig gebruikt in het kader van Europese beleidsvoorbereiding of evaluatie met betrekking tot luchtkwaliteit, energie en transportbeleid. In dat kader zijn de modellen en kengetallen van rond 2005 in de loop der jaren herhaaldelijk geactualiseerd en aangevuld.

##### **1.5.1.1 Wat is geactualiseerd in 2005-2009?**

De meest recente actualisatie van het “ExternE” kennisgeheel is gebeurd in het kader van het Europese Needs-project (2005-2009), met belangrijke actualisaties voor:

- Verspreidingsmodellen voor berekening effecten op secundaire pollutanten (secundair fijn stof en ozon) en voor bovenlokale verspreiding;
- dosis-effect relaties voor volksgezondheid;
- monetaire waardering van vervroegde sterfte;
- impacts op biodiversiteit;
- berekening van impacts over een groter ruimtelijk bereik, en met inbegrip van bijdrage van emissies uit EU aan globale achtergrond (hemisferische modellering);

- nieuwe kengetallen voor broeikasgassen.

Voor de impacts op landbouw en gebouwen zijn methodologie en data maar heel beperkt geactualiseerd (bijv. evolutie marktprijzen landbouwgewassen). De kengetallen voor impacts van SO<sub>2</sub> op landbouwgewassen zijn verder ook gewijzigd omwille van de daling van de concentraties van SO<sub>2</sub>.

Deze actualisaties zijn geïntegreerd in het model voor geïntegreerde impact assessment (EcoSense Web v4.0). Dit model is gemaakt om externe effecten van één specifieke puntbron (elektriciteitscentrale) te berekenen, en is online consulteerbaar ([http://ecosenseweb.ier.uni-stuttgart.de/how\\_to\\_get.html](http://ecosenseweb.ier.uni-stuttgart.de/how_to_get.html)). De vroegere kengetallen voor externe kosten van transport zijn gebaseerd op een specifiek model dat niet verder geactualiseerd is.

#### *1.5.1.2 Sterkte punten van dit Europese model*

Eén van de grote sterktes van het ExternE raamwerk is de opvolging van de evolutie van Europese en wereldwijde studies rond het schatten van effecten op gezondheid van luchtverontreiniging en de gevolgen voor kwantificering van die impacts voor beleidsstudies (stap 3 in de ketenbenadering, dosis-effect relatie m.b.t. gezondheid). Deze dosis-effect relaties hebben hierdoor een grote geloofwaardigheid en weerspiegelen een consensus. Hierbij is impliciet of expliciet ook samengewerkt met instanties en projecten rond bescherming van volksgezondheid (zoals WHO, COMEAP, EC (CAFE-Clean Air For Europe)) en zijn bijv. in het kader van CAFE het voorwerp geweest van consultatie met belanghebbenden. De meest recente versie van deze dosis-effect relaties zijn gerapporteerd in het kader van het NEEDS project (Torfs et al, 2007) en deze inzichten zijn reeds verwerkt in de meest recente versie van het model gebuikt door MIRA voor de inschatting van de gevolgen van fijn stof en ozon op volksgezondheid (Ex-Daly).

De grote lijnen van de monetaire waardering van effecten op volksgezondheid (stap 4 in de keten) weerspiegelt eveneens een consensus onder specialisten, gebruikers en belanghebbenden, en is bijv. eveneens het voorwerp geweest van consultatie in het kader van EC CAFE project. Sindsdien is het verder geactualiseerd op basis van nieuw Europees onderzoek voor waardering van effecten op mortaliteit (ExternE- NEEDS 2009).

Eén van de relatieve sterktes van het EcoSense Web model is het ruimtelijk bereik. Het model berekent effecten van bijv. emissies uit Vlaanderen in heel Europa.

#### *1.5.1.3 Zwakkere punten van dit Europees model*

Verspreidingsmodellen: In verhouding tot verspreidingsmodellen voor Vlaanderen is de benadering echter ruw (grote grids), is de berekening van secundaire pollutanten (secundair PM en ozon) minder doorzichtig, is er geen validatie met vastgestelde concentraties en is er geen mogelijkheid om actuele berekeningen te doen voor een sector als geheel of voor transport.

Blootstelling: het model is gericht op emissies van hoge of lage schouwen maar niet op uitlaatemissies van voertuigen. Hiervoor is ook het ruimtelijk detail van de berekening van blootstelling te ruw.

Monetaire waardering: Omdat de focus van dit Europees model vooral gericht is op analyses op het Europese vlak maakt het relatief weinig onderscheid tussen verschillen in waardering tussen landen. Dit is vooral van belang voor waardering van morbiditeit, waarbij bijv. kosten van hospitalisatie of arbeidsproductiviteit sterk kunnen uiteenlopen.

Beschikbaarheid van data: Het ExternE Needs project is gerelateerd aan de energiesector en vroegere cijfers voor externe kosten van emissies uit de transportsector zijn niet geactualiseerd. Data uit vroegere studies zijn trajectgebonden (Bickel, 2006; Bickel 2001).

In volgende paragraaf geven we aan hoe we op basis van Vlaamse informatie deze zwakkere punten kunnen verbeteren.

### **1.5.2 Integratie van Vlaamse modellen en data**

De inschatting van de externe kosten van uitstoot van luchtverontreinigende stoffen in dit rapport bouwt voort op een brede waaier van Vlaamse wetenschappelijke inzichten, data en modellen. Deze inzichten zijn nauw verbonden met hoe in het kader van MIRA over de toestand van het milieu in Vlaanderen data en kennis worden samengebracht. Het is dus de bedoeling van dit rapport om een set van kengetallen voor externe kosten te maken die voortbouwen op die kennis en daarmee consistent zijn. Dit is vooral belangrijk met betrekking tot effecten van emissies op luchtkwaliteit in Vlaanderen en tot het schatten van gevolgen op volksgezondheid.

- Alle beschikbare kengetallen voor externe kosten van luchtverontreiniging zijn gebaseerd op verspreidingsmodellen die geïntegreerd zijn in het geïntegreerde EcoSense impact-assessment model. Anderzijds zijn er in het kader van wetenschappelijke programma's en beleidsstudies luchtkwaliteitsmodellen ontwikkeld en toegepast die specifiek voor Vlaanderen op een meer gedetailleerde wijze de effecten van emissies op luchtkwaliteit schatten (achtergrondemissies, meteo e.d.) en die eveneens voor de Vlaamse context gevalideerd zijn. In dit kader is vooral het BelEUROSeuros model belangrijk, dat gebruikt wordt voor de schatting van de evolutie van luchtkwaliteit, bijv. in het kader van de MIRA-S scenario's (Milieuverkenning 2030).
- Verder is er een set van luchtkwaliteitmodellen ontwikkeld en toegepast die zich specifiek richt op evaluatie van maatregelen in de transportsector, en die op een heel gedetailleerde wijze de locatie van wegen en bewoning in rekening brengt voor het schatten van de blootstelling.
- De effecten van veranderingen in luchtkwaliteit op volksgezondheid worden in het kader van MIRA veelvuldig gerapporteerd, vooral met betrekking tot effecten van fijn stof. Deze inschatting is enerzijds gebaseerd op inzichten en dosis-effect relaties uit ExternE en aanverwante projecten en gebruikt anderzijds kennis en achtergronddata uit Vlaanderen. Dit kennisgeheel is gebundeld in het ExDaly model dat sinds 2003 ook verder is aangepast aan nieuwe inzichten en data. Dit model rapporteert gevolgen op gezondheid in termen van verloren gezonde levensjaren (Daly's) en in termen van externe of milieuschadetekosten. De monetaire waardering hierbij is gebaseerd op Europese data uit het ExternE projecten.
- In het kader van een recente studie voor LNE (Arcadis en Metroeconomica, 2009) zijn aanbevelingen gedaan m.b.t. de inschatting en waardering van effecten op volksgezondheid, die deels voortbouwen op de Europese ExternE kennis en deels op data uit Vlaanderen.

### **1.6 Prioriteiten en werkwijze voor actualisatie kengetallen**

Op basis van deze verkenning van de stand van zaken en recente evoluties zijn de volgende prioriteiten gesteld bij de actualisatie:

- Focussen op de effecten op volksgezondheid in Vlaanderen en naburige regio's, op basis van informatie van verspreidingsmodellen uit Vlaanderen, Exdaly, en aangevuld met informatie over andere impacts uit Europese modellen.
- Actualisatie van kengetallen voor emissies vanuit sectoren energie en transport, met onderscheid tussen verkeer in de stad, op de snelweg en op het platteland.
- Kengetallen representatief voor emissies uit Vlaanderen (en niet voor een specifieke locatie of traject).
- Verkennen van de mogelijke evolutie van externe kosten van uitstoot van percursoren van fijn stof en ozon, in functie van de gewijzigde achtergronden.

#### **1.6.1 Kengetallen MEK volksgezondheid (fijn stof en ozon)**

Hiertoe wordt de schadefunctie methode gedetailleerd uitgewerkt, die de verschillende stappen uit de keten-effect benadering doorloopt. Hierbij wordt voortgebouwd op beschikbare bouwstenen voor de analyse (emissiedata, verspreidingsmodellen, blootstellingskaarten, ExDaly), die op zich worden geactualiseerd of uitgebreid en die in een geïntegreerde analyse worden gecombineerd. Omdat het gehanteerde ExDaly model voor inschatting van de externe kosten op gezondheid reeds de dosis-effect relaties uit ExternE-Needs omvat, is er geopteerd om binnen het beperkte bestek van voorliggende studie verder te werken met deze set.

Omdat er wel informatie nodig is voor het bepalen van de impacts van niet-uitlaat emissies is de literatuur voor deze impactcategorie nader onderzocht.

Tabel 1 geeft een overzicht van de mate en wijze van actualisering voor elk van de stappen voor berekening van externe kosten. Deze elementen worden verder in meer detail besproken.

*Tabel 1: Overzicht van de actualisatie en aanpassing instrumenten in de verschillende stappen voor de berekening van externe kosten voor volksgezondheid*

| <i>Stap</i>                  | <i>Aanpassing, uitbreiding of actualisatie in dit rapport</i>   |
|------------------------------|---|
| <i>Emissies</i>              | <i>Definitie van emissies of emissiereductiescenario's gaande van scenario's voor specifieke locaties (elektriciteitscentrales) of trajecten (transport) naar emissies voor de sector als geheel en dit consistent met MIRA. Emissieprognoses voor heel Europa van IIASA.</i>                                     |
| <i>Verspreiding</i>          | <i>Gebruik van "Vlaamse" luchtkwaliteitsmodellen Beleuros voor verspreiding, secundaire pollutanten (ozon, secundair fijn stof) en blootstelling in de buurregio's. IFDM-RIO voor emissies PM 2.5 uit de transportsector</i><br><br><i>Gebruik recente en toekomstige data voor emissies consistent met MIRA.</i> |
| <i>Blootstelling</i>         | <i>Gedetailleerde berekening van blootstelling voor gezondheid. Meer ruimtelijk detail in Vlaanderen en buurregio's. Evolutie van bevolking en bevolkingssamenstelling voor 2020.</i>   |
| <i>Dosis-effect relaties</i> | <i>Integratie van Ex-Daly in geïntegreerd assessment voor bepaling externe kosten; Inschatting van effecten van niet-uitlaat emissies (transport).</i>  |
| <i>Monetaire Waardering</i>  | <i>Actualisatie van waardering van gezondheidsimpacts aan recente Europese studies en data voor Vlaanderen, vooral voor morbiditeit. Prijzen aanpassen aan prijsniveau 2009. Waardering van gezondheidsimpacts in 2020.</i>   |

### **1.6.2 Kengetallen voor andere impacts van emissies naar lucht**

De impacts hebben betrekking op :

- Volksgezondheid: koppeling met informatie uit de EcoSense-webversie voor impacts in andere Europese landen (buiten de buurregio's).
- Landbouwgewassen: de impacts op landbouw zijn in het geheel minder belangrijk en hier is geen nieuw onderzoek op gebeurd. De impacts uit de Europese studies zullen meegenomen worden.
- Gebouwen: idem als voor landbouw.
- Biodiversiteit: dit is een nieuwe impactcategorie. De getallen uit de Europese studies zullen worden meegenomen en besproken.

### **1.6.3 Kengetallen voor impacts van emissies van zware metalen**

In het kader van ExternE zijn ook impacts berekend van emissies naar lucht van zware metalen en dioxines. Deze resultaten worden gerapporteerd op basis van berekeningen met EcoSense web.

### **1.6.4 Kengetallen voor broeikasgasemissies**

Voor broeikasgassen wordt een overzicht gegeven van nieuwe informatie en worden kengetallen afgeleid op basis van recentere studies naar economische gevolgen van klimaatverandering, studies over de zgn. "sociale kosten van koolstof" (social cost of carbon) en studies naar marginale kosten van maatregelen om aan de Europese doelstelling te voldoen om klimaatverandering tot 2°C te beperken.



## **1.7 Opbouw van dit rapport**

De lezer die enkel op zoek is naar kengetallen kan direct naar hoofdstuk 6, waar een samenvattend overzicht is gegeven van de te hanteren kengetallen voor emissies vanuit verschillende sectoren en referentie jaren. Het onderscheid tussen sectoren kan belangrijk zijn omdat de impact van de emissies op blootstelling en gezondheid samenhangt met de hoogte van de schouw en plaats van uitstoot (bijv. transport in de stad voor kengetallen voor transport).

In de hoofdstukken 2 tot en met 5 is de wetenschappelijke onderbouwing van deze kengetallen uitgelegd.

## 2. Methodologie MEK gezondheid

In dit hoofdstuk lichten we de methodes, data en modellen toe die we hebben gebruikt om de berekening van externe kosten op volksgezondheid van emissies van primair fijn stof en precursoren van secundair fijn stof en ozon (NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> en NMVOS) te berekenen. We starten het hoofdstuk met een inleiding over externe kosten en de schadefunctie methode. Lezers vertrouwd met deze materie kunnen dit overslaan. Daarna bespreken we in detail de verschillende bouwstenen die we hiertoe hebben gebruikt, voortbouwend op bestaande modellen en data. De resultaten van deze berekeningen worden besproken in hoofdstuk 3. Andere impacts worden besproken in hoofdstuk 4, zodat in hoofdstuk 5 een totaal beeld van de externe kosten wordt geschetst.

### 2.1 Bouwstenen voor bepaling externe kosten

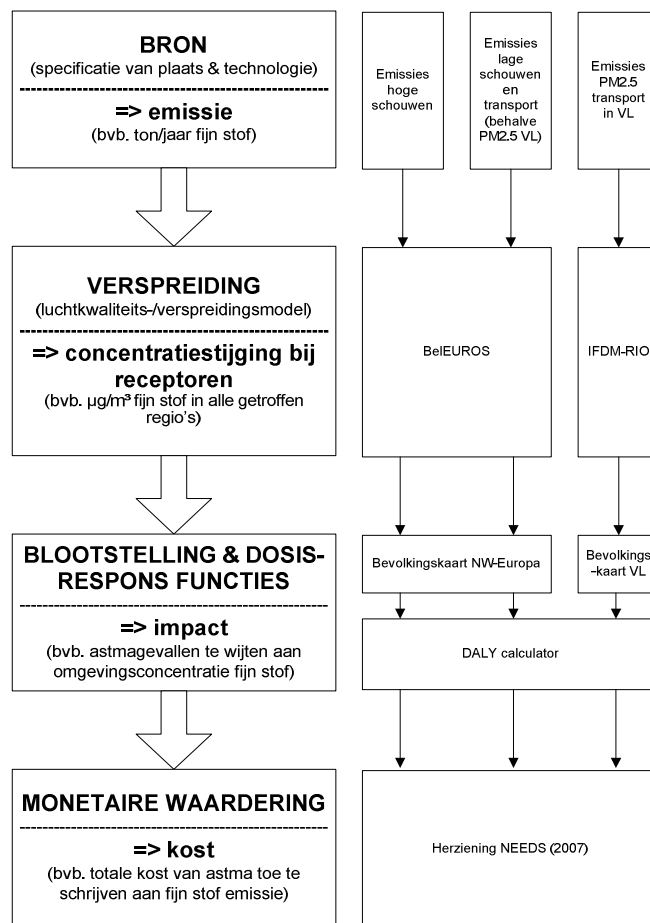
#### 2.1.1 Verfijning schadefunctie-methode met "Vlaamse" bouwstenen

Voor de evaluatie van impacts op gezondheid gebruiken we de Schadefunctie methode, zoals ontwikkeld binnen de ExternE-projecten (ExternE, 2005; Torfs 2005). Deze methode geeft aan de hand van een vijftal stappen een inschatting van de externe kosten onder een bepaald scenario (zie ook figuur 1). In figuur 2 wordt een overzicht gegeven van de verschillende bouwstenen die we hanteren om voor al deze sectoren de externe kosten door te rekenen.

- In een eerste stap gaan we uit van een hoeveelheid emissies voor een bepaald gebied en sector uit Vlaanderen. Uit de bespreking van de lessen uit vroegere studies volgt dat we voor de inschatting van deze effecten een onderscheid moeten maken tussen de volgende bronnen (zie hoofdstuk 1.3.1):
  - Hoge schouwen
  - Lage schouwen
  - Verkeer, met onderscheid stad, platteland en snelweg.
- In de tweede stap bekijken we de verspreiding van pollutanten en chemische interacties en hoe de luchtkwaliteit wordt beïnvloed. Dit wordt uitgedrukt in veranderingen van concentratieniveaus van primaire en secundaire pollutanten.
  - Voor deze studie werd het IFDM-RIO-model gebruikt voor de dispersiemodellering van PM<sub>2,5</sub> van transport binnen Vlaanderen.
  - Voor de andere pollutanten (PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC en PM<sub>2,5</sub> voor de andere sectoren dan transport) gebruikten we het BeEUROS-model.
- De blootstellingsstap bestaat uit het linken van een bevolkingskaart aan de eerder berekende concentratiekaarten. Hieruit leiden we af hoeveel mensen er zijn blootgesteld aan een bepaald concentratieniveau.
- In de vierde stap gebruiken we dosis-effect functies uit ExternE-NEEDS (2007) en ExDaly (2010) om de impact van het concentratieniveau op een aantal gezondheidseindpunten te evalueren.
- De vijfde stap tenslotte bestaat uit een monetaarisering van elk gezondheidseindpunt. Hiertoe is de ExternE-Needs en ExDaly set van kengetallen voor monetaarisatie geactualiseerd en aangepast voor Vlaanderen.

Het eindresultaat is tenslotte een totale externe kost ten gevolge van de emissies uit stap 1. Door de totale externe kosten te delen door de hoeveelheid emissies kunnen we zo een externe kost per ton pollutant berekenen (in euro/ton).

De eerste drie stappen van de schadefunctie methode zijn voor de drie sectoren verschillend, terwijl de laatste twee gemeenschappelijk zijn.



*Figuur 2: Bouwstenen voor toepassing schadefunctie methode voor bepaling externe kosten emissies uit verschillende sectoren in Vlaanderen*

We kunnen in dit stappenplan twee grote delen onderscheiden:

- Deel 1 (met stappen emissies tot bepaling blootstelling) sluit vooral aan bij kennis, data en **modellen** met betrekking tot **luchtkwaliteit** en bouwt – in vergelijking met vroegere Europese kengetallen – nu vooral verder op data en modellen die consistent zijn met Vlaamse studies.
- Deel 2 omvat het inschatten van **effecten op gezondheid en hun monetaire waardering** en bouwt vooral voort op de selectie van dosis-effect relaties uit het Europese onderzoek en beleidsdiscussies rond gezondheid en fijn stof, zoals laatst geactualiseerd in het kader van ExternE-Needs. Deze actualisaties zijn reeds meegenomen in het ExDaly model gebruikt voor MIRA , maar verschillen van vroegere kengetallen voor externe kosten. De monetaire waardering van de gezondheidsimpacts sluit hier sterk bij aan. Hiervoor werden de recente actualisaties uit ExternE-Needs voor waardering effecten op mortaliteit reeds meegenomen in ExDaly en de inschatting van externe kosten van luchtkwaliteit in MIRA-S. In kader van voorliggende studie wordt dit verder geactualiseerd voor effecten op morbiditeit.

### **2.1.2 Stappen voor modelleren luchtkwaliteit**

Zoals in hoofdstuk 1 uiteengezet is één van de krachtlijnen van de actualisatie het gebruik van verspreidingsmodellen die zeer gedetailleerd de Vlaamse situatie weergeven op een grid variërend van 25 x 600 m (voor uitlaatemissies van transport) tot 15x15 km voor andere sectoren. Impacts van emissies op luchtkwaliteit zullen dus veel nauwkeuriger kunnen worden geschat dan voorheen en deze berekeningen zullen meer consistent zijn met modelstudies voor MIRA en overheden in

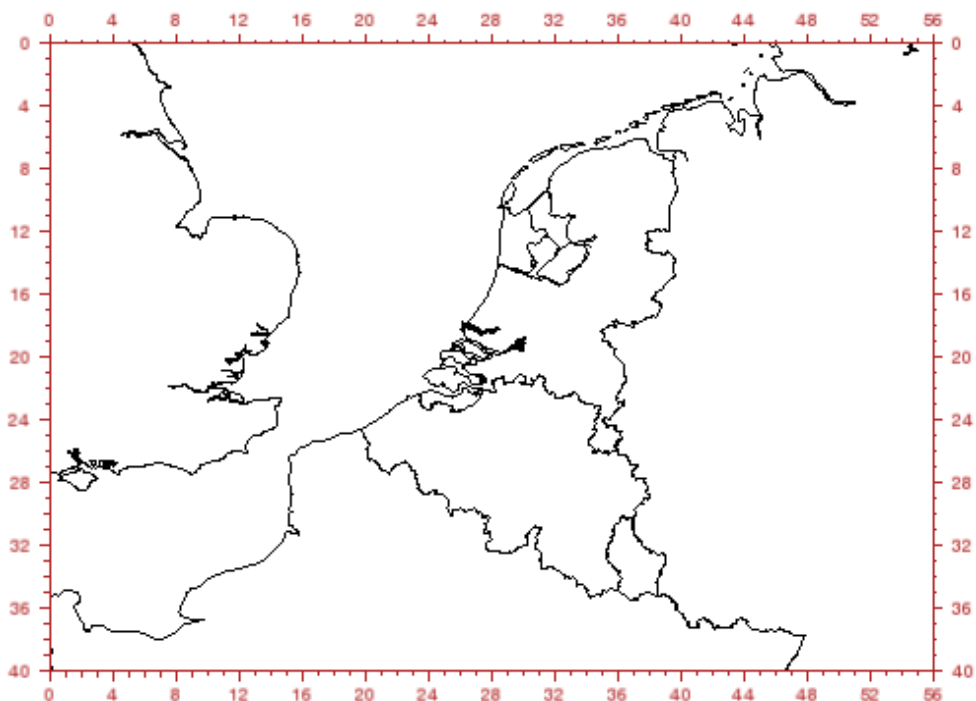
Vlaanderen in het algemeen. Hiervoor werd dezelfde methode toegepast zoals recent ontwikkeld voor de doorrekening van de verschillende emissiescenario's opgesteld in kader van de "Toekomstverkenning 2030" (MIRA-S 2009). Vlaamse emissieprognoses voor het Referentie- en het Europa scenario alsook Europese emissieprognoses van IIASA werden hiervoor als input gebruikt. Alle emissies werden ruimtelijk gespreid met behulp van de Emissiemapper E-map.

#### 2.1.2.1. BelEUROS model

Als verspreidingsmodel werd hoofdzakelijk het BelEUROS model gebruikt. Dit model bevat een geavanceerde beschrijving van de ozon- en fijn stof chemie in de atmosfeer. Naast de primaire fijn stof componenten wordt ook de vorming van secundair fijn stof (nitraten, sulfaten en ammonium) gedetailleerd beschreven door de chemische mechanismen van BelEUROS. Zo werd dit model al in een hele reeks van studies in Vlaanderen toegepast en in twee projecten gevalideerd voor Vlaanderen en de omliggende regio's. Meer informatie over dit model, de toegepaste methode en referenties in internationale wetenschappelijke tijdschriften kan teruggevonden worden in de Wetenschappelijke rapporten opgesteld in het kader van de Milieuverkenning 2030 voor de thema's Zwevend stof en Fotochemische luchtverontreiniging.

We berekenden impacts van emissies op volksgezondheid binnen Vlaanderen en in de buurregio's. Figuur 3 illustreert de omvang van het ruimtelijk bereik van de studie. De buurregio's omvatten Brussel en het Waalse gewest, Nederland, een groot stuk van het westen van Duitsland, het noorden van Frankrijk en het zuidoosten van Engeland. Op basis van eerdere studies en EcoSense web berekeningen (hoofdstuk 4) schatten we dat de keuze voor dit grid toelaat om 80 tot 90 % van de totale impacts te vatten en om vooral voor Vlaanderen en de directe buurregio's een nauwkeurige inschatting te maken. Zoals verder uit de resultaten zal blijken, weegt dit voordeel op tegenover de ruimere (Europese) schaal met het grover grid uit EcoSense-web.

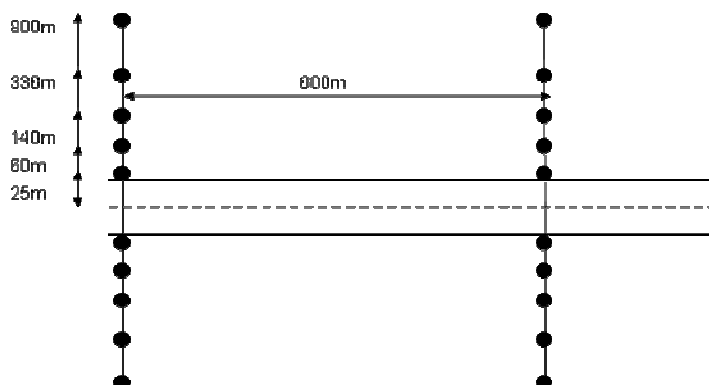
Bij de inschatting van de totale effecten zullen we voor de volledigheid ook de effecten in andere landen meenemen en bespreken (zie hoofdstuk 4.5).



Figuur 3: Situering van het gehanteerde BelEUROS grid voor de bepaling van effecten op luchtkwaliteit in Vlaanderen en in de buurregio's

### 2.1.2.2. IFDM-RIO modelketen

Voor emissies van primair fijn stof (PM 2.5) uit de transportsector werd de IFDM-RIO-modelketen toegepast. RIO interpoleert op een intelligente wijze, gebruik makend van kennis over het landgebruik, de gemeten concentraties op een 3x3 km<sup>2</sup> rooster. Voor verschillende polluenten is het wegverkeer echter een belangrijke vervuiler en zijn er grote gradiënten te vinden in concentraties van polluenten dicht bij de wegen. Daarom wordt het RIO-model gecombineerd met het bi-gaussiaans IFDM-model. Dit slaagt erin de luchtkwaliteit te berekenen op een veel fijnere resolutie. De roosterpunten waarop gerekend wordt, worden zo gekozen dat op de plaatsen met de grootste gradiënten, d.w.z. langs de wegen, de resolutie beter is, tot 25m. (Figuur 4)



Figuur 4: Illustratie van het flexibel grid gehanteerd voor berekening van verspreiding van emissies van transport in IFDM-RIO, in functie van de afstand tot de as van de weg.

De resultaten van RIO en IFDM worden gecombineerd door middel van een algoritme dat een correctie doet voor dubbeltelling zodat belangrijke wegen, die zowel in de IFDM-modellering als in de meetresultaten (en dus de RIO-resultaten) zitten niet twee maal in rekening gebracht worden. Dankzij deze combinatie van RIO en IFDM kan een heel gedetailleerd beeld van de luchtkwaliteit berekend worden.

Verder werd voor deze studie een procedure uitgewerkt om rekening te houden met het canyon effect. Deze is besproken aan het einde van dit hoofdstuk (paragraaf 2.3.2).

### 2.1.3 Bepaling van blootstelling

Om de blootstelling te kwantificeren voor output van BelEUROS werd een Europese bevolkingskaart gebruikt. Die bevolkingskaart is een uitsnede uit de rasterkaart 'Population density grid of EU-27+, version 5' van het Joint Research Centre (EEA, 2009). Voor het maken van deze kaart werd de dasymetrische karteringstechniek gebruikt om de bevolkingsgegevens, gekend per gemeente via de Census 2001 van Eurostat, nauwkeuriger te gaan spreiden aan de hand van een steunkaart. Deze steunkaart is de landgebruikskaat CORINE Land Cover 2000 (CLC), versie 9, die hierbij geherclassificeerd werd naar negen categorieën waaraan de bevolking in verschillende proporties werd toegewezen. Net zoals de CLC kaart is de uiteindelijke bevolkingsdichtheidskaart een rasterkaart met een resolutie van 100m. Omdat de concentratiewaarden beschikbaar zijn op een grid bestaande uit cellen van 15 bij 15 kilometer, kunnen de fijnere cellen van de bevolkingskaart geaggregeerd worden tot dezelfde (grovere) resolutie.

De blootstellingsbepaling voor emissies van fijn stof van transport gebeurt op basis van een finer, flexibel grid, dat rekening houdt met de feitelijke verspreiding van de bewoning in Vlaanderen. Deze analyse is beperkt tot Vlaanderen. Voor de effecten in de buurregio's worden de resultaten van de modellering met BelEUROS gehanteerd, met een ruwer grid. Dit is verantwoord omdat het hier gaat om effecten verder van de bron.

Voor de toekomstige jaren gebruiken we de geprojecteerde bevolkingsevolutie van het Federaal Planbureau (FPB, 2009). Deze cijfers bevatten zowel de totale Belgische bevolkingsgroei als de verdeling over de leeftijdsklassen. We passen deze evolutie (totalen en onderverdeling leeftijdsklassen) op eenzelfde wijze toe voor alle blootgestelden binnen Vlaanderen en binnen de buurregio's. Dit leidt in de praktijk tot een stijging van de externe kosten tussen 2010 en 2020 met 6,6 % (zie verder, hoofdstuk 3).

#### **2.1.4 Begroting van Gezondheidsimpacts**

##### *2.1.4.1 Achtergrond*

Er is een hele reeks van informatie die aangeeft dat luchtverontreiniging door fijn stof en ozon schadelijk kan zijn voor de gezondheid. In het kader van opeenvolgende studies rond externe kosten, fijn stof en gevolgen op menselijke gezondheid zijn deze gezondheidseffecten beschreven en is de informatie waarop de inschatting is gebaseerd gedocumenteerd en geëvalueerd.

In het kader van studies naar externe kosten heeft men een consistente set van dosis-effect relaties nodig om deze effecten te kwantificeren. Deze zijn gebaseerd op epidemiologische studies die wereldwijd hebben aangetoond dat er een verband is tussen luchtverontreiniging en ernstige gezondheidseffecten (WHO, 2006; Brunekreef, 2005; Hurley, Torfs et al, 2007, Russel, 2009). Deze set van dosis-effect relaties is in de loop der jaren geëvolueerd (Torfs, 2005), en de laatste consistente set is deze van ExternE-Needs (Torfs et al, 2007). Deze omvat een consensus-set van dosis-effect relaties, toe te passen om effecten op gezondheid te kwantificeren. In grote lijnen zijn de beschouwde impacts gelijklopend met deze van MIRA 2005, ten dele omdat toen reeds rekening is gehouden met de verwachte wijzigingen.

We geven eerst de gebruikte dosis-effect relaties, en daarna geven we enkele bemerkingspunten over hoe we dit moeten interpreteren.

##### *2.1.4.2 Dosis-effect relaties voor kwantificering effecten op gezondheid*

De gebruikte dosis-effect relaties zijn opgelijst in tabel 2. Zowel PM10 als PM2,5 hebben lange en korte termijneffecten op de gezondheid. Voor fijn stof werden twee gezondheidseffecten op lange termijn bekeken, namelijk:

- nieuwe gevallen van chronische bronchitis door langdurige blootstelling aan PM10;
- vervroegde sterfte bij chronische blootstelling aan PM2,5.

De onderzochte gezondheidseffecten op korte termijn ten gevolge van de blootstelling aan PM10 zijn:

- sterfte bij baby's;
- hospitalisaties wegens ademhalings- en hartproblemen bij de totale bevolking;
- gebruik van bronchodilatoren door kinderen en volwassenen;
- problemen met de lagere luchtwegen bij kinderen en volwassenen.

De onderzochte korte-termijn-effecten te wijten aan de blootstelling aan PM2,5 zijn:

- dagen met verminderde activiteit (Restricted Activity Days);
- dagen met licht verminderde activiteit (Minor rads);
- dagen verloren door afwezigheid op het werk (Work Loss Day).

De effecten worden berekend aan de hand van veranderingen in de jaarlijkse gemiddelde concentraties van fijn stof. Deze effecten zijn verder lineair en zijn onafhankelijk van de hoogte van de concentraties zelf of het voorkomen van piekconcentraties.

'Merk op dat voor deeltjes uit de PM<sub>2,5</sub> fractie ook de gezondheidseffecten van de PM<sub>10</sub> fractie van toepassing zijn, omdat zij immers ook tot de PM<sub>10</sub> fractie behoren. Anderzijds zijn voor deeltjes van de PM<sub>co</sub> fractie enkel de gezondheidseffecten voor de PM<sub>10</sub> fractie van toepassing.

Voor ozon worden enkel acute effecten meegerekend, en deze hebben zowel betrekking op sterfte bij volwassenen en vijf morbiditeitseffecten (respiratoire ziekenhuisopnamen, gebruik bronchodilatoren bij volwassenen, dagen met licht verminderde activiteit, dagen met hoest en dagen met symptomen lagere luchtwegen).

Deze effecten worden lineair toegerekend aan concentraties boven de 35ppb (= 70µg/m<sup>3</sup>). Hiertoe is een specifieke indicator SOMO35 bepaald (dit is het gecumuleerde ozonoverschot boven de 35ppb, berekend op basis van de maximum dagelijkse 8-uursgemiddelde ozonconcentratie).

Voor de toepassing van deze dosis-effect relaties voor fijn stof en ozon is voor het ExDaly model de nodige informatie verzameld. Voor de meeste eindpunten was het mogelijk de huidige Vlaamse incidentie te vinden. Gecombineerd met het relatief risico (RR) geeft dit voor Vlaanderen (en bij uitbreiding de naburige regio's) zo correct mogelijke resultaten. De eindpunten waarvoor we niet over Vlaamse incidentiecijfers beschikken worden gewaardeerd d.m.v. een algemenere Europese impactfunctie.

### **2.1.5 Opmerkingen over interpretatie van deze dosis-effect relaties**

Bovenvermelde dosis-effect relaties vormen een consistent geheel om de gevolgen van verminderde luchtkwaliteit (stadslucht) op volksgezondheid te kwantificeren, die gebaseerd zijn op een bredere set van informatie over deze effecten en een vrij brede consensus onder experts op dit terrein. Deze consensus en het feit dat deze set veel gebruikt wordt, mogen ons niet doen vergeten dat er veel onzekerheden blijven en aannames worden gemaakt voor hun toepassing.

#### **2.1.5.1 Epidemiologische studies als basis**

Ten eerste is het een set van indicatoren om effecten te kwantificeren, wat niet betekent dat dit alle kennis en inzichten over deze effecten hierin vervat zitten. Omwille van de vele complexe relaties en onzekerheden in de mechanismen die de effecten op gezondheid veroorzaken, gebeurt de kwantificering van gezondheidseffecten via resultaten van epidemiologische studies (Russell en Brunekreef, 2009). Deze soort studies zoeken een statistisch verband tussen concentraties in de omgevingslucht en gezondheidseffecten op basis van evoluties in de tijd of verschillen in luchtkwaliteit tussen steden. Deze studies geven enerzijds een zeer breed beeld van mogelijke bronnen en effecten, maar anderzijds zijn die resultaten soms tegenstrijdig en doen zij vragen rijzen naar interpretatie, samenhang en transfereerbaarheid naar andere landen, steden of situaties.





Tabel 2: Overzicht van de gebruikte DR-relaties gezondheid

| Effect  | Polluent          | Duur effect | Leeftijdsgroep | Relatief risico | Impactfunctie | Eenheid / Verklaring   |
|---|-------------------|-------------|----------------|-----------------|---------------|--|
| Nieuwe gevallen chronische bronchitis           | PM10; SIA <10µm   | chronisch   | 27+            | 1,07            | N.A.          | 7% attributieve gevallen in leeftijdsgroep per 10 µg/m3  |
| Kindersterfte                                   | PM10; SIA <10µm   | Accuut      | 1 mnd-1 jr     | 1,04            | N.A.          | 4% attributieve gevallen in leeftijdsgroep per 10 µg/m3  |
| Respiratoire ziekenhuisopname                   | PM10; SIA <10µm   | Accuut      |                | 1,011           | N.A.          | 1,1% attributieve gevallen per 10 µg/m3  |
| Ziekenhuisopname wegens hartklachten            | PM10; SIA <10µm   | Accuut      | Alle           | 1,006           | N.A.          | 0,6% attributieve gevallen per 10 µg/m3  |
| Bronchodilatorgebruik kinderen                  | PM10; SIA <10µm   | Accuut      | 5-14 jr        | 1,005           | N.A.          | 0,5% attributieve gevallen in leeftijdsgroep met astma per 10 µg/m3                                      |
| Bronchodilatorgebruik volwassenen               | PM10; SIA <10µm   | Accuut      | 20+            | 1,01            | N.A.          | 1% attributieve gevallen in leeftijdsgroep met astma per 10 µg/m3  |
| Symptomen lagere luchtwegen kinderen            | PM10; SIA <10µm   | Accuut      | 5-14 jr        | N.A.            | 1,86          | Symptoomdagen per jaar, per persoon in leeftijdsgroep, per 10 µg/m3                                      |
| Symptomen lagere luchtwegen volwassenen         | PM10; SIA <10µm   | Accuut      | 20+            | N.A.            | 1,3           | Symptoomdagen per jaar, per person, in leeftijdsgroep met chronische ademhalings symptomen, per 10 µg/m3 |
| Sterfte volwassenen na chronische blootstelling | PM2,5; SIA <2,5µm | chronisch   | 30+            | N.A.            | 0,00651       | years of life lost (YOLL) per persoon per 10 µg/m3, functie voor totale populatie                        |
| Dagen met verminderde activiteit                | PM2,5; SIA <2,5µm | Accuut      | 15-64 jr       | N.A.            | 0,902         | Dagen per jaar, per person in leeftijdsgroep, per 10 µg/m3   |
| Dagen met licht verminderde activiteit          | PM2,5; SIA <2,5µm | Accuut      | 18-64 jr       | N.A.            | 0,577         | Dagen per jaar, per person in leeftijdsgroep, per 10 µg/m3   |
| Dagen verloren door afwezigheid op het werk     | PM2,5; SIA <2,5µm | Accuut      | 15-64 jr       | 1,046           | N.A.          | 4,6% attributieve gevallen in leeftijdsgroep per 10 µg/m3  |
| Sterfte volwassenen                             | ozon              | Accuut      | Alle           | 1,003           | N.A.          | 0,3% attributieve gevallen per 10 µg/m3  |
| Dagen met licht verminderde activiteit          | ozon              | Accuut      | 18-64 jr       | N.A.            | 0,115         | Dagen per jaar, per person in leeftijdsgroep, per 10 µg/m3   |
| Respiratoire ziekenhuisopname                   | ozon              | Accuut      | 65+            | 1,005           | N.A.          | 0,5% attributieve gevallen in leeftijdsgroep per 10 µg/m3  |
| Bronchodilatorgebruik                           | ozon              | Accuut      | 20+            | 1,006           | N.A.          | 0,6% attributieve gevallen in leeftijdsgroep met astma, per 10 µg/m3                                     |
| Dagen met hoest                                 | ozon              | Accuut      | 5-14 jr        | N.A.            | 0,93          | Dagen per jaar, per person in leeftijdsgroep, per 10 µg/m3   |
| Symptomen lagere luchtwegen (excl. hoest)       | ozon              | Accuut      | 5-14 jr        | N.A.            | 0,16          | Dagen per jaar, per person in leeftijdsgroep, per 10 µg/m3   |

We lichten enkele aandachtspunten verder toe, meer samenvattende achtergrondinformatie kan gevonden worden in publicaties van ExternE-Needs (Torfs et al, 2007), CAFE 2005 (Holland et al, 2005) of WHO, 2003) en in MIRA, achtergronddocumenten rond zwevend stof (MIRA, 2007a), fotochemische luchtverontreiniging (MIRA, 2007b) en impacts op volksgezondheid (MIRA, 2007c). Een ruim overzicht van evolutie van kennis over bronnen, verspreiding, blootstelling en effecten op gezondheid voor fijn stof wordt gegeven door Russell en Brunekreef, 2009.

#### *2.1.5.2 Selectie van pollutanten en effecten voor berekening van impacts*

De huidige inzichten binnen ExternE-NEEDS en andere HIA (health impact assessment) studies is dat gevolgen van stadslucht worden gekwantificeerd via fijn stof en ozon, zonder rekening te houden met concentraties van SO<sub>2</sub> en NO<sub>2</sub>. (Noteer dat voor SO<sub>2</sub> wel effecten worden meegenomen via vorming van secundair fijn stof). Dit neemt niet weg dat het mogelijk is dat deze pollutanten toch directe effecten op gezondheid hebben en dat nieuwe informatie of studies ertoe kan leiden om ze (opnieuw) mee te nemen als relevante indicator voor berekeningen van gezondheidsimpacts (Torfs et al, 2007, p 33).

Deze opmerking geldt eveneens voor de verschillende gezondheidsimpacts. In de literatuur zijn er studies die voor meer eindpunten associaties vinden met deze pollutanten. Deze eindpunten zijn niet weerhouden in de finale set omdat bijv. andere studies dat niet bevestigen, er kans is op dubbeltellingen, ze niet transfereerbaar zijn naar Europese context, ze moeilijk zijn toe te passen, etc. Zo zijn bijvoorbeeld voor ozon geen dosis-effect relaties weerhouden voor de mogelijke lange termijn effecten. Dit neemt niet weg dat er studies zijn die wijzen op dergelijke effecten (WHO, 2003; Jerret et al, 2009)

#### *2.1.5.3 Drempelwaarde voor ozon*

De dosis-effect relaties voor ozon worden toegepast met een drempelwaarde van 35ppb (= 70µg/m<sup>3</sup>). Dit betekent dat die dosis-effect relatie niet van toepassing is bij lagere concentraties, maar betekent niet dat er bij lagere concentraties totaal geen gezondheidseffecten meer te verwachten zijn. De WHO stelt dat er geen drempel voor ozonconcentraties is vast te leggen waaronder gezondheidseffecten voor sommige bevolkingsgroepen kunnen meegenomen worden. We moeten verder opmerken dat in de huidige context voor Vlaanderen het berekenen van de impacts met of zonder deze drempel geen significante effecten heeft op de inschatting (Van Steertegem, 2009).

Tevens merken we op dat de gezondheidseffecten worden gekwantificeerd via de jaargemiddelde concentraties. Effecten van emissies op piekconcentraties en gerelateerde welvaartseffecten worden hiermee niet meegenomen.

#### *2.1.5.4 Wegingsfactoren voor deelgroepen van fijn stof*

Een van de belangrijke aannames slaat op het al dan niet hanteren van relatieve gewichten voor bepaalde deelgroepen van fijn stof, in functie van hun oorsprong (bijv. verkeer, niet-uitlaat) of aard (bijv. secundair fijn stof). De gepresenteerde werkwijze van het ExternE gezondheidsimpact model is gebaseerd op evidentie over de algemene luchtkwaliteit. Specifieke bronnen zoals verkeer, huishoudens en industrie dragen in meerdere of mindere mate bij tot deze luchtkwaliteit, maar hebben enigszins verschillende emissiekenmerken. In hoeverre specifieke bronnen belangrijker zijn met betrekking tot de toxiciteit van het mengsel aan pollutanten in de lucht, blijft een punt van onderzoek en discussie. Fijne tot ultrafijne stofemissies van verkeer zijn de meest vernoemde en potentieel belangrijkste bijdrage tot de gezondheidseffecten, maar de stofemissies van andere bronnen, als drager van toxische componenten, mogen niet genegeerd worden. Noch de US-EPA, noch de WHO is op dit ogenblik echter voorstander van een onderscheid tussen bronnen. Binnen ExternE is eerder (2005, ExternE-NewExt) een eerste indicatief onderscheid tussen bronnen gemaakt, namelijk dat de effecten van sulfaten en van PM<sub>2,5</sub> emissies van verkeer zwaarder doorwegen dan de effecten van nitraten en van stofemissies van elektriciteitscentrales. In ExternE-Needs wordt dit onderscheid niet langer gemaakt. In deze studie wordt dit onderscheid dan ook niet gehanteerd.

#### *2.1.5.5 Gezondheidsimpacts van niet-uitlaat emissies van transport*

Bovenstaande discussie betreft ten eerste de vraag naar onderscheid tussen emissies van verbrandingsprocessen afhankelijk van de bron. Een bijkomende vraag is in welke mate de dosis-effect relaties van toepassing zijn op andere bronnen van fijn stof, en meer specifieke op de niet-uitlaat emissies van fijn stof uit de transportsector. In ExternE-Needs wordt hierover geen specifieke uitspraken gedaan, behoudens dat men geen onderscheid maakt tussen deelgroepen van fijn stof in functie van hun oorsprong. Op basis van een korte literatuurstudie is de aanname voor onze studie dat we deze dosis-effect functies eveneens en ongewijzigd hierop mogen toepassen.

We hebben ten eerste geen studies gevonden die aangaven dat dit niet mag. Anderzijds zijn er verschillende studies die wijzen op gezondheidseffecten van niet-uitlaat emissies. In de literatuur loopt deze vraag ook samen met deze naar gezondheidseffecten van de PMcoarse fractie. PMcoarse omvat de coarse-fractie van PM10, d.w.z. de fijn stof deeltjes met een aerodynamische diameter tussen 2,5 en 10µm. Perrez et al, hebben bijvoorbeeld een associatie gevonden tussen PM-coarse en acute mortaliteit voor Barcelona, terwijl ze kunnen aanwijzen dat een groot deel van de PM-coarse toe te wijzen zijn aan niet-uitlaat emissies van transport (Perrez et al, 2009). Russell en Brunekreef, 2009, besluiten dat er voldoende informatie is om gezondheidseffecten ook toe te schrijven aan de PMcoarse fractie en niet-uitlaat emissies.

Ook in recente toepassingen voor externe kosten van transport worden gezondheidsimpacts meegerekend voor niet-uitlaat emissies (Nerhagen, 2009, Gustafsson et al., 2008). In het handboek voor externe kosten voor de Europese Commissie worden ook gezondheidsimpacts toegeschreven aan niet-uitlaatemissies, maar de effecten worden lager ingeschat dan uitlaatemissies (CE, 2008). Voor externe kosten van emissies baseert deze studie zich op het Europese Heatco project wat op zijn beurt de dosis-effect relaties en aannames hanteert van ExternE-NewExt (2005)(ExternE 2005). Zoals hierboven uiteengezet hanteerde ExternE-NewExt verschillende gewichten voor verschillende deelfracties van fijn stof, waardoor uitlaat emissies van verkeer een hoger gewicht kregen, en niet uitlaat emissies een gelijk gewicht voor emissies van primair fijn stof van andere bronnen (ExternE-NewExt).

#### *2.1.5.6 Verschillen met luchtkwaliteitsnormen*

Het is logisch dat de indicatoren gebruikt om de effecten te kwantificeren van veranderingen in luchtkwaliteit kunnen verschillen van deze gebruikt voor normering van luchtkwaliteit, ook al bouwen ze voort op dezelfde set van wetenschappelijke informatie. Zo houden beleidsdoelstellingen rond fijn stof en ozon meer rekening met piekconcentraties. Ten tweede worden bij de berekeningen van effecten en kosten geen rekening gehouden met verdelingsaspecten, en worden effecten voor een kleine groep van mensen met zeer hoge blootstelling even hoog gewogen als voor een grote groep van mensen met een kleine blootstelling. Luchtkwaliteitsnormen streven er daarentegen naar om alle mensen te beschermen tegen een te hoge blootstelling.

#### *2.1.5.7 Gebruik van nieuwe informatie na 2007*

Deze selectie van dosis-effect relaties weerspiegelt de stand van kennis tot 2007. Omdat de kennis in deze materie blijft evolueren zal deze set ook moeten geactualiseerd worden als er veel nieuwe evidentie is. Dergelijke actualisatie valt buiten het bestek van deze studie. We hebben dan ook verder geen informatie meegenomen van nieuwe epidemiologische studies die verschenen zijn, omdat het bij dergelijke actualisatie belangrijk is te kijken naar het geheel van nieuwe informatie, en een nieuwe set van consistente dosis-effect relaties te maken en informatie te verzamelen om deze ook te kunnen toepassen.

### **2.1.6 Monetaire waardering van gezondheidsimpacts uit Ex-Daly**

#### *2.1.6.1 Overzicht*

In deze stap worden de verschillende gezondheidseffecten gewaardeerd op basis van het welvaartsverlies voor de patiënt, zijn omgeving en de maatschappij. Tabel 3 geeft een overzicht van de monetaire waardering die is gehanteerd in deze studie, en geeft aan waarop zij gebaseerd zijn. Omdat vele waarden geactualiseerd zijn, geven we iets meer detail bij deze cijfers en hun onderbouwing.

Men onderscheidt hierin 3 grote groepen van welvaartskosten:

- ziektekosten (kosten voor medicatie, medische verzorging): deze kosten worden geraamd op basis van informatie uit de gezondheidssector, en zij is specifiek voor Vlaanderen.
- kosten van verlies van productieve en vrije tijd omwille van afwezigheid op werk of bedlegerigheid: deze kosten worden geschat op basis van gegevens over arbeidskosten en zijn eveneens specifiek voor Vlaanderen.
- het welvaartsverlies voor patiënt en omgeving omwille van pijn, lijden of verloren levensjaren: deze kosten worden geschat via specifieke waarderingstudies waarbij men via een bevraging peilt naar de bereidheid tot betalen van mensen om het risico op ziekteverschijnselen (en de daarbij horende pijn en lijden) of het risico op vervroegde sterfte te verkleinen. Deze waardering is gebaseerd op specifieke Europese studies en literatuur.

In het kader van deze actualisatie zijn de kengetallen voor waardering aangepast aan nieuwe studies uit ExternE-Needs (2007), ExternE-Needs (2009) en rekening houdende met de aanbevelingen uit de studie Arcadis-Metroeconomica (2009). Op deze basis zijn de data voor effecten op morbiditeit nu aangepast aan de Vlaamse context, tenminste voor ziektekosten en kosten van verlies van productiviteit. Verder is ook rekening gehouden met consistentie met de bepaling van de verloren levensjaren (Daly's) in Ex-Daly. Omdat er geen Vlaamse studies zijn naar bereidheid tot betalen voor vermijden van ziekte of vroegtijdig overlijden, zijn deze eindpunten gewaardeerd op basis van Europese studies, al dan niet gecorrigeerd voor de (hogere) levensstandaard in Vlaanderen.

Tabel 3: Overzicht van de geactualiseerde monetaire waardes voor de verschillende gezondheidseffecten

| Gezondheidseffect  | Relevant voor welke<br>polluent |                  |      | Aard van welvaartseffect |                  |                 | EURO <sub>2009</sub> | Eenheid  |
|--|---------------------------------|------------------|------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------------|----------|
|  | PM <sub>2.5</sub>               | PM <sub>10</sub> | ozon | Ziekte<br>kost           | Prod.<br>verlies | pijn/<br>lijden |                      |          |
| <i>v</i> Vervroegde sterfte  |                                 |                  |      |                          |                  |                 |                      |          |
| <i>volwassenen na chronische blootstelling</i>                                 | x                               |                  |      |                          |                  | x               | 44379                | Yoll (1) |
| <i>Vervroegde sterfte pasgeborenen</i>   | (x)                             | x                |      |                          |                  | x               | 66569                | Yoll (1) |
| <i>Vervroegde sterfte volwassenen</i>  |                                 |                  | x    |                          |                  | x               | 66569                | Yoll (1) |
| <i>morbiditeit</i>   |                                 |                  |      |                          |                  |                 |                      |          |
| <i>n</i> Nieuwe gevallen van chronische bronchitis                             | (x)                             | x                |      |                          |                  | x               | 119291               | Geval    |
| <i>hospitalisaties wegens ademhalingsproblemen</i>                             | (x)                             | x                | x    | x                        |                  | x               | 4856                 | Geval    |
| <i>hospitalisaties wegens hartproblemen</i>                                    | (x)                             | x                |      | x                        |                  | x               | 5776                 | Geval    |
| <i>gebruik bronchodilatoren bij kinderen</i>                                   | (x)                             | x                |      | x                        |                  |                 | 0.31                 | Geval    |
| <i>Idem bij volwassenen</i>  | (x)                             | x                | x    | x                        |                  |                 | 0.31                 | Geval    |
| <i>s</i> Symptoomdagen wegens problemen met lagere<br>luchtwegen voor kinderen | (x)                             | x                | x    |                          |                  | x               | 55                   | Dag      |
| <i>Idem voor volwassenen</i>   | (x)                             | x                |      |                          |                  | x               | 55                   | Dag      |
| <i>dagen met verminderde activiteit (RAD)</i>                                  | x                               |                  |      |                          |                  | X               | 78                   | Dag      |
| <i>dagen met licht verminderde activiteit (MRAD)</i>                           | x                               |                  | x    |                          |                  | x               | 51                   | Dag      |
| <i>dagen verloren door afwezigheid op het werk (WLD)</i>                       | x                               |                  |      |                          |                  | x               | 123                  | Dag      |
| <i>dagen met hoest (kinderen)</i>  |                                 |                  | x    |                          |                  | x               | 55                   | Dag      |

Yoll: verloren levensjaar

### 2.1.6.2 Bespreking per effect

#### **Mortaliteit of vervroegde sterfte**

Alle effecten op mortaliteit (vervroegde sterfte) zijn gewaardeerd op basis van verlies van verloren levensjaren, zowel voor chronische effecten als acute effecten. Dit is consistent met ExternE en berekeningen van Daly's, maar wijkt af van de aanbevelingen van Arcadis-metroeconomica.

De bereidheid tot betalen voor het vermijden van een verloren levensjaar zijn ingeschat op basis van specifieke waarderingstudies in het kader van ExternE-Needs, waarbij mensen in verschillende Europese landen bevroegd zijn naar hun bereidheid tot betalen om kleine risico's op vroegtijdig overlijden te beperken. Op basis van deze nieuwe studies worden deze effecten nu lager ingeschat dan in ExternE-studies van voor 2007. Dit verschil heeft te maken met andere meetmethodes, en niet met veranderende preferenties van mensen. Omdat Vlaanderen tot de rijkere groep van EU 15-landen behoort, wordt het effect hier iets (2.5 %) hoger ingeschat dan het gemiddelde voor de EU-landen. Dit cijfer is gelijkaardig aan het cijfer dat gehanteerd werd in ExDaly.

De waardering van kindersterfte is relatief hoog omdat de impact direct is en er vele verwachte levensjaren verloren gaan. De totale impact blijft wel binnen het interval dat wordt ingeschat voor verlies van een statistisch overlijden (Arcadis-Metroeconomica, 2009, 2009).

#### **Morbiditeit**

Omdat er weinig en uiteenlopende literatuur is om *chronische bronchitis* te waarderen, is dit gewaardeerd op basis van het aantal Daly's (verloren gezonde levensjaren) dat hiermee gepaard gaat (2,7 Daly's), en de waardering van één Daly als één verloren levensjaar. Hiermee wordt de redenering van ExternE Needs gevolgd, ook al worden in ExternE-Needs iets andere gewichten voor berekening van het aantal Daly's gehanteerd. Het resultaat ligt in het midden van de resultaten uit studies naar de bereidheid tot betalen voor het vermijden van chronische bronchitis. De (oudere) Amerikaanse studies geven hogere waarden (200 keuro/geval), een recentere Zwitserse studie geeft een lagere waarde (30 keuro/geval), maar zij beschrijft evenwel een zachtere vorm van chronische bronchitis (Maca & Scasny, 2009).

De voornaamste kosten voor hospitalisaties wegens ademhalingsproblemen en wegens hartproblemen zijn de ziektekosten, en deze zijn gewaardeerd op basis van gezondheidskosten voor Vlaanderen, zoals geschat door Arcadis-Metroeconomica, 2009. Deze kost is hoger in Vlaanderen dan het gemiddelde voor Europa, geschat door ExternE. Daarenboven is ook rekening gehouden met de bereidheid tot betalen om pijn en lijden te vermijden, op basis van het gemiddelde van een Europese vijfandenstudie (Nederland, Noorwegen, Portugal, Spanje, VK) (Ready et al., 2004). Deze cijfers zijn op hun beurt aangepast voor de levensstandaard in Vlaanderen.

Het gebruik van bronchodilatoren is gewaardeerd op basis van kosten voor medicijnen, aangepast aan data voor 2009 (op basis van Arcadis-Metroeconomica, 2009).

De waardering van pijn en lijden als gevolg van verschillende kleinere gezondheidseffecten is gebaseerd op het gemiddelde uit een Europese Vijfandenstudie (Ready et al., 2004), gecorrigeerd voor de hogere levensstandaard in Vlaanderen. Deze waarden verschillen licht van deze afgeleid uit een meta-analyse van waarderingstudies, en waarop ExternE-Needs, 2009 zich gedeeltelijk baseert (Maca & Scasny, 2009).

Het productiviteitsverlies als gevolg van absentieïsme op het werk is gewaardeerd aan de hand van de human capital benadering, waarbij de bruto loonkosten in Vlaanderen gebruikt worden als een benadering voor de waarde van verloren arbeid en aanpassingskosten voor de werkgever. Het cijfer is gebaseerd op Arcadis-Metroeconomica, 2009. In EcoSense-Web v4 (2010) wordt een cijfer gehanteerd op basis van het gemiddelde BNP per werkdag, wat zo'n drie keer hoger is dan dat op basis van de human capital benadering. Deze nieuwe benadering is gekozen omdat de human capital waarschijnlijk een onderschatting van de totale kost inhoudt, maar zonder veel verdere onderbouwing (Maca & Scasny, 2009). Anderzijds wijkt deze benadering via het BNP af van wat gebruikelijk is in de

literatuur en is dit waarschijnlijk een overschatting. Daarom is gekozen voor het cijfer gebaseerd op de human capital benadering.

Het productiviteitsverlies van verloren huishoudelijke arbeid als gevolg van dagen met verminderde activiteit is ingeschat op basis van het ingeschatte aantal uren huishoudelijke arbeid, gewaardeerd aan de prijs van een dienstencheque. (Den Hond et al., 2008)

### *2.1.6.3 Alle prijzen in prijzen van 2009*

De oorspronkelijke cijfers zijn gebaseerd op studies uit verschillende jaren met verschillende prijsniveaus. Voor deze studie zijn alle kosten uitgedrukt in het prijsniveau van 2009, op basis van de algemene prijsindex voor België.

Hierdoor zijn cijfers voor waardering van vervroegde sterfte nu niet langer afgerond en geven ze mogelijks onterecht een indruk van nauwkeurigheid tot op één euro. (uitgedrukt in prijzen van 2000 kwam dit neer 41000 euro per verloren levensjaar).

### *2.1.6.4 Effect van stijging koopkracht en economische groei op waardering 2020*

Voor waardering van impacts in 2020 moeten we rekening houden met het effect van de verwachte economische groei op de kosten en welvaartseffecten. De argumentatie hierbij is dat een stijging van het algemene welvaartsniveau zich zal doorvertalen in sommige kosten (ziektekosten, verloren arbeidsproductiviteit) en in de waardering voor het vermijden van pijn en lijden.

Hiertoe nemen we aan dat voor effecten op volksgezondheid alle eenheidskosten evenredig stijgen met de economische groei per capita, wat een maat is voor de verwachte stijging voor de koopkracht. Omdat de voornaamste effecten gewaardeerd worden via de bereidheid tot betalen nemen we aan dat deze mee groeit met de koopkracht. We hanteren die verwachte ontwikkeling van het BNP per capita van de Milieuverkenning 2030 van MIRA (gemiddeld 1,5 % per jaar voor de periode 2010-2020) (Van Steertegem, 2009). Deze aanname leunt dicht aan bij de verwachte ontwikkeling van de koopkracht voor de lange termijn van 1,4 % per jaar (Hoge raad voor financiën, 2010). Deze aanname betekent dat eenzelfde impact in 2020 16 % hoger gewaardeerd wordt dan in 2010. Noteer dat we hiernaast reeds apart rekening houden met de evolutie van de bevolking voor kwantificering van de effecten op gezondheid.

Voor de andere impacts (bijv. effecten op landbouw) die berekend zijn via EcoSense-web (zie hoofdstuk 4) nemen we hun aannames over, waarbij toekomstige impacts meegroeien met de economische groei van 2 % (Preiss, 2008a). De waardering van deze effecten is ook meer gelinkt aan totale evolutie economische groei dan aan groei koopkracht per capita.

Op basis van de informatie in dit rapport kan men ook cijfers voor 2020 berekenen die geen rekening houden met economische groei, zodat men voor deze factor bijv. andere groeicijfers kan hanteren in functie van de context waarin men deze cijfers gebruikt.

## **2.2 Werkwijze voor berekening via gedetailleerde modelruns**

### **2.2.1 Definitie van emissiereductie-scenario's voor berekening marginale kosten**

Het doel van deze studie is het berekenen van een marginale externe kost (MEK). Deze kengetallen kunnen aangewend worden in modellen die met behulp van emissiecijfers een totale externe kost voor een bepaald scenario berekenen. Een marginale externe kost van een pollutant is de bijkomende externe kost teweeggebracht door een marginale stijging van emissies. Die marginale stijging wordt meestal uitgedrukt als een kilo of een ton emissie van een bepaalde pollutant. Het nut van deze werkwijze schuilt in de flexibele toepasbaarheid. De kengetallen zijn immers vlot te gebruiken bij de evaluatie van bepaalde beleidsmaatregelen door de verandering in emissies te vermenigvuldigen met de waarde per ton.

Als we een marginale externe kost willen berekenen, gaan we uit van een emissieverschil tussen twee gekozen scenario's. Eén scenario beschouwen we als de baseline, de andere heeft dan marginaal gewijzigde emissies voor één bepaalde pollutant ten opzichte van deze baseline.

Met de gebruikte modellen is het zeer moeilijk om voor een marginaal klein verschil in emissies (van bijvoorbeeld 1 auto) een verandering in concentraties te observeren. Daarom is ervoor geopteerd om telkens uit te gaan van een 20%-emissieverschil (simulaties met BelEUROS) voor een bepaalde sector ten opzichte van de baseline. De keuze viel op 20%, enerzijds omdat deze emissiewijziging klein genoeg is om als marginaal beschouwd te worden en anderzijds omdat de wijziging groot genoeg is om voor de twee scenario's verschillende concentratiewaardes te bekomen. EMEP gebruikt voor de berekening van de "blame matrices" (invloed van emissies in een bepaald land op de concentraties van pollutanten in een ander land) een emissiereductie van 15 %, maar het gaat hierbij ook vaak om grotere landen met meer emissies dan Vlaanderen. Dit is ook consistent met de werkwijze die tot nu gehanteerd werd voor bepalen van marginale externe kosten per ton pollutant. Zo zijn de berekeningen in het EcoSense-Web gebaseerd op een verandering (daling) van 15 % van de totale emissies voor dat land in het referentiejaar (IER, 2009). Bovendien wordt in Jensen et al, 2008 aangetoond dat voor het Deense DEOM-model de keuze van het percentage emissiereductie weinig invloed heeft op de uiteindelijke marginale externe kost (voor primaire pollutanten).

Het verschil in externe kosten tussen beide scenario's moeten we vervolgens delen door het initiële verschil in emissies om een gemiddelde externe kost (GEK) per ton emissie te bekomen. We veronderstellen dat deze GEK bij benadering kan beschouwd worden als een MEK. Hierbij gaan we ervan uit dat de 20% emissiewijziging een plausibele keuze is om een marginale wijziging te benaderen.

Voor de simulatie van PM<sub>2,5</sub> van transport met het IFDM-RIO-model werd een vergelijking gemaakt met een situatie met en zonder emissies voor de drie onderscheiden types wegen en verkeer (stad, snelweg en platteland). Aangezien we hier enkel kijken naar wijzigingen in concentraties van primair fijn stof, kunnen we er vanuit gaan dat de concentratie-effecten lineair afnemen bij een lagere emissiewijziging. Primair fijn stof is immers niet-reactief.

### **2.2.2 Selectie van emissiescenario's**

We hebben kengetallen berekend voor emissies van de pollutanten PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en NMVOS. We voerden runs uit voor emissies vanuit hoge schouwen, lage schouwen en emissies specifiek van de transport sector, en voor de steekjaren 2007 en 2020. Voor de huidige toestand zijn berekeningen gedaan op basis van emissies voor het jaar 2006 en meteo voor het jaar 2007, wat als goede proxy wordt beschouwd. Dezelfde emissie- en meteo dataset werd gebruikt als deze voor het Referentiescenario 2007 en het Europa-scenario 2020 van de Milieuverkenning 2030.

De verschillende sectoren bevatten volgende deelcategorieën:

- Hoge schouwen: raffinaderijen + productie, transport en distributie van elektriciteit en warmte (incl. productie van splijt- en kweekstoffen)
- Lage schouwen: wegverkeer en huishoudens
- Transport:
  - wegverkeer
  - andere modi benaderend
  - afleiding van kengetallen voor niet-uitlaat emissies

Voor NO<sub>x</sub> berekenden we zowel de impacts die werken via secundaire fijn stof componenten als effecten uit ozon, terwijl voor SO<sub>2</sub> en NMVOS telkens slechts één van de twee concentratiepaden gevolgd werd (resp. fijn stof en ozon).

Om het belang van de evolutie van achtergrondwaarden voor de vorming van secundaire nitraat-aërsolen beter in te schatten, werden 2 extra runs uitgevoerd (met emissies voor de jaren 2010 en 2015) voor de sector 'lage schouwen'.

Voor PM<sub>2,5</sub> van transport deden we een run met RIO-IFDM. Voor de andere sectoren en alle andere pollutanten werd BelEUROS gebruikt voor de dispersiemodellering.

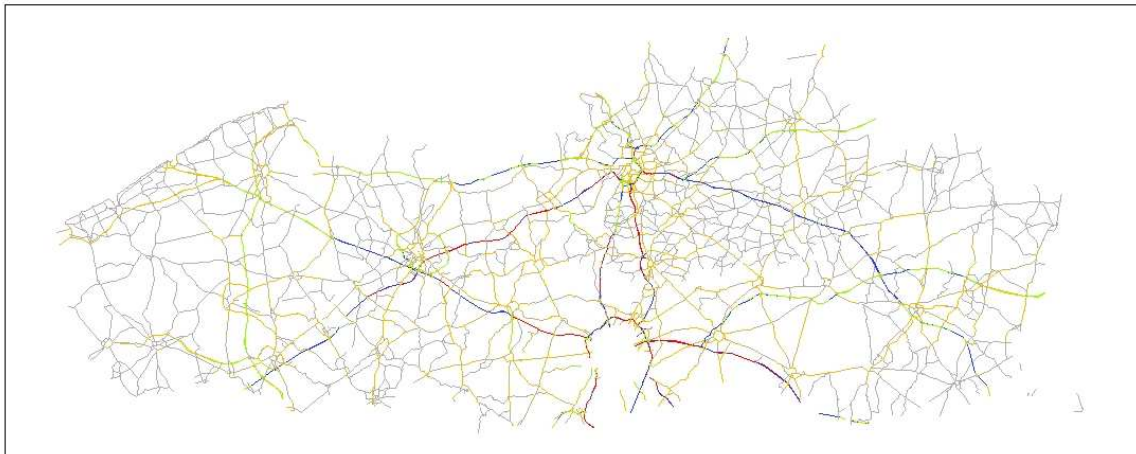
Emissieprognoses voor heel Europa zijn gebaseerd op deze van IIASA, met name NEC2007\_baseline\_current legislation en NEC6\_C&E Package\_OPTV5 voor 2010 en 2020: (beide uit het 6<sup>de</sup> NEC rapport).



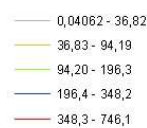
Tabel 4 geeft een overzicht van de uitgevoerde simulaties. Met 'concentraties PM' bedoelen we alle concentratiewaardes van primair PM<sub>2,5</sub>, primair PM<sub>coarse</sub>, fijn SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> en NH<sub>4</sub> (<2,5µm, hierna aangeduid met suffix '2.5') en grof SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> en NH<sub>4</sub> (2,5-10µm, hierna aangeduid met suffix '\_coa'). Elke "x" stemt overeen met een aparte modelrun. Voor elke run met verminderde emissies ten opzichte van de baseline worden de concentratieresultaten vergeleken met de baselineconcentraties, met het oog op het berekenen van een verschil in externe kosten.

Tabel 4: Overzicht van de uitgevoerde simulaties

| <i>emissies</i>                              | <i>sector</i>        | <i>concentraties PM</i> | <i>concentratie ozon</i> | <i>model</i>    |
|--|----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|
| <i>REF2007</i>                               | <i>baseline</i>      | <i>X</i>                | <i>x</i>                 | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -20% PM10 sector</i>              | <i>hoge schouwen</i> | <i>X</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -20% SO<sub>2</sub> sector</i>    | <i>hoge schouwen</i> | <i>X</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -20% NO<sub>x</sub> sector</i>    | <i>hoge schouwen</i> | <i>X</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -20% NO<sub>x</sub> sector</i>    | <i>hoge schouwen</i> |                         | <i>x</i>                 | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -20% NMVOS sector</i>             | <i>hoge schouwen</i> |                         | <i>x</i>                 | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -20% PM10 sector</i>              | <i>lage schouwen</i> | <i>X</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -20% SO<sub>2</sub> sector</i>    | <i>lage schouwen</i> | <i>X</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -20% NO<sub>x</sub> sector</i>    | <i>lage schouwen</i> | <i>X</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -20% NO<sub>x</sub> sector</i>    | <i>lage schouwen</i> |                         | <i>x</i>                 | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -20% NMVOS sector</i>             | <i>lage schouwen</i> |                         | <i>x</i>                 | <i>BelEUROS</i> |
| <i>REF2007 -100% PM<sub>2,5</sub> sector</i> | <i>wegtransport</i>  | <i>X</i>                |                          | <i>IFDM-RIO</i> |
| <i>EUR2010</i>                               | <i>baseline</i>      | <i>X</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2010 -20% NO<sub>x</sub> sector</i>    | <i>lage schouwen</i> | <i>X</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2015</i>                               | <i>baseline</i>      | <i>X</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2015 -20% NO<sub>x</sub> sector</i>    | <i>lage schouwen</i> | <i>x</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2020</i>                               | <i>baseline</i>      | <i>x</i>                | <i>x</i>                 | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2020 -20% SO<sub>2</sub> sector</i>    | <i>hoge schouwen</i> | <i>x</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2020 -20% NO<sub>x</sub> sector</i>    | <i>hoge schouwen</i> | <i>x</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2020 -20% NO<sub>x</sub> sector</i>    | <i>hoge schouwen</i> |                         | <i>x</i>                 | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2020 -20% SO<sub>2</sub> sector</i>    | <i>lage schouwen</i> | <i>x</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2020 -20% NO<sub>x</sub> sector</i>    | <i>lage schouwen</i> | <i>x</i>                |                          | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2020 -20% NO<sub>x</sub> sector</i>    | <i>lage schouwen</i> |                         | <i>x</i>                 | <i>BelEUROS</i> |
| <i>EUR2020 -20% NMVOS sector</i>             | <i>lage schouwen</i> |                         | <i>x</i>                 | <i>BelEUROS</i> |



PM emissies op wegen (2015 EUROPA)

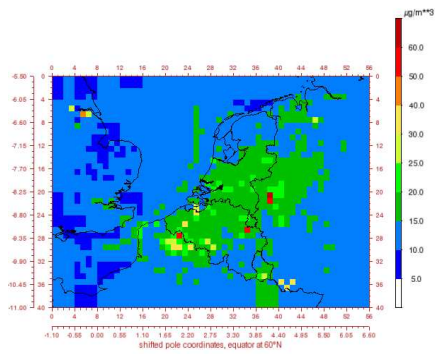


*Figuur 5: Illustratie van de input van emissiescenario's voor berekening van externe kosten van transport op verschillende wegen*

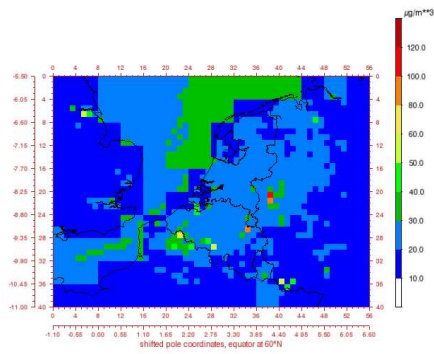
### 2.2.3 Berekening van verspreiding en blootstelling impacts

Door het gebruik van een verspreidingsmodel worden emissies (uitgedrukt in ton) omgerekend naar concentraties (uitgedrukt in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Dit zijn indicatoren voor de luchtkwaliteit. Voor elk scenario berekenen we zo een jaargemiddelde concentratie voor alle pollutanten, behalve ozon. In het laatste geval gebruiken we de SOMO35-indicator, welke enkel effecten kwantificeert wanneer de maximum dagelijkse ozonconcentratie (dagelijks 8-uursgemiddelde) boven de 35ppb (=  $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) uitstijgt. Voor die dagen wordt het verschil boven de  $70\mu\text{g}/\text{m}^3$  geaccumuleerd gedurende het ganse jaar. SOMO35 wordt uitgedrukt in  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{uren}$ . Voor de keuze van de verschillende indicatoren (jaargemiddelde, SOMO35) gaan we uit van de eenheden bepaald in de dosis-effect relaties uit NEEDS (2007).

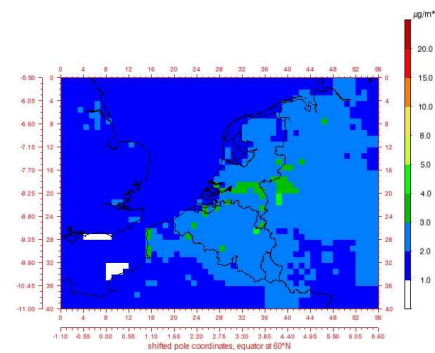
Hieronder geven we ter illustratie voorbeelden van de output van BeEUROS en van IFDM-RIO. Deze kaarten zijn als dusdanig moeilijk te interpreteren, maar geven wel een beeld van het soort informatie dat gebruikt wordt. Het BeEUROS-model werd gebruikt voor alle simulaties, buiten PM<sub>2,5</sub> van transport. Hieronder tonen we enkele BeEUROS-concentratiekaarten voor het baselinescenario in 2007. Merk op dat we beschikken over de totale concentraties PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, de secundaire aërosolen die tot deze fracties behoren (NH<sub>4</sub>\_2,5, NH<sub>4</sub>\_coa, NO<sub>3</sub>\_2,5, NO<sub>3</sub>\_coa, SO<sub>4</sub>\_2,5 en SO<sub>4</sub>\_coa) en ozon (hieronder niet afgebeeld). De concentratie PM<sub>2,5</sub> bevat dus zowel primair (d.i. niet-reactief) PM<sub>2,5</sub>, alsook NH<sub>4</sub>\_2,5, NO<sub>3</sub>\_2,5 en SO<sub>4</sub>\_2,5. En PM<sub>10</sub> bevat hier naast het primair PM<sub>10</sub> dus zowel de kleine (<2,5 $\mu\text{m}$ ) fractie secundaire aërosolen als de grovere fractie secundaire aërosolen (2,5-10 $\mu\text{m}$ ).



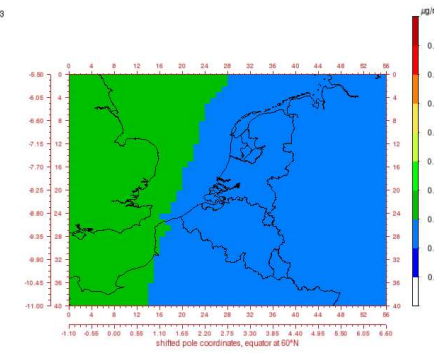
Concentratie PM<sub>2,5</sub>



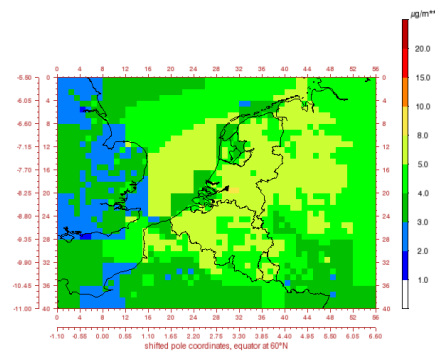
Concentratie PM<sub>10</sub>



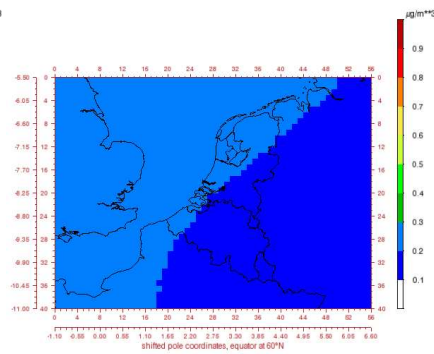
Concentratie NH<sub>4</sub><sub>2,5</sub>



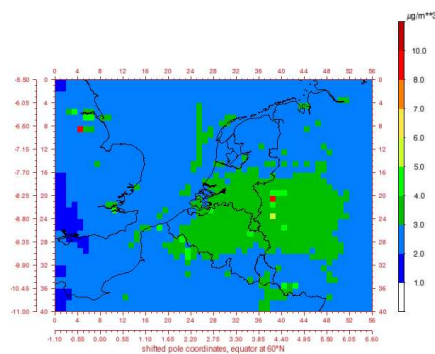
Concentratie NH<sub>4</sub><sub>coa</sub>



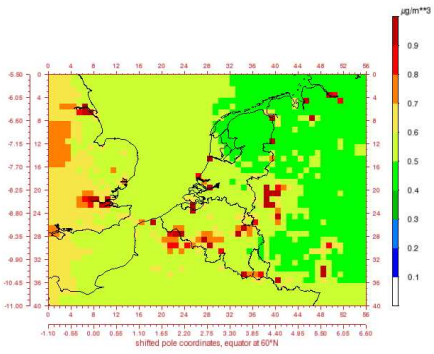
Concentratie NO<sub>3</sub><sub>2,5</sub>



Concentratie NO<sub>3</sub><sub>coa</sub>



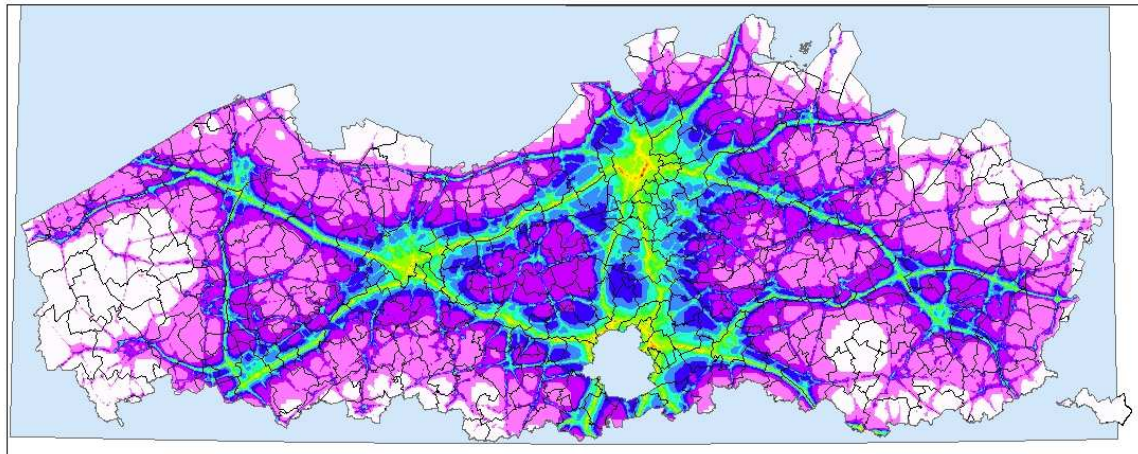
Concentratie SO<sub>4</sub><sub>2,5</sub>



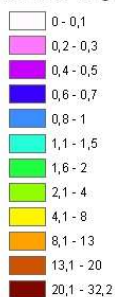
Concentratie SO<sub>4</sub><sub>coa</sub>

Bron: Vito, 2010

Figuur 6: Illustratie van de output van Beleuros voor verschillende pollutanten



PM10 concentratie door wegen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (2007)



*Figuur 7: Illustratie van de output van berekeningen voor verspreiding van emissies van wegen in Vlaanderen*

### **2.2.4 Berekening van impacts en hun monetaire waardering**

Aan de hand van de geactualiseerde DALY-calculator, een tool ontwikkeld binnen VITO en gebaseerd op het Ex-Daly model, werden externe kosten-factoren (ekf) geschat op elke concentratiepolluent. Deze geven het (lineaire) verband weer tussen een verhoging van de concentratie met  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor 100% van de bevolking binnen het beschouwde grid, en de totale externe kost. Deze ekf bevat dus impliciet alle gegevens i.v.m. impactberekening gezondheidseindpunten, bevolkingssamenstelling en monetarisering van de eindpunten. Let op, deze ekf verschilt voor eenzelfde concentratiepolluent wel naargelang het jaartal, juist omwille van de gewijzigde bevolkingssamenstelling.

Vervolgens vermenigvuldigen we voor alle scenario's de concentratiewaarde van elke polluent met hun respectievelijke ekf, om tot een externe kost te komen. Aan de hand van een verschil in emissies kunnen we dus ook een concentratieverschil berekenen tussen twee scenario's (waaronder één baseline), gevolgd door een verschil in externe kosten.

### **2.2.5 Berekening van kengetallen voor externe kosten per ton poll**

In een laatste fase wordt het verschil in externe kosten gedeeld door het initiële emissieverschil, om tot een (bij benadering) marginale externe kost te komen, uitgedrukt in een hoeveelheid euro per ton emissie.

## **2.3 Benaderende inschatting voor spoor, water en canyoneffect**

### **2.3.1 Afleiden van kengetallen voor spoorverkeer en waterwegen**

Voor transport hebben we voor wegverkeer gedetailleerde analyses gemaakt op basis van de emissies gelokaliseerd op specifieke wegen: snelwegen, gewestelijke wegen in de stad, en platteland (andere wegen buiten stad en snelweg).

Voor andere modi (spoor en waterwegen) was dergelijk soort gedetailleerde emissiegegevens voor het geheel van de trajecten voor die modus niet beschikbaar. We hebben daarom een schatting gemaakt op basis van de analyse van de bevolkingsconcentraties in de nabijheid van enkele belangrijke trajecten.

De bevolkingsdichtheden rond belangrijke binnenwateren (500m en 1500m) zijn van dezelfde orde grootte als deze rond belangrijke snelwegen. Het is dus vanzelfsprekend om hier het cijfer voor snelwegen te gebruiken. Voor spoorverbindingen vonden we hogere bevolkingsdichtheden, zeker op korte afstand (500m). Een toepassing van de snelwegcijfers zou hier wellicht een onderschatting zijn. Daarom besluiten we om voor spoor het resultaat voor lage schouwen te gebruiken.

### **2.3.2 Vereenvoudigde aanpak voor verrekening van het canyon-effect**

Tot slot werd voor deze studie een procedure uitgewerkt om rekening te houden met het canyon effect. Dit effect heeft betrekking op smalle straten met hoge bebouwing, waardoor vervuiling door primaire emissies of opwaaiend stof langer blijft hangen. Het is onmogelijk om binnen het bestek van deze studies een groot aantal straten in detail te modelleren om dit effect te begroten. Daarom zijn er hiervoor geen specifieke modelruns gebeurd. Wel zijn de resultaten van meer gedetailleerde studies in het kader van Mobilee Antwerpen gebruikt (Van Poppel et al., 2009). In deze studies zijn voor enkele specifieke straten in Antwerpen de extra verhoging van concentraties berekend als gevolg van het canyon effect.

Uit Van Poppel et al. (2009) weten we dat in een Antwerpse street canyon de concentraties gemiddeld zo'n  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hoger liggen dan buiten de canyon. Indien we veronderstellen dat canyons alleen kunnen voorkomen in metropoolgebieden en het aantal metropoolkilometers afgelegd in Vlaanderen 11,91% is van de totale urbane kilometers (schatting op basis van gegevens in FOD Mobiliteit, 2008), weten we bijna hoeveel extra primair fijn stof er voor elk verschilniveau in rekening moet worden gebracht. We moeten enkel nog een veronderstelling maken omtrent de bevolkingsdichtheid in street canyons. Hiervoor gaan we uit van een bevolkingsdichtheid in de canyon die een factor 5 groter is dan in een metropool-niet-canyon gebied. De resulterende marginale externe kosten voor urbane wegen (enkel binnenland) stijgen slechts met 0,51% t.o.v. de MEK berekend zonder canyon effect (ca. 380kEUR, zie hieronder).

Deze procentuele verhoging van de concentraties is gebruikt om dit effect te begroten. Omdat we op basis van deze informatie mogen afleiden dat dit effect op het geheel van externe kosten relatief beperkt is, is deze vereenvoudigde aanpak verantwoord.

We moeten hierbij wel opmerken dat het canyon effect mogelijk belangrijker is voor opwaaiend stof en niet-uitlaat emissies. Deze specifieke problematiek kon in het kader van deze studie niet verder uitgewerkt worden.

### 3 Resultaten externe kosten gezondheid

In dit overzicht geven we een overzicht van de resultaten uit de berekeningen van externe kosten op volksgezondheid voor emissies naar lucht in Vlaanderen. De methodes, modellen en aannames zijn besproken in hoofdstuk 2. Deze resultaten zijn niet de totale externe kosten van deze polluenten, maar zijn wel een heel belangrijk onderdeel van de externe kosten, en vormen het voornaamste onderwerp van de studie naar de actualisatie van de kengetallen. Daarom worden deze resultaten apart en in detail besproken. In hoofdstuk 4 worden de andere impacts besproken en in hoofdstuk 5 worden totale externe kosten per polluent gerapporteerd.

We bespreken eerst de verschillende uitkomsten van de modelberekeningen. In de discussie aan het einde van dit hoofdstuk gaan we dieper in op sommige resultaten, en wat de gevolgen zijn voor het afleiden van kengetallen voor externe kosten en gebruik van deze kengetallen.

#### 3.1 Overzicht

Hierna geven we een overzicht van de marginale externe kosten voor emissies van PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>coa</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> via PM, NO<sub>x</sub> via ozon en NMVOS. PM<sub>coa</sub> omvat de coarse-fractie van PM<sub>10</sub>, d.w.z. de fijn stof deeltjes met een aërodynamische diameter tussen 2,5 en 10µm. We bekijken hier dus eerder PM<sub>coa</sub> dan PM<sub>10</sub> als geheel, omdat een waardering van de laatste ook een impliciete kennis inhoudt van de massa PM<sub>2,5</sub>. Om dubbeltellingen te vermijden is het dus best om de fijne en de coarse-fractie afzonderlijk te behandelen. Voor de volledigheid vermelden we ook de cijfers voor PM<sub>10</sub>, maar deze gelden in principe enkel voor de verhoudingen PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> zoals ze in onze modellen zijn gesimuleerd.

Deze benadering is consistent met deze uit MIRA voor berekening effecten op volksgezondheid en met de werkwijze in EcoSense Web 2010. In tegenstelling tot vroeger worden er daarom geen Europese kengetallen meer geproduceerd voor externe kosten van PM 10.

Voor elk van de polluenten maken we een onderscheid tussen externe kosten binnen Vlaanderen enerzijds en voor de buurregio's anderzijds. Verder wordt voor elk steekjaar het resultaat getoond en besproken.

Voor PM<sub>2,5</sub> gebruikten we enerzijds de RIO-IFDM modelketen voor effecten van wegtransport (stad, snelwegen, platteland). Het luchtkwaliteitsmodel BelEUROS werd gehanteerd om impacts via hoge en lage schouwen te simuleren. Voor binnenvaart en spoor werden geen afzonderlijke runs gedaan.

Merk op dat de impacts van PM<sub>2,5</sub> van verkeer, zoals berekend met RIO-IFDM, enkel de binnenlandse effecten bevatten. Hier worden dus enkel de effecten van Vlaamse emissies op Vlaams grondgebied in rekening gebracht (dus niet de effecten op de gebieden buiten Vlaanderen). Impacts van Vlaams verkeer op het buitenland worden daarom geacht even groot te zijn als de buitenlandse impacts van lage schouwen.

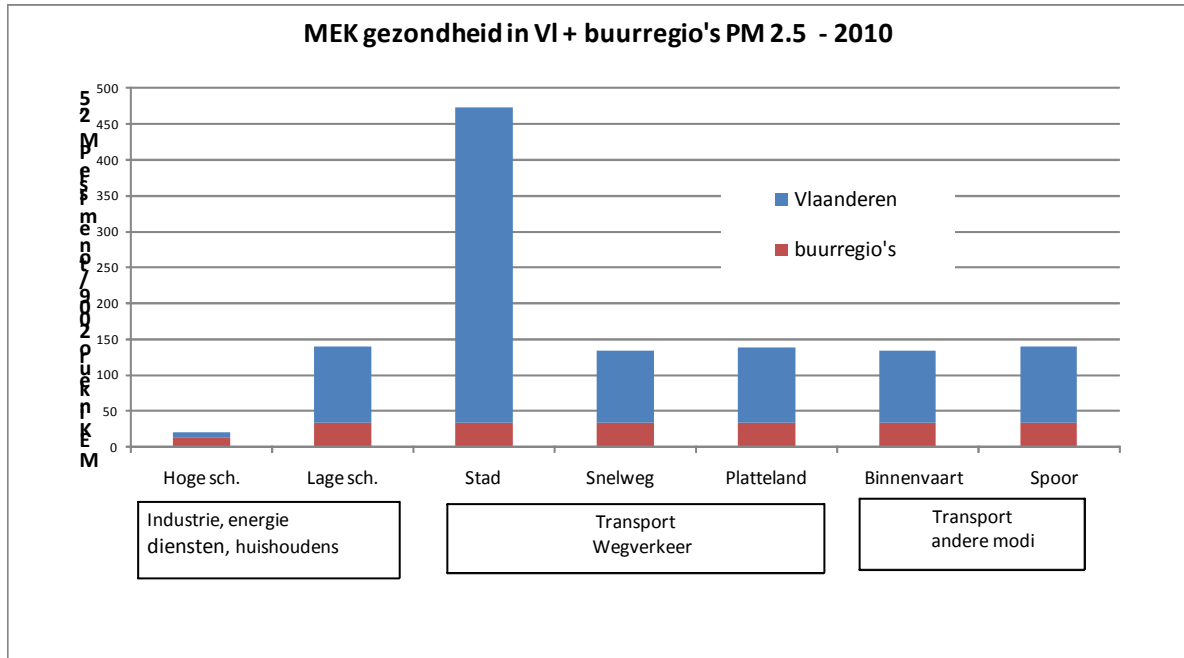
#### 3.2 MEK gezondheidseffecten primair emissies van fijn stof

##### 3.2.1 MEK van gezondheidseffecten van emissies van PM 2,5

###### 3.2.1.1 Externe kosten voor huidige situatie (2010)

Tabel 5 en figuur 8 geven een overzicht van de resultaten voor PM 2,5, die variëren van 20 keuro/ton emissie voor hoge schouwen tot bijna 465 keuro/ton emissie voor wegverkeer in de stad. De verschillen tussen hoge en lage schouwen en transport in de stad illustreren het belang om dit onderscheid te maken. Hierbij zijn emissies van transportsector (laag bij de grond) van gelijke orde van grootte als deze van lage schouwen, met uitzondering van wegverkeer in de steden. Impacts van hoge schouwen zijn veel lager, vooral in Vlaanderen. We moeten hierbij opmerken dat de impacts buiten de buurregio's voor hoge schouwen wel iets hoger zijn dan voor lage schouwen (zie verder, hoofdstuk 4).

Het is logisch en consistent met vroeger onderzoek dat de MEK van transport in de stad veel hoger ligt, omdat emissies laag bij de grond in gebieden met een hogere bevolkingsdichtheid aanleiding geeft tot hogere impacts. Dit is echter de eerste keer dat dit wordt berekend voor het geheel van transport in de stad voor alle 13 centrumsteden. Externe kosten van verkeer op de snelweg en platteland zijn van zelfde orde van grootte. Dat externe kosten van binnenvaart gelijk zijn aan deze van snelwegen en deze van spoor gelijk aan lage schouwen volgt niet uit gedetailleerde berekeningen maar uit aannames (gebaseerd op vergelijkingen van bevolkingsdichtheden (zie hoofdstuk 2).



*Figuur 8: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM 2.5 voor verschillende sectoren, voor de huidige situatie (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie)*

Voor transport en lage schouwen is het grootste aandeel van de impact logischerwijze binnen Vlaanderen (van 75 tot 95 %). Omdat hoge schouw-emissies verder verspreid worden zijn impacts buiten Vlaanderen hoger dan deze in Vlaanderen.



Tabel 5: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM 2.5 voor verschillende sectoren, voor de huidige situatie (in keuro 2009/ton emissie)

| Emissies in 2010   | Externe kosten in kEuro/ton |            |             | Aandeel %  |             |
|--|-----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
|  | Subtotaal                   | Vlaanderen | buurregio's | Vlaanderen | buurregio's |
|  | Subtotaal MEK               | Vlaanderen | buurregio's | Vlaanderen | buurregio's |
|  | (1)                         | (2)        | (3)         | (4)        | (5)         |
| <i>Energiesector, industrie, diensten en huishoudens</i> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | 19,6                        | 6,9        | 12,7        | 35%        | 65%         |
| Lage schouwen  | 139,6                       | 105,9      | 33,7        | 76%        | 24%         |
| <i>Transport</i>   |                             |            |             |            |             |
| <i>Wegtransport</i>                                      |                             |            |             |            |             |
| Stad (a)   | 473,9                       | 440,2      | 33,7        | 93%        | 7%          |
| Snelweg  | 134,2                       | 100,5      | 33,7        | 75%        | 25%         |
| Platteland (b)   | 138,6                       | 104,9      | 33,7        | 76%        | 24%         |
| Binnenvaart  | 134,2                       | 100,5      | 33,7        | 75%        | 25%         |
| Spoor  | 139,6                       | 105,9      | 33,7        | 76%        | 24%         |

(1)= MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor omschrijving buurregio's, zie figuur 3 )

(4) = (2) / (1)

(5) = (3) / (1)

(a) = wegverkeer in centrumsteden

(b) = wegverkeer behalve verkeer in centrumsteden en op snelwegen

### 3.2.1.2 Externe kosten voor situatie 2020

Tabel 6 geeft een overzicht van de evolutie van deze externe kosten voor het zichtjaar 2020. Zoals in hoofdstuk 2 uitgewerkt verwachten we dat externe kosten in de toekomst zullen stijgen als gevolg van 3 onderscheiden ontwikkelingen rond achtergrondconcentraties, demografie en aanpassing waardering aan stijgende inkomens. Het relatief belang van deze elementen wordt aangetoond in tabel 6.

- Verandering in achtergrondconcentraties hebben geen invloed voor externe kosten van primair fijn stof, omdat deze pollutanten niet reactief zijn en omdat dosis-effect relaties lineair zijn.
- Demografie: omwille van bevolkinggroei en vergrijzing stijgen impacts op volksgezondheid tussen 2010 en 2020 met 6.6 %. Dit effect is hetzelfde voor alle sectoren, omdat we aannemen dat deze evolutie zich op dezelfde wijze op alle plaatsen in Vlaanderen voordoet. Omdat we aannemen dat deze evolutie ook geldt voor de buurlanden stijgen impacts in buurregio's in dezelfde mate.
- We nemen aan dat hogere inkomens per capita (als gevolg van economische groei) leiden tot een hogere monetaire waardering van de impacts (zie paragraaf 2.1.6). Door de groei van koopkracht stijgen de externe kosten tussen 2010 en 2020 met 16 %. Merk op dat deze stijging niet het gevolg is van inflatie, en externe kosten voor 2020 ook zijn uitgedrukt in het prijsniveau van 2009.

Samen genomen stijgen de externe kosten voor PM 2,5 tussen 2010 en 2020 met 23,8% , en in gelijke mate voor alle deelfracties van primair fijn stof. De aannames voor effecten van groei koopkracht op waardering zijn hierbij de belangrijkste component.



Tabel 6: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM 2.5 voor verschillende sectoren, voor zichtjaar 2020 (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie)

| Emissies in 2020 | Externe kosten in kEuro/ton : |       | Stijging t.o.v. 2010 als gevolg van |                   |                   |
|------------------|-------------------------------|-------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                  | 2010                          | 2020  | Effect achtergrondconc.             | Effect demografie | Hogere koopkracht |
|                  | (1)                           | (2)   | (3)                                 | (4)               | (5)               |
| Hoge schouwen    | 19,6                          | 24,2  | 0%                                  | 6,6%              | 16%               |
| Lage schouwen    | 139,6                         | 172,8 | 0%                                  | 6,6%              | 16%               |
| Transport        |                               |       |                                     |                   |                   |
| Wegtransport     |                               |       |                                     |                   |                   |
| Stad (a)         | 473,9                         | 586,5 | 0%                                  | 6,6%              | 16%               |
| Snelweg          | 134,2                         | 166,1 | 0%                                  | 6,6%              | 16%               |
| Platteland (b)   | 138,6                         | 171,6 | 0%                                  | 6,6%              | 16%               |
| Binnenvaart      | 134,2                         | 166,1 | 0%                                  | 6,6%              | 16%               |
| Spoor            | 139,6                         | 172,8 | 0%                                  | 6,6%              | 16%               |

(1)= MEK voor 2010, in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie, zie tabel 5

(2) MEK voor 2020, in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie

(3) % stijging in 2020 t.o.v. 2010 als gevolg van gewijzigde achtergrondconcentraties

(4) idem, als gevolg bevolkingsgroei en vergrijzing

(5) idem, als gevolg aanpassing waardering aan stijging koopkracht tussen 2010-2020

(a) = wegverkeer in centrumsteden

(b) = wegverkeer behalve verkeer in centrumsteden en op snelwegen

### 3.2.2 MEK van gezondheidseffecten van emissies PM<sub>coarse</sub>

PM<sub>coarse</sub> (PM<sub>coarse</sub>) omvat de coarse-fractie van PM<sub>10</sub>, d.w.z. de fijn stof deeltjes met een aërodynamische diameter tussen 2,5 en 10µm. Voor PM<sub>coarse</sub> hebben we cijfers berekend voor hoge en lage schouwen.

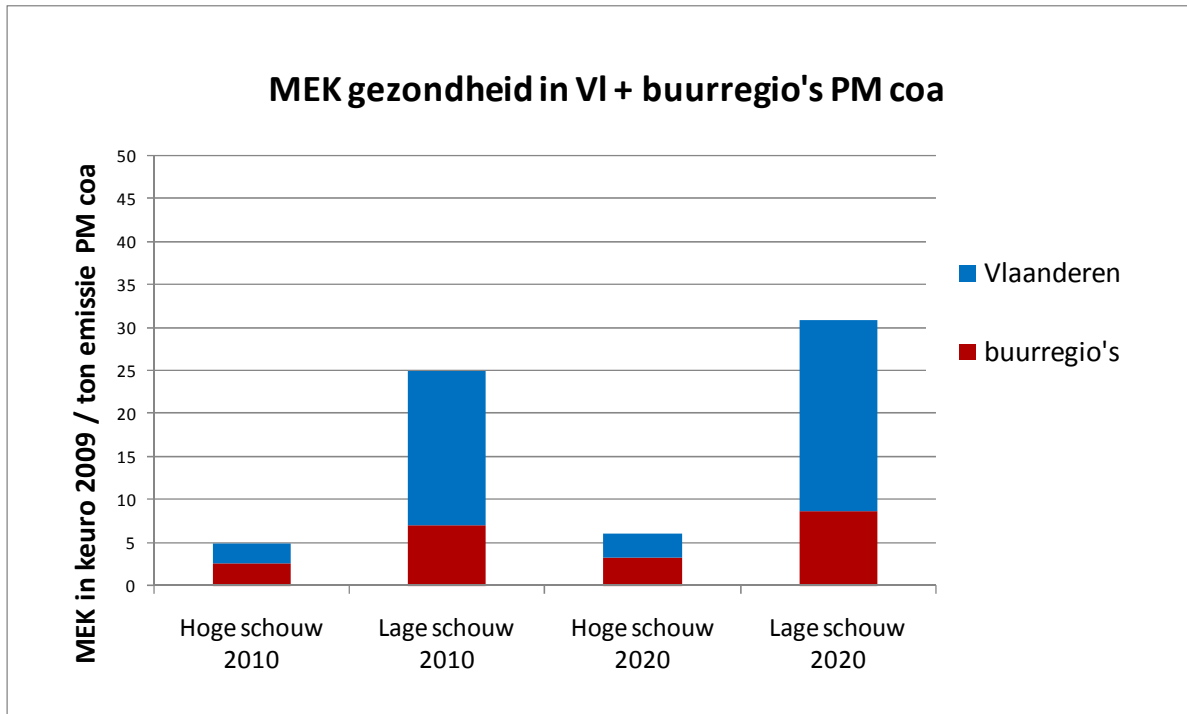
Tabel 7 toont dat de externe kost varieert van 5 tot 25 kEuro/ton emissie, respectievelijk voor hoge en lage schouwen (emissies in 2010). Het is logisch en consistent met de literatuur dat per ton emissie de impacts van PM<sub>coarse</sub> lager zijn dan deze van PM 2.5 omdat het andere gezondheidsimpacts betreft (zie hoofdstuk 2).

Ook hier merken we dat bij lage schouwen het grootste deel van de impact plaatsvindt binnen België, terwijl we voor hoge schouwen juist het omgekeerde zien.

Net als voor PM 2.5 stijgen de externe kosten in 2020 als gevolg van demografische evolutie en aanpassing waardering aan verwachte stijging koopkracht. Alle kengetallen voor PM<sub>coarse</sub> zijn hierdoor 23,8 % hoger in 2020 in vergelijking tot 2010.

Omdat voor transportsector PM 2.5 veruit de belangrijkste bron is van primair fijn stof, en het aantal berekeningen beperkt was, hebben we geen aparte berekeningen gedaan voor PM<sub>coarse</sub> emissies uit de transportsector. De cijfers voor lage schouwen zijn tevens het kengetal voor PM<sub>coarse</sub> emissies uit de transportsector. We kunnen dit doen omdat in de run voor lage schouwen enkel emissies van huishoudens en wegverkeer zijn veranderd. Nu is voor huishoudens de emissie van PM<sub>coarse</sub> nagenoeg onbestaande (slechts een fractie PM<sub>coarse</sub> afkomstig van stook met hout of kolen (Schrooten & Van Rompaey, 2002)). We mogen dus stellen dat:

$$MEK(\text{PM}_{\text{coarse}} \text{ wegtransport}) \approx MEK(\text{PM}_{\text{coarse}} \text{ lage schouwen})$$



Figuur 9: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM coarse (in keuro 2009/ton emissie)

Tabel 7: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM coa voor hoge en lage schouwen, voor 2010 en 2020 (in keuro 2009/ton emissie)

|                                | Externe kosten in kEuro/ton |            |             | Aandeel %  |             |
|--------------------------------|-----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
|                                | Subtotaal                   | Vlaanderen | buurregio's | Vlaanderen | buurregio's |
|                                | (1)                         | (2)        | (3)         | (4)        | (5)         |
| <b>Emissies PM coa in 2010</b> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen                  | 4,9                         | 2,4        | 2,5         | 45%        | 55%         |
| Lage schouwen (6)              | 24,9                        | 17,9       | 7,0         | 72%        | 28%         |
| <b>Emissies PMcoa in 2020</b>  |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen                  | 6,1                         | 2,9        | 3,1         | 45%        | 55%         |
| Lage schouwen (6)              | 30,8                        | 22,1       | 8,6         | 72%        | 28%         |

(1)= MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor omschrijving buurregio's (zie figuur 3 )

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor def buurregio's, zie figuur 3 )

(4) = (2) / (1)

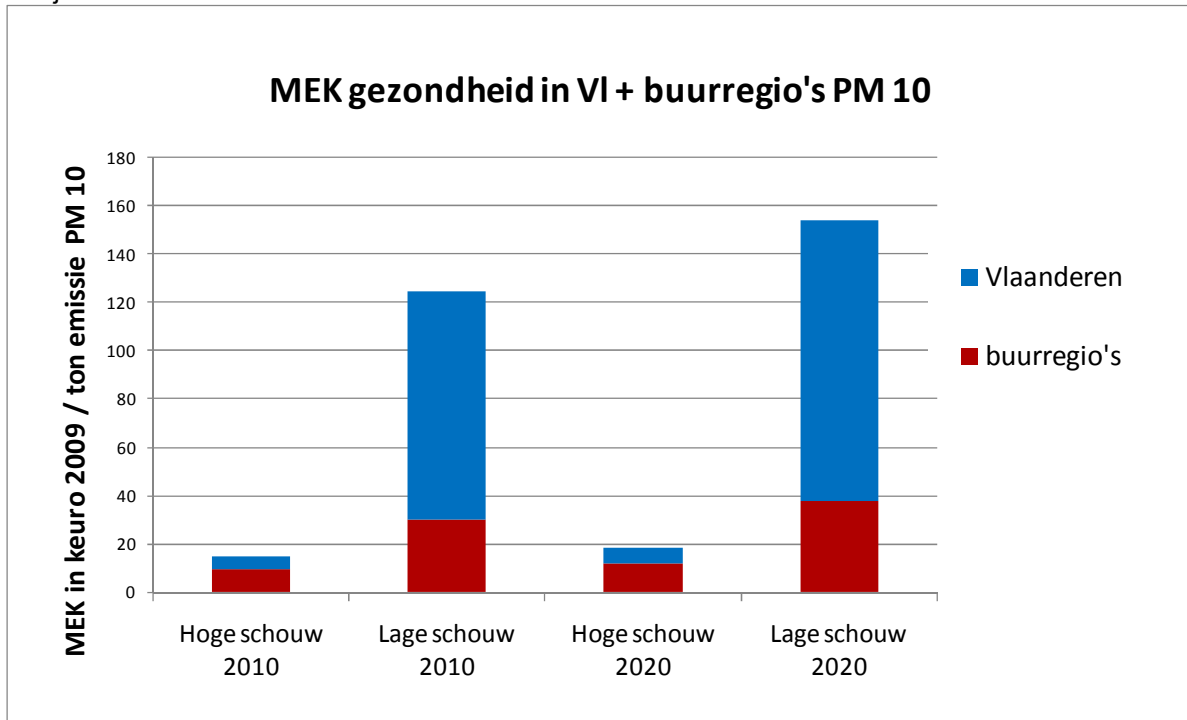
(5) = (3) / (1)

(6) lage schouwen + emissies uit de transportsector

### 3.2.3 MEK van gezondheidseffecten van emissies van PM 10

PM10 bestaat uit een aandeel PM 2,5 en een aandeel PM coa (2,5 – 10) en de externe kosten van PM 10 hangen af sterk af van het aandeel PM 2,5 in PM10. Het kengetal voor MEK van PM10 in tabel 8 is indicatief want het weerspiegelt dit aandeel van PM 2,5 in PM 10 voor de berekende emissiescenario's. Het is daarom aangeraden om de externe kost voor PM 10 te berekenen in functie van de aandelen PM 2,5 en PMcoa.

Logischerwijs situeert de geobserveerde MEK van PM10 zich tussen die van PMco<sub>a</sub> en PM<sub>2,5</sub> (de exacte positie hangt af van het aandeel PM<sub>2,5</sub> in PM10). In dit geval ligt de MEK op 15keuro en 125 keuro voor respectievelijk hoge en lage schouwen. De lage schouwen hebben ook hier weer het grootste deel van hun impact binnen Vlaanderen, terwijl dit voor de hoge schouwen net omgekeerd is. De stijgende trend tussen 2010 en 2020 is afkomstig van de bevolkingsgroei en de evolutie over de leeftijdsklassen.



Figuur 10: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM10 (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie)

Verder moet men opletten voor mogelijke dubbeltellingen indien men gegevens heeft over PM<sub>2,5</sub> of PM co<sub>a</sub> en over PM10. Als men voor eenzelfde bron emissiefactoren heeft voor PM<sub>2,5</sub> en voor PMco<sub>a</sub> dan kan men voor beide externe kosten berekenen aan de hand van onze kengetallen en de externe kosten van deze twee pollutanten optellen zonder gevaar voor dubbeltellingen.

Als men voor eenzelfde bron emissiefactoren heeft voor PM<sub>2,5</sub> en voor PM10 dan is er gevaar voor dubbeltellingen. Als de emissies van PM10 ook deze van PM<sub>2,5</sub> bevatten, moet men de PM<sub>2,5</sub> emissies aftrekken van de PM10 emissies. Op deze wijze bekomt men een set van emissies van PM<sub>2,5</sub> en PMco<sub>a</sub> waarvan men de externe kosten wel kan optellen.

Als men voor eenzelfde bron emissiefactoren heeft voor PMco<sub>a</sub> en voor PM10 dan is er gevaar voor dubbeltellingen. Als de emissies van PM10 ook deze van PMco<sub>a</sub> bevatten, moet men de PMco<sub>a</sub> emissies aftrekken van de PM10 emissies. Op deze wijze bekomt men een set van emissies van PM<sub>2,5</sub> en PMco<sub>a</sub> waarvan men de externe kosten wel kan optellen.

Tabel 8: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van PM 10 voor hoge en lage schouwen, voor 2010 en 2020 (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie)

|                                   | Externe kosten in kEuro/ton |            |             | Aandeel %  |             |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
|                                   | Subtotaal                   | Vlaanderen | buurregio's | Vlaanderen | buurregio's |
|                                   | Subtotaal<br>MEK            | Vlaanderen | buurregio's | Vlaanderen | buurregio's |
|                                   | (1)                         | (2)        | (3)         | (4)        | (5)         |
| <b>Emissies PM 10 in 2010 (a)</b> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen                     | 15,0                        | 5,5        | 9,5         | 37%        | 63%         |
| Lage schouwen (6)                 | 124,5                       | 94,3       | 30,2        | 76%        | 24%         |
| <b>Emissies PM 10 in 2020 (a)</b> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen                     | 18,6                        | 6,8        | 11,8        | 37%        | 63%         |
| Lage schouwen (6)                 | 154,1                       | 116,7      | 37,4        | 76%        | 24%         |

(1)= MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor omschrijving buurregio's, zie figuur 3 )

(4) = (2) / (1)

(5) = (3) / (1)

(6) lage schouwen + emissies uit de transportsector

(a) gebaseerd op het aandeel PM 2.5 in PM 10 op basis van gebruikte emissiescenario's

### 3.2.4 MEK van gezondheidseffecten van niet-uitlaat PM emissies transport

De transportsector zorgt naast uitlaatemissies ook voor niet-uitlaat emissies. Voor wegverkeer denken we aan fijn stofdeeltjes afkomstig van remmen, wegdek, resuspensie en banden, terwijl spoorverkeer zorgt voor niet-uitlaatemissies van rails en wielen. De niet-uitlaatfractie is qua grootte gedeeltelijk onder te brengen bij PM<sub>2,5</sub> en bij PM<sub>co</sub>.

Op basis van ExternE-Needs en verder literatuuronderzoek nemen we aan dat de blootstelling aan niet-uitlaatemissies dezelfde gezondheidseffecten genereert dan voor uitlaatemissies. Dit is uitvoeriger besproken in paragraaf 2.1.5. Ook voor spreiding en blootstelling nemen we aan dat berekeningen voor uitlaat-emissies ook toepasbaar zijn voor inschatten MEK van niet-uitlaat emissies. Verder onderzoek naar verspreiding en de schadelijkheid van niet-uitlaat ten opzichte van uitlaatemissies is hier gewenst, maar valt buiten het bestek van deze studie.

Concreet betekent dit dus dat we voor niet-uitlaat PM<sub>2,5</sub>-emissies van wegverkeer kunnen terugvallen op het resultaat uit IFDM-RIO, opgesplitst voor de drie wegtypes, waarvoor we zowel binnen- als buitenlandse effecten meenemen.

Voor niet-uitlaat PM<sub>2,5</sub>-emissies van spoorverkeer nemen we om dezelfde reden het uitlaatacijfer voor spoorverkeer over.

### 3.3 MEK gezondheidseffecten fijn stof precursoren SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>

De emissies van fijn stof precursoren SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> geven aanleiding tot de vorming van secundair fijn stof (sulfaat en nitraat aërosolen). Op basis van ExternE-Needs worden de gezondheidsimpacts van blootstelling aan dit secundair fijn stof op gelijke wijze geschat als blootstelling aan primair fijn stof (zie ook paragraaf 2.1.5). Noteer verder dat, in tegenstelling tot vroeger (ExternE 2000), er geen dosis-effect relaties weerhouden zijn voor impacts van concentraties van SO<sub>2</sub> op gezondheid.

Voor emissies van NO<sub>x</sub> maken we een onderscheid tussen effecten als gevolg van bijdrage aan vorming van secundair fijn stof en aan vorming van ozon. Het is aanbevolen om hierin een onderscheid te maken, omdat beide effecten over het algemeen een tegengesteld teken hebben en het netto effect de effecten op individuele pollutanten kunnen maskeren. We geven eerst de resultaten voor emissies van SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>, en bespreken deze resultaten nadien in meer detail.

In tegenstelling tot primair fijn stof worden voor secundaire pollutanten geen aparte verspreidingsberekeningen gemaakt voor de transportsector. Secundaire pollutanten worden gevormd op een langere afstand van de bron en zij worden gemodelleerd met het Beleuros model op een – in verhouding met PM 2,5 – ruwer grid. Conform de literatuur en ExternE methode hanteren we hier dus de kengetallen voor emissies uit lage schouwen ook voor de transportsector (Bickel et al, 1999; 2001).

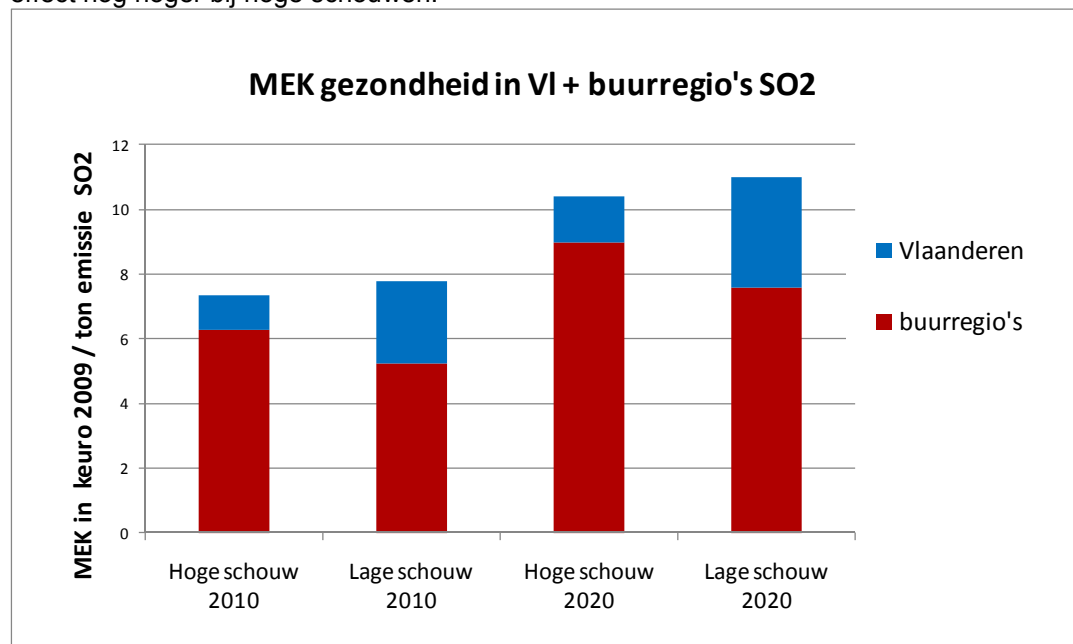
In tegenstelling tot EcoSense web hebben we geen effecten van emissies van NMVOS op secundair stof berekend. Emissies van NMVOS kunnen in principe ook bijdragen aan de vorming van secundair organisch fijn stof maar de modellering hiervan staat in verhouding nog in zijn kinderschoenen en er zijn geen direct bruikbare modellen voorhanden om dat element mee te nemen met dezelfde graad van nauwkeurigheid als voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>.

### 3.3.1 MEK gezondheidseffecten emissies van SO<sub>2</sub>

#### 3.3.1.1 Kengetallen voor MEK voor SO<sub>2</sub> emissies

Omdat we verwachten dat de impacts van emissies op concentraties van secundair fijn stof afhankelijk zijn van de achtergrondconcentraties is er naast een berekening met achtergrondconcentraties voor 2007 ook een aparte modelberekening gedaan voor 2020. De wijziging in achtergrondconcentraties is afkomstig van de verwachte evolutie in emissies in Vlaanderen en heel Europa in de periode 2007 tem. 2020 (Milieuverkenning 2030). De cijfers voor huidige toestand (2010) in tabel 9 zijn gebaseerd op een lineaire interpolatie tussen resultaten van berekeningen met achtergrondconcentraties voor 2007 en 2010.

De MEK van SO<sub>2</sub> via fijn stof schommelen voor 2010 rond de 7 keuro 2009/ton emissie SO<sub>2</sub> (tabel 9). De MEK van lage schouwen zijn iets hoger dan voor hoge schouwen maar het verschil is veel minder uitgesproken dan voor emissies van primair fijn stof. Het aandeel van de impacts binnen Vlaanderen is veel kleiner dan in de buurregio's. Dit is te verklaren omdat de vorming van secundaire fijn stof op iets langere afstand gebeurt. Omdat emissies uit hoge schouwen zich sneller verder verspreiden is dit effect nog hoger bij hoge schouwen.



Figuur 11: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van SO<sub>2</sub> (in keuro 2009/ton emissie)

Tabel 9: Marginale externe gezondheidskosten via fijn stof van emissies van SO<sub>2</sub> (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie)

|  | Externe kosten in kEuro/ton |            |             | Aandeel %  |             |
|--|-----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
|  | Subtotaal                   | Vlaanderen | buurregio's | Vlaanderen | buurregio's |
|  | (1)                         | (2)        | (3)         | (4)        | (5)         |
| <i>Emissies SO<sub>2</sub> bij achtergrondconcentraties 2007 (7)</i> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | 6,8                         | 1,0        | 5,8         | 15%        | 85%         |
| Lage schouwen (6)  | 7,2                         | 2,4        | 4,8         | 33%        | 67%         |
| <i>Emissies SO<sub>2</sub> bij achtergrondconcentraties 2010 (8)</i> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | 7,3                         | 1,0        | 6,3         | 14%        | 86%         |
| Lage schouwen (6)  | 7,8                         | 2,5        | 5,2         | 33%        | 67%         |
| <i>Emissies SO<sub>2</sub> in 2020</i>                               |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | 10,4                        | 1,4        | 9,0         | 14%        | 86%         |
| Lage schouwen (6)  | 11,0                        | 3,4        | 7,6         | 31%        | 69%         |

(1)= MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor omschrijving buurregio's, zie figuur 3 )

(4) = (2) / (1)

(5) = (3) / (1)

(6) lage schouwen + emissies uit de transportsector

(7) 2007 = achtergrondconcentraties en bevolking 2007, waardering 2010

(8) achtergrondconcentraties 2010 op basis interpolatie 2007-2020

### 3.3.1.2 Factoren die bijdragen aan stijging MEK voor 2020

De MEK voor 2020 zijn iets meer dan de helft hoger dan deze voor 2010, en dit illustreert het relatieve belang van gewijzigde achtergrondconcentraties in 2020. Tabel 10 geeft de elementen aan die bijdragen aan deze evolutie, uitgedrukt in %. Omdat er weinig verschil is tussen hoge en lage schouwen hebben we het gemiddelde van beide schouwen genomen. Tabel 10 toont dat voor SO<sub>2</sub> de wijziging in achtergrondconcentraties de externe kosten tussen 2010 en 2020 met 17 % stijgen, en dat deze stijging groter is voor effecten in de buurregio's dan in Vlaanderen. Dit betekent dat rekening houdend met het toekomstige niveau van de emissies in Vlaanderen en (vooral) in de rest van Europa de uitstoot van één ton SO<sub>2</sub> meer aanleiding zal geven tot de vorming van secundair fijn stof omdat de omzetting efficiënter zal gebeuren. De effecten van demografie (+ 7 %) en aanpassing waardering aan de koopkracht (+ 16 %) zijn gelijk aan deze voor primair fijn stof.

Tabel 10: Bijdragen van verschillende factoren aan de groei van externe kosten van SO<sub>2</sub> via fijn stof van 2007 tot 2020 (stijging in % t.o.v. referentiejaar )

|   | Subtotaal  | Vlaanderen | buurregio's |
|---|------------|------------|-------------|
| Effect van :  | (1)        | (2)        | (3)         |
| <i>verandering achtergrondconcentraties</i>             |            |            |             |
| Evolutie 2007-2010                                      | 5,4%       | 3,4%       | 6,0%        |
| Evolutie 2010-2020                                      | 16,8%      | 11,6%      | 18,4%       |
| Evolutie demografie 2010-2020                           | 6,6%       | 6,6%       | 6,6%        |
| Aanpassing waardering aan stijging koopkracht 1020-2020 | 16,1%      | 16,1%      | 16,1%       |
| <b>Totaal effect 2010-2020</b>                          | <b>42%</b> | <b>35%</b> | <b>44%</b>  |

op basis gemiddelde voor hoge en lage schouwen

(1)= MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor omschrijving buurregio's, zie fig. 3)

### 3.3.1.3 Nadere analyse van effecten op subcomponenten van fijn stof

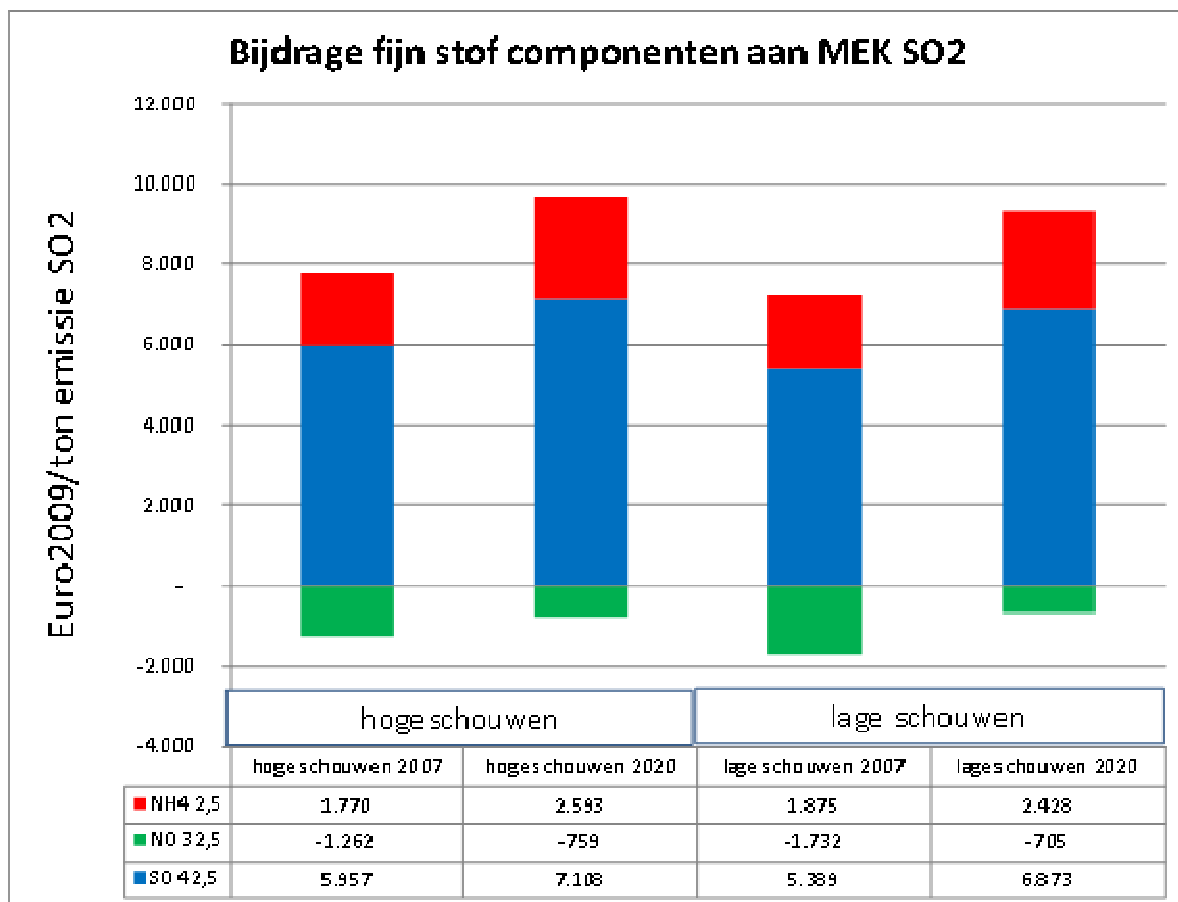
Om de cijfers voor SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> en hun evolutie tot 2020 beter te begrijpen moeten we kijken hoe verschillende subcomponenten van zwevend stof veranderen als gevolg van emissies van SO<sub>2</sub> (en van NO<sub>x</sub>). Principeel bestaat het secundair fijn stof in Vlaanderen vooral uit ammoniumsulfaat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en ammoniumnitraat (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) en wordt gevormd uit ammoniak (NH<sub>3</sub>), zwavelzuur (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, afkomstig van de oxidatie van SO<sub>2</sub>) en salpeterzuur (HNO<sub>3</sub>, afkomstig van de oxidatie van NO<sub>x</sub>). In onze regio concurreren zwavelzuur (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en salpeterzuur (HNO<sub>3</sub>), de voorloperverbindingen van de sulfaten en nitraten, om het beschikbare ammoniak (NH<sub>3</sub>). In BelEUROS hebben we hiervoor gekeken naar de concentraties van de subcomponenten in de grootteklasse PM<sub>2,5</sub>, nl. na ammonium (NH<sub>4</sub> 2,5), nitraat (NO<sub>3</sub> 2,5) en sulfaat (SO<sub>4</sub> 2,5). We beperken ons hier tot het effect op ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat. We verwachten dat SO<sub>2</sub>-emissies aanleiding geven tot een stijging van ammoniumsulfaat en een daling van ammoniumnitraat. Emissies van NO<sub>x</sub> doen op hun beurt ammoniumnitraat stijgen en ammoniumsulfaat dalen. Om het netto effect van deze tegenovergestelde effecten te weten moeten we nader naar de cijfers in tabel 11 kijken.

Figuur 12 illustreert ten eerste dat het effect van SO<sub>2</sub> een gevolg is van toename van ammoniumsulfaat en dat de daling van het ammoniumnitraat hier niet tegenop weegt. Netto is er dus een stijging van de externe kosten. Dit effect is iets hoger voor hoge dan voor lage schouwen.

Verder toont Figuur 12 dat in 2020 bij een toename van SO<sub>2</sub>-emissies meer ammoniumsulfaat gevormd wordt dan in 2007, terwijl de concentratie ammoniumnitraat in mindere mate afneemt. Dit verklaart waarom de externe kosten stijgen tussen 2007 en 2020.

De reden voor de waargenomen toename van ammoniumsulfaat en tegelijkertijd de daling van de concentratie ammoniumnitraat komt door de chemische evenwichten in de atmosfeer. Neemt de concentratie zwavelzuur (licht) toe zal er iets minder ammoniak kunnen reageren met salpeterzuur, waardoor de toename van ammoniumsulfaat samengaat met een lichte daling van de concentratie ammoniumnitraat.

De observatie dat het effect van een lichte emissietoename van SO<sub>2</sub> in 2020 een groter effect heeft op de zwevend stof concentraties dan in 2007 is waarschijnlijk te verklaren door de niet-lineaire effecten tussen emissies en concentraties, en uit metingen uitgevoerd door EMEP weten we dat er zelf in hoge mate een niet-lineair verband bestaat tussen de emissies van SO<sub>2</sub> en de sulfaatconcentraties in zwevend stof. Doordat het SO<sub>2</sub> eerst moet geoxideerd worden om sulfaat te vormen spelen de concentraties van geschikte oxidanten een belangrijke rol in de sulfaatvorming, en deze zijn in vele gevallen de snelheidsbepalende factor. Dit betekent dat er in het geval van hogere SO<sub>2</sub> emissies (zoals in 2007) per ton SO<sub>2</sub>-emissie minder sulfaat zal worden gevormd dan in het geval van lagere SO<sub>2</sub>-emissies (zoals in 2020). Dit verschil komt dus door de algemene SO<sub>2</sub>-emissiedalingen in heel Europa in de periode tussen 2007 en 2020.



Figuur 12: Bijdrage van componenten van secundair fijn stof aan MEK van emissies van SO<sub>2</sub>, voor de achtergrondconcentraties 2007 en voor 2020 (in euro<sub>2009</sub>/ton emissie)

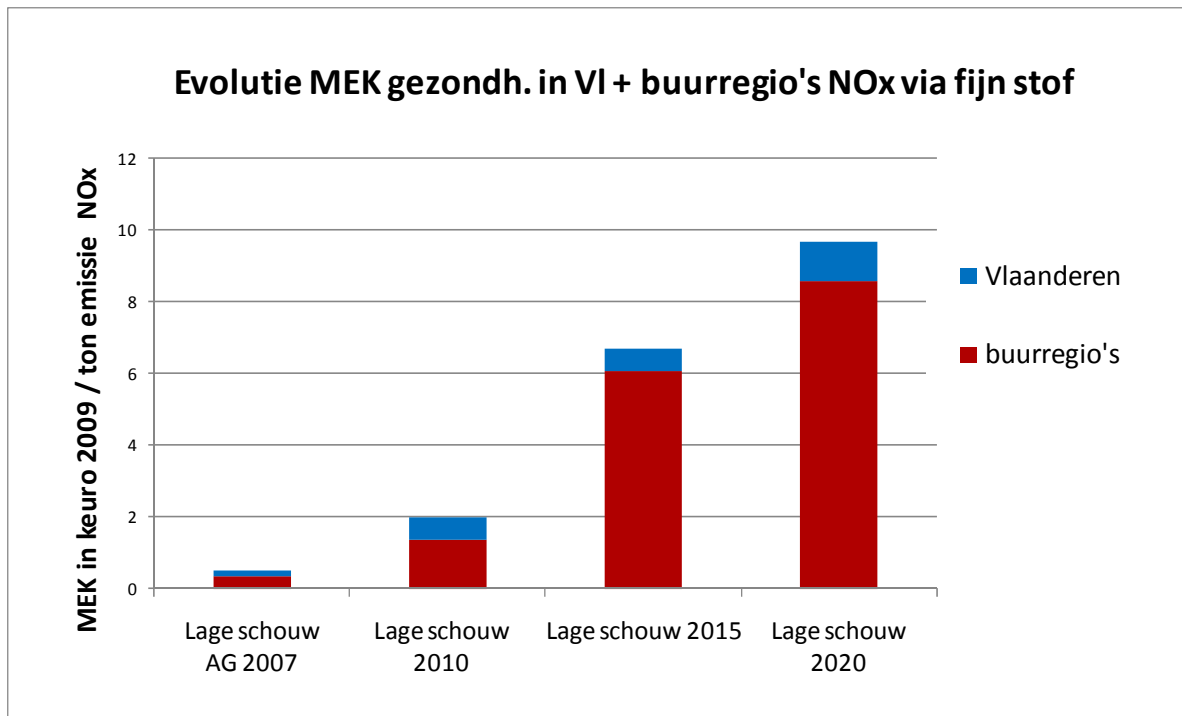
### 3.3.2 MEK gezondheidseffecten emissies van NO<sub>x</sub> op secundair fijn stof

Net als voor SO<sub>2</sub> zijn er voor NO<sub>x</sub> meerdere berekeningen gedaan met gewijzigde achtergrondconcentraties. De eerste berekeningen toonden aan dat de stijging van de MEK tussen achtergrond 2007 en 2010 erg groot is (zie figuur 13). Om dit beter te duiden zijn bijkomende berekeningen gedaan voor de tussenliggende jaren 2010 en 2015. Omdat het aantal modelberekeningen beperkt was zijn voor tussenliggende jaren enkel berekeningen gemaakt voor lage schouwen.

Voor effecten van NO<sub>x</sub> op de verschillende componenten van fijn stof observeren we bij achtergrondconcentraties van 2007 een kost van 0,5 en 0,9 keuro<sub>2009</sub>/ton emissie voor respectievelijk hoge en lage schouwen (tabel 11). In verhouding tot de literatuur zijn de impacts in 2007 erg laag. De MEK is bij achtergrond van 2010 evenwel al een heel stuk hoger (+ 330 %). Deze stijging gaat verder na 2010, zij het aan een trager ritme (+ 63 % tussen 2010 en 2015 en + 30 % tussen 2015 en 2020). Tabel 12 illustreert dat de stijging hoofdzakelijk te wijten is aan veranderingen in achtergrondconcentraties. Veranderingen als gevolg van demografie of stijging koopkracht zijn gelijk aan deze voor andere pollutanten.

Figuur 13 illustreert op basis data voor lage schouwen dat de impacts zich vooral in de buurregio's situeren en dat de stijging zich zowel in Vlaanderen als de buurregio's voordoet. Ook voor hoge schouwen zijn de impacts in de buurregio's het grootst. Om deze resultaten beter te begrijpen moeten we kijken naar de verschillende deelcomponenten van fijn stof (zie verder).





*Figuur 13: Evolutie 2007 – 2020 van marginale externe gezondheidskosten via fijn stof van emissies van NOx (emissies uit lage schouwen) (in keuro 2009/ton emissie)*

Tabel 11: Marginale externe gezondheidskosten via fijn stof van emissies van NO<sub>x</sub> voor hoge en lage schouwen, voor 2010 en 2020 (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie)

|  | Externe kosten in kEuro/ton |            |             | Aandeel %  |             |
|--|-----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
|  | Subtotaal                   | Vlaanderen | buurregio's | Vlaanderen | buurregio's |
|  | (1)                         | (2)        | (3)         | (4)        | (5)         |
| <i>Emissies NO<sub>x</sub> bij achtergrondconcentraties 2007 (7)</i> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | 0,50                        | 0,15       | 0,35        | 30%        | 70%         |
| Lage schouwen (6)  | 0,87                        | 0,03       | 0,84        | 3%         | 97%         |
| <i>Emissies NO<sub>x</sub> bij achtergrondconcentraties 2010 (8)</i> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | 2,02                        | 0,61       | 1,41        |            |             |
| Lage schouwen (6)  | 3,81                        | 0,37       | 3,44        | 10%        | 90%         |
| <i>Emissies NO<sub>x</sub> bij achtergrondconcentraties 2015 (8)</i> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | nb                          | nb         | nb          |            |             |
| Lage schouwen (6)  | 6,71                        | 0,64       | 6,07        | 10%        | 90%         |
| <i>Emissies NO<sub>x</sub> in 2020</i>                               |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | 8,02                        | 1,06       | 6,96        | 13%        | 87%         |
| Lage schouwen (6)  | 9,68                        | 1,11       | 8,57        | 11%        | 89%         |

(1)= MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor omschrijving buurregio's, zie figuur 3 )

(4) = (2) / (1)

(5) = (3) / (1)

(6) lage schouwen + emissies uit de transportsector

(7) 2007 = achtergrondconcentraties en bevolking 2007, waardering 2010

(8) lage schouwen; op basis berekeningen met achtergrondconcentraties 2010 en 2015, hoge schouwen op basis extrapolatie

Tabel 12: Bijdragen van verschillende factoren aan de groei van externe kosten van NO<sub>x</sub> via fijn stof van 2007 tot 2020 (stijging in % t.o.v. referentiejaar)

|   | Subtotaal   | Vlaanderen  | buurregio's |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Effect van :  | (1)         | (2)         | (3)         |
| <i>verandering achtergrondconcentraties (4)</i>         |             |             |             |
| Evolutie 2007-2010                                      | 329%        | 1280%       | 299%        |
| Evolutie 2010-2015                                      | 62%         | 59%         | 62%         |
| Evolutie 2015-2020                                      | 30%         | 56%         | 27%         |
| Evolutie demografie 2010-2020                           | 6,6%        | 6,6%        | 6,6%        |
| Aanpassing waardering aan stijging koopkracht 1020-2020 | 16,1%       | 16,1%       | 16,1%       |
| <b>Totaal effect 2010-2020</b>                          | <b>154%</b> | <b>201%</b> | <b>149%</b> |

op basis van cijfers voor lage schouwen

(1)= MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor omschrijving buurregio's, zie fig. 3

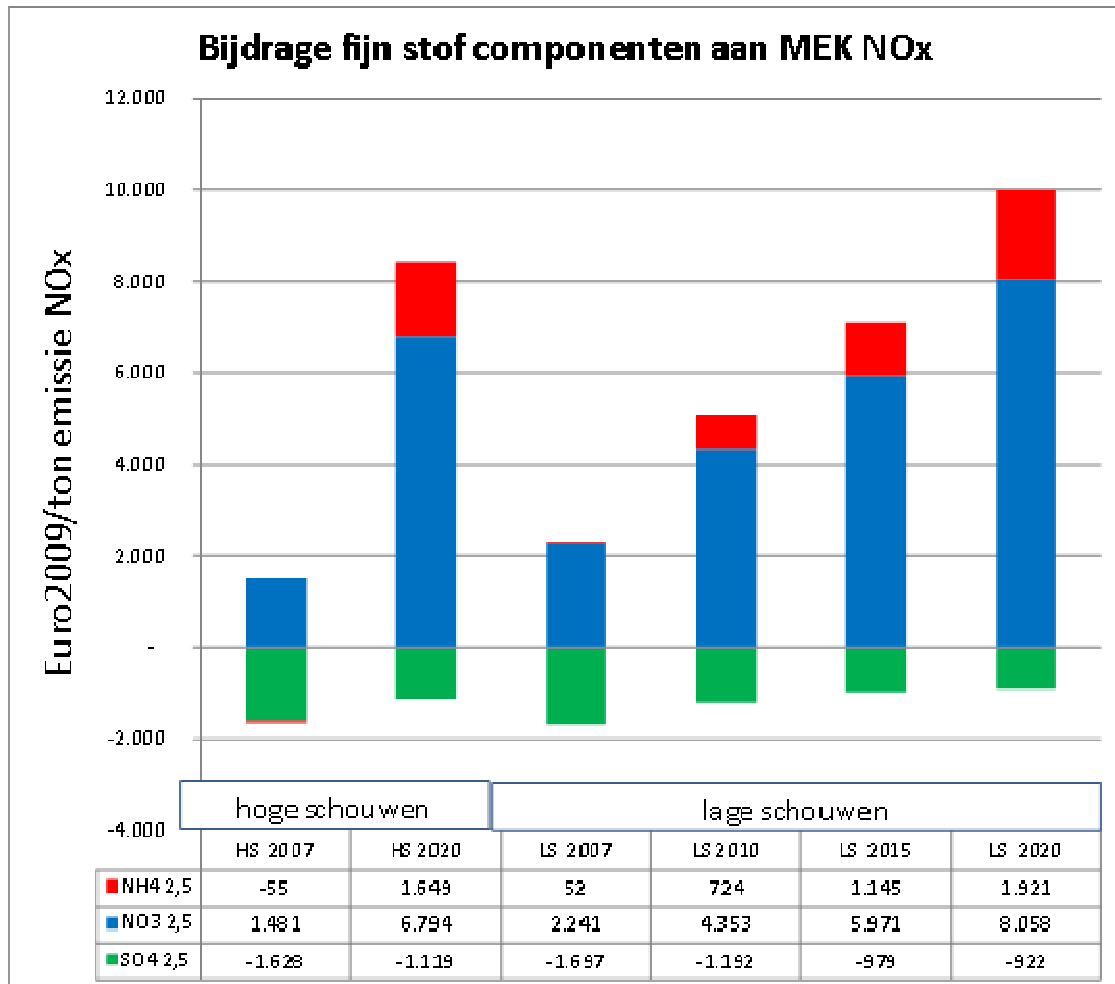
(4) op basis berekeningen voor lage schouwen

### 3.3.2.1 Nadere analyse van effecten op subcomponenten van fijn stof

Om deze cijfers en hun evolutie tot 2020 beter te begrijpen moeten we kijken hoe verschillende subcomponenten van zwevend stof veranderen als gevolg van emissies van NO<sub>x</sub>. We beperken ons ook hier tot het effect op ammoniumsulfaat (SO<sub>4</sub> 2,5), ammoniumnitraat (NO<sub>3</sub> 2,5) en ammonium NH<sub>4</sub> 2.5. In paragraaf 3.3.1 toonden we aan dat SO<sub>2</sub>-emissies aanleiding geven tot een stijging van ammoniumsulfaat en een daling van ammoniumnitraat. Emissies van NO<sub>x</sub> doen op hun beurt

ammoniumnitraat stijgen en ammoniumsulfaat dalen. Om het netto effect van deze tegenovergestelde effecten te weten moeten we nader naar de cijfers in figuur 14 kijken.

Figuur 14 toont ten eerste dat het effect van NO<sub>x</sub> emissies een gevolg is van toename van ammoniumnitraat (NO<sub>3</sub> 2.5) en een daling van ammoniumsulfaat (SO<sub>4</sub> 2.5) en in minder mate van ammonium NH<sub>4</sub> 2.5. In 2007 zijn positieve en negatieve effecten ongeveer even groot wat de lage externe kosten verklaart. Verder illustreert tabel 14 dat het effect van NO<sub>x</sub> emissies op de vorming van nitraat- en ammoniumdeeltjes toeneemt naarmate we verder gaan in de tijd. De sulfaatconcentratie in het aerosol daarentegen daalt voor dezelfde NO<sub>x</sub>-emissie minder en minder.



Figuur 14: Bijdrage van componenten van secundair fijn stof aan MEK van emissies van NO<sub>x</sub>, voor de achtergrondconcentraties 2007, 2010, 2015 en voor 2020 (in euro<sub>2009</sub>/ton emissie)

De verklaring hiervoor is ook hier te vinden in het niet-lineaire verband tussen NO<sub>x</sub>-emissies en nitraatconcentraties in het aerosol. Naargelang de NO<sub>x</sub>-emissies in Europa dalen (tijdreeks 2007 -> 2020) zal er per ton NO<sub>x</sub>-emissie een steeds groter deel geoxideerd en tenslotte omgezet worden naar nitraat. De verhouding tussen oxidanten in de atmosfeer en NO<sub>x</sub> wordt na verloop van tijd immers alsmaar groter.

Dit effect wordt bijkomend ondersteund door twee andere parameters. Enerzijds wordt een verdere toename van de ozon-achtergrondconcentraties in Europa verwacht, d.w.z. een toename van het ozon dat Europa via de Atlantische Oceaan bereikt. Ozon is echter een belangrijke oxidant in de atmosfeer. Met deze voorspelde toename van de ozonconcentraties werd rekening gehouden in de BelEUROS berekeningen. Anderzijds werd voor de emissies van het wegverkeer in Europa in de berekeningen meegenomen dat door de verwachte sterke toename van dieselveertuigen met oxidatiekatalysator (Euro 4 en Euro 5 norm) de rechtstreekse uitstoot van NO<sub>2</sub> (in plaats van NO)

significant zal toenemen de komende jaren. Voor Vlaanderen wordt een toename van het percentage NO<sub>2</sub> in de NO<sub>x</sub>-emissies van het wegverkeer van 18% in 2007 naar 39% in 2020 (Europa-scenario) verwacht. Dit heeft een belangrijk effect op de vermindering van de afbraak van ozon enerzijds en een toename van de vorming van nitraatdeeltjes anderzijds. Deze drie parameters (lagere niveaus NO<sub>x</sub> in de atmosfeer, toename van de ozon-achtergrond en toename rechtstreekse NO<sub>2</sub>-emissies van wegverkeer) hebben allemaal hetzelfde effect tot gevolg, namelijk een toename van de nitraatvorming per ton NO<sub>x</sub>-emissie. Dit verklaart de berekende significante toename van de externe kosten van NO<sub>x</sub>-emissies in de toekomst.

### 3.4 MEK gezondheidseffecten van ozonprecursoren NO<sub>x</sub> en NMVOS

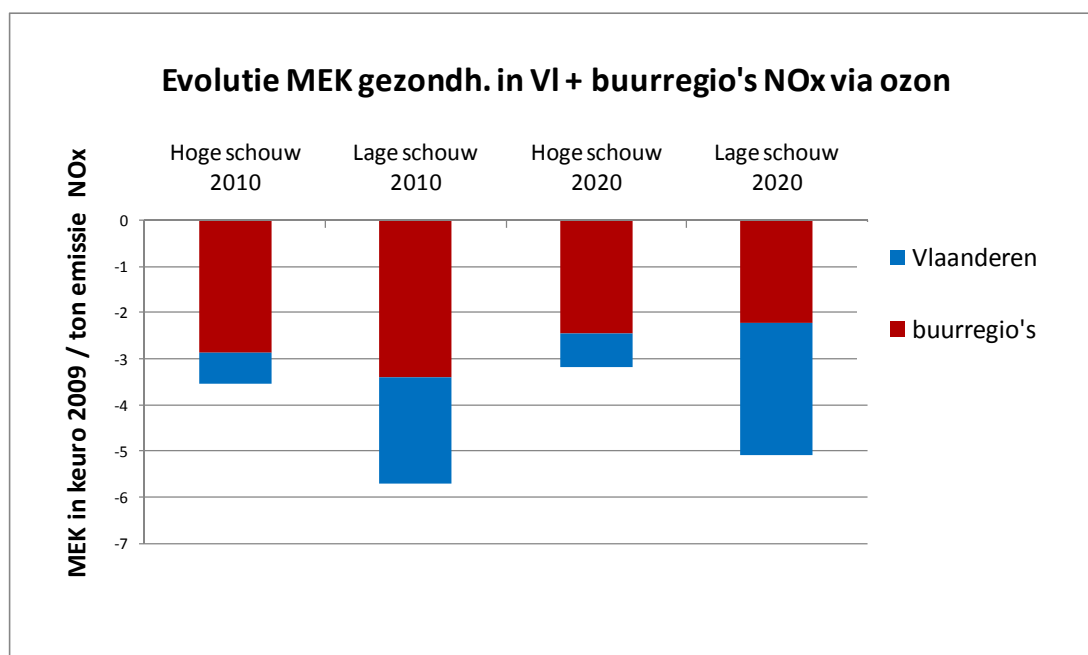
#### 3.4.1 MEK gezondheidseffecten via ozon van emissies van NO<sub>x</sub>

Figuur 15 toont dat de externe kosten per ton emissie NO<sub>x</sub> voor Vlaanderen en buurregio's en voor alle zichtjaren negatief zijn, wat wil zeggen dat extra uitstoot van één ton NO<sub>x</sub> de voor gezondheid relevante indicator SOMO35 doet dalen en dit leidt tot minder schadelijke effecten op volksgezondheid in Vlaanderen en buurregio's. Dit komt omdat bij deze achtergrondconcentraties de uitstoot van NO<sub>x</sub> zowel bijdraagt aan de afbraak als de vorming van ozon, en dat de afbraak hierbij gemiddeld genomen zwaarder doorweegt.

De MEK van lage schouwen ligt absoluut gezien ook hoger dan die van hoge schouwen. We zien verder dat het grootste deel van de impact plaatsvindt buiten Vlaanderen in 2010, maar voor lage schouwen is dit al niet meer het geval in 2020.

Omwille van verandering in achtergrondconcentraties schatten we voor 2010 in dat de impacts 8 % minder negatief worden in vergelijking met achtergrond 2007. Deze trend zet zich door voor de periode 2010-2020 (-34 %, enkel als gevolg wijziging achtergrondconcentraties). Als we echter voor die periode ook rekening houden met demografische evolutie en effect van koopkracht op waardering dan is beste schatting voor MEK van emissies in 2020 maar een paar procenten hoger dan kengetal voor 2010.

Figuur 15 toont eveneens dat er grote verschillen zijn in deze evolutie tussen impacts in Vlaanderen (die toenemen en dus meer negatief worden) en de buurregio's waar de negatieve effecten minder sterk worden).



Figuur 15: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van NO<sub>x</sub> via ozon (in keuro 2009/ton emissie)

Tabel 13: Marginale externe gezondheidskosten via ozon van emissies van NO<sub>x</sub>, voor 2007, 2010 en 2020 (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie)

|  | Externe kosten in kEuro/ton |            |             | Aandeel %  |             |
|--|-----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
|  | Subtotaal                   | Vlaanderen | buurregio's | Vlaanderen | buurregio's |
|  | (1)                         | (2)        | (3)         | (4)        | (5)         |
| <i>Emissies NO<sub>x</sub> bij achtergrondconcentraties 2007 (7)</i> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | -3,78                       | -0,68      | -3,10       | 18%        | 82%         |
| Lage schouwen (6)  | -6,13                       | -2,26      | -3,87       | 37%        | 63%         |
| <i>Emissies NO<sub>x</sub> bij achtergrondconcentraties 2010 (8)</i> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | -3,54                       | -0,67      | -2,87       | 19%        | 81%         |
| Lage schouwen (6)  | -5,72                       | -2,31      | -3,41       | 40%        | 60%         |
| <i>Emissies NO<sub>x</sub> in 2020 (8)</i>                           |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen  | -3,19                       | -0,75      | -2,44       | 24%        | 76%         |
| Lage schouwen (6)  | -5,09                       | -2,87      | -2,22       | 56%        | 44%         |

(1) = MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor omschrijving buurregio's, zie figuur3 )

(4) = (2) / (1)

(5) = (3) / (1)

(6) lage schouwen + emissies uit de transportsector

(7) 2007 = achtergrondconcentraties en bevolking 2007, waardering 2010

(8) lage schouwen; op basis berekeningen met achtergrondconcentraties 2010 en 2015, hoge schouwen op basis extrapolatie

Tabel 14: Bijdragen van verschillende factoren aan de groei van externe kosten van NO<sub>x</sub> via ozon van 2007 tot 2020 (stijging in % t.o.v. referentiejaar)

|   | Subtotaal   | Vlaanderen | buurregio's |
|---|-------------|------------|-------------|
| Effect van :  | (1)         | (2)        | (3)         |
| <i>verandering achtergrondconcentraties</i>             |             |            |             |
| Evolutie 2007-2010                                      | -8,4%       | -1,5%      | -11,6%      |
| Evolutie 2010-2015                                      | -26,2%      | -2,7%      | -38,2%      |
| Evolutie demografie 2010-2020                           | 6,6%        | 6,6%       | 6,6%        |
| Aanpassing waardering aan stijging koopkracht 1020-2020 | 16,1%       | 16,1%      | 16,1%       |
| <b>Totaal effect 2010-2020</b>                          | <b>-10%</b> | <b>18%</b> | <b>-25%</b> |

op basis gemiddelde voor hoge en lage schouwen

(1) = MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

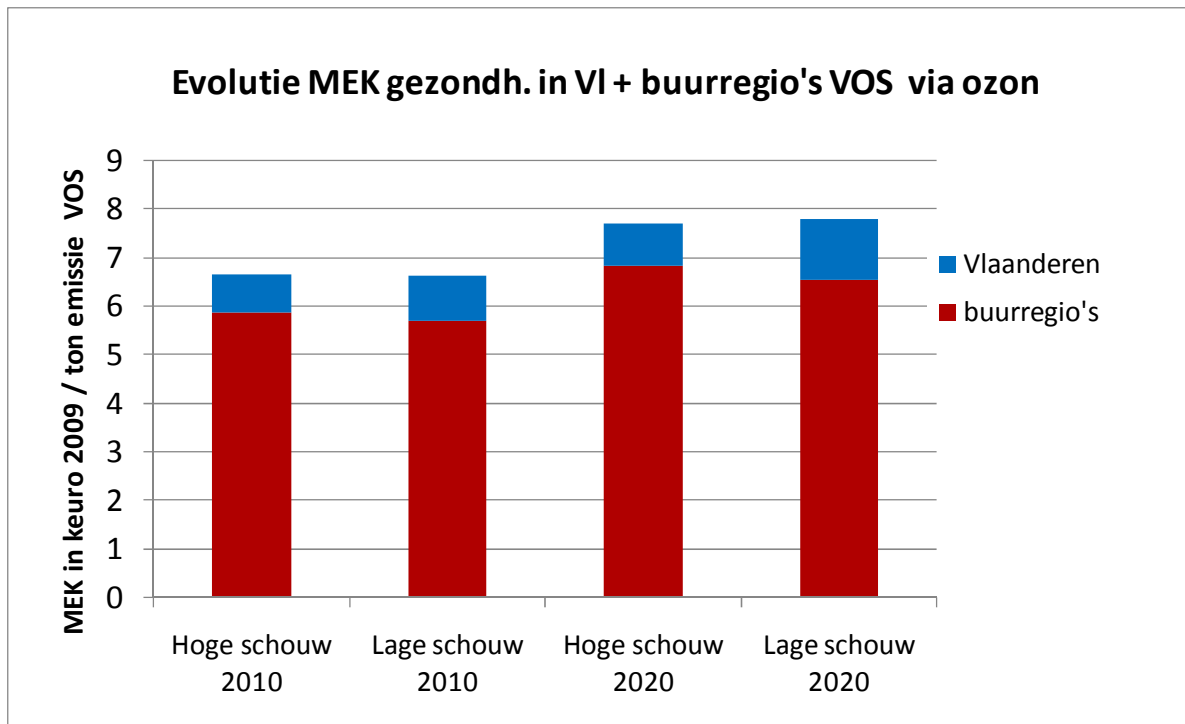
(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor def buurregio's, zie figuur 3 )

### 3.4.2 MEK gezondheidseffecten via ozon van emissies van NMVOS

Tot slot bekijken we nog de MEK van vluchtige organische stoffen (VOS) via ozon. In tegstelling tot NO<sub>x</sub> zijn de MEK van emissie van NMVOS positief.

We observeren een MEK van ongeveer 6.5kEUR, zowel in 2007 als in 2020, zonder een significant verschil tussen hoge en lage schouwen. We zien wel een licht hoger aandeel binnenlandse impacts voor lage schouwen. Voor hoge schouwen voor het jaar 2020 werd geen afzonderlijke run meer gedaan. De resultaten in onderstaande tabel voor hoge schouwen zijn gebaseerd op een extrapolatie van de evolutie voor lage schouwen.



*Figuur 16: Marginale externe gezondheidskosten in Vlaanderen en buurregio's van emissies van NMVOS via ozon (in keuro 2009/ton emissie)*

Tabel 15: Marginale externe gezondheidskosten via ozon van emissies van NMVOS, voor 2007, 2010 en 2020 (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie)

|   | Externe kosten in kEuro/ton |            |             | Aandeel %  |             |
|---|-----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
|   | Subtotaal                   | Vlaanderen | buurregio's | Vlaanderen | buurregio's |
|   | (1)                         | (2)        | (3)         | (4)        | (5)         |
| <i>Emissies NMVOS bij achtergrondconcentraties 2007 (7)</i> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen   | 6,64                        | 0,76       | 5,88        | 11%        | 89%         |
| Lage schouwen (6)   | 6,61                        | 0,89       | 5,72        | 13%        | 87%         |
| <i>Emissies NMVOS bij achtergrondconcentraties 2010 (8)</i> |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen   | 6,65                        | 0,79       | 5,86        | 12%        | 88%         |
| Lage schouwen (6)   | 6,63                        | 0,94       | 5,70        | 14%        | 86%         |
| <i>Emissies NMVOS in 2020 (9)</i>                           |                             |            |             |            |             |
| Hoge schouwen   | 7,70                        | 0,88       | 6,83        | 11%        | 89%         |
| Lage schouwen (6)   | 7,79                        | 1,25       | 6,54        | 16%        | 84%         |

(1) = MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor omschrijving buurregio's (zie figuur 3)

(4) = (2) / (1)

(5) = (3) / (1)

(6) lage schouwen + emissies uit de transportsector

(7) 2007 = achtergrondconcentraties en bevolking 2007, waardering 2010

(8) lage schouwen: op basis interpolatie 2007-2020 berekeningen voor lage schouwen; hoge schouwen: op basis extrapolatie evolutie lage schouwen

(9) hoge schouwen: op basis extrapolatie evolutie lage schouwen

Tabel 16: Bijdragen van verschillende factoren aan de groei van externe kosten van NMVOS via ozon van 2007 tot 2020 (in %)

|  | Subtotaal | Vlaanderen | buurregio's |
|--|-----------|------------|-------------|
|  | (1)       | (2)        | (3)         |
| <i>effect van achtergrondconcentraties</i>                         |           |            |             |
| Evolutie 2007-2010   | -1,7%     | 2,8%       | -2,3%       |
| Evolutie 2010-2020   | -3,9%     | 0,7%       | -4,7%       |
| <i>demografie 2010-2020</i>  | 6,6%      | 6,6%       | 6,6%        |
| <i>aanpassing waardering aan stijging<br/>koopkracht 1020-2020</i> | 16,1%     | 16,1%      | 16,1%       |
| <i>Totaal effect 2010-2020</i>                                     | 17%       | 22%        | 16%         |

op basis gemiddelde voor hoge en lage schouwen

(1) = MEK voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's, exclusief andere impacts uit hoofdstuk 4

(2) impacts op volksgezondheid in Vlaanderen

(3) impacts op volksgezondheid in buurregio' (voor omschrijving buurregio's (zie figuur 3)

De externe kosten van emissies van NWVOS stijgen licht tussen 2010 en 2020 omwille van de evolutie van de bevolking en stijging van de koopkracht. Het effect van veranderingen in achtergrondconcentraties is licht negatief, wat wil zeggen dat bij uitstoot van één ton NMVOS in 2020 er iets minder ozon wordt gevormd in vergelijking met de situatie in 2007.

### 3.4.3 Discussie en interpretatie

Effecten van NO<sub>x</sub> via ozon zijn negatief omwille van de lage verhouding NMVOS/NO<sub>x</sub> in de Vlaamse (en bij uitbreiding de West-Europese) atmosfeer. Het overgrote deel van de NO<sub>x</sub>-emissies bestaat immers uit NO. Hierdoor wordt het grootste deel van het jaar ozon afgebroken. Slechts gedurende enkele warme zomerdagen vindt er sporadisch ozonvorming plaats. Aangezien we bij een stijging van

NO<sub>x</sub>-emissies onder andere een grotere hoeveelheid ozon zullen afbreken, resulteert dit in een externe baat van NO<sub>x</sub>-emissies op de ozonconcentraties.

We wijzen er verder op dat de externe kosten berekend worden op basis van de jaargemiddelde ozonconcentraties (SOM035). Deze indicator geeft geen goed beeld van de effecten van emissies op ozonpieken op warme dagen. Zie in dit verband ook de discussie over de dosis-effect relaties (hoofdstuk 2.1.5).

### **3.5 Vergelijking met Europese modellen, en vroegere kengetallen**

#### **3.5.1 Doelstelling en afbakening**

Het is de verwachting dat de nieuwste kengetallen voor externe kosten verschillen met deze uit vroegere studies. Ten eerste leiden veranderingen in omgeving en economie ertoe dat fysische effecten verschillen en ook hun economische gevolgen en waardering. Ten tweede verandert onze kennis zodat we anders tegen deze effecten en hun waardering aankijken. In deze studie omvat dit enerzijds het actualiseren van Europese bouwstenen en anderzijds het vervangen van Europese verspreidingsmodellen en data voor bevolking en waardering door eigen modellen gericht op Vlaanderen en Vlaamse data.

We verwachten dus dat kengetallen voor externe kosten verschillen, maar we kunnen op basis van deelinformatie moeilijk schatten hoe groot al die effecten zijn en wat het netto effect is. Het zou dus nuttig zijn om in een systematische analyse te kunnen kijken in welke mate die factoren bijdragen aan deze veranderingen. Dergelijke analyse is echter niet mogelijk binnen het bestek van deze studie. We kunnen wel resultaten van verschillende studies naast elkaar zetten en zoeken of we verschillen al dan niet kunnen verklaren.

We focussen hierbij op vergelijking met volgende bronnen:

- Vergelijkingen met de kengetallen uit het Europese ExternE-Needs project en op basis van het EcoSense-web tool, waarbij verschillen enkel te maken hebben met verschillen in verspreidingsmodellen en monetaire waardering en ? bepaalde effecten op morbiditeit (Vlaamse modellen en data).
- Omdat deze studies geen cijfers voor de transportsector omvatten de vergelijking met handboek voor externe kosten transport (IMPACT, Maibach et al, 2008).
- Vergelijkingen met vroegere kengetallen voor Vlaanderen en studies voor MIRA.

We merken verder op dat er ons geen andere modellen of studies bekend zijn die echt onafhankelijk van het ExternE kennisgeheel de effecten op volksgezondheid van deze pollutanten schatten, op deze schaal en met al deze effecten. Dit is o.i. vooral te verklaren door het feit dat dit de integratie van veel modellen, kennis en data vergt waarbij experten beoordeling belangrijk is om informatie uit verschillende domeinen aan elkaar te linken. Dit maakt dat we geen toetsing kunnen doen van onze cijfers aan de literatuur.

#### **3.5.2 Algemene beschouwingen**

In het kader van deze actualisatie van deze kengetallen voor MEK hebben we in alle verschillende stappen kleine tot grote veranderingen gedaan in vergelijking met vroegere Belgische of Europese studies:

- We berekenen MEK op basis van emissies voor een ganse sector in Vlaanderen en niet voor specifieke locaties of trajecten. Vooral voor transport is dit mogelijk een groot verschil.
- We gebruiken andere luchtkwaliteitsmodellen met groter detail voor Vlaanderen en gevalideerd voor Vlaanderen.
- In vergelijking met vroegere studies zijn ook de achtergrondemissies veranderd (nu 2007).
- We gebruiken een fijner ruimtelijk detail (grid) voor effecten op luchtkwaliteit en blootstelling.
- Het ruimtelijk bereik van dit grid is kleiner en beperkt tot Vlaanderen en de buurregio's.



- De dosis-effect relaties zijn in grote lijnen nauwelijks veranderd in vergelijking met 2005, maar in vergelijking met ExternE-Newext zijn er belangrijke verschillen in aannames rond relatieve toxiciteit van verschillende fracties van fijn stof (nitraten, verkeer).
- De monetaire waardering is aangepast voor nagenoeg alle gezondheidseffecten, deels op basis van nieuwe Europese waarderingsstudies (vervroegde sterfte wordt nu lager gewaardeerd) en deels op basis van de aanpassing van de waardering van morbiditeit aan de Vlaamse context en nieuwe inzichten (zowel stijging als daling van impacts).
- De monetaire waardering is nu ook uitgedrukt in Euro's van het prijspeil van 2009.
- Voor primair fijn stof worden effecten nu uitgedrukt in externe kosten per ton PM 2.5 en PM coarse, wat vergelijking met vroegere schattingen voor PM10 moeilijk maakt.

Omdat al deze wijzigingen tegelijkertijd plaats vinden is de vergelijking met vroegere kengetallen en gegevens uit literatuur en Europese studies moeilijk te interpreteren omdat men niet kan achterhalen waarom cijfers zijn veranderd. In het kader van ExternE-Needs zijn wel nieuwe kengetallen per land voor emissies uit hoge en lage schouwen doorgerekend, maar – in tegenstelling tot ExternE-NewExt (ExternE, 2005) - er is geen systematische vergelijking gemaakt van hoe deze kengetallen zich verhouden tot vroegere resultaten (Preiss et al, 2008). Het heeft dan ook weinig meerwaarde om onze schattingen te vergelijken met een reeks berekeningen uit vroegere studies die het ExternE methodologie hanteerden, omdat we deze resultaten niet kunnen interpreteren.

### **3.6 Vergelijking met EcoSense web**

#### **3.6.1 Doelstelling en methode**

De doelstelling van deze vergelijking is om na te gaan hoe groot het effect is van het gebruik van lokale informatie, met name lokale verspreidingsmodellen (Beleuros), fijner grid voor berekening van blootstelling en lokale data voor waardering morbiditeit. Hiertoe zijn onze berekeningen vergeleken met runs met het EcoSense web model.

EcoSense Web v4.0 is een model voor geïntegreerde impact assessment dat gebaseerd is op de ExternE methodologie en dat de actualisatie uit ExternE-NEEDS (2005-2009) heeft geïntegreerd. In dat project zijn ook kengetallen per land gemaakt, maar deze bieden te weinig detailinfo voor de vergelijking met onze data. We maken daarom gebruik van de online versie van EcoSense web tool. Dit model is gemaakt om externe effecten van één specifieke puntbron (elektriciteitscentrale) te berekenen, zodat we geen effecten voor Vlaanderen als geheel kunnen schatten.

De bouwstenen en aannames tussen die methodiek met onze studie zijn zeer gelijklopend voor het luik dosis-effect relaties en ten dele voor waardering. De grootste verschillen hebben te maken met het gebruik van andere verspreidingsmodellen en een fijner grid voor berekening van blootstelling.

EcoSense-web hanteert de volgende bouwstenen en aannames (Preiss, 2008):

- luchtkwaliteitsmodellen
  - ISC-USEPA : locale impact (10 km rond schoorsteen)
  - Bron receptor matrices van EMEP: Regionale impacts afgeleid van EMEP/MSC West eulerian dispersion model. (op basis -15 % reductie alle emissies in een land, meteo gemiddeld 1996-2000, achtergrondemissies of concentraties voor 2010 en 2020, gridcel 50 x 50 km.
- dosis-effect relaties: ExternE-Needs, met gelijke weging voor alle fracties van fijn stof
- de monetaire waardering van impacts op mortaliteit zijn gebaseerd op ExternE 40000 /Yoll voor impacts in 2000
- resultaten in Euro van prijsniveau 2000
- resultaten voor verschillende jaren rekening houdend met economische groei.

Voor de vergelijking met onze resultaten hebben we een aantal runs gedaan via EcoSense web waarbij we telkens de externe kosten voor emissies van één pollutant berekenden. We gingen hierbij uit van een emissiebron in Drogenbos (centraal in België). Om beter vergelijkbaar te zijn hebben we de cijfers van Ecosense web dan verder in detail geanalyseerd en omgerekend.

- We hebben de resultaten uit Ecosense web opgesplitst naar impacts in België, buurlanden en rest van Europa. We hebben hiertoe enkel die impact meegerekend die Ecosense berekent voor België, Duitsland, Frankrijk, Nederland en de UK. Het ruimtelijk bereik is wel niet 100 % gelijk omdat het Beleuros grid maar een deel van de buurlanden meeneemt (met uitzondering van Nederland).
- We hebben cijfers over externe kosten per kWh omgerekend naar kosten per ton.
- We hebben cijfers op prijspeil 2009 gebracht.
- Voor 2020 hebben we berekening van effect van economische groei consistent gemaakt met onze aannames voor stijging koopkracht.

We bespreken eerst de resultaten voor primair fijn stof en nadien voor secundaire polluenten.

### 3.6.2 Vergelijking met EcoSense web voor primair fijn stof

Tabel 17 geeft aan dat onze schattingen voor hoge schouwen dicht in de buurt liggen van deze van EcoSense web. Voor lage schouwen daarentegen is onze schatting een heel stuk hoger dan deze van Ecosense web. Voor lage schouwen verwachten we ook een groter belang van het beter inschatten van blootstelling dicht bij de bron via een fijner grid. We verwachten dat Beleuros dat beter doet dan het ondertussen verouderde ISC-USEPA model. Ten tweede liggen de resultaten voor lage schouwen van Beleuros veel meer in lijn met de berekeningen met het IFDM-RIO modelketen dan deze van EcoSense web.

Voor PM coarse schatten we zowel voor hoge als lage schouwen de MEK veel hoger in dan EcoSense web. Omdat morbiditeit hier de zwaarste impactcategorie is dit mogelijk deels te verklaren door de aanpassing van de monetaire waardering van gezondheidseffecten aan de Vlaamse situatie (ziektetekosten) en de hogere levensstandaard.

Tabel 17: Vergelijking van MEK voor gezondheid voor emissies van primair fijn stof uit Vito 2010 en EcoSense web, in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie

| MEK gezondheid    | Vito 2010   |             | EcoSense web (1) |             |
|-------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|
|                   | lage schouw | hoge schouw | lage schouw      | hoge schouw |
| PM <sub>coa</sub> | 24,9        | 4,9         | 3,0              | 1,6         |
| PM <sub>2,5</sub> | 139,6       | 19,6        | 52,5             | 22,2        |

enkel voor impacts België en de buurlanden (Duitsland, NI., Fr. en UK)

### 3.6.3 Vergelijkingen voor SO<sub>2</sub> via secundair fijn stof

Tabel 18 geeft een vergelijking van de berekeningen van Vito 2010 voor MEK van emissies van SO<sub>2</sub> via secundair fijn stof met de berekeningen via Ecosense web. De cijfers zijn vergelijkbaar voor zowel hoge als lage schouwen voor 2010 en 2020. Wij schatten wel in dat de MEK in 2020 sneller zullen stijgen, door wijziging van achtergrondconcentraties (+ 16 %) en bevolking (+ 6.6%).

Tabel 18: Vergelijking van MEK voor effecten op secundair fijn stof voor emissies van SO<sub>2</sub>, volgens Vito 2010 en EcoSense web, in keuro/ton emissie

| MEK gezondheid<br>SO <sub>2</sub> via PM | Vito        |             | EcoSense web (1) |             |
|--|-------------|-------------|------------------|-------------|
|  | lage schouw | hoge schouw | lage schouw      | hoge schouw |
| Emissies 2010                            | 7,8         | 7,3         | 9,6              | 9,0         |
| Emissies 2020 (2)                        | 11,0        | 10,4        | 12,2             | 11,5        |
| Relatieve stijging                       | 42%         | 42%         | 27%              | 27%         |

enkel voor impacts België en de buurlanden (Duitsland, NL, Fr. en UK), cijfers voor 2020 aangepast voor stijging koopkracht met 1,5 % per jaar

### 3.6.4 Vergelijkingen voor NO<sub>x</sub> via secundair stof

Tabel 19 geeft een vergelijking van de berekeningen van Vito 2010 voor MEK van emissies van NO<sub>x</sub> via secundair fijn stof met deze berekend via Ecosense web. De cijfers voor Vito zijn een gemiddelde voor hoge en lage schouwen, de cijfers voor EcoSense web zijn voor schouw van 100m.

De tabel geeft aan dat voor 2010 Ecosense-web de effecten voor Vlaanderen en buurregio's meer dan dubbel zo hoog inschat. Ook Ecosense-web schat dat de externe kosten zich vooral in de buurlanden voordoen. Bij deze vergelijking dient wel rekening worden gehouden met het feit dat wij m.b.t. de buurlanden enkel de delen van Duitsland, Frankrijk en het VK in rekening brengen die binnen het gridverfijningsgebied van BeEUROS vallen.

Voor 2020 zijn de schattingen ongeveer even groot (Vito schatting is 8 % hoger, als we enkel België en buurlanden meerekenen). De berekeningen via BeEUROS geven wel een grotere stijging tussen 2020 en 2010 (+ 204 %) in vergelijking met Ecosense-web (+42 %). We kunnen voor de resultaten van Ecosense web geen opsplitsing maken van de deelfracties van secundair fijn stof.

Tabel 19: Vergelijking van MEK voor effecten op secundair fijn stof voor emissies van NO<sub>x</sub>, voor uit Vito 2010 en EcoSense web, in keuro/ton emissie

| MEK gezondheid NO <sub>x</sub> via PM<br>Land van impact | Vito |      | Ecosense web |      |
|--|------|------|--------------|------|
|  | 2010 | 2020 | 2010         | 2020 |
| Vlaanderen/België  | 0,5  | 1,1  | 0,7          | 1,2  |
| Buurregio's/buurlanden                                   | 2,4  | 7,8  | 5,0          | 7,0  |
| Subtotaal met buurlanden                                 | 2,9  | 8,8  | 5,7          | 8,1  |
| rest van Europa  | nb   | nb   | 1,0          | 1,5  |
| Totaal impact Europa                                     | nb   | nb   | 6,8          | 9,4  |
| Stijging 2020 tov 2010 (1)                               |      | 204% |              | 42%  |

nb: niet beschikbaar

(1) Stijging voor "Subtotaal met buurlanden"

### 3.6.5 Vergelijkingen voor NO<sub>x</sub> via ozon

Tabel 20 geeft een vergelijking van de berekeningen van Vito voor MEK van emissies van NO<sub>x</sub> via ozon met deze berekend via Ecosense web. De cijfers voor Vito zijn een gemiddelde voor hoge en lage schouwen, de cijfers voor EcoSense web zijn voor elke (of ongekende) schouwhoogte.

We verwachten dat de vergelijking van effecten op ozon sterk uiteen kunnen lopen omdat de interacties complex zijn, dat impacts van teken kunnen verschillen omwille van de concurrentie tussen enerzijds ozonvorming onder invloed van NO<sub>x</sub>, NMVOS en zonlicht en anderzijds ozonafbraak door reactie met NO en omdat de dosis-effect relaties niet lineair zijn maar met een drempel werken.

Tabel 20: Vergelijking van MEK voor effecten op ozon voor emissies van NO<sub>x</sub> uit Vito 2010 en EcoSense web, in keuro/ton emissie

| MEK gezondheid NO <sub>x</sub> via ozon | Vito  |       | Ecosense web |       |
|---|-------|-------|--------------|-------|
|   | 2010  | 2020  | 2010         | 2020  |
| Land van impact                         |       |       |              |       |
| Vlaanderen/België                       | -1,49 | -1,81 | -0,13        | -0,09 |
| Buurlanden                              | -3,14 | -2,33 | -0,16        | 0,02  |
| Subtotaal met buurlanden                | -4,63 | -4,14 | -0,30        | -0,07 |
| rest van europa                         | nb    | nb    | -0,01        | 0,06  |
| Totaal impact Europa                    | nb    | nb    | -0,30        | -0,01 |
| Stijging 2020 tov 2010 (1)              |       | -11%  |              | -77%  |

nb : niet beschikbaar, valt buiten het beschouwde studieterrein  
 (1) Stijging voor "Subtotaal met buurlanden"

Voor 2010 schatten wij en EcoSense web in dat uitstoot van NO<sub>x</sub> netto meer bijdraagt aan afbraak van ozon dan aan vorming van ozon, dit resulteert in negatieve externe kosten. Vito schat dit effect wel veel hoger in dan Ecosense web, zowel voor Vlaanderen als voor de buurlanden. Voor 2020 schat Vito in dat de externe kosten minder negatief worden (- 11 %). Ecosense web schat dat ook in, maar het effect is groter (- 77%).

Voor 2020 schat Ecosense web in dat de externe kosten heel beperkt zijn (enkele tientallen euro's per ton emissie). Dit cijfer is het saldo van kleine effecten in verschillende landen, die voor sommige licht positief en andere licht negatief zijn. Per saldo is het effect heel klein.

Deze cijfers geven aan ook dat de onzekerheden op externe kosten van secundaire pollutanten veel groter kunnen zijn dan deze voor primaire pollutanten.

### 3.6.6 Vergelijkingen voor NMVOS via ozon

Tabel 21 geeft eenzelfde vergelijking maar voor de impact van emissies van NMVOS op ozon en gerelateerde gezondheidseffecten. De tabel illustreert dat voor alle regio's en steekjaren onze studie het effect veel hoger inschat dan EcoSense web.

Zowel Vito als Ecosense web geven een beperkt verschil tussen de schattingen voor 2010 en 2020.

Noteer verder dat de totale waarden die Ecosense-web rapporteert voor NMVOS vaak veel hoger zijn omdat zij ook de impacts van NMVOS via secundair fijn stof omvatten. Deze cijfers zijn dan niet vergelijkbaar is met de schattingen van Vito. Vito heeft de impacts van NMVOS via fijn stof niet weerhouden omwille van de beperkte stand van kennis van impacts van emissies van NMVOS op vorming van secundair fijn stof (zie ook paragraaf 3.3).

Tabel 21: Vergelijking van MEK voor effecten op ozon voor emissies van NMVOS, voor uit Vito 2010 en EcoSense web, in keuro/ton emissie

| MEK gezondheid NMVOS via ozon | Vito |      | Ecosense web |      |
|-------------------------------|------|------|--------------|------|
|                               | 2010 | 2020 | 2010         | 2020 |
| Land van impact               |      |      |              |      |
| Vlaanderen/België             | 0,86 | 1,06 | 0,06         | 0,06 |
| Buurlanden                    | 5,78 | 6,68 | 0,13         | 0,10 |
| Subtotaal met buurlanden      | 6,64 | 7,75 | 0,18         | 0,16 |
| rest van Europa               | nb   | nb   | 0,10         | 0,08 |
| Totaal impact Europa          | nb   | nb   | 0,28         | 0,23 |
| Stijging 2020 tov 2010 (1)    |      | 17%  |              | -14% |

(1) Stijging voor "Subtotaal met buurlanden"

### 3.6.7 Besluit uit vergelijking met EcoSense-web

De vergelijking illustreert dat het gebruik van andere verspreidingsmodellen en het hanteren van een fijner grid en lokale informatie een grote invloed kan hebben op de resultaten van externe kosten.

Dit was vroeger reeds geïllustreerd door het vergelijken van het gebruik van Beleuros met de modellen in EcoSense 2004 (Int Panis 2008) en door vergelijking van berekeningen voor Denemarken (Jensen et al, 2008). Dit is voor zover wij weten de eerste keer dat Beleuros wordt vergeleken met de nieuwe modellen voor regionale verspreiding en secundaire pollutanten toegepast in EcoSense web.

Het vergt verdere studie om deze verschillen beter te kunnen verklaren en om de bijdrage van verschillende factoren (verspreidingsmodellen, fijner grid, lokale waarderingsdata) verder te analyseren. Omdat het Beleuros model gevalideerd is voor Vlaanderen, we een fijner grid gebruiken voor berekeningen van blootstelling en lokale data voor waardering morbiditeit hebben we groter vertrouwen in de resultaten van onze berekeningen dan deze uit EcoSense web 4.0.

De verschillen tussen onze berekeningen en EcoSense web verschillen voor de onderzochte pollutanten, effecten en zichtjaren.

Deze vergelijking bevestigt verder het belang van veranderingen in achtergrondconcentraties op de berekeningen van externe kosten. Ze voegt eraan toe dat verschillende modellen dit verschillend kunnen inschatten. De resultaten uit onze studie en de vergelijking illustreren dat het luik verspreiding een groot element van onzekerheid toevoegt aan de berekening van externe kosten voor secundaire pollutanten en afleiding en keuze van kengetallen.

### 3.7 Vergelijking met Europees "handboek externe kosten transport"

EcoSense web geeft geen data voor externe kosten van emissies van fijn stof uit de transportsector. Het Europese handboek voor externe kosten van transport geeft kengetallen voor verschillende landen (IMPACT studie, Maibach et al, 2008). De cijfers voor impact op milieu zijn gebaseerd op berekeningen voor het Europese Heatco project (Bickel, 2006).

De IMPACT studie geeft kengetallen voor België voor PM 2.5 van afgerond 400 keuro voor stad-metropool, en rond 100 keuro per ton PM 2.5 voor kleine stad en platteland. Voor verkeer op platteland zijn deze cijfers erg gelijklopend met deze uit onze studie. Voor stad is de vergelijking moeilijker omdat de omschrijvingen niet volledig overeenkomen. Het cijfer uit de IMPACT studie voor stad-metropool (1 miljoen inwoners) is gelijkaardig als dat uit onze studie voor alle steden in Vlaanderen (gewestwegen in centrumsteden). Deze centrumsteden zijn wel kleiner, maar liggen anderzijds wel in een ruimer gebied met relatief hoge bevolkingsdichtheid.

Als we een nadere analyse maken van de IMPACT-HEATCO methodologie kunnen we niet uitmaken in welke mate deze gelijkenis puur toeval is dan wel een bevestiging van de resultaten.

De berekeningen in IMPACT en HEATCO zijn gebaseerd op volgende modellen en aannames: (Maibach et al, 2008; Bickel 2006)

- Luchtkwaliteitsmodellen
  - lokaal: de locale impacts van primair fijn stof zijn afgeleid van niet nader genoemde gevalstudies, rekening houdend met bevolkingsdichtheid en sector (Bickel et al, 2006, p. 6 e.v.)
  - regionaal: gebaseerd op het HTM-model (Derwent, 1998) en SROM model voor ozon (Simpson, 1997) en met meteo van 1990 en 1998, achtergrondemissies 1998, en EMP grid 50 x 50 km. (Bickel et al, Heatco, Dil. 5, ).
- Dosis-effect relaties: ExternE-NewExt : EC, 2005, inclusief een hogere wegingsfactor voor fijn stof emissies van verkeer.
- De monetaire waardering van impacts op mortaliteit zijn gebaseerd op ExternE 40300 /Yoll. Deze waardering is verder gecorrigeerd voor groei van het BNP (+/- 48.000 euro per verloren levensjaar voor Vlaanderen) (Euro 2002) om consistent te zijn met andere aannames in het HEATCO project.
- De monetaire waardering van morbiditeit is gebaseerd op ExternE-NewExt 2005.

Deze beschrijving toont dat de methode, modellen en aannames niet in lijn zijn met de meest recente inzichten uit ExternE-Needs en voor dit luik ook niet te vergelijken zijn met onze resultaten. Dit geldt eveneens voor de externe kosten van secundaire pollutanten.

In de IMPACT-studie wordt eveneens aangenomen dat niet-uitlaat emissies schadelijke effecten op gezondheid hebben. Deze worden gelijk gewogen als voor fijn stof (zonder de verhoging van toxiciteit die voor uitlaat emissies wordt aangenomen). Omdat wij op basis van ExternE Needs alle pollutanten een gelijk gewicht geven zijn de externe kosten van niet-uitlaat emissies in onze studie hoger.

Het handboek geeft ook cijfers voor SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>. Deze cijfers zijn verouderd in vergelijking met deze uit EcoSense web 4.0., vooral omwille van gehanteerde verspreidingsmodellen, dosis-effect relaties en weging fracties van fijn stof.

### **3.8 Vergelijking met vroegere schattingen in kader ExternE en MIRA**

De doelstelling van deze vergelijking is om aan te geven hoe deze geactualiseerde kengetallen zich verhouden tot vorige kengetallen gehanteerd in het kader van rapporten voor MIRA voor berekening van externe kosten elektriciteit en baten of kosten van verandering van luchtkwaliteit (via Ex-Daly)

#### **3.8.1 Evolutie inschatting externe kosten van PM 10 uit hoge schouwen**

Tabel 24 geeft aan dat de in de loop der jaren de schattingen van externe kosten van primair PM 10 uit hoge schouwen varieerde van 13 tot 33 keuro per ton. De recente schatting is ongeveer de helft lager dan de kengetallen uit 2005.

Zoals hierboven reeds aangegeven is het aanbevolen om voor PM10 emissies een onderscheid te maken tussen het aandeel PM<sub>2,5</sub> en PM coarse.

Tabel 22: Vergelijking van MEK voor gezondheid voor emissies van primair fijn stof PM10 volgens Vito 2010 en EcoSense web, in keuro/ton emissie

| euro/ton | ExternE, 1995-1999 | ExternE, 2000-2002 | ExternE, 2004 | ExternE, 2004, | Vito 2010 |
|----------|--------------------|--------------------|---------------|----------------|-----------|
|          | (EC, 1999)         | (Friedrich, 2001)  |               | MIRA-T         | MIRA O&O  |
| PM10     | 28                 | 13                 | 18            | 33             | 15        |

### 3.8.2 Vergelijking met ExDaly 2009

De resultaten voor MEK zijn in grote lijnen consistent met de inschatting van de effecten op gezondheid via ExDaly 2009, zoals recent gebruikt voor MIRA (bijv. Milieuverkenning 2030). De selectie van dosis-effect relaties en aannames rond hun toepassing waren immers reeds in lijn met ExternE-Needs.

De kengetallen voor monetaire waardering in ExDaly zijn in lijn met ExternE-Needs maar nog niet aangepast aan data voor Vlaanderen en prijspeil 2009. Het netto effect van deze aanpassingen is beperkt voor fijn stof (+ 2 % voor PM 2.5 en + 9 % voor PM10) maar is wel groter voor ozon (+ 34 %).

Tabel 23: Effect van de actualisatie van de monetaire waarderingsstap op de monetaire resultaten van ExDaly 2009 (ExDaly = 100)

|       | Mortaliteit | Morbiditeit | Totaal |
|-------|-------------|-------------|--------|
| PM10  | 111         | 109         | 109    |
| PM2,5 | 111         | 77          | 102    |
| ozon  | 111         | 135         | 134    |

### 3.9 Kengetallen MEK gezondheid in Vlaanderen en buurregio's

In deze paragraaf vatten we de berekeningen samen voor effecten op volksgezondheid in Vlaanderen en buurregio's van emissies naar lucht in Vlaanderen. Deze getallen worden verder gebruikt in hoofdstuk 6 om totale impacts per ton pollutant te berekenen, waarbij ook rekening wordt gehouden met andere impacts besproken in hoofdstuk 4.

Voor NO<sub>x</sub> maken we een onderscheid tussen effecten fijn stof en via ozon, omdat zij sterk uiteenlopen en van teken verschillen. Verder zien we voor alle secundaire pollutanten (impacts van emissies van SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en NMVOS via fijn stof en ozon) grote tot heel grote verschillen tussen kengetallen voor 2010 en 2020. In hoofdstuk 6 gaan we dieper in hoe we hier best mee omgaan, rekening houdend met andere impacts.

Tabel 24: Kengetallen voor externe kosten voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's van emissies naar lucht in 2010 (in keuro<sub>2009</sub> /ton)

A) Hoge en lage schouwen, Sectoren: energie en industrie, emissies in 2010

| Hoge schouwen 2010   | PM 2,5 | PMcoa | PM10 | S02* | VOS | NO <sub>x</sub> ozon | excl ** | NO <sub>x</sub> ozon | via ozon | NO <sub>x</sub> ozon | incl ozon |
|----------------------|--------|-------|------|------|-----|----------------------|---------|----------------------|----------|----------------------|-----------|
| MEK Gezondheid VL+BR | 19,6   | 4,9   | 15,0 | 7,3  | 6,7 | 2,0                  |         | -3,5                 |          | -1,5                 |           |
| binnen Vlaanderen    | 6,9    | 2,4   | 5,5  | 1,0  | 0,8 | 0,6                  |         | -0,7                 |          | -0,1                 |           |
| in buurregio's       | 12,7   | 2,5   | 9,5  | 6,3  | 5,9 | 1,4                  |         | -2,9                 |          | -1,5                 |           |
| lage schouwen 2010   | PM 2,5 | PMcoa | PM10 | S02* | VOS | NO <sub>x</sub> ozon | excl ** | NO <sub>x</sub> ozon | via ozon | NO <sub>x</sub> ozon | incl ozon |
| MEK Gezondheid VL+BR | 139,6  | 25    | 125  | 7,8  | 6,6 | 3,8                  |         | -5,7                 |          | -1,9                 |           |
| binnen Vlaanderen    | 105,9  | 17,9  | 94,3 | 2,5  | 0,9 | 0,4                  |         | -2,3                 |          | -1,9                 |           |
| in buurregio's       | 33,7   | 7,0   | 30,2 | 5,2  | 5,7 | 3,4                  |         | -3,4                 |          | 0,03                 |           |

\* impact van SO<sub>2</sub> op volksgezondheid via fijn stof

\*\* impact van NO<sub>x</sub> op volksgezondheid via fijn stof

nb: niet beschikbaar

B) Sector transport: deel primaire emissies PM 2,5, emissies in 2010

| Transport PM2,5 2010 | Wegverkeer |         |            | binnenvaart | Spoor |
|----------------------|------------|---------|------------|-------------|-------|
|                      | Stad       | snelweg | platteland |             |       |
| MEK Gezondheid VL+BR | 473,9      | 134,2   | 138,6      | 134,2       | 139,6 |
| binnen Vlaanderen    | 440,2      | 100,5   | 104,9      | 100,5       | 105,9 |
| in buurregio's       | 33,7       | 33,7    | 33,7       | 33,7        | 33,7  |

Tabel 25: Kengetallen voor externe kosten voor gezondheid in Vlaanderen en buurregio's van emissies naar lucht in 2020 (in keuro<sub>2009</sub> /ton)

A) Hoge en lage schouwen Sectoren: energie en industrie, emissies in 2020

| Hoge schouwen 2020   | PM 2,5 | PMcoa | PM10  | S02* | VOS | NO <sub>x</sub> ozon | excl ** | NO <sub>x</sub> ozon | via ozon | NO <sub>x</sub> ozon | incl ozon |
|----------------------|--------|-------|-------|------|-----|----------------------|---------|----------------------|----------|----------------------|-----------|
| MEK Gezondheid VL+BR | 24,2   | 6,1   | 18,6  | 10,4 | 7,7 | 8,0                  |         | -3,2                 |          | 4,8                  |           |
| binnen Vlaanderen    | 8,5    | 2,9   | 6,8   | 1,4  | 0,9 | 1,1                  |         | -0,7                 |          | 0,3                  |           |
| in buurregio's       | 15,7   | 3,1   | 11,8  | 9,0  | 6,8 | 7,0                  |         | -2,4                 |          | 4,5                  |           |
| lage schouwen 2020   | PM 2,5 | PMcoa | PM10  | S02* | VOS | NO <sub>x</sub> ozon | excl ** | NO <sub>x</sub> ozon | via ozon | NO <sub>x</sub> ozon | incl ozon |
| MEK Gezondheid VL+BR | 172,8  | 31    | 154,1 | 11,0 | 7,8 | 9,7                  |         | -5,1                 |          | 4,6                  |           |
| binnen Vlaanderen    | 131,0  | 22,1  | 116,7 | 3,4  | 1,3 | 1,1                  |         | -2,9                 |          | -1,8                 |           |
| in buurregio's       | 41,7   | 8,6   | 37,4  | 7,6  | 6,5 | 8,6                  |         | -2,2                 |          | 6,4                  |           |

\* impact van SO<sub>2</sub> op volksgezondheid via fijn stof

\*\* impact van NO<sub>x</sub> op volksgezondheid via fijn stof

nb: niet beschikbaar



B) Sector transport: deel primaire emissies PM 2,5, emissies in 2020

| <i>Transport PM2,5 2020</i> | <i>Wegverkeer</i> |                |                   | <i>binnenvaart</i> | <i>Spoor</i> |
|-----------------------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------|
|                             | <i>Stad</i>       | <i>snelweg</i> | <i>platteland</i> |                    |              |
| <i>MEK Gezondheid VL+BR</i> | <i>586,5</i>      | <i>166,1</i>   | <i>171,6</i>      | <i>166,1</i>       | <i>172,8</i> |
| <i>binnen Vlaanderen</i>    | <i>544,8</i>      | <i>124,4</i>   | <i>129,8</i>      | <i>124,4</i>       | <i>131,0</i> |
| <i>in buurtregio's</i>      | <i>41,7</i>       | <i>41,7</i>    | <i>41,7</i>       | <i>41,7</i>        | <i>41,7</i>  |

## 4 Andere impacts

### 4.1 Inleiding

Zoals aangegeven in hoofdstuk 1 is uit vroeger onderzoek gebleken dat de impacts op volksgezondheid het meest belangrijk tot zeer dominant zijn. Het verdere onderzoek en de actualisatie van dosis-effect relaties en kengetallen voor monetaire waardering heeft zich dan ook op deze impacts gericht. Deze evoluties zijn meegenomen in dit rapport en besproken in hoofdstuk 2.

Voor andere impactcategorieën, met name landbouw en gebouwen, is er de laatste jaren geen bijkomend onderzoek meer geweest in termen van actualisatie van dosis-effect relaties enz. De schattingen zijn wel aangepast aan nieuwe emissies, prijzen van landbouwproducten etc. In dit hoofdstuk bespreken we voor de verschillende polluenten de resultaten op basis van de inschatting van dit effect via EcoSense web, versie 4.0. Hiertoe werden in mei 2010 verschillende runs gedaan met het EcoSense web programma, voor een fictieve energiecentrale, centraal gelokaliseerd in België (Drogenbos). Verder werden hiertoe ook basisgegevens gebruikt uit de documentatie voor EcoSense (Preiss, 2008).

In tegenstelling tot vroegere kengetallen zijn er nu wel schattingen voor effecten op ecosystemen, al is deze aanpak in vergelijking met bijv. gezondheid nog nieuw en zijn resultaten onzeker. We zullen deze resultaten meer in detail bespreken en aandacht geven aan de methodologie.

### 4.2 Impacts op landbouw

De MEK voor impacts op gewassen zijn samenvattend weergegeven in tabel 26. We lichten de voornaamste elementen toe.

#### 4.2.1 Baten van SO<sub>2</sub> emissies voor landbouw

Voor SO<sub>2</sub> worden effecten begroot voor granen, aardappelen, suikerbiet en erwten. Hierbij gaat men uit van een stijging van de opbrengst voor concentraties tussen 0 en 6.8 ppb en een daling van de opbrengst bij hogere concentraties. De monetaire waardering van de impacts gebeurt aan de hand van wereldmarktprijzen voor de verschillende gewassen (op basis data van 2005). De resultaten illustreren dat dankzij de daling van SO<sub>2</sub> emissies en achtergrondconcentraties een extra ton uitstoot aanleiding geeft tot een beperkte baat. Deze baat stijgt voor referentiejaar 2020 met zo'n 30 %. Ze komt ten goede aan de productie van granen (tarwe), suikerbiet en aardappelen.

Tabel 26: MEK voor effecten op landbouwgewassen voor emissies van NMVOS, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> op basis van EcoSense web in keuro/ton emissie

| <i>emissies uit België (gemiddelde hoge en lage schouwen)</i> |             |             |
|---|-------------|-------------|
| <i>MEK op landbouwgewassen</i>                                | <i>2010</i> | <i>2020</i> |
| SO <sub>2</sub>   | -0,11       | -0,14       |
| NMVOS   | 0,46        | 0,29        |
| NO <sub>x</sub> stikstof bemesting                            | -0,04       | -0,04       |
| NO <sub>x</sub> via ozon                                      | -0,10       | 0,32        |
| Fijn stof   | 0           | 0           |

#### 4.2.2 Impacts op landbouwgewassen van NMVOS en NO<sub>x</sub> via ozon

Voor ozon wordt een lineaire impactfunctie gehanteerd voor concentraties boven de 40 ppb (AOT 40) gedurende het groeiseizoen. De dosis-effect relatie houdt verder rekening met de gevoeligheid van verschillende gewassen voor ozon en omvat naast de bovenvermelde gewassen ook impacts op zonnebloem en rijst. Net als voor effecten op gezondheid zijn de impacts op gewassen als gevolg van emissies van ozonprecursoren moeilijk te vatten in één kengetal. Tabel 27 geeft daarom meer

informatie over de evolutie en lokalisatie van deze effecten. De evolutie van de netto effecten voor NO<sub>x</sub> en NMVOS vertonen hierbij veel gelijkenissen met deze van gezondheid.

Omdat in de huidige context NO<sub>x</sub> emissies netto meer bijdragen aan de afbreuk van ozon dan aan de opbouw van ozon, wordt het effect op gewassen positief ingeschat (- 0,1 keuro/ton NO<sub>x</sub>). Gezien de verre verspreiding van NO<sub>x</sub>-emissies, zullen de baten van emissies van NO<sub>x</sub> in België zich voor één derde laten gevoelen op de Belgische landbouwproductie, voor één derde in de buurlanden en één derde in andere Europese landen. Het zijn vooral tarwe, suikerbiet en aardappelen die hiervan genieten.

Met de achtergrondconcentraties van 2020 veranderen deze effecten echter en leiden emissies van NO<sub>x</sub> tot netto opbrengstverliezen voor landbouwgewassen. Dit effect is heel miniem in België ( 0,007 keuro/ton emissie) en is iets groter voor buurlanden en rest van Europa (samen geschat tot 0,3 keuro/ton emissie).

Voor emissies van NMVOS is het effect een verlies aan landbouwopbrengsten voor alle landen en beide referentiejaar. De effecten zijn relatief klein (afgerond 0,5 keuro/ton ) en de effecten worden voor 2020 een derde lager ingeschat dan voor 2010. Het aandeel van de effecten in België is relatief klein (minder dan 10 %), en meer dan de helft van de schade doet zich voor buiten onze buurlanden.

*Tabel 27: MEK voor effecten op landbouwgewassen via ozon voor emissies van NO<sub>x</sub> en NMVOS, EcoSense web, in keuro/ton emissie*

| <i>MEK op landbouwgewassen</i>  | <i>NO<sub>x</sub> via ozon</i> |              | <i>VOS via ozon</i> |              |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|--------------|
|                                 | <i>2010</i>                    | <i>2020</i>  | <i>2010</i>         | <i>2020</i>  |
| <i>Land van impact</i>          |                                |              |                     |              |
| <i>Vlaanderen/België</i>        | <i>-0,035</i>                  | <i>0,007</i> | <i>0,031</i>        | <i>0,025</i> |
| <i>Buurlanden</i>               | <i>-0,026</i>                  | <i>0,130</i> | <i>0,165</i>        | <i>0,102</i> |
| <i>Subtotaal met buurlanden</i> | <i>-0,061</i>                  | <i>0,137</i> | <i>0,196</i>        | <i>0,127</i> |
| <i>Rest van Europa</i>          | <i>-0,034</i>                  | <i>0,178</i> | <i>0,260</i>        | <i>0,160</i> |
| <i>Totaal impact Europa</i>     | <i>-0,095</i>                  | <i>0,315</i> | <i>0,456</i>        | <i>0,287</i> |

#### **4.2.3 Impacts van stikstofdepositie en zure neerslag**

Verder wordt ook het vermestend effect van stikstofdepositie meegenomen. Stikstof is een nutriënt, en stikstof depositie op landbouwgronden kunnen we dus als een baat beschouwen. De waardering gebeurt op basis van de kostprijs van kunstmest. Hierbij wordt er dus vanuit gegaan dat de landbouwer niet reeds een teveel aan stikstofbemesting doet. In de Vlaamse context kan gezien de mestoverschotten, deze hypothese ter discussie gesteld worden en zou de vermesting ook voor de landbouwsector een negatieve waarde kunnen hebben. De omvang van het effect in Vlaanderen is echter zeer klein (-0,0005 keuro/ton emissie) zodat deze aanname geen effect heeft op de totale externe kosten.

In zijn geheel wordt deze baat voor emissies uit Vlaanderen als zeer klein geschat (-0,04 keuro/ton emissie NO<sub>x</sub>). Deze baat doet zich voornamelijk voor buiten België en verandert nauwelijks tegen 2020.

Emissies van NMVOS leiden tot een verwaarloosbare kleine kost voor dit effect (0,002 keuro/ton emissie).

Verder wordt de kost gerekend voor het kalken van landbouwgronden om zure neerslag te compenseren veroorzaakt door emissies van NO<sub>x</sub>, en SO<sub>2</sub>.

#### **4.2.4 Discussie en besluit**

De totale impacts op landbouwgewassen uitgedrukt in euro/ton emissie zijn relatief beperkt en het zijn deels baten en deels kosten. Ze zijn het belangrijkste voor impacts via ozon. De impacts van emissies

van NO<sub>x</sub> worden voor 2010 ingeschat als een beperkte baat (negatieve externe kosten) en voor 2020 als een beperkte externe kost.

Het is verder onzeker in welke mate deze schattingen de totale impact op landbouwgewassen geven. Er ontbreekt immers goede informatie en dosis-effect relaties voor impacts op tal van gewassen, waaronder de commercieel meest waardevolle gewassen zoals groenten of fruit.

### 4.3 Impacts op materialen en gebouwen

#### 4.3.1 Schade door vermindering levensduur bouwmaterialen

In ExternE is een methodiek ontwikkeld en zijn dosis-effect relaties en prijzen geselecteerd om de schade aan bouwmaterialen als gevolg van luchtverontreiniging in te schatten. De cijfers zijn gebaseerd op studies van de UN-ECE en deze informatie is na 2005 niet verder geactualiseerd. De begrote effecten hebben vooral betrekking op schade als gevolg van beperking van de levensduur van materialen door versnelde corrosie of degradatie, die aanleiding geeft tot meerkosten voor versnelde herstel of onderhoud. De dosis-effect relaties zijn gerelateerd aan SO<sub>2</sub>-concentraties en zure neerslag.

De schade wordt geschat voor een reeks van materialen zoals kalk- en zandsteen, natuursteen, mortel, bezetting, zink en gegalvaniseerd staal, verf op staal en gegalvaniseerd staal.

Wegens de beperkte informatie over de hoeveelheden aan materialen die blootgesteld worden, werd een Europees gemiddelde gedefinieerd. De waardering gebeurt op basis van marktprijzen voor bouwmaterialen.

In EcoSense web wordt een getal berekend voor hoge en lage schouwen en dit getal verandert niet in de tijd, tenzij voor aanpassing aan economische groei. Er is ook geen verder detail gegeven. De impacts voor SO<sub>2</sub> zijn relatief belangrijk. Het cijfer voor België is ongeveer twee keer zo hoog als het gemiddelde voor uitstoot voor EU27.

Tabel 28: MEK voor effecten op bouwmaterialen voor emissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>, EcoSense web, in keuro/ton emissie

| MEK voor bouwmaterialen | 2010        |             | 2020        |             |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                         | lage schouw | hoge schouw | lage schouw | hoge schouw |
| NMVOS                   | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| NO <sub>x</sub>         | 0,08        | 0,08        | 0,10        | 0,10        |
| SO <sub>2</sub>         | 0,45        | 0,49        | 0,55        | 0,60        |
| Fijn stof               | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        |

#### 4.3.2 Schade door vervuiling van gebouwen door fijn stof

Hoewel het duidelijk is dat de uitstoot van fijn stof en roet gebouwen vervuilen en dat dit mogelijk tot belangrijk verlies van aantrekkelijkheid van woonomgeving kan leiden, is men binnen het ExternE er niet in geslaagd om hiervoor een goede keten-effect benadering uit te werken die toelaat om veralgemeend dit effect te kwantificeren en waarderen.

Er zijn wel gevalstudies waarin dat gebeurd is, maar met uiteenlopende resultaten. Wattkiss et al, 2000 citeren een studie in de UK waarin de totale kosten voor reinigen van gebouwen worden gedeeld door de totale jaarlijkse emissies, en dit resulteert in een kost van 0,3 keuro/ton emissie fijn stof, uitgedrukt als ton zwarte rook. Zwarte rook bestaat voornamelijk uit roet afkomstig van verbrandingsprocessen. Rabl, 2009 komt voor een meer gedetailleerde studie voor Frankrijk op 0,07 keuro per ton zwarte rook. Men geeft ook aan dat in een stedelijke context deze kosten veel hoger kunnen zijn.

In het kader van een studie naar duurzaam transport in Brussel worden deze kosten van vervuiling voor de stad Brussel geschat, op basis van de dosis effect relatie van Newby, 1991 (Favrel et al, 2001). De studie geeft geen kengetallen, maar voor Brussel schatten zij de schade door vervuiling

verbonden met fijn stof op 10 % van de totale gezondheidsschade door fijn stof (Favrel, 2001, Meyer S. & Hecq, 2003). In het kader van een sensitiviteitsanalyse kan men deze verhouding gebruiken als een bovengrens voor de mogelijke impacts.

#### **4.3.3 Discussie en besluit**

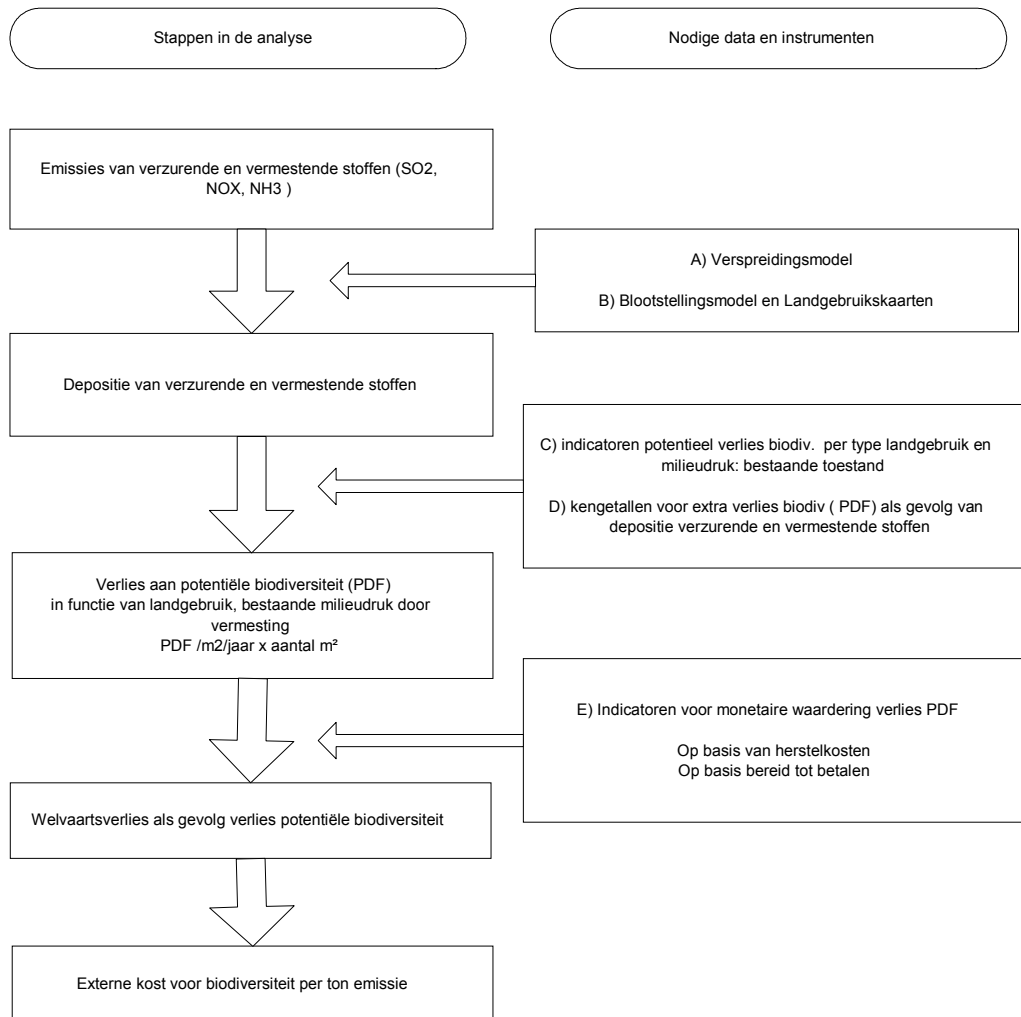
In de mate dat de impact op bouwmaterialen en gebouwen kan worden ingeschat lijkt de maatschappelijke kost beperkt. De grootste leemte is waarschijnlijk de schade door vervuiling van gebouwen, waaronder historische gebouwen. Op basis van gevalstudies kunnen we moeilijk een goed kengetal afleiden omdat sommige studies suggereren dat het effect heel beperkt is, terwijl de studie voor Brussel suggereert dat de kost substantieel kan zijn.

We nemen de kosten per ton emissie voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> uit ExternE-Ecosense web mee. In het kader van een gevoeligheidsanalyse kan de relatieve verhouding van de kosten door vervuiling en gezondheidseffecten worden meegenomen. Deze verhouding is ruwweg afgerond 10 %.

#### **4.4 Impacts op biodiversiteit**

##### **4.4.1 Methodologie**

In de kengetallen voor externe kosten ontbraken de kosten voor schade aan ecosystemen. In het kader van ExternE-Needs is een aanpak uitgewerkt om de effecten te waarderen aan de hand van een schadefunctie methode. Deze methodiek omvat verschillende stappen die zijn weergegeven in figuur 1. Zij vergen een reeks data en modellen die eveneens in figuur 17 zijn weergegeven en die we verder stapsgewijs bespreken.



*Figuur 17: De verschillende stappen om de schadefunctie-methode toe te passen op verlies van biodiversiteit*

De onderscheiden stappen en nodige informatie omvatten:

- Berekening van impact van emissies van verzurende en vermestende emissies (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>) op depositie van verzurende en vermestende stoffen.
- Blootstellingsbepaling: depositie in functie van het type landgebruik en bestaande milieudruk door vermisting en verzuring.
- Kwantificering van het verlies aan biodiversiteit door depositie van verzurende en vermestende stoffen.
- Hiervoor wordt de indicator PDF (potentially disappeared fraction) gehanteerd. Deze indicator geeft aan hoeveel soorten er potentieel verloren gaan. Dit houdt rekening met de soortenrijkdom die je voor een bepaald type landgebruik mag verwachten bij goede toestand en in welke mate de soortenrijkdom reeds achteruit gegaan is door andere drukken (bijv. vermisting). Deze indicator wordt uitgedrukt in PDF per m<sup>2</sup> en jaar (Goedkoop et al, 1999). Een essentiële aanname is dat alle soorten een gelijk gewicht krijgen, en dat ze onderling verwisselbaar worden geacht zodat ze optelbaar zijn. Zo kan men veranderingen in biodiversiteit over verschillende landgebruiken, met verschillende oppervlaktes en soorten makkelijk optellen en aftrekken.

- Om het verlies aan biodiversiteit door extra verzuring en vermisting te meten heeft men een dosis-effect relatie nodig die dit inschat. Deze functie houdt rekening met het type landgebruik en de reeds bestaande milieudruk door vermisting en verzuring.
- Monetaire waardering van verlies aan biodiversiteit, uitgedrukt in euro per verloren PDF/m<sup>2</sup>/jaar. Deze impact kan op twee manieren worden gemonetariseerd. In ExternE-Needs is hij gemonetariseerd op basis van de herstellkosten voor Duitsland. In een gerelateerd Europees onderzoeksproject CASES is hij gemonetariseerd op basis van een waarde afgeleid uit een literatuurstudie naar de bereidheid tot betalen voor biodiversiteit (Kuik et al, 2008). Beide methodieken leiden tot nagenoeg identieke resultaten. Het is de tweede benadering die nu is toegepast in EcoSense-web.
- Op basis van bovenstaande stappen kan men schade aan biodiversiteit als gevolg van verzurende en vermestende emissies berekenen in euro/ton emissie.

#### **4.4 2 Beschikbare bouwstenen om deze methode toe te passen**

Deze aanpak vereist een reeks van informatie en data die (nog) niet voor alle landen voorhanden is. De methode is wel gedemonstreerd aan de hand van data voor enkele landen (Zwitserland, Duitsland) en deze data zijn op een intelligente wijze getransfereerd naar andere EU landen.

- Indicatoren voor biodiversiteit per type landgebruik.
  - Centraal in de werkwijze staat de inschatting van effecten op biodiversiteit via de PDF indicator. Deze indicator is ontwikkeld in het kader van het kwantificeren van effecten op ecosystemen voor LCIA, levenscyclus impact analyse, in Eco-Indicator 99. (Goedkoop, 1999).
  - Deze indicator vereist vooreerst informatie over het aantal te verwachten soorten bij een normale of goede toestand, uitgedrukt in aantal soorten per m<sup>2</sup> en per type landgebruik. Verwachte soortenrijkdom is bijvoorbeeld heel hoog voor bosrand (50) en laag voor bebouwde omgeving (1). Hiertoe is voortgebouwd op data voor Duitsland en Zwitserland (op basis Koellner, 2001).
  - Ten tweede verrekent deze indicator hoeveel soorten er op dat landgebruik effectief voorkomen en houdt de indicator rekening met het verdwijnen van soorten als gevolg van milieudruk of type landmanagement. Dit wordt uitgedrukt in het aantal potentiële soorten dat voor dat landgebruik verdwenen is (potentially disappeared fraction). Dit kan relatief hoog zijn (bijv. 74% bij conventionele landbouw) tot laag (2% bij natuurlijk grasland). Hiertoe is voortgebouwd op data voor Zwitserland (Koellner, 2001).
- Dosis-effect relaties om effecten van verzurende en vermestende depositie op PDF te kwantificeren.

Hiertoe is voortgebouwd op een gevalstudie voor Nederland, waarbij is ingeschat in welke mate het verlies aan biodiversiteit toeneemt als gevolg van depositie van verzurende en vermestende stoffen. Voor Nederland is dit bijv. gemiddeld van een PDF van 0.7464 per m<sup>2</sup>/jaar naar een PDF van 0.7468 per m<sup>2</sup>/jaar als gevolg van deposities door emissies van NO<sub>x</sub>.

De inschatting van dit effect is verder getransfereerd naar andere landen op basis van het type landgebruik (de mate dat depositie op kwetsbaar landgebruik terecht komt) en de reeds bestaande milieudruk door verzuring en vermisting. Deze laatste is bijvoorbeeld bijzonder hoog in België.

- Monetarisatie
  - Een eerste vorm van monetarisatie is gebaseerd op herstellkosten. Verschillende vormen van landgebruik of wijzen van landmanagement leiden tot verschillen in biodiversiteit. Door wijzigingen in landgebruik of landmanagement kan men dus verlies aan biodiversiteit op één plaats herstellen of compenseren door toename van biodiversiteit op een andere plaats. In dat licht is in een studie voor Duitsland gekeken naar de kosten van verschillende mogelijke maatregelen en wat zij opbrengen in termen van winst aan biodiversiteit. Hieruit blijkt dat de goedkoopste maatregel, met name omschakeling naar extensieve landbouw, zo'n 0.45 euro/PDF per m<sup>2</sup> /jaar kost (Ott et al, 2006). Deze (marginale) kost kan men hanteren om verlies aan biodiversiteit in geldtermen te waarderen.

Een andere wijze is om te kijken hoeveel mensen bereid zijn te betalen voor verschillende vormen van natuurherstel of bescherming, en hieruit een bereidheid tot betalen per PDF per m<sup>2</sup> /jaar af te leiden. Deze oefening is gebeurd in het kader van een Europese studie (CASES) op basis van een meta-analyse van studies naar de bereidheid tot betalen voor natuur en biodiversiteit. Op deze wijze is ingeschat dat de gemiddelde bereidheid tot betalen neerkomt op 0.47 euro/PDF/m<sup>2</sup> /jaar (Kuik, 2008).

In de praktijk geven beide methodes dus eenzelfde uitkomst, al zijn beide methodieken en data op zich nog vrij onzeker en is het aantal data zeer beperkt.

#### 4.4.3 Resultaten en discussie

In tabel 29 zijn de resultaten weergegeven per ton emissies uit België. Deze resultaten geven aan dat deze impact relatief hoog is voor emissies van NO<sub>x</sub> (meer dan 1 keuro/ton NO<sub>x</sub>). Voor SO<sub>2</sub> is dit lager (rond 0,4 keuro/ton SO<sub>2</sub>). Voor beide pollutanten zijn de impacts in België iets hoger dan het gemiddelde voor de EU 25.

Zoals in de discussie van de bouwstenen is aangegeven in de vorige paragraaf zijn er nog weinig data beschikbaar om deze methode toe te passen en bouwt zij sterk voort op gegevens uit enkele landen. Verder is deze methode en haar toepassing vrij nieuw en heeft zij nog niet dezelfde wetenschappelijke review ondergaan als bijv. de gezondheidseffecten. In die zin moet men voorzichtig zijn om sterke lessen te trekken uit de omvang van de effecten en de vergelijking met andere effecten.

De resultaten in euro/ton emissie zijn ongeveer even groot als deze ingeschat in het kader van ExternE-NewExt via preventiekosten-methode en afgeleid van de marginale kosten om aan het Gothenborg protocol te voldoen (De Nocker et al, 2005).

Tabel 29: MEK voor effecten op biodiversiteit voor emissies van NMVOS, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>, EcoSense web, in keuro/ton emissie

| Herstelkost biodiversiteit | emissies uit België |             | EU 27 = 100 |             |
|----------------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|
|                            | lage schouw         | hoge schouw | lage schouw | hoge schouw |
| NMVOS                      | -0,08               | -0,06       | 122         | 91          |
| NO <sub>x</sub>            | 1,35                | 1,03        | 162         | 135         |
| SO <sub>2</sub>            | 0,43                | 0,45        | 267         | 376         |
| Fijn stof                  | 0                   | 0           |             |             |

In Ecosense web worden externe kosten voor 2020 zo'n 20 % hoger ingeschat. Het is niet duidelijk met welke factoren hiervoor is rekening gehouden, en waarschijnlijk betreft het hier enkel het effect van economische groei op waardering van dit effect.

#### 4.5 Impacts op volksgezondheid in andere EU landen

Zoals reeds besproken in de discussie over de gezondheidseffecten hanteert EcoSense web een groter gebied waarover impacts van emissies uit Vlaanderen of België worden berekend. We onderscheiden hierbij twee soorten bijkomende impacts.

- Europese impacts op basis van regionale verspreiding en vorming van secundaire pollutanten, voor primaire emissies van PM<sub>2,5</sub> en coarse en voor NO<sub>x</sub> en NMVOS.
- Bijdrage van emissies uit Europa aan intercontinentale en globale achtergrond (hemispheric range analysis).

Hier bespreken we enkel de impacts op gezondheid. Noteer dat voor impacts op landbouw en gebouwen de externe kosten buiten Vlaanderen en de buurregio's reeds meegeteld zijn in de impacts op landbouw en gebouwen.

Tabel 30 geeft een overzicht van de resultaten van deze berekeningen (in keuro per ton) en tabel 31 geeft een overzicht van het aandeel van deze categorie in het geheel van ingeschatte impacts. Omdat de impacts van het hemispheric model geen onderscheid maken tussen impacts via ozon en fijn stof



hebben we de impacts van emissies van  $\text{NO}_x$  over deze twee categorieën gelijk verdeeld, teneinde deze resultaten bij deze van andere modellen te kunnen optellen.

De cijfers uit tabel 30 suggereren dat de impacts buiten de buurregio's relatief belangrijk kunnen zijn voor secundaire pollutanten. We moeten er verder rekening mee houden dat de onzekerheid op deze cijfers groter is dan deze voor Vlaanderen en buurregio's. Bovendien is het niet zeker in welke mate de resultaten van deze verschillende modellen zomaar kunnen vergeleken worden. Niettemin geven deze resultaten interessante bijkomende informatie over externe kosten, die evenwel sterk verschilt van pollutant tot pollutant, en verandert in de tijd.

- Voor primair fijn stof zijn de bijkomende impacts buiten de buurregio's beperkt (+ 1 tot + 13 %) en zijn deze van hemispheric analyse verwaarloosbaar.
- Voor secundaire pollutanten echter kunnen impacts voorbij de buurregio's relatief heel belangrijk zijn. Voor  $\text{SO}_2$  zijn deze impacts in de orde van grootte van 1500 tot 2000 euro per ton  $\text{SO}_2$ , en dragen voor 14 % tot 16 % bij aan de totale externe kost.
- De impacts van  $\text{NO}_x$  via nitraten zijn eveneens in de orde van grote van 1000 tot 1600 euro per ton, en hun aandeel varieert van 12 % tot 27 %.
- De impacts van  $\text{NO}_x$  via ozon zijn klein. Netto dragen emissies van ozon bij aan de vorming van ozon, terwijl het netto effect in Vlaanderen en buurlanden negatief is. Vandaar het minteken in het aandeel voor deze categorie (-1 tot -6,7 %).
- Voor emissies van NMVOS zijn deze impacts relatief belangrijk (rond 500 euro per ton) en 7 % van de totale impacts.

Tabel 30: MEK voor effecten op gezondheid buiten Vlaanderen en de buurregio's, op basis van EcoSense web, in keuro/ton emissie

|                                  | Primair fijn stof |                   |       | Fijn stof en ozon precursoren |          |                 |          |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------------------------|----------|-----------------|----------|
|                                  | PM 2,5            | PMco <sub>a</sub> | PM 10 | SO <sub>2</sub>               | VOS      | NO <sub>x</sub> |          |
|                                  |                   |                   |       | via pm                        | via ozon | excl ozon*      | via ozon |
| <i>Hoge schouwen 2010</i>        |                   |                   |       |                               |          |                 |          |
| <i>Europa buiten buurregio's</i> | 2,61              | 0,15              | 2,00  | 1,17                          | 0,10     | 1,04            | -0,01    |
| <i>hemispheric model</i>         | 0,19              | 0,00              | 0,14  | 0,33                          | 0,42     | 0,08            | 0,08     |
| <i>Totaal</i>                    | 2,80              | 0,15              | 2,14  | 1,50                          | 0,52     | 1,12            | 0,07     |
| <i>Lage schouwen 2010</i>        |                   |                   |       |                               |          |                 |          |
| <i>Europa buiten buurregio's</i> | 1,10              | 0,08              | 0,85  | 1,17                          | 0,10     | 1,04            | -0,01    |
| <i>hemispheric model</i>         | 0,19              | 0,00              | 0,14  | 0,33                          | 0,42     | 0,08            | 0,08     |
| <i>Totaal</i>                    | 1,29              | 0,08              | 0,99  | 1,50                          | 0,52     | 1,12            | 0,07     |
| <i>Hoge schouwen 2020</i>        |                   |                   |       |                               |          |                 |          |
| <i>Europa buiten buurregio's</i> | 3,18              | 0,18              | 2,44  | 1,57                          | 0,08     | 1,47            | 0,06     |
| <i>hemispheric model</i>         | 0,23              | 0,00              | 0,17  | 0,40                          | 0,52     | 0,09            | 0,09     |
| <i>Totaal</i>                    | 3,41              | 0,19              | 2,61  | 1,97                          | 0,59     | 1,57            | 0,16     |
| <i>lage schouwen 2020</i>        |                   |                   |       |                               |          |                 |          |
| <i>Europa buiten buurregio's</i> | 1,35              | 0,10              | 1,03  | 1,57                          | 0,08     | 1,47            | 0,06     |
| <i>hemispheric model</i>         | 0,23              | 0,00              | 0,17  | 0,40                          | 0,52     | 0,09            | 0,09     |
| <i>Totaal</i>                    | 1,57              | 0,10              | 1,21  | 1,97                          | 0,59     | 1,57            | 0,16     |

\* impact van NOX op volksgezondheid via fijn stof en andere impacts

Tabel 31: Aandeel van de MEK voor effecten op gezondheid buiten Vlaanderen en de buurregio's in het geheel van externe kosten

|                           | Primair fijn stof |       |                   | Fijn stof en ozon precursoren |                 |          |          |
|---------------------------|-------------------|-------|-------------------|-------------------------------|-----------------|----------|----------|
|                           | PM 2,5            | PM 10 | PMco <sub>a</sub> | SO <sub>2</sub>               | NO <sub>x</sub> |          | VOS      |
|                           |                   |       |                   | SO <sub>2</sub> via PM        | excl ozon*      | via ozon | via ozon |
| <i>Hoge schouwen 2010</i> | 13%               | 13%   | 3%                | 16%                           | 27%             | -2%      | 7%       |
| <i>Lage schouwen 2010</i> | 1%                | 1%    | 0%                | 15%                           | 18%             | -1%      | 7%       |
| <i>Hoge schouwen 2020</i> | 12%               | 12%   | 3%                | 15%                           | 14%             | -6%      | 7%       |
| <i>Lage schouwen 2020</i> | 1%                | 1%    | 0%                | 14%                           | 12%             | -3%      | 7%       |

\* impact van NOX op volksgezondheid via fijn stof en andere impacts

#### 4.6 Externe kosten van emissies van NH<sub>3</sub>

Emissies van ammoniak (NH<sub>3</sub>) leveren eveneens een bijdrage aan de vorming van secundaire fijn stof. Omdat de focus van onze studie aansluit bij vragen naar internalisatie van externe kosten van elektriciteit en transport zijn er geen berekeningen gemaakt voor de externe kosten van NH<sub>3</sub>. Deze opmerking geldt ook voor ExternE.

In het kader van ExternE-Needs zijn er berekeningen gedaan voor externe kosten van emissies van NH<sub>3</sub>. De resultaten voor 2010 zijn weergegeven in tabel 32 en tonen dat de externe kosten voor gevolgen op volksgezondheid belangrijk kunnen zijn. Dit geldt ook voor externe kosten voor biodiversiteit. De externe kosten stijgen licht voor emissies in 2020.

Tabel 32: MEK van emissies van NH<sub>3</sub> uit België (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie)

| MEK NH <sub>3</sub>        | Emissies in 2010 | Emissies in 2020 |
|----------------------------|------------------|------------------|
| MEK volksgezondheid via PM | 25,89            | 26,59            |
| landbouwgewassen           | -0,14            | -0,18            |
| bouwmaterialen             | 0                |                  |
| biodiversiteit             | 4,19             | 6,15             |
| <b>Totaal</b>              | <b>29,93</b>     | <b>32,56</b>     |

Bron : Gebaseerd op Preiss, 2008c

De bijdrage van emissies van NH<sub>3</sub> aan secundair fijn stof is berekend via de S-R matrices van EMEP (zie beschrijving EcoSense web) en we moeten dus opletten om deze te vergelijken met onze resultaten voor SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> gebaseerd op Beleuros.

#### 4.7 Externe kosten van emissies naar lucht van zware metalen

Tabel 33 geeft een overzicht van de externe kosten van de emissie naar lucht van zware metalen en dioxines. De impacts van de uitstoot van zware metalen hebben betrekking op effecten op volksgezondheid door blootstelling aan concentraties in lucht (op basis van Spadaro en Rabl, 2007) en via opname door de voedselketen of drinkwater (op basis berekeningen via het WATSON Multi-media blootstellingsmodel Fantke et al, 2008) (Preiss et al, 2008). De gevolgen betreffen o.a. verhoogde kans op kankers (As), osteoporosis en nierfalen (Cd) en verlies van intelligentie (Pb, Hg).

Tabel 33 geeft de cijfers per ton emissie. Voor sommige pollutanten leidt dit tot heel hoge cijfers, vooral dioxines, maar de emissies van deze stoffen zijn ook veel lager dan deze van de klassieke pollutanten. De cijfers hebben betrekking op emissies uit Vlaanderen.

Tabel 33: MEK voor effecten op gezondheid van emissies naar lucht van zware metalen en dioxines, uit Vlaamse bron op basis EcoSense web

|              | hoge schouwen | eenheid                 | lage schouwen      |
|--------------|---------------|-------------------------|--------------------|
|              |               |                         | hoge schouwen =100 |
| Cd           | 99,1          | in keuro2009/ton        | 111%               |
| As           | 627           | in keuro2009/ton        | 112%               |
| Ni           | 2,72          | in keuro2009/ton        | 183%               |
| Pb           | 329           | in keuro2009/ton        | 106%               |
| Hg           | 9,47          | in miljoen euro2009/ton | 100%               |
| Cr*          | 15,7          | in keuro2009/ton        | 180%               |
| Cr-VI**      | 78,4          | in keuro2009/ton        | 180%               |
| Formaldehyde | 0,24          | in keuro2009/ton        | 100%               |
| Dioxines     | 43794         | in miljoen euro2009/ton | 100%               |

\* en \*\*: externe kosten voor Cr en Cr-VI mogen niet samen gebruikt worden

Bron : Gebaseerd op Preiss, 2008c

## 5 Kengetallen externe kosten Broeikasgassen

### 5.1 Methodes en data voor externe kosten klimaatverandering

#### 5.1.1 Kengetal externe kosten broeikasgassen in MIRA 2005 en onderbouwing

De inschatting van de externe kosten voor broeikasgasemissies voor MIRA 2005 was gebaseerd op de volgende analyse: “De impacts van het broeikaseffect zijn onvoldoende gekend om direct bruikbare schattingen van milieuschadeprijzen te bepalen. Daarom wordt voor CO<sub>2</sub> een schaduwprijs van 20 euro/ton CO<sub>2</sub> gehanteerd die gebaseerd is op de marginale reductiekost om de Kyoto doelstelling in de EU te halen.” Dit kengetal sloot aan bij de stand van kennis van bijv. ExternE NewExt 2004 (19 euro/ton CO<sub>2</sub> eq. )(De Nocker et al, 2005)

Dit cijfer werd/wordt gehanteerd om de externe kosten voor alle broeikasgassen te bepalen, rekening houdend met hun bijdrage aan klimaatverandering via het global warming potential (GWP).

#### 5.1.2 Nieuwe informatie in vogelvlucht

In dit hoofdstuk toetsen we in welke mate deze analyse nog opgaat in het licht van de nieuwe informatie. Sinds 2005 is er bijkomende informatie ter beschikking gekomen rond schatten van externe kosten via de schadefunctie-methode (schade door klimaatswijziging), en zijn er bijkomende inzichten rond de interpretatie van deze informatie bijv. in het Stern rapport. Voor de toepassing van de preventiemethode (marginale reductiekosten) is vooral de aandacht voor lange termijn doelstellingen en beleid van belang, en de daarmee samenhangende kosten.

De meest recente studies gebruiken kengetallen die in hun onderbouwing zowel aansluiten bij de literatuur over de schadeprijzen als de preventiekosten verbonden aan de doelstelling van een maximale opwarming met 2°C. De centrale schattingen voor externe kosten op basis van schadeprijzen en preventiekosten zijn van eenzelfde orde van grootte en beide stijgen in de tijd. De bandbreedte en onzekerheden op basis van schadeprijzen zijn evenwel een stuk hoger.

Nieuwe inzichten uit hedendaagse studies zijn:

- kengetallen die hun onderbouwing zowel zoeken bij schadeprijzen als preventiekosten;
- data en inzichten uit modellen voor schadeprijzen die rekening houden met onzekere impacts, lagere discontovoeten op langere termijn en “equity weighting”;
- data op basis van preventiekosten voor het behalen van de lange termijn doelstelling van beperking klimaatverandering tot max 2 °C.

Dit leidt tot :

- een reeks van kengetallen die stijgen met de tijd (tijdstip van emissie);
- getallen die beduidend hoger zijn dan de 20 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. van 2005;
- centrale schattingen met onder- en bovengrenzen die een ruime bandbreedte weergeven (een factor 5 tot 10).

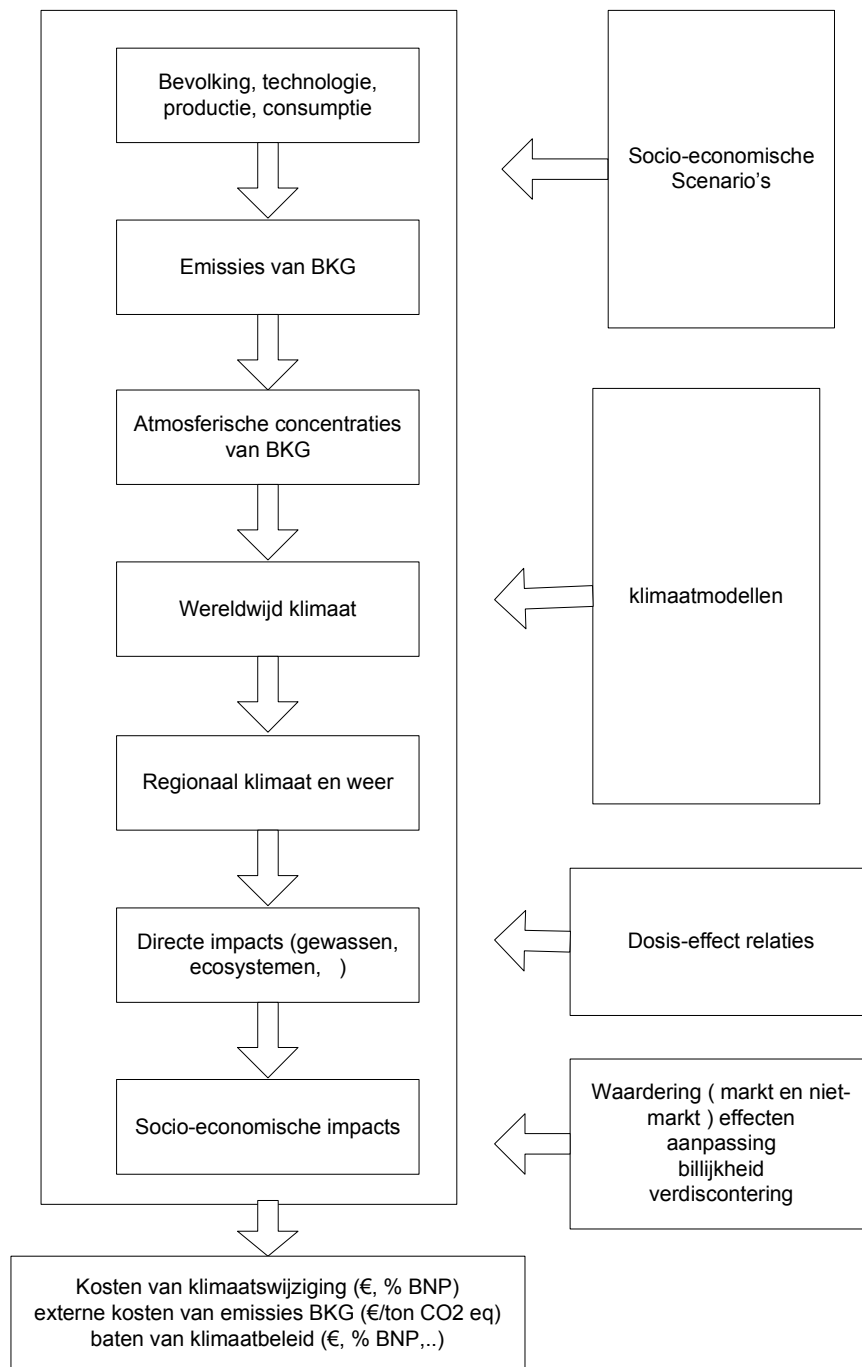
### 5.2 Externe kosten klimaat op basis schadeprijzen

#### 5.2.1 Achtergrond bij de modellen en bepalende factoren

Klimaatverandering zal de welvaart en het welzijn van de huidige en toekomstige generaties in Vlaanderen, Europa en de wereld op erg uiteenlopende wijzen beïnvloeden. In principe kan men via de schadefunctie methode deze impacts kwantificeren en in geldtermen waarderen, ook al zijn complexiteit en de schaal van de impacts verschillend met bijv. luchtkwaliteit in Vlaanderen.

Figuur 18 geeft de verschillende stappen aan voor het schatten van de economische gevolgen van klimaatverandering en geeft aan welke inputs hiervoor nodig zijn. Er zijn verschillende modellen en studies die dergelijke aanpak (ongeveer) volgen om de economische gevolgen van

klimaatverandering in te schatten. Enkele modellen worden toegelicht in het Stern-rapport (2006). De modellen die recent hiertoe nog gebruikt werden zijn de Europese modellen FUND (Tol, 2010 en Antroff, 2010) en PAGE (Defra, 2005; Stern 2006). Vroegere studies gebruikten daarnaast nog andere modellen, o.a. Amerikaanse modellen (zie bijv. Tol 2005). In dit hoofdstuk vallen we terug op de Europese modellen.



Bron: Vito, gebaseerd op Hope (2005)

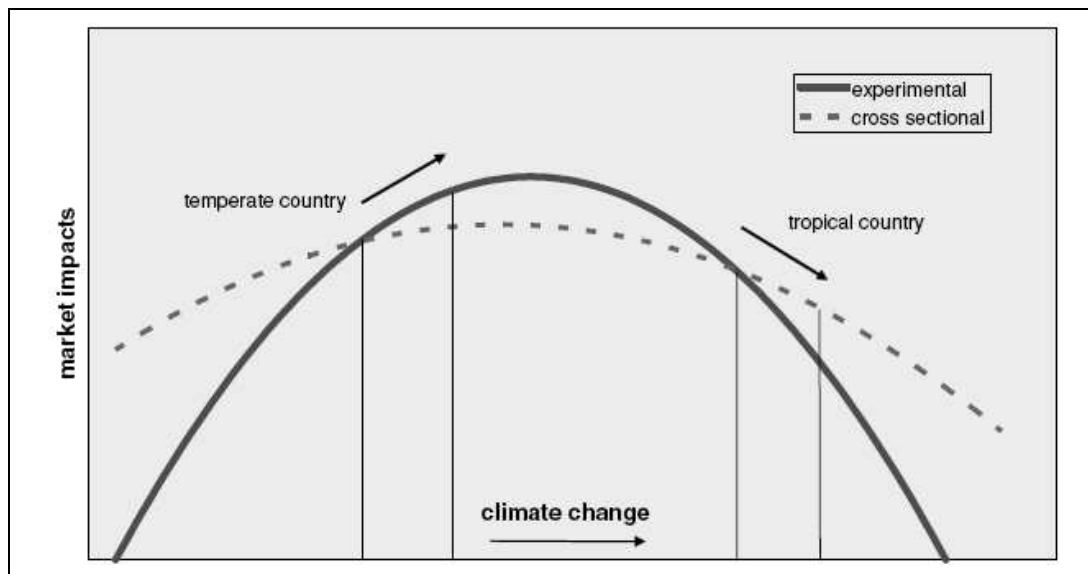
*Figuur 18: De keten-effect benadering om de schadekosten van uitstoot van broeikasgassen te kwantificeren en waarderen, en benodigde informatie*

De eigenheden en complexiteiten hebben ten eerste te maken met de kwantificering en waardering van de impacts. Ze hebben betrekking op:

- de aard van klimaatscenario's die ze doorrekenen (lagere of hogere temperatuurstijgingen, de mate dat ze (de kans op) feedback-mechanismen rond klimaat meenemen);
- de reikwijdte van het model naar aantal sectoren en impacts, de mate waarin dat naast economische effecten ook niet-geprijsde welvaartseffecten worden meegenomen;
- de tijdshorizon: normaliter 2100 of 2300;
- sociaal-economische scenario's over die lange tijdshorizon;
- aannames rond adaptatie of aanpassingsmaatregelen;
- aannames om de impacts te aggregeren over verschillende landen (impacts voor armere landen of landengroepen hoger waaderen) en generaties (gehanteerde discontovoet);
- aannames voor verrekenen van onzekerheden, en vooral met betrekking tot scenario's, feed-back mechanismen of impacts met een lage kans van voorkomen maar grote schade;
- keuze van indicatoren (totale kosten, kosten voor groepen, % van BNP, externe kost per ton CO<sub>2</sub>eq, ...).

Naast de verschillen inzake basiskenmerken en -aannames moet men voor een juiste interpretatie van de resultaten ook de gehanteerde, onderliggende mechanismen begrijpen:

- Netto-effecten: Klimaatverandering leidt zowel tot kosten als baten en beide bepalen het netto effect.
- Centraal in de schatting staan de dosis-effect relaties. Deze geven aan hoe klimaatverandering op een directe wijze via een stijging van temperatuur of een indirecte wijze via stijging van de zeespiegel en de intensiteit en frequentie van stormen gevolgen heeft voor de verschillende sectoren zoals landbouw en industrie. Voor elke sector en impact zijn er logischerwijze eigen curves. Aanvankelijk gaf het klimaatonderzoek vaak lineaire of kwadratische inschattingen van de schade in functie van de temperatuurstijging. Naar het einde van vorige eeuw kreeg het klimaatonderzoek echter ook aandacht voor positieve gevolgen en kregen de dosis-effect relaties vaker de vorm van een heuvelvormige curve (Mendelson, 2006 zie figuur 18). Deze curve geeft aan dat voor vele sectoren in landen met een gematigd klimaat een beperkte temperatuurstijging aanleiding geeft tot een voordeel, bijv. meer landbouwopbrengst, minder kosten voor verwarming of minder gezondheidseffecten te wijten aan de koude.
- De positieve effecten zijn vooral belangrijk voor de rijkere landen en op de korte termijn. Aan de andere kant staan de negatieve effecten, die vooral belangrijk zijn voor de armere landen en voor warmere streken. Als men hogere discontovoeten hanteert en impacts waardeert zonder equity weighting dan schatten modellen op korte termijn netto baten in.
- We moeten verder opmerken dat dosis-effect relaties vooral opgesteld zijn op basis van gegevens voor de rijkere landen.

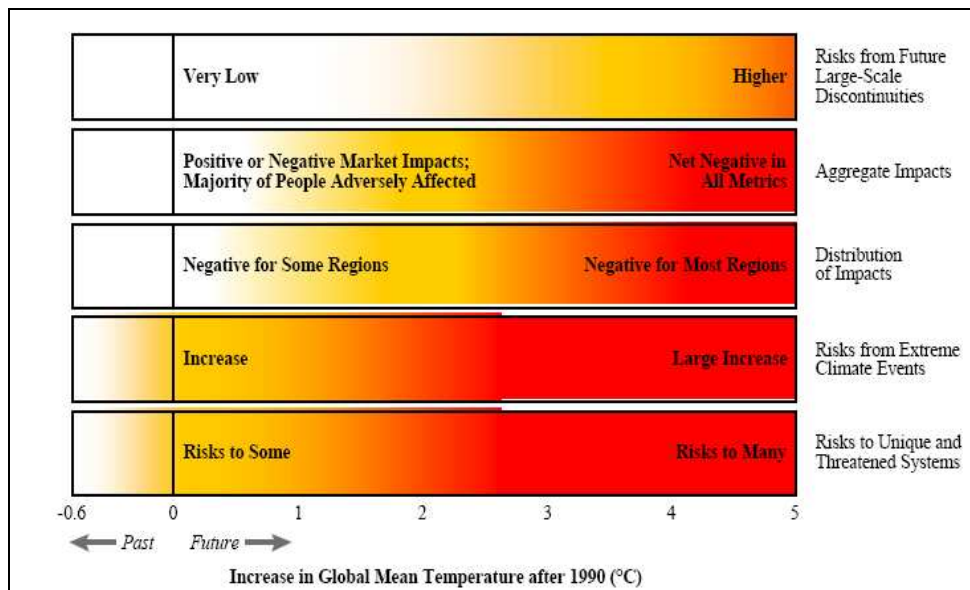


Bron: Mendelsohn et al, (2006)<sup>1</sup>

*Figuur 19: De heuvelvormige curve voor dosis-effect relaties van klimaatverandering*

De aard en omvang van de effecten hangen samen met de omvang en snelheid van temperatuurstijging. Bij eerder matige temperatuurstijgingen (1 tot 2 °C) kunnen vooral rijkere landen netto baten van klimaatverandering hebben (IPCC, 2001) terwijl armere landen reeds de kosten van klimaatverandering zullen voelen. Bij grotere temperatuurstijgingen zullen in alle sectoren en landen de kosten groter zijn dan de baten. Figuur 19 illustreert dat de aard en omvang van de gevolgen niet lineair zijn met de beschouwde temperatuurstijging. De omvang van de kosten hangen ook af van een reeks parameters die we verder bespreken.

<sup>1</sup> Mendelsohn, Dinar A.; Williams L., The distributional impact of climate change on rich and poor countries, *Environment and Development Economics*, 11: 159–178, 2006



Bron: IPCC, WG II, 2001

*Figuur 20: Overzicht van de mogelijke risico's van klimaatverandering en hun intensiteit in functie van de temperatuurstijging*

Wat de impacts betreft die de modellen mee in rekening brengen, springen volgende punten in het oog:

- Vele van de impacts verlopen via effecten op de watercyclus (Stern, 2006), terwijl net die effecten vaak het minst gekend zijn of onderschat worden in de economische modellen (Tol, 2005).
- Klimaatverandering leidt zowel tot risico's op overstroming als op droogte.
- Dalende voedselopbrengsten zijn te verwachten en dan vooral in Afrika. In gematigde klimaatzones kan de voedselopbrengst aanvankelijk stijgen, maar die zal bij grotere temperatuurstijgingen nadien terug dalen.
- In koudere klimaatzones zullen koudegerelateerde gezondheidseffecten dalen, maar globaal beschouwd zullen de negatieve gezondheidseffecten door hittestress en ondervoeding toenemen. Zonder aanpassing kan verspreiding van ziektes (bijv. malaria) dit nog versterken.
- In tegenstelling tot de mens die zich sneller kan beschermen tegen nieuwe risico's, zullen ecosystemen meer lijden onder klimaatveranderingen zodat 15 tot 40 % van de soorten reeds bij temperatuurstijgingen tot 2 °C kunnen verdwijnen.
- Een stijging van de zeespiegel zal de overstromingsrisico's sterk doen toenemen. Bij beperkte temperatuurstijgingen kunnen vooral rijkere landen zich hiertegen beschermen via dijken en andere waterkeringen. Zonder hulp zullen armere landen zich eerder moeten aanpassen via migratie. Bij hogere temperatuurstijgingen wordt het ook moeilijker en minder kosteneffectief voor rijkere landen om zich te beschermen via dijken en waterkeringen.
- De grootste negatieve effecten van klimaatverandering zijn te verwachten bij de hoogste temperatuurstijgingen, indien feed-back mechanismen worden meegerekend en indien meerdere – ook onzekere – effecten worden meegerekend en men over een lange termijn kijkt (na 2100). Naarmate men meer onzekere informatie meeneemt, zullen de kosten stijgen.

De impact van het al dan niet meenemen van de meer onzekere elementen is moeilijker te illustreren op basis van cijfers voor externe kosten per ton CO<sub>2</sub>. Daarom hanteren we hiertoe de indicator in termen van % van het mondiale GDP, op basis van het Stern rapport. Dit rapport toont aan dat de effecten in de economische sectoren (markt) voor een basisscenario mogelijk een beperkt beeld geven van de totale potentiële schade. De markteffecten zijn van eenzelfde orde van grootte als deze van de literatuur (2,1 % welvaartsverlies, met een range van 0,3 tot 5,9). De kosten verdubbelen



echter als ook het risico op catastrofes wordt verrekend, en verdubbelen andermaal als de niet-vermarkte welvaartseffecten worden meegerekend. Al deze kosten liggen 20 tot 40 % hoger in een scenario waarbij de BAU-emissies leiden tot hogere temperatuurstijging.

*Tabel 34: Illustratie van het relatieve belang van onzekere impactcategorieën op de verwachte schade door klimaatverandering (uitgedrukt als % van het mondiale GDP per capita, van klimaatverandering onder een BAU scenario, verdisconteert aan 0,1 %)*

| klimaatscenario's      | mate dat impacts worden meegerekend |                                 |   |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---|
|                        | markt                               | markt +<br>risico op catastrofe | markt +<br>risico op catastrofe +<br>niet-marktgebonden impacts |
| baseline               | 2,1                                 | 5,0                             | 10,9  |
| grote klimaatwijziging | 2,5                                 | 6,9                             | 14,4  |

Bron: Stern (2006)

Dit luik uit het Stern-rapport is logischerwijze controversieel: enerzijds wordt ze geprezen omdat ze verder gaat dan andere studies om de meer onzekere effecten in rekening te brengen. Zodoende sluit ze veel beter aan bij de nood aan een economische analyse van de risico's voor klimaatverandering, waarbij omgaan met onzekerheid een wezenlijk kenmerk is van deze problematiek. Anderzijds verwijten verschillende klimaateconomen Stern dat hij uit de literatuur systematisch de hoogste waarden kiest, dat de totale verrekening onduidelijk is en dat onzekerheden meerdere malen worden meegeteld (o.a. Tol, 2006).

### 5.2.2 Waardering van de effecten

We lichten hier twee elementen rond waardering specifiek toe. De invloed hiervan op de inschatting van externe kosten van BKG staat in tabel 35.

- **Verdiscontering:** klimaatverandering heeft zowel effecten op korte als op zeer lange termijn. Om effecten te aggregeren worden toekomstige impacts verdisconteerd aan de sociale discontovoet. Een discontovoet weerspiegelt zowel de tijdsvoorkeur van de mensen (we verkiezen consumptie vandaag boven uitgestelde consumptie) als de productiviteit van kapitaal (men kan het uitgespaarde geld gedurende die tijd inzetten voor andere productieve doeleinden). Het is hierbij de vraag of men het element pure tijdsvoorkeur mag meerekenen als het gaat om impacts op volgende generaties. De economische wetenschap zelf geeft geen uitsluitsel over welke discontovoet precies te hanteren zodat men normaliter resultaten presenteert voor verschillende discontovoeten.

Gangbare maatschappelijke discontovoeten om kosten en baten over enkele decennia te beoordelen zijn in de orde van 3 % tot 5 %, met de laatste jaren een trend naar lagere discontovoeten en discontovoeten die dalen in te tijd, waardoor impacts op toekomstige generaties een relatief groter gewicht krijgen (zie bijv. LNE, 2007)

De invloed van deze keuze op de resultaten is groot, zoals geïllustreerd in tabel 38. FUND beveelt een discontovoet aan van rond de 5 % (= 3 % tijdsvoorkeur + 2 % economische groei, Antroff 2007), maar geeft ook aan dat bij een discontovoet van 3 % (1 % tijdsvoorkeur + 2 % economische groei) de externe kosten met een factor 10 stijgen (afhankelijk van andere aannames). Verkiest men 0% tijdsvoorkeur, dan kunnen externe kosten nog een orde van grootte stijgen.

- **Equity weighing:** klimaatverandering heeft impacts in rijke en arme regio's. De standaard economische waardering weerspiegelt deze welvaartsniveaus. In de praktijk betekent dit dat bijv. dezelfde gezondheidseffecten in West Europa een hoger gewicht krijgen dan deze in bijv. Afrika. Omdat klimaatverandering zowel positieve als negatieve gevolgen heeft en de positieve gevolgen zich vooral voordoen in rijkere landen en op korte termijn, wegen deze sterk door in de totale netto resultaten.

Men kan hiervoor corrigeren door ofwel voor beide werelddelen eenzelfde gemiddelde waarde te hanteren of door voor arme landen een hogere waarde te hanteren, gelijk aan deze in West Europa. Alle benaderingen hebben voor- en nadelen en er is nog weinig wetenschappelijke literatuur om hierbinnen consequente keuzes te maken (Tol, 2010). De impact van deze aannames op externe kosten is eveneens groot: bij waardering op basis van gemiddelde waardes

(average equity weighting) stijgen externe kosten met ongeveer een factor 2, bij waardering van impacts in arme landen aan West-Europese prijzen/waardes stijgen zij een factor 10 (tabel 38).

**Tabel 35: Illustratie van de bandbreedte op schattingen externe kosten voor emissies van CO<sub>2</sub> in het jaar 2055, in functie van aannames over discontovoeten (pure tijdsvoorkeur) en al dan niet hoger waarderen van impacts in arme landen op basis prijzen van rijke landen**

|  | Keuze discontovoet        |                           |                           |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|  | 5 %<br>(3 % pure tijdsv.) | 3 %<br>(1 % pure tijdsv.) | 2 %<br>(0 % pure tijdsv.) |
| Prijzen van dat land<br>(geen equity weighting)        | 1                         | 17                        | 62                        |
| Gemiddelde wereldprijzen<br>(average equity weighting) | 2                         | 25                        | 89                        |
| Europese Prijzen                                       | 10                        | 123                       | 164                       |

Bron: op basis van resultaten van FUND, Antroff, 2007

### 5.2.3 Ordes van grootte van de externe kosten

Al deze elementen samen verklaren dat de bandbreedtes op schattingen voor externe kosten sterk kunnen uiteenlopen, zodat het niet evident is om op basis van dergelijke modellen centrale schattingen te geven. Om deze redenen worden in recente studies van ExternE-Needs ook eerder een set van kengetallen gegeven, in functie van discontovoet (uitgedrukt als pure tijdsvoorkeur) en aannames rond equity weighting.

De ordes van grootte verschillen indien men eerder naar de benedengrens van de schattingen kijkt (enkel goed onderbouwde impacts, geschat aan huidige discontovoeten en zonder equity weighting) of men eerder naar de bovengrens kijkt.

Op basis van 97 schattingen uit 27 oudere studies besluit Tol dat er weinig evidentie is om externe kosten hoger in te schatten dan 14 \$/ton CO<sub>2</sub>eq. Deze studies geven waarschijnlijk echter een te beperkt beeld. Meer recente studies schatten de externe kosten wel hoger in, maar geven ook meer informatie over de bandbreedte in functie van bepalende factoren, zoals discontovoeten, equity weighting, etc.

Om in de UK externe kosten mee te nemen in beleid heeft Defra een studie gelanceerd naar de 'sociale kost van koolstof' (social cost of carbon) (Watkiss et al., 2005). Deze studie combineert verschillende klimaatmodellen en suggereert iets hogere cijfers dan de literatuur tot dan, en met bijkomend een licht stijgend verloop in de tijd. De centrale schatting voor 2000 (22 euro<sub>2005</sub>/ton CO<sub>2</sub> eq) is dicht in de buurt van het kengetal voor MIRA 2005, met een bandbreedte van 14 tot 53 euro<sub>2005</sub>/ton CO<sub>2</sub>eq.. Deze centrale waarde stijgt tot 41 en 85 euro/ton CO<sub>2</sub> eq in respectievelijk 2030 en 2050.

**Tabel 36: De 'sociale kost van koolstof', geschat voor Defra, UK, uit 2005**

| euro* per ton<br>CO <sub>2</sub> eq | centrale<br>schatting | lagere<br>schatting | centrale<br>hogere<br>schatting | centrale<br>ondergrens | bovengrens |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------|------------|
| 2000                                | 22                    | 14                  | 53                              | 4                      | 89         |
| 2030                                | 41                    | 14                  | 105                             | 8                      | 150        |
| 2050                                | 85                    | 53                  | 170                             | 12                     | 223        |

\* prijsniveau 2005

Bron: Watkiss et al. (2005)

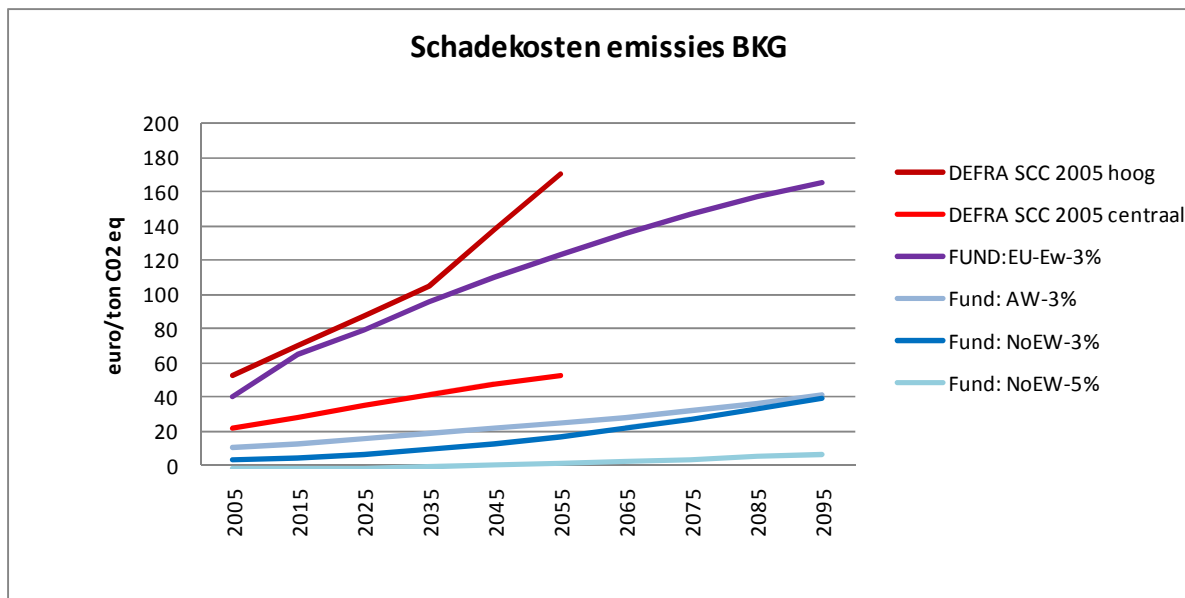
Dit cijfer is door verschillende studies verder gehanteerd als het kengetal of kengetallen voor de externe kosten van klimaat, bijv. in volgende drie studies.

- UK Defra, 2005;
- CE, IMPACT, Handbook on estimation of external costs in the transportation sector, 2008 (Maibach et al, 2008);

- DLR-ISI, externe kosten van hernieuwbare energie in Duitsland (Krewitt et al, 2006).

Figuur 20 geeft een overzicht van een selectie van de recente kengetallen uit het FUND model, ontwikkeld in het kader ExternE Needs 2007. Ze tonen vooreerst dat bij alle aannames de externe kosten stijgen in de tijd. Bij de meest conservatieve schatting (d.w.z. discontovoet van 5% en geen equity weighting) zijn externe kosten licht negatief tot 2035 omdat korte termijn baten in het rijke deel van de wereld overheersen. Daarna stijgen ze maar blijven ze relatief laag. Bij een discontovoet van 3% stijgen de externe kosten tot ongeveer 20 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. tegen 2050 en verdubbelen ze tot 40 euro ton CO<sub>2</sub>-eq. tegen het einde van de eeuw. De impact van het verrekenen van de impacts aan gemiddelde wereldprijzen heeft relatief een beperkt effect (de impacts in armere landen worden hoger gewogen maar in rijke landen lager). Als we een discontovoet van 3% combineren met het wegen van impacts aan prijzen in West Europa dan zijn de externe kosten beduidend hoger en stijgen ze van 40 euro/ton CO<sub>2</sub>eq in 2005 tot 160 euro/ton CO<sub>2</sub> eq voor emissies aan het einde van deze eeuw.

Figuur 21 toont verder dat de centrale schatting uit de Defra studie naar social cost of carbon hier tussenin ligt (lichtrode lijn in figuur). De hoge schatting (donkerrode lijn) ligt nog duidelijk hoger.



Bron : op basis van Antroff, 2007; Watkiss 2005

*Figuur 21: externe schadeprijzen klimaatverandering volgens verschillende modellen voor emissies in verschillende jaren (2005 tot 2095)*

Legende:

- FUND: resultaten op basis van FUND model, Antroff, 2007 voor volgende aannames: NoEW 5 % = No equity weighting, 5 % discontovoet (waarvan 3 % pure tijdsvoorkeur)
- NoEW: idem maar 3 % discontovoet, (1 % pure tijdsvoorkeur)
- AW 3 % = average weighting op basis prijzen gemiddelde voor de wereld, 3 % discontovoet
- EU-EW = equity weighting op basis van prijzen west europa, 3 % discontovoet
- Defra SCC = cijfers uit studie naar social cost of carbon voor UK, DEFRA, centrale en hoge schatting.

## **5.2.4 Besluit**

Deze cijfers illustreren dat er nieuwe informatie bestaat over schadekosten van broeikasgassen en dat de studies die het dichtste bij beleid aanleunen eerder kiezen voor uitgangspunten die resulteren in hogere schattingen uit de modellen. In dit licht vormt het kengetal van 20 euro ton CO<sub>2</sub>-equivalent uit MIRA 2005 een te lage schatting om het geheel van standpunten en schattingen af te dekken en werkt men best met een cijferreeks die hogere externe kosten aanrekent. Verder geven ze aan dat de externe kosten voor emissies van BKG in toekomstige jaren hoger zijn dan voor emissies in 2010.

## **5.3 Preventiekosten als basis kengetallen externe kosten**

### **5.3.1 Principe van de preventiekosten methode**

Gegeven de onzekerheden en bandbreedtes op schattingen van externe kosten op basis van de schademethode kan men als alternatief de externe kosten baseren op de preventiekosten (marginale reductiekosten). Op basis van deze methode worden de kosten om aan een beleidsdoelstelling te voldoen als een maat genomen voor de bereidheid tot betalen van de maatschappij om deze doelstelling te bereiken.

De basis voor deze berekening zijn de marginale kosten om die doelstelling te realiseren. Hiertoe bepaalt men in een kosten-effectiviteitsanalyse via welke maatregelen men deze doelstellingen het goedkoopste kan bereiken. De kost van de laatste of duurste maatregel die nog nodig is om aan de doelstelling te voldoen vormt de marginale kost. De kost van deze maatregel (in euro per jaar) moet men dan delen door de reducties als gevolg van deze maatregel (in tonnen CO<sub>2</sub> per jaar) om zo een kost te krijgen in euro/ton CO<sub>2</sub>.

Deze methodiek vereist dus de volgende stappen:

- selectie van een goed onderbouwde emissiereductie doelstelling;
- informatie over kosten van maatregelen om deze doelstelling te bereiken;
- afleiden van een marginale reductiekost per eenheid emissie.

### **5.3.2 Preventiekosten voor emissies broeikasgassen**

#### **5.3.2.1 Selectie van een goed onderbouwde doelstelling**

Voor klimaat is de meest relevante doelstelling de algemene doelstelling van de EU om de temperatuur met niet meer dan 2°C. te laten stijgen. De wetenschap geeft immers aan dat bij stijgingen boven deze drempel de maatschappelijke kosten sterk kunnen stijgen, ook al kunnen we dit niet volledig goed inschatten (zie figuur 12 hierboven).

Deze doelstelling is de meest relevante omdat zij wetenschappelijk en politiek de best onderbouwde is.

- Vanuit milieuoogpunt een (begin van ) adequaat beschermingsniveau biedt, ook al verwachten we bij 2 °C nog heel wat klimaatimpacts, aanpassingskosten en schade.
- Deze doelstelling is in december 2009 onderschreven door de staatshoofden in het Kopenhagen akkoord van de COP15 vergadering (UNFCCC, 2009). Op Europees vlak wordt dit onderschreven en doorvertaald naar emissiedoelstellingen en acties (EC, 2007).
- Zinvol is vanuit het oogpunt van kosten en baten. Hoewel het niet mogelijk is om een optimaal niveau van toelaatbare klimaatopwarming te bepalen, geeft het Stern rapport aan dat kosten en baten van inspanningen om dit niveau te bereiken in evenwicht zijn en dat deze doelstelling economisch zinvol is.

Men kan natuurlijk de analyse baseren op minder verregaande doelstellingen, maar in dat geval is de resterende schade door klimaatverandering nog te groot. Vanuit milieuoogpunt zou het interessant zijn om verdergaande doelstellingen te bekijken, maar deze zijn zeer moeilijk te realiseren, waardoor ook de preventiekost moeilijk te bepalen is.

Op basis van deze doelstelling kan men terugrekenen hoe groot de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer mag zijn, en wat dit betekent voor de maximale uitstoot van broeikasgassen in de komende decennia.

- Berekeningen tonen aan dat deze doelstelling impliceert dat de concentratie van alle broeikasgassen in de lucht samen moeten beperkt blijven tot 445-490 ppm CO<sub>2</sub>-eq. Dit moet men dan verder doorvertalen naar doelstellingen voor bijv. enkel CO<sub>2</sub>.
- Voor CO<sub>2</sub> concentraties betekent dit een reductie tot 350 à 400 ppm CO<sub>2</sub>. Dit zou de gemiddelde mondiale temperatuurstijging dan beperken tot gemiddeld 2.1 °C (bandbreedte 1.4 – 3.1 °C).
- Verder kan men dan emissiepaden bepalen die deze randvoorwaarde respecteren.
- Het verschil tussen de groei van emissies in het nulscenario en de emissies uit het beleidsscenario (respecteren doelstelling) vormen de omvang van het emissiereductie-doelstelling. Bijkomend moet men voor de klimaatproblematiek aannames maken over de eigen bijdrage aan deze emissiereductie-doelstelling.

De 2°C doelstelling impliceert ambitieuze emissiereducties. Indien de concentratie op lange termijn stabiliseert op een niveau van ongeveer 450 ppmv CO<sub>2</sub>-equivalent bedraagt de kans 50% dat deze doelstelling wordt gehaald. Dit betekent dat de uitstoot op wereldschaal een piek bereikt voor 2025 en vervolgens tegen 2050 dient te dalen tot 50% van de uitstoot in 1990 (EC 2007). Als we ervan uitgaan dat de ontwikkelde landen het voortouw moeten blijven nemen, dan moet hun uitstoot tegen 2020 met 15 tot 30% verminderen t.o.v.1990. Het Europees Parlement heeft voor de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot als doelstelling een daling met 30% tegen 2020 en met 60 tot 80% tegen 2050 voorgesteld (EC, 2007).

#### 5.3.2.2 Informatie over kosten van maatregelen om deze doelstelling te bereiken

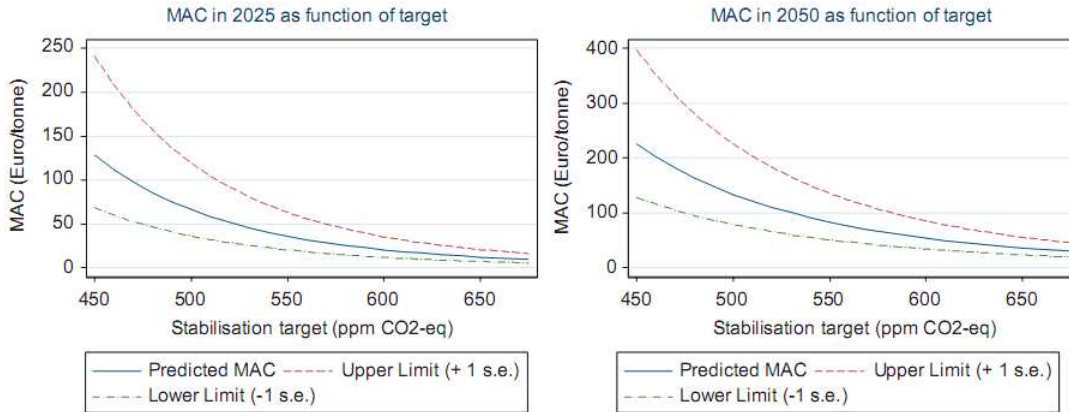
Er zijn vele modellen en studies die gekeken hebben naar kosten om verschillende reductiedoelstellingen van BKG en CO<sub>2</sub> te realiseren. Voor bepaling van de externe kosten is het vooral belangrijk om een goed beeld te kunnen geven van de orde van grootte van marginale reductiekosten en factoren die dit beïnvloeden. We bespreken verschillende studies, de kengetallenreeksen staan in tabel 40.

- 1 Een algemeen beeld wordt gegeven door een meta-analyse van modelresultaten van 26 modellen en 61 modelstudies in Kuik et al, 2009. De marginale kosten om aan de doelstellingen voor 2°C te voldoen staan weergegeven in tabel 37 en zijn berekend voor de jaren 2025 en 2050. De resultaten zijn weergegeven in figuur 22. Om aan een doelstelling van 450 ppm CO<sub>2</sub> eq. te voldoen worden voor 2025 de marginale kosten geschat op 129 euro/ton CO<sub>2</sub> (bandbreedte 69-241) en voor 2050 op 225 euro/ton CO<sub>2</sub> (bandbreedte 128 – 396). De figuur toont verder dat de marginale kosten van een minder strenge doelstelling veel lager zijn. De marginale kosten om een doelstelling van 500 ppm CO<sub>2</sub>-eq. te behalen (met verwachte stijging van de temperatuur van 2.4 tot 2.8 °C) zijn ongeveer de helft lager. De figuur illustreert verder dat de onzekerheid toeneemt als men kosten van een meer ambitieus beleid wil bekijken.

Deze meta-analyse schept een goed beeld van de orde van grootte van deze kosten. Hierbij worden kenmerken van verschillende modellen (met hun voor- en nadelen) en de aannames uit verschillende studies uitgevlakt. Het nadeel van deze resultaten anderzijds is dat je ze niet duidelijk kan aangeven welke technologieën gehanteerd worden of welke aannames zijn gemaakt.

De cijfers zijn een schatting om die doelstelling op een zo goedkoop mogelijke wijze te behalen, gekeken op wereldniveau. Dit betekent dat men veronderstelt dat de emissiereducties zullen gebeuren daar en door wie dit het goedkoopste kan bereiken. In deze analyse worden dus geen emissiereducties voor individuele landen of sectoren opgelegd, maar kiest het model de emissiereductie waar die het goedkoopst is.

Men kan de resultaten ook niet direct interpreteren in termen van emissiereducties omdat het meta-model zich richt op temperatuurstijgingen.



Bron, Kuik et al, 2009

*Figuur 22: Overzicht van marginale reductiekosten van wereldwijd beleid om verschillende klimaatdoelstellingen te realiseren*

- 2 Op basis van het meta-analyse model van Kuik zijn in het kader van het "Handboek schaduw prijzen" (De Bruyn et al., 2010a) kengetallen afgeleid die gaandeweg stijgen van 25 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. in 2010 naar 214 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. in 2050 (tabel 37). Het kengetal voor 2050 verwijst naar de 2°C doelstelling uit het 450 ppm CO<sub>2</sub>-eq. scenario van Kuik et al, 2009. Om de kengetallen voor tussenliggende jaren rond 2025 meer in lijn te brengen van andere studies zijn deze lager geschat, en zo verkrijgt men een exponentieel verloop van marginale externe kosten.
- 3 Het "Handboek schaduw prijzen" vermeldt ook een andere reeks van lagere kengetallen die gaan van 35 euro/tonCO<sub>2</sub>-eq. in 2025 tot 83 euro/tonCO<sub>2</sub>-eq. in 2050. Deze kengetallenreeks is in lijn met wat aanbevelingen uit iets oudere studies zoals het HEATCO project voor transport (Bickel, 2006) en studies voor DEFRA 2005 (Watkiss et al, 2005). Deze kengetallenreeks worden in het "Handboek schaduw prijzen" het realistisch scenario genoemd, maar weerspiegelen een emissiereductie-scenario dat leidt tot ruwweg 2.8°C. (De Bruyn et al., 2010a). We kunnen de centrale waardes uit deze kengetallenreeks dus niet weerhouden als indicator voor marginale reductiekosten voor de doelstelling van max 2°C opwarming.
- 4 De overheid in de UK (Defra) heeft in 2009 de kengetallen voor de externe kosten van CO<sub>2</sub> herzien. Het is hierbij overgegaan van een benadering gebaseerd op sociale kost van koolstof (zie hierboven) naar preventiekosten. Hiertoe zijn kosten geschat van een emissietraject dat gericht is op het respecteren van de lange termijn doelstelling van maximaal 2°C opwarming, en waarbij men voor 2050 mikt op een reductie van CO<sub>2</sub> emissies van 60 % in vergelijking met 1990.  
  
Het maakt hierbij onderscheid tussen sectoren die wel en niet onder het ETS (European Trading system) vallen. Sectoren die onder het ETS vallen kunnen handel in emissierechten drijven en hebben hierdoor de goedkoopste mogelijkheid om doelstellingen te realiseren. Voor deze sectoren schat men de omvang van marginale reductiekosten gelijkaardige als deze op basis van de meta-analyse van Kuik. Ze stijgen van 24 euro/ton in 2009 naar 80 euro/ton in 2030 en 230 euro/ton in 2050 (tabel 37). Op korte termijn (2020) stijgen in deze modellen de marginale reductiekosten minder snel (tot 29 euro/ton) dan in de meta-analyse (50 euro/ton).
- 5 We merken hier verder bij op dat de kengetallenreeks ook cijfers weergeeft voor sectoren die niet onder de ETS vallen. Voor deze sectoren zijn op korte en middellange termijn duurdere maatregelen nodig om de doelstellingen te halen. De marginale reductiekosten bedragen in 2010 reeds 60 euro/ton CO<sub>2</sub>, en ze stijgen verder tot 80 euro/ton CO<sub>2</sub> tegen 2030 (tabel 40). Vanaf 2030 lopen de kosten gelijk voor de verschillende sectoren.

- 6 In Frankrijk heeft de commissie onder leiding van A. Quinet een referentiewaarde aanbevolen voor de schaduwprijs voor koolstof om te gebruiken bij de beoordeling van publieke investeringen. De schaduwprijs is in lijn met een reductie van de BKG met 20 % tegen 2020 en met 60 % tot 80 % tegen 2050. Deze aanbeveling omvat een schaduwprijs die stijgt van 32 euro per ton CO<sub>2</sub> in 2010 naar 200 euro voor 2050 (bandbreedte 150 -350)(Quinet, 2008; Quinet 2009). Dit komt neer op een verdubbeling van de waardes uit een vorige aanbeveling uit 2001.
- 7 Het Europees handboek voor externe kosten van transport, IMPACT, geeft verschillende centrale waardes, die stijgen tussen 2010 en 2050. De bovenste centrale waarde gaat van 100 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. tot 180 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. (Maibach et al, 2008) (tabel 37).
- 8 De orde van grootte uit deze studies komt overeen met studies voor België waar naar marginale kosten wordt gekeken van mogelijke scenario's van lange termijn doelstellingen voor CO<sub>2</sub>. Een studie om emissies in België in 2050 te reduceren met - 52 % (in vergelijking met 1990) geeft aan dat marginale kosten kunnen variëren van 200 tot 327 euro/ton CO<sub>2</sub>eq. (Van Regenmorter et al, 2007). Dit cijfer valt dus binnen de marge van de meta-analyse van Kuik et al. Ook voor de middellange termijn (2030) geeft deze studie cijfers in de lijn van Kuik et al. (rond 130 euro/CO<sub>2</sub> –eq.).
- 9 Dat de marginale kosten om aan doelstellingen van CO<sub>2</sub> beleid te voldoen sterk zullen stijgen in de komende decennia komt ook tot uiting in studies voor Vlaanderen. In het VISI-scenario van de milieuverkenning 2030 voor MIRA-S, dat ook de 2°C doelstelling nastreeft, worden prijzen van emissierechten gehanteerd die stijgen van 20 euro in 2010 tot 78 euro voor periode 2020-2030 (tabel 37).
- 10 Deze schatting is hoger dan wat andere studies vaak verwachten, omdat dit aansluit bij een ambitieuze doelstelling. Studies die de verwachte prijs van CO<sub>2</sub> emissierechten schatten komen uit op prijzen van 25 tot 35 euro/ton CO<sub>2</sub> voor het jaar 2020. Het is echter niet zeker dat deze schattingen een emissietraject weerspiegelen dat de 2°C doelstelling op een kostenefficiënte manier behalen. Deze doelstelling vergt immers ook dat de emissies snel gereduceerd worden.

*Tabel 37: De marginale reductiekost voor voldoen aan lange termijn klimaatdoelstellingen, geschat volgens enkele studies (in euro/tonCO<sub>2</sub>-eq)*

|      | Wereld 2°C |     | VK, Defra |        | Frankrijk | België | Kengetallen |        |         |
|------|------------|-----|-----------|--------|-----------|--------|-------------|--------|---------|
|      | min        | max | traded    | Non-tr |           | Markal | Mira-S      | IMPACT | CE-2009 |
| 2010 | 20         | 20  | 24        | 59     | 32        | 37     | 20          | 45     | 25      |
| 2020 | 45         | 131 | 29        | 70     | 56        | 71     | 78          | 70     | 50      |
| 2030 | 69         | 241 | 82        | 82     | 100       | 149    | 78          | 100    | 80      |
| 2040 | 99         | 319 | 157       | 157    |           | 176    |             | 135    | 119     |
| 2050 | 128        | 396 | 233       | 233    | 200       | 268    |             | 180    | 214     |

Bronnen:

- Wereld: op basis Kuik et al, 2009, 2° C opwarming, 450 ppm-CO<sub>2</sub> eq (voor tussenliggende jaren: eigen lineaire interpolatie)
- VK, Defra, 2007: traded, non traded: sectoren die al dan niet deel uitmaken van het ETS en CO<sub>2</sub> rechten kunnen verhandelen
- Frankrijk: Rapport Quinet, 60-80 % reductie BKG in EU tegen 2050 (Quinet, 2008)
- België: Markal-times, 52 % emissiereductiedoelstelling in 2050 tov 1990, Van Regenmorter el, 2007, gemiddelde tussen 2 scenario's
- MIRA-S : schaduwprijs voor ETS emissierechten in Visionair scenario
- Kengetallen: IMPACT, hoge schatting voor kengetal CO<sub>2</sub> in handboek externe kosten voor transport
- CE-2009: "Handboek schaduwrijzen", centrale schatting voor ambitieus scenario (De Bruyn et al., 2010a)

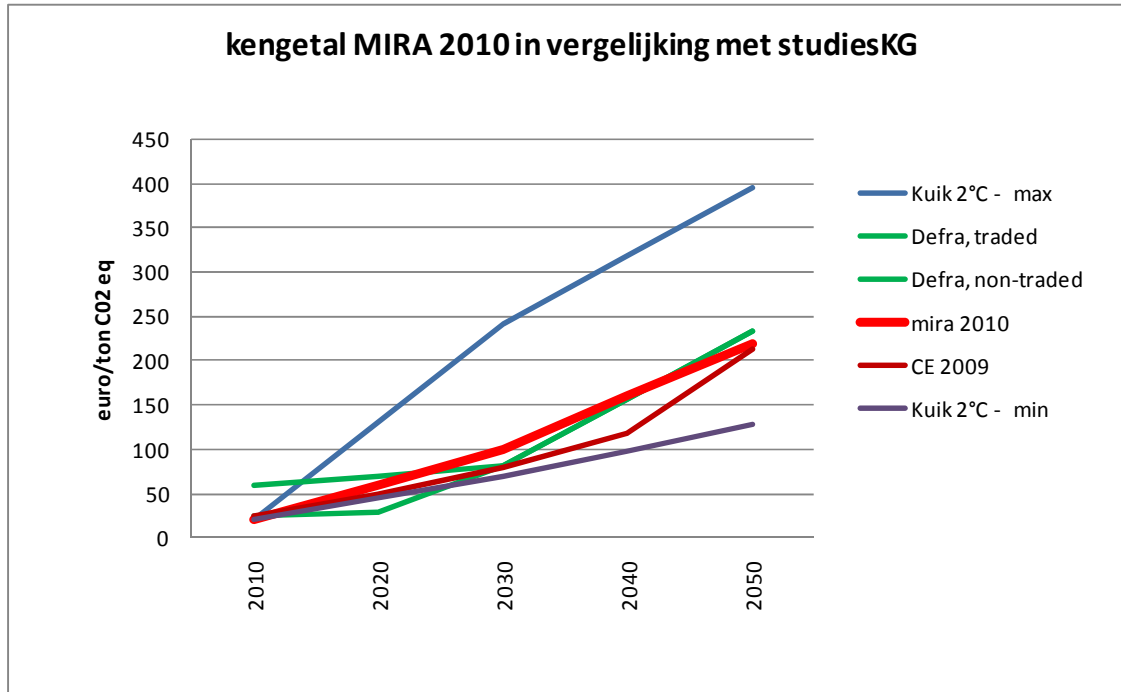
## 5.4 Kengetallen voor broeikasgassen

### 5.4.1 Externe kosten voor CO<sub>2</sub>

Op basis van bovenstaande informatie hebben we een kengetallenreeks afgeleid voor externe kosten van broeikasgassen (tabel 41). Hierbij zijn volgende uitgangspunten en lessen uit studies gehanteerd:

- Ze zijn gebaseerd op marginale reductiekosten om de doelstelling van maximaal 2° C opwarming te respecteren.

- Alle studies geven hiertoe marginale reductiekosten die vertrekken van rond de 20 euro/ton in 2010 om dan relatief snel te stijgen.
- Voor 2050 geven verschillende studies een bandbreedte van 130 tot 400 euro/ton CO<sub>2</sub> eq. met centrale schatting tussen 200 en 240 euro/ton CO<sub>2</sub> eq.
- Een eenvoudige kengetallenreeks met afgeronde cijfers, waarbij externe kosten na 2030 sneller stijgen dan tussen 2010 en 2030.



*Figuur 23: Overzicht van de schadeprijzen van CO<sub>2</sub> emissies uit modelstudies bij verschillende aannames (in euro/ton CO<sub>2</sub> eq.)*

Om deze grote lijnen uit verschillende studies te benaderen wordt een eenvoudige kengetallenreeks gehanteerd waarbij externe kosten tussen 2010 en 2030 jaarlijks stijgen met 4 euro ton/CO<sub>2</sub> en na 2030 met 6 euro/ton CO<sub>2</sub>. De cijferreeks is weergegeven in tabel 38 en figuur 23. De figuur illustreert dat deze kengetallenreeks in 2050 aansluit op de andere studies en aanbevelingen voor schaduwrijzen voor Frankrijk en het VK. Op middellange termijn (2030) komt ze iets hoger uit dan bijv. *Defra traded* of *Handboek schaduwrijzen*. Dit lijkt ons verantwoord omdat er meerdere studies zijn die op middellange termijn hogere marginale reductiekosten of schaduwrijzen geven (bijv. MIRA-S, visionair scenario; Defra, 2007, voor sectoren die niet onder de handel vallen; Van Regenmorter, 2007, Quinet 2008). Bovendien geeft de meta-analyse van Kuik et al, 2009 ook voor 2025 reeds hogere marginale reductiekosten aan.

Figuur 23 suggereert dat de onder- en bovengrens uit de studie van Kuik et al, 2009, tevens de bandbreedte aangeeft voor externe kosten van CO<sub>2</sub> gebaseerd op de preventiemethode. De onzekerheid op externe kosten van broeikasgassen is echter groter, als we ook onzekerheden meenemen vanuit de schadefunctie-methode of klimaatwetenschap.

De kengetallen voor toekomstige jaren houden al rekening met economische en demografische groei, en hiervoor moet bij toepassing niet verder gecorrigeerd worden. Deze kengetallen zijn immers gebaseerd op modellen die bijv. voor 2050 rekening houden met hoe economische ontwikkelingen en prijsniveaus de emissies in 2050 bepalen zonder beleid, en hoe economische en technische evolutie de prijzen in 2050 bepalen van technieken en maatregelen om broeikasgasemissies te reduceren, bijv. voor hernieuwbare energie. Omdat dit verschilt van model tot model en voor verschillende technologieën kunnen we daar hier niet dieper op ingaan (Kuik et al, 2009)



Tabel 38: Kengetallenreeks voor externe kosten van de voornaamste broeikasgassen voor emissies in periode 2010-2050. (in euro<sub>2009</sub>/ton pollutant)

|           | Kengetal MIRA 2010 | Verklaring         |
|-----------|--------------------|--------------------|
| Voor 2010 | 20                 | Kengetal MIRA 2005 |
| 2010      | 20                 | idem               |
| 2020      | 60                 | + 4 €/jaar         |
| 2030      | 100                | + 4 €/jaar         |
| 2040      | 160                | + 6 €/jaar         |
| 2050      | 220                | + 6 €/jaar         |
| Na 2050   | 220                |                    |

#### 5.4.2 Externe kosten voor verschillende broeikasgassen

De bijdrage van verschillende broeikasgassen (BKG) wordt bepaald in functie van hun verblijftijd in de atmosfeer en de mate waarin het gas infrarode straling absorbeert of uitstraalt (zie AG klimaat, sectie 2.3). Om die bijdrage te verrekenen zijn relatieve gewichten berekend uitgedrukt in global warming potential (GWP) en in het kader van MIRA worden de GWP van IPCC, SAR, 1996 gehanteerd.

Kengetallen voor externe kosten van broeikasgassen zijn op basis van analyses voor CO<sub>2</sub> en worden uitgedrukt in termen van CO<sub>2</sub>-equivalenten. De omrekening naar andere broeikasgassen gebeurt op basis van hun bijdrage aan de klimaatproblematiek (GWP). Omdat de berekeningen met schademodelen de schade in verschillende jaren anders waarderen, geven dit soort modellen ook effecten voor verschillende broeikasgassen. Deze externe kosten per broeikasgas verschillen van deze omgerekend via GWP. De mate waarin zij verschillen hangt echter sterk af van een reeks aannames, zodat we hier niet verder in detail op ingaan. Voor een set van data voor verschillende broeikasgassen en aannames verwijzen we naar Antroff, 2007.

De resultaten voor de voornaamste broeikasgassen zijn weergegeven in tabel 39, in hoofdstuk 6 staat de tabel voor alle broeikasgassen (tabel 47).

Tabel 39: Kengetallenreeks voor externe kosten van de voornaamste broeikasgassen 2010-2050

|         | Broeikasgas     |                 |                  |                 |
|---------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
|         | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | SF <sub>6</sub> |
| GWP     | 1               | 21              | 310              | 23900           |
| eenheid | euro/ton        | keuro /ton      | keuro/ton        | keuro/ton       |
| 2010    | 20              | 0,42            | 6,2              | 478             |
| 2020    | 60              | 1,26            | 18,6             | 1434            |
| 2030    | 100             | 2,1             | 31               | 2390            |
| 2040    | 160             | 3,36            | 49,6             | 3824            |
| 2050    | 220             | 4,62            | 68,2             | 5258            |

*Global warming potential op basis van SAR, IPCC, 1996*

## 6 Kengetallen voor externe kosten

In dit hoofdstuk worden de kengetallen voor externe kosten voor verschillende emissies naar lucht vanuit Vlaanderen en emissies van broeikasgassen samengevat weergegeven. De externe kosten van emissies naar lucht zijn berekend via de schadefunctiemethode. Hierbij is de Europese methodiek van ExternE-Needs (2009) verder aangevuld met Vlaamse kennis en data en verspreidingsmodellen die toelaten om met meer detail impacts in Vlaanderen en buurregio's te berekenen. De externe kosten van broeikasgassen zijn berekend op basis van preventiekosten, met name de marginale reductiekosten om wereldwijd op de goedkoopste manier de doelstelling van een maximale opwarming van 2°C te respecteren. De cijfers zijn gebaseerd op een meta-analyse van verschillende modellen en studies. Meer details over achterliggende schadecategorieën of impacts en hoe ze zijn berekend staan in vorige hoofdstukken.

### 6.1 Welk kengetal kiezen?

Een kengetal is een benaderende schatting voor externe kosten, om te vermijden dat men telkens opnieuw de hele berekeningsprocedure moet doorlopen. Het is benaderend omdat we weten dat externe kosten afhangen van locatie van emissies, schouwhoogte, achtergrondconcentraties, jaar van emissie, en van omvang van de verandering van emissies.

Om via kengetallen rekening te houden met de voornaamste factoren zijn verschillende kengetallen of kengetallenreeksen gemaakt. We maken hierbij onderscheid tussen emissies naar lucht en emissies van BKG.

#### 6.1.1 Onderscheid in kengetallen voor emissies naar lucht

We maken in de eerste plaats onderscheid tussen de schouwhoogte, wat grotendeels samenvalt met onderscheid tussen sectoren:

- Emissies uit hoge schouwen verspreiden zich verder, deze kengetallen zijn van toepassing op emissies uit hogere schouwen uit energiesector (elektriciteitscentrales, raffinaderijen) en industrie.
- Emissies uit lage schouwen verspreiden zich minder ver en hebben vooral voor emissies van fijn stof (PM) een hogere impact op volksgezondheid in het dichtbewoonde Vlaanderen. Ze zijn van toepassing op emissies uit de dienstensector en huishoudens en lagere schouwen uit industrie en energiesector.
- Voor emissies vlak bij de grond uit de transportsector is de plaats van uitstoot een belangrijke factor, vooral voor fijn stof. Daarom maken we voor emissies van fijn stof (PM) een onderscheid tussen het type verkeer (wegverkeer, spoor en binnenwateren) en voor wegverkeer onderscheid tussen verkeer in de stad, platteland en snelweg.

In aansluiting met de kengetallen op Europees niveau geeft deze studie ook aan om onderscheid te maken voor de evolutie van externe kosten in de tijd. Dit hangt samen met drie factoren:

- Veranderde achtergrondconcentraties omdat emissies in Vlaanderen en Europa evolueren.
- Demografische evoluties en impacts op blootstelling en volksgezondheid
- Economische groei doet de koopkracht en de monetaire waarde van de effecten stijgen.

Om deze problematiek te verkennen hebben we kengetallen berekend voor de huidige situatie (dit noemen we 2010) en één toekomstig zichtjaar (2020) op basis van één set van verwachte evoluties.

Kan men externe kosten van PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>coa</sub> en PM<sub>10</sub> optellen zonder gevaar voor dubbeltellingen?

- Als men voor eenzelfde bron emissiefactoren heeft voor PM<sub>2,5</sub> en voor PM<sub>coa</sub> dan kan men voor beide externe kosten berekenen aan de hand van onze kengetallen en de externe kosten van deze twee pollutanten optellen optellen zonder gevaar voor dubbeltellingen.
- Als men voor eenzelfde bron emissiefactoren heeft voor PM<sub>2,5</sub> en voor PM<sub>10</sub> dan is er gevaar voor dubbeltellingen. Als de emissies van PM<sub>10</sub> ook deze van PM<sub>2,5</sub> bevatten, moet men de

PM<sub>2,5</sub> emissies aftrekken van de PM<sub>10</sub> emissies. Op deze wijze bekomt men een set van emissies van PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>co</sub> waarvan men de externe kosten wel kan optellen.

- Als men voor eenzelfde bron emissiefactoren heeft voor PM<sub>co</sub> en voor PM<sub>10</sub> dan is er gevaar voor dubbeltellingen. Als de emissies van PM<sub>10</sub> ook deze van PM<sub>co</sub> bevatten, moet men de PM<sub>co</sub> emissies aftrekken van de PM<sub>10</sub> emissies. Op deze wijze bekomt men een set van emissies van PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>co</sub> waarvan men de externe kosten wel kan optellen.

In de volgende paragraaf bespreken we enkele opmerkingen over het gebruik van deze kengetallen.

### **6.1.2 Opmerkingen en aanbevelingen bij deze kengetallen**

Ten eerste merken we op dat externe kosten ook kunnen verschillen tussen locaties in Vlaanderen, maar dat we hier in deze kengetallen niet verder op ingaan.

Verder moeten we ermee rekening houden dat er nog weinig kennis en ervaring is met kengetallen die veranderen in de tijd, en vooral in functie van veranderingen in achtergrondconcentraties. Dit laatste is niet van belang voor externe kosten van emissies van PM maar is van groot belang voor externe kosten van precursoren van fijn stof en van ozon, en dan vooral voor externe kosten van NO<sub>x</sub>.

Algemeen bevelen we aan om:

- Voor emissies van voor 2010 raden we het kengetal voor 2010 aan als benaderend kengetal. We raden af om de evolutie tussen 2010 en 2020 te extrapoleren naar bijv. 2000. Men kan eventueel eenvoudig corrigeren voor het effect van economische groei op waardering.
- Voor tussenliggende jaren tussen 2010 en 2020 raden we aan om lineair te interpoleren. We geven verder een voorbeeld voor NO<sub>x</sub>.
- Voor impacts na 2020 het kengetal voor 2020 als benadering te hanteren, en eventueel verder te corrigeren voor effect van economische groei op waardering van effecten. We raden af om de evolutie tussen 2010 en 2020 te extrapoleren naar verdere toekomstige jaren.

De kengetallen slaan op marginale externe kosten voor een beperkte stijging of reductie van emissies, en ze zijn berekend via een reductie van emissies uit Vlaanderen met 20 % voor die pollutent en groep van sectoren. De kengetallen zijn voor alle pollutenten een goede benadering voor kleinere veranderingen in emissies. Voor emissies van fijn stof (PM) zijn zij ook zonder problemen toepasbaar voor grotere veranderingen in emissies. De kengetallen zijn minder toepasbaar voor veel grotere emissiereducties van precursoren van secundaire pollutenten (fijn stof en ozon). Dit is vooral van belang voor impacts van emissies van NO<sub>x</sub> op ozon, omdat NO<sub>x</sub> zowel bijdraagt aan vorming als afbraak van ozon en de verhouding tussen deze twee tegengestelde effecten sterk afhankelijk is van achtergrondconcentraties en van omvang van emissiereducties.

Voor NO<sub>x</sub> hebben we onderscheid gemaakt tussen hun bijdrage via ozon en via andere effecten (fijn stof, verzuring en vermesting). Omdat voor de huidige achtergrond beperkte veranderingen in emissies van NO<sub>x</sub> meer bijdragen aan de afbraak van ozon dan de vorming van ozon zijn de marginale externe kosten voor ozon negatief (marginale baat).

Het is op zichzelf niet verkeerd om marginale baten en marginale kosten met elkaar op te tellen, zodat we ook een netto kengetal geven. We merken trouwens op dat er nog effecten zijn met marginale baten, maar deze zijn relatief minder belangrijk (bijv. voor landbouw, zie hoofdstuk 4). Bij de beoordeling van emissiescenario's is het verder best mogelijk dat het netto effect maskeert dat sommige mensen meer en andere minder blootgesteld worden aan luchtverontreiniging.

We merken verder op dat de indicator voor marginale externe kosten van NO<sub>x</sub> via fijn stof en via ozon geen volledig beeld geeft van de bijdrage van NO<sub>x</sub> aan deze milieuproblemen. Onze resultaten tonen aan dat de effecten van NO<sub>x</sub> via secundair fijn stof zeer variabel in de tijd zijn. Voor de situatie emissies 2010 veroorzaakt NO<sub>x</sub> maar relatief lage externe kosten via de vorming van secundair fijn stof (die lager zijn dan de externe baten van het effect van NO<sub>x</sub> op ozon) maar al tegen 2020 zal deze situatie sterk veranderen. De externe kosten van NO<sub>x</sub> via de vorming van secundair fijn stof zullen zeer sterk toenemen en (binnen het gridverfijningsgebied van BelEUROS) hoger liggen dan de externe baten van NO<sub>x</sub> via ozon. Bijkomend heeft onderzoek verricht in de MIRA-studie "Verklarende

factoren luchtkwaliteit” aangetoond dat in de verdere toekomst, wanneer er bijkomende emissiereducties van NO<sub>x</sub> en NMVOS in Europa zullen gerealiseerd zijn, een bijkomende (marginale) emissiereductie van NO<sub>x</sub> en NMVOS geen verdere toename van de jaargemiddelde ozonconcentratie tot gevolg heeft maar wel een daling (Deutsch, 2010). Hieruit kan niet rechtstreeks besloten worden dat het nettoeffect van NO<sub>x</sub> emissies zal veranderen van een netto-afbraak van ozon naar een netto-vorming van ozon, omdat het effect van NO<sub>x</sub>- en NMVOS-emissies tesamen onderzocht werd. Echter het feit dat er emissiereducties mogelijk zijn die ons “naar de andere kant van de ozonheuvel” zouden brengen doet vermoeden dat het netto-effect van NO<sub>x</sub> voor deze situatie zal veranderen van voorheersend ozonafbraak naar eerder een evenwicht tussen ozonafbraak en ozonvorming. De berekeningen in hogervermelde MIRA-studie toonden aan dat een bijkomende emissiereductie van 40% NO<sub>x</sub> en NMVOS in heel Europa voldoende zouden zijn om de jaargemiddelde ozonconcentraties in Vlaanderen terug te doen zakken.

We geven in dit rapport centrale schattingen. De totale onzekerheid op dit getal heeft te maken met onzekerheden in diverse stappen van de analyse. In het kader van ExternE Needs is er onderzoek gedaan naar deze onzekerheden, o.a. via Monte Carlo analyse. Hieruit blijkt dat de ondergrens van het 68 % zekerheidsinterval wordt bekomen door de centrale schatting te delen door 3 en de bovengrens door de centrale schatting te vermenigvuldigen met 3 (Rabl & Spadaro, 2009). Deze analyse heeft enkel betrekking op het gecumuleerde effect van onzekerheden in de kwantitatieve analyse. Daarbovenop zijn nog onzekerheden die niet kwantitatief zijn uit te drukken, zoals aannames rond het toeschrijven van gezondheidseffecten aan bepaalde polluenten, effecten die niet zijn meegenomen, .... Hiernaast is er ook nog de onzekerheid die wordt toegevoegd als men kengetallen hanteert in de plaats van specifieke berekeningen.

We wijzen er verder op dat het mogelijk is om de methodiek die ontwikkeld is voor deze studie redelijk eenvoudig opnieuw toe te passen op heel specifieke scenario's, emissiereducties of zichtjaren. Dit vergt wel een nieuwe berekening met verspreidingsmodellen en rekentools voor berekening blootstelling en externe kosten.

### **6.1.3 Onderscheid in kengetallen voor emissies van BKG**

Voor emissies van broeikasgassen maken we enkel onderscheid tussen tijdstip van emissie.

- De bijdrage van emissies van broeikasgassen aan het broeikaseffect is onafhankelijk van plaats van uitstoot of sector, zodat we hiervoor één getal geven, op basis van hun bijdrage aan het broeikaseffect (GWP, global warming potential), uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalent.
- De externe kosten per ton CO<sub>2</sub>-eq. stijgen in de tijd, en deze conclusie komt zowel vanuit studies naar schadekosten van BKG als vanuit studies naar preventiekosten om de klimaatdoelstelling van 2°C te respecteren.
- De kengetallen zijn gebaseerd op studies die kijken tot 2050 en in navolging daarvan is een kengetallenreeks tot 2050 opgemaakt waarbij externe kosten met een vast bedrag per jaar stijgen.
- Bij de berekening van deze kengetallen is reeds rekening gehouden met de verwachte economische groei tussen 2010 en 2050.
- Voor emissies van voor 2010 raden we aan om het kengetal voor 2010 te gebruiken.
- Voor emissies na 2050 is de aanbeveling om als centrale schatting het kengetal voor 2050 te hanteren. Omdat zowel studies met schadefuncties als preventiekosten aangeven dat marginale kosten blijven stijgen in de tijd, is het mogelijk om als sensitiviteit de jaarlijkse groeivoet verder te extrapoleren na 2050.
- Deze kengetallen zijn zowel te gebruiken voor emissies van BKG als voor koolstofopslag.

## **6.2 Kengetallen voor emissies naar lucht per sector en pollutant**

### **6.2.1 Samenvattende tabel voor sectoren emissies 2010 en 2020**

Tabel 40 geeft een samenvattend overzicht van externe kosten voor 2010 en 2020. Deze tabel toont dat de impacts van fijn stof uit lage schouwen hoger zijn dan deze uit lage schouwen omdat zij zich minder ver verspreiden en in hogere impacts op volksgezondheid resulteren in het dichtbevolkte Vlaanderen. Voor emissies van SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en VOS gaan de voornaamste impacts via secundaire

polluenten (fijn stof en ozon) en hier zijn de verschillen tussen lage en hoge schouwen beperkt. Voor NO<sub>x</sub> geven we eerst de resultaten zonder impacts via ozon. Omdat NO<sub>x</sub> meer bijdraagt aan afbraak van ozon dan vorming van ozon zijn de netto impacts op externe kosten van NO<sub>x</sub> via ozon negatief. Dit effect is hoger voor lage dan voor hoge schouwen. Dit maakt dat de totale externe kosten van emissies van NO<sub>x</sub> in 2010 vrij beperkt zijn.

De externe kosten van emissies van PM 2,5 uit de transportsector zijn afhankelijk van verkeersmodus en locatie, waarbij impacts voor verkeer in de stad (centrumsteden in Vlaanderen) ongeveer 3 keer hoger zijn dan externe kosten van verkeer op snelwegen of op platteland. Op basis van vergelijkingen van bevolkingsdichtheid nabij kanalen en spoorlijnen hanteren we voor binnenvaart hetzelfde kengetal als voor snelweg en voor spoor het kengetal van emissies uit lage schouwen. Verder toont de tabel dat voor de transportsector de impacts voor PM coarse, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en NMVOS dezelfde zijn als deze uit lage schouwen.

PM10 bestaat uit een aandeel PM 2.5 en een aandeel PMcoa (10 – 2.5) en de externe kosten van PM 10 hangen af van het aandeel PM 2.5 in PM10. Het cijfer in tabel 43 is indicatief en het is aangeraden om te kijken of men deze externe kost kan berekenen in functie van de aandelen PM 2.5 en PMcoa.

Tabel 40: Samenvattende tabel voor kengetallen voor externe kosten van emissies naar lucht uit Vlaanderen in 2010 (in keuro<sub>2009</sub> /ton emissie)

| Emissies in 2010   | PM 2,5 * | PMcoa * | PM 10** | SO <sub>2</sub> | VOS  | NO <sub>x</sub> |          | NO <sub>x</sub> incl ozon |
|--|----------|---------|---------|-----------------|------|-----------------|----------|---------------------------|
|  |          |         |         |                 |      | excl ozon       | via ozon |                           |
| <i>Energiesector, industrie, diensten en huishoudens</i> |          |         |         |                 |      |                 |          |                           |
| Hoge schouwen  | 22,36    | 5,06    | 17,15   | 9,65            | 7,57 | 4,21            | -3,56    | 0,65                      |
| Lage schouwen  | 140,88   | 24,96   | 125,51  | 10,06           | 7,53 | 6,32            | -5,74    | 0,58                      |
| <i>Transportsector</i>                                   |          |         |         |                 |      |                 |          |                           |
| <i>Wegtransport (a)</i>                                  |          |         |         |                 |      |                 |          |                           |
| Stad (b)   | 475,22   | 24,96   | (c)     | 10,06           | 7,53 | 6,32            | -5,74    | 0,58                      |
| Snelweg  | 135,50   | 24,96   | (c)     | 10,06           | 7,53 | 6,32            | -5,74    | 0,58                      |
| Platteland (d)   | 139,94   | 24,96   | (c)     | 10,06           | 7,53 | 6,32            | -5,74    | 0,58                      |
| <i>Binnenvaart</i>                                       |          |         |         |                 |      |                 |          |                           |
| Spoor  | 140,88   | 24,96   | (c)     | 10,06           | 7,53 | 6,32            | -5,74    | 0,58                      |

\* Externe kosten PM2,5 en PMcoa kan men optellen zonder gevaar voor dubbelstellingen.

\*\* De impacts van PM10 zijn afhankelijk van aandeel PM 2.5 en PM coarse (2.5-10) in PM10.

\*\* opletten voor dubbelstellingen met externe kosten PM2,5 of PMcoa (zie 6.1.1)

Kengetallen zijn afgeleid voor uitlaat emissies. We nemen aan dat deze kengetallen ook de beste benadering vormen voor niet-uitlaatemissies.

voor centrum steden in Vlaanderen

nb= niet beschikbaar, te bepalen in functie van aandeel PM2,5 in PM10 fractie

omvat alle wegverkeer behalve stad en snelweg

Tabel 41 geeft een overzicht van externe kosten voor 2020. De externe kosten voor 2020 maken onderscheid tussen effecten als gevolg van

- bevolkingsevolutie (+ 6,6 % voor alle polluenten);
- hogere monetaire waardering van effecten omwille van stijging van de koopkracht. We nemen hierbij aan dat de koopkracht (BNP per capita) tussen 2010 en 2020 aan 1,5 % per jaar groeit, in analogie met aannames over economische groei uit MIRA-S. Dit maakt dat in 2020 eenzelfde impact 16.1 % hoger wordt gewaardeerd dan in 2010.
- en verandering achtergrondconcentraties (enkel voor SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOS) en voornamelijk omwille van effecten op vorming secundaire polluenten, de omvang is afhankelijk van pollutant (cijfers zijn gemiddelde hoge en lage schouwen)
  - SO<sub>2</sub> : +17 %
  - VOS : - 4 %
  - NO<sub>x</sub> excl. Ozon (vnl. via fijn stof) : + 270 %
  - NO<sub>x</sub> via ozon : – 26 % (externe kost 26 % minder negatief)

Bovenstaande cijfers en tabellen 41 en 42 illustreren het belang om met deze elementen rekening te houden voor externe kosten voor toekomstige jaren. Externe kosten van primair fijn stof worden hierdoor in 2020 een kwart hoger ingeschat dan voor 2010. Voor secundaire pollutanten is de impact kleiner voor emissies van NMVOS maar iets hoger voor emissies van SO<sub>2</sub>. Het effect is het grootst voor emissies van NO<sub>x</sub>. Ten eerste stijgen de externe kosten via fijn stof sterker (een verdubbeling) terwijl de negatieve externe kosten via fijn stof kleiner worden.

Tabel 41: Samenvattende tabel voor kengetallen voor externe kosten van emissies naar lucht uit Vlaanderen in 2020 (in keuro<sub>2009</sub> /ton emissie)

| Emissies in 2020   | PM 2,5 * | PMcoa * | PM 10** | SO <sub>2</sub> | VOS  | NO <sub>x</sub> |          | NO <sub>x</sub> incl ozon |
|--|----------|---------|---------|-----------------|------|-----------------|----------|---------------------------|
|  |          |         |         |                 |      | excl ozon       | via ozon |                           |
| <i>Energiesector, industrie, diensten en huishoudens</i> |          |         |         |                 |      |                 |          |                           |
| Hoge schouwen  | 27,62    | 6,26    | 21,18   | 13,31           | 8,58 | 10,90           | -2,64    | 8,25                      |
| Lage schouwen  | 174,33   | 30,89   | 155,31  | 13,91           | 8,64 | 12,95           | -4,55    | 8,40                      |
| <i>Transportsector</i>                                   |          |         |         |                 |      |                 |          |                           |
| <i>Wegtransport (a)</i>                                  |          |         |         |                 |      |                 |          |                           |
| Stad (b)   | 588,09   | 30,89   | (c)     | 13,91           | 8,64 | 12,95           | -4,55    | 8,40                      |
| Snelweg  | 167,67   | 30,89   | (c)     | 13,91           | 8,64 | 12,95           |          | 8,40                      |
| Platteland (d)   | 173,16   | 30,89   | (c)     | 13,91           | 8,64 | 12,95           | -4,55    | 8,40                      |
| Binnenvaart  | 167,67   | 30,89   | (c)     | 13,91           | 8,64 | 12,95           | -4,55    | 8,40                      |
| Spoor  | 174,33   | 30,89   | (c)     | 13,91           | 8,64 | 12,95           | -4,55    | 8,40                      |

\* Externe kosten PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>coa</sub> kan men optellen zonder gevaar voor dubbelstellingen.

\*\* De impacts van PM<sub>10</sub> zijn afhankelijk van aandeel PM 2.5 en PM coarse (2.5-10) in PM<sub>10</sub>.

\*\* opletten voor dubbelstellingen met externe kosten PM<sub>2,5</sub> of PM<sub>coa</sub> (zie 6.1.1)

Kengetallen zijn afgeleid voor uitlaat emissies. We nemen aan dat deze kengetallen ook de beste benadering vormen voor niet-uitlaatemissies.

voor centrum steden in Vlaanderen

nb = niet beschikbaar, te bepalen in functie van aandeel PM<sub>2,5</sub> in PM<sub>10</sub> fractie

omvat alle wegverkeer behalve stad en snelweg

Tabel 42: Verwachte evolutie externe kosten van emissies naar lucht uit Vlaanderen tussen 2010 - 2020 (kengetal voor 2010=100)

| Emissies in 2020   | PM 2,5 | PMcoa | PM 10* | SO <sub>2</sub> | VOS | NO <sub>x</sub> |          | NO <sub>x</sub> incl ozon |
|--|--------|-------|--------|-----------------|-----|-----------------|----------|---------------------------|
|  |        |       |        |                 |     | excl ozon       | via ozon |                           |
| <i>Energiesector, industrie, diensten en huishoudens</i> |        |       |        |                 |     |                 |          |                           |
| Hoge schouwen  | 124    | 124   | 124    | 138             | 113 | 259             | 74       | 1.269                     |
| Lage schouwen  | 124    | 124   | 124    | 138             | 115 | 205             | 79       | 1.456                     |

**Noot:** Indien men deze cijfers voor toekomstige jaren wil hanteren in een studie met andere groeivoeten, dan kan men de cijfers consistent met de nieuwe groeivoeten maken door de kengetallen uit tabel 44 om te rekenen naar externe kosten voor 2020, exclusief aanpassing monetaire waardering aan stijging van de koopkracht 2010-2020. Hiertoe dient men deze cijfers te delen door 1.161, waarna men de nieuwe groeivoet op deze cijfers kan toepassen.

## 6.2.2 Aandeel van verschillende impactcategorieën 2010 en 2020

In tabel 43 zijn de externe kosten per pollutant verder gedetailleerd naar soort impact, en we geven zowel de absolute cijfers als de relatieve aandelen. We geven geen cijfer voor PM<sub>10</sub> omdat dit een gewogen gemiddelde is van PM 2.5 en PM coa.

Tabel 43 geeft aan dat voor alle pollutanten - behalve NO<sub>x</sub> - de impacts op volksgezondheid de grootste impactcategorie vormt, met 90 % tot 100 % van alle externe kosten.

Voor primair fijn stof bedraagt dit 100 %. Daarnaast is er wel een impact op vervuiling van gebouwen waarvoor het ExternE rekenraamwerk echter geen dosis-effect relaties en waardering geeft. Op basis van literatuur kunnen we hier wel een maximale inschatting aangeven van 10 % van impacts op volksgezondheid. Zoals meer in detail besproken in hoofdstuk 3 en 4 situeren zich de impacts op volksgezondheid voornamelijk in Vlaanderen voor lage schouwen (75 %) en voor transport (70 % tot 95 %). Voor hoge schouwen is dit aandeel veel lager (30 % tot 50 %) en hier situeert zich nog ruim 10 % buiten de buurregio's.

Voor SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en NMVOS zijn meerdere impacts van belang, en omdat deze ten dele afhangen van de achtergrondconcentraties en niet-lineaire dosis-effect relaties verschillen de relatieve aandelen ook tussen 2010 en 2020. Voor SO<sub>2</sub> vormen gezondheidsimpacts via secundair fijn stof 90 % van de totale impacts. Zij situeren zich maar beperkt (10 %) in Vlaanderen. Externe kosten voor landbouwgewassen zijn negatief en externe kosten voor schade aan bouwmaterialen en biodiversiteit worden beide op afgerond 5 % geschat. De aandelen van de verschillende impactcategorieën verschillen nauwelijks tussen hoge en lage schouwen en tussen kengetallen voor 2010 en 2020 (al zijn de laatste wel 50 % hoger in absolute termen).

Voor NMVOS hebben 95 tot 97 % van de externe kosten betrekking op schade aan volksgezondheid via ozon, en de rest vnl. op schade aan landbouw via ozon. Ook hier zijn verschillen in aandelen tussen hoge en lage schouwen en tussen 2010 en 2020 erg beperkt.

Tabel 43: Kengetallen voor externe kosten van emissies naar lucht in 2010 (in keuro<sub>2009</sub> /ton)

A) Hoge schouwen Sectoren: energie en industrie

| Hoge schouwen 2010      | PM 2,5 | PMcoa | PM10 | SO <sub>2</sub> * | VOS  | NO <sub>x</sub> excl<br>ozon ** | NO <sub>x</sub> via<br>ozon | NO <sub>x</sub> incl<br>ozon |
|-------------------------|--------|-------|------|-------------------|------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Tot. marg. Externe kost | 22,4   | 5,1   | 17,1 | 9,6               | 7,6  | 4,2                             | -3,6                        | 0,7                          |
| waarvan                 |        |       |      |                   |      |                                 |                             |                              |
| MEK Gezondheid          | 22,4   | 5,1   | 17,1 | 8,8               | 7,2  | 3,1                             | -3,5                        | -0,3                         |
| binnen Vlaanderen       | 6,9    | 2,4   | 5,5  | 1,0               | 0,8  | 0,6                             | -0,7                        | -0,1                         |
| in buurtregio's         | 12,7   | 2,5   | 9,5  | 6,3               | 5,9  | 1,4                             | -2,9                        | -1,5                         |
| in rest Europa          | 2,8    | 0,2   | 2,1  | 1,5               | 0,5  | 1,1                             | 0,1                         | 1,2                          |
| MEK andere impacts      | nb     | nb    | nb   | 0,8               | 0,4  | 1,1                             | -0,1                        | 1,0                          |
| landbouwgewassen        | 0,0    | 0,0   | 0,0  | -0,1              | 0,5  | -0,0                            | -0,1                        | -0,1                         |
| bouwmaterialen          | nb     | nb    | nb   | 0,5               | 0,0  | 0,1                             | 0,0                         | 0,1                          |
| biodiversiteit          | 0,0    | 0,0   | 0,0  | 0,4               | -0,1 | 1,0                             | 0,0                         | 1,0                          |

| Hoge schouwen 2010      | PM 2,5 | PMcoa | PM10 | SO <sub>2</sub> * | VOS  | NO <sub>x</sub> excl<br>ozon ** | NO <sub>x</sub> via<br>ozon | NO <sub>x</sub> incl<br>ozon |
|-------------------------|--------|-------|------|-------------------|------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Tot. marg. Externe kost | 100%   | 100%  | 100% | 100%              | 100% | 100%                            | 100%                        | 100%                         |
| waarvan                 |        |       |      |                   |      |                                 |                             |                              |
| MEK Gezondheid          | 100%   | 100%  | 100% | 92%               | 95%  | 74%                             | 97%                         | -51%                         |
| binnen Vlaanderen       | 31%    | 47%   | 32%  | 11%               | 10%  | 15%                             | 19%                         | -9%                          |
| in buurtregio's         | 57%    | 50%   | 55%  | 65%               | 77%  | 33%                             | 80%                         | -224%                        |
| in rest Europa          | 13%    | 3%    | 13%  | 16%               | 7%   | 27%                             | -2%                         | 182%                         |
| MEK andere impacts      | nb     | nb    | nb   | 8%                | 5%   | 26%                             | 3%                          | 151%                         |
| landbouwgewassen        | 0,00   | 0,00  | 0,00 | -1%               | 6%   | -1%                             | 3%                          | -20%                         |
| bouwmaterialen          | nb     | nb    | nb   | 5%                | 0%   | 2%                              | 0%                          | 13%                          |
| biodiversiteit          | 0,00   | 0,00  | 0,00 | 5%                | -1%  | 24%                             | 0%                          | 158%                         |

\* impact van SO<sub>2</sub> op volksgezondheid via fijn stof

\*\* impact van NO<sub>x</sub> op volksgezondheid via fijn stof en andere impacts

nb: niet beschikbaar



B) Lage schouwen: diensten, huishoudens, energie, industrie

| <i>lage schouwen 2010</i>      | <i>PM 2,5</i> | <i>PMcoa</i> | <i>PM10</i> | <i>SO2*</i> | <i>VOS</i> | <i>NO<sub>x</sub> excl<br/>ozon **</i> | <i>NO<sub>x</sub><br/>via<br/>ozon</i> | <i>NO<sub>x</sub><br/>incl<br/>ozon</i> |
|--------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|------------|--|--|---|
| <i>Tot. marg. Externe kost</i> | 140,9         | 25,0         | 125,5       | 10,1        | 7,5        | 6,3                                    | -5,7                                   | 0,6                                     |
| <i>waarvan</i>                 |               |              |             |             |            |  |  |   |
| <i>MEK Gezondheid</i>          | 140,9         | 25,0         | 125,5       | 9,3         | 7,2        | 4,9                                    | -5,6                                   | -0,7                                    |
| <i>binnen Vlaanderen</i>       | 105,9         | 17,9         | 94,3        | 2,5         | 0,9        | 0,4                                    | -2,3                                   | -1,9                                    |
| <i>in buurtregio's</i>         | 33,7          | 7,0          | 30,2        | 5,2         | 5,7        | 3,4                                    | -3,4                                   | 0,0                                     |
| <i>in rest Europa</i>          | 1,3           | 0,1          | 1,0         | 1,5         | 0,5        | 1,1                                    | 0,1                                    | 1,2                                     |
| <i>MEK andere impacts</i>      | <i>nb</i>     | <i>nb</i>    | <i>nb</i>   | 0,8         | 0,4        | 1,4                                    | -0,1                                   | 1,3                                     |
| <i>landbouwgewassen</i>        | 0,0           | 0,0          | 0,0         | -0,1        | 0,5        | -0,0                                   | -0,1                                   | -0,1                                    |
| <i>bouwmaterialen</i>          | <i>nb</i>     | <i>nb</i>    | <i>nb</i>   | 0,5         | 0,0        | 0,1                                    | 0,0                                    | 0,1                                     |
| <i>biodiversiteit</i>          | 0,0           | 0,0          | 0,0         | 0,4         | -0,1       | 1,3                                    | 0,0                                    | 1,3                                     |

| <i>lage schouwen 2010</i>      | <i>PM 2,5</i> | <i>PMcoa</i> | <i>PM10</i> | <i>SO2*</i> | <i>VOS</i> | <i>NO<sub>x</sub> excl<br/>ozon **</i> | <i>NO<sub>x</sub><br/>via<br/>ozon</i> | <i>NO<sub>x</sub><br/>incl<br/>ozon</i> |
|--------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|------------|--|--|---|
| <i>Tot. marg. Externe kost</i> | 100%          | 100%         | 100%        | 100%        | 100%       | 100%                                   | 100%                                   | 100%                                    |
| <i>waarvan</i>                 |               |              |             |             |            |  |  |   |
| <i>MEK Gezondheid</i>          | 100%          | 100%         | 100%        | 92%         | 95%        | 78%                                    | 98%                                    | -126%                                   |
| <i>binnen Vlaanderen</i>       | 75%           | 72%          | 75%         | 25%         | 12%        | 6%                                     | 40%                                    | -336%                                   |
| <i>in buurtregio's</i>         | 24%           | 28%          | 24%         | 52%         | 76%        | 54%                                    | 59%                                    | 5%                                      |
| <i>in rest Europa</i>          | 1%            | 0%           | 1%          | 15%         | 7%         | 18%                                    | -1%                                    | 206%                                    |
| <i>MEK andere impacts</i>      | <i>nb</i>     | <i>nb</i>    | <i>nb</i>   | 8%          | 5%         | 22%                                    | 2%                                     | 226%                                    |
| <i>landbouwgewassen</i>        | 0,00          | 0,00         | 0,00        | -1%         | 6%         | -1%                                    | 2%                                     | -23%                                    |
| <i>bouwmaterialen</i>          | <i>nb</i>     | <i>nb</i>    | <i>nb</i>   | 5%          | 0%         | 1%                                     | 0%                                     | 14%                                     |
| <i>biodiversiteit</i>          | 0,00          | 0,00         | 0,00        | 4%          | -1%        | 21%                                    | 0%                                     | 234%                                    |

\* impact van SO<sub>2</sub> op volksgezondheid via fijn stof

\*\* impact van NO<sub>x</sub> op volksgezondheid via fijn stof en andere impacts

nb: niet beschikbaar

C) Sector transport: deel primaire emissies PM 2,5

| Transport PM2,5 2010    | Wegverkeer |         |            | binnenvaart | Spoor  |
|-------------------------|------------|---------|------------|-------------|--------|
|                         | Stad       | snelweg | platteland |             |        |
| Tot. marg. Externe kost | 475,2      | 135,5   | 139,9      | 135,5       | 140,9  |
| waarvan                 |            |         |            |             |        |
| MEK Gezondheid          | 475,22     | 135,50  | 139,94     | 135,50      | 140,88 |
| binnen Vlaanderen       | 440,2      | 100,5   | 104,9      | 100,5       | 105,9  |
| in buurtregio's         | 33,7       | 33,7    | 33,7       | 33,7        | 33,7   |
| in rest Europa          | 1,3        | 1,3     | 1,3        | 1,3         | 1,3    |
| MEK andere impacts      | nb(1)      | nb(1)   | nb(1)      | nb(1)       | nb(1)  |
| landbouwgewassen        | 0          | 0       | 0          | 0           | 0      |
| bouwmaterialen          | nb(1)      | nb(1)   | nb(1)      | nb(1)       | nb(1)  |
| biodiversiteit          | 0          | 0       | 0          | 0           | 0      |
| Transport PM2,5 2010    | Wegverkeer |         |            | binnenvaart | Spoor  |
|                         | Stad       | snelweg | platteland |             |        |
| Tot. marg. Externe kost | 100%       | 100%    | 100%       | 100%        | 100%   |
| waarvan                 |            |         |            |             |        |
| MEK Gezondheid          | 100%       | 100%    | 100%       | 100%        | 100%   |
| binnen Vlaanderen       | 93%        | 74%     | 75%        | 74%         | 75%    |
| in buurtregio's         | 7%         | 25%     | 24%        | 25%         | 24%    |
| in rest Europa          | 0,3%       | 1,0%    | 0,9%       | 1,0%        | 0,9%   |

nb(1): niet beschikbaar, als sensitiviteit kan men + 10 % van impacts op volksgezondheid nemen (bovengrens van impact op basis bestaande kennis)

Tabel 44 geeft een gedetailleerd overzicht van externe kosten per pollutent en impactcategorie voor 2020. De externe kosten voor 2020 verschillen van deze in 2010 omwille van:

- effecten als gevolg van bevolkingsevolutie (+ 6,6 %);
- effect van economische groei op waardering van impacts (+ 16 %);
- verandering achtergrondconcentraties (polluent afhankelijk).

Behalve voor NO<sub>x</sub> blijven voor alle pollutenten het relatieve aandeel van de verschillende impactcategorieën ongeveer gelijk met deze voor 2010. Omdat voor NO<sub>x</sub> via fijn stof de impacts op volksgezondheid heel sterk toenemen, neemt ook het aandeel van deze pollutent in de totale kost sterk toe tot meer dan 80 %.

Tabel 44: Kengetallen voor externe kosten van emissies naar lucht in 2020 (in keuro<sub>2009</sub> /ton)

A) Hoge schouwen Sectoren: energie en industrie

| Hoge schouwen 2020      | PM 2,5 | PMcoa | PM10 | SO <sub>2</sub> * | VOS  | NO <sub>x</sub> excl<br>ozon ** | NO <sub>x</sub> via<br>ozon | NO <sub>x</sub> incl<br>ozon |
|-------------------------|--------|-------|------|-------------------|------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Tot. marg. Externe kost | 27,6   | 6,3   | 21,2 | 13,3              | 8,6  | 10,9                            | -2,6                        | 8,3                          |
| waarvan                 |        |       |      |                   |      |                                 |                             |                              |
| MEK Gezondheid          | 27,6   | 6,3   | 21,2 | 12,4              | 8,3  | 9,6                             | -3,0                        | 6,6                          |
| binnen Vlaanderen       | 8,5    | 2,9   | 6,8  | 1,4               | 0,9  | 1,1                             | -0,7                        | 0,3                          |
| in buurtregio's         | 15,7   | 3,1   | 11,8 | 9,0               | 6,8  | 7,0                             | -2,4                        | 4,5                          |
| in rest Europa          | 3,4    | 0,2   | 2,6  | 2,0               | 0,6  | 1,6                             | 0,2                         | 1,7                          |
| MEK andere impacts      | nb     | nb    | nb   | 1,0               | 0,3  | 1,3                             | 0,4                         | 1,7                          |
| landbouwgewassen        | 0,0    | 0,0   | 0,0  | -0,2              | 0,3  | -0,0                            | 0,4                         | 0,3                          |
| bouwmaterialen          | nb     | nb    | nb   | 0,6               | 0,0  | 0,1                             | 0,0                         | 0,1                          |
| biodiversiteit          | 0,0    | 0,0   | 0,0  | 0,5               | -0,1 | 1,3                             | 0,0                         | 1,3                          |

| Hoge schouwen 2020      | PM 2,5 | PMcoa | PM10 | SO <sub>2</sub> * | VOS  | NO <sub>x</sub> excl<br>ozon ** | NO <sub>x</sub> via<br>ozon | NO <sub>x</sub> incl<br>ozon |
|-------------------------|--------|-------|------|-------------------|------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Tot. marg. Externe kost | 100%   | 100%  | 100% | 100%              | 100% | 100%                            | 100%                        | 100%                         |
| waarvan                 |        |       |      |                   |      |                                 |                             |                              |
| MEK Gezondheid          | 100%   | 100%  | 100% | 93%               | 97%  | 88%                             | 115%                        | 79%                          |
| binnen Vlaanderen       | 31%    | 47%   | 32%  | 11%               | 10%  | 10%                             | 28%                         | 4%                           |
| in buurtregio's         | 57%    | 50%   | 56%  | 67%               | 80%  | 64%                             | 92%                         | 55%                          |
| in rest Europa          | 12%    | 3%    | 12%  | 15%               | 7%   | 14%                             | -6%                         | 21%                          |
| MEK andere impacts      | nb     | nb    | nb   | 7%                | 3%   | 12%                             | -15%                        | 21%                          |
| landbouwgewassen        | 0,00   | 0,00  | 0,00 | -1%               | 4%   | 0%                              | -15%                        | 4%                           |
| bouwmaterialen          | nb     | nb    | nb   | 4%                | 0%   | 1%                              | 0%                          | 1%                           |
| biodiversiteit          | 0,00   | 0,00  | 0,00 | 4%                | -1%  | 11%                             | 0%                          | 15%                          |

\* impact van SO<sub>2</sub> op volksgezondheid via fijn stof

\*\* impact van NO<sub>x</sub> op volksgezondheid via fijn stof en andere impacts

nb: niet beschikbaar

B) Lage schouwen: energie, industrie, diensten, huishoudens

| <i>lage schouwen 2020</i>      | <i>PM 2,5</i> | <i>PMcoa</i> | <i>PM10</i> | <i>SO2*</i> | <i>VOS</i> | <i>NO<sub>x</sub> excl<br/>ozon **</i> | <i>NO<sub>x</sub><br/>via<br/>ozon</i> | <i>NO<sub>x</sub><br/>incl<br/>ozon</i> |
|--------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|------------|--|--|---|
| <i>Tot. marg. Externe kost</i> | 174,3         | 30,9         | 155,3       | 13,9        | 8,6        | 12,9                                   | -4,5                                   | 8,4                                     |
| <i>waarvan</i>                 |               |              |             |             |            |  |  |   |
| <i>MEK Gezondheid</i>          | 174,3         | 30,9         | 155,3       | 13,0        | 8,4        | 11,2                                   | -4,9                                   | 6,3                                     |
| <i>binnen Vlaanderen</i>       | 131,0         | 22,1         | 116,7       | 3,4         | 1,3        | 1,1                                    | -2,9                                   | -1,8                                    |
| <i>in buurtregio's</i>         | 41,7          | 8,6          | 37,4        | 7,6         | 6,5        | 8,6                                    | -2,2                                   | 6,4                                     |
| <i>in rest Europa</i>          | 1,6           | 0,1          | 1,2         | 2,0         | 0,6        | 1,6                                    | 0,2                                    | 1,7                                     |
| <i>MEK andere impacts</i>      | <i>nb</i>     | <i>nb</i>    | <i>nb</i>   | 0,9         | 0,3        | 1,7                                    | 0,4                                    | 2,1                                     |
| <i>landbouwgewassen</i>        | 0,0           | 0,0          | 0,0         | -0,1        | 0,3        | -0,0                                   | 0,4                                    | 0,3                                     |
| <i>bouwmaterialen</i>          | <i>nb</i>     | <i>nb</i>    | <i>nb</i>   | 0,6         | <i>nb</i>  | 0,1                                    | 0,0                                    | 0,1                                     |
| <i>biodiversiteit</i>          | 0,0           | 0,0          | 0,0         | 0,5         | -0,1       | 1,6                                    | 0,0                                    | 1,6                                     |

| <i>lage schouwen 2020</i>      | <i>PM 2,5</i> | <i>PMcoa</i> | <i>PM10</i> | <i>SO2*</i> | <i>VOS</i> | <i>NO<sub>x</sub> excl<br/>ozon **</i> | <i>NO<sub>x</sub><br/>via<br/>ozon</i> | <i>NO<sub>x</sub><br/>incl<br/>ozon</i> |
|--------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|------------|--|--|---|
| <i>Tot. marg. Externe kost</i> | 100%          | 100%         | 100%        | 100%        | 100%       | 100%                                   | 100%                                   | 100%                                    |
| <i>waarvan</i>                 |               |              |             |             |            |  |  |   |
| <i>MEK Gezondheid</i>          | 100%          | 100%         | 100%        | 93%         | 97%        | 87%                                    | 108%                                   | 75%                                     |
| <i>binnen Vlaanderen</i>       | 75%           | 72%          | 75%         | 25%         | 14%        | 9%                                     | 63%                                    | -21%                                    |
| <i>in buurtregio's</i>         | 24%           | 28%          | 24%         | 54%         | 76%        | 66%                                    | 49%                                    | 76%                                     |
| <i>in rest Europa</i>          | 1%            | 0%           | 1%          | 14%         | 7%         | 12%                                    | -3%                                    | 21%                                     |
| <i>MEK andere impacts</i>      | <i>nb</i>     | <i>nb</i>    | <i>nb</i>   | 7%          | 3%         | 13%                                    | -8%                                    | 25%                                     |
| <i>landbouwgewassen</i>        | 0,00          | 0,00         | 0,00        | -1%         | 4%         | 0%                                     | -8%                                    | 4%                                      |
| <i>bouwmaterialen</i>          | <i>nb</i>     | <i>nb</i>    | <i>nb</i>   | 4%          | 0%         | 1%                                     | 0%                                     | 1%                                      |
| <i>biodiversiteit</i>          | 0,00          | 0,00         | 0,00        | 4%          | -1%        | 13%                                    | 0%                                     | 20%                                     |

\* impact van SO<sub>2</sub> op volksgezondheid via fijn stof

\*\* impact van NO<sub>x</sub> op volksgezondheid via fijn stof en andere impacts

nb: niet beschikbaar

### C) Sector transport: deel primaire emissies PM 2,5

| Transport PM2,5 2020    | Wegverkeer |         |            | binnenvaart | Spoor |
|-------------------------|------------|---------|------------|-------------|-------|
|                         | Stad       | snelweg | platteland |             |       |
| Tot. marg. Externe kost | 588,1      | 167,7   | 173,2      | 167,7       | 174,3 |
| waarvan                 |            |         |            |             |       |
| MEK Gezondheid          | 588,1      | 167,7   | 173,2      | 167,7       | 174,3 |
| binnen Vlaanderen       | 544,8      | 124,4   | 129,8      | 124,4       | 131,0 |
| in buurtregio's         | 41,7       | 41,7    | 41,7       | 41,7        | 41,7  |
| in rest Europa          | 1,6        | 1,6     | 1,6        | 1,6         | 1,6   |
| MEK andere impacts      | nb(1)      | nb(1)   | nb(1)      | nb(1)       | nb(1) |
| landbouwgewassen        | 0          | 0       | 0          | 0           | 0     |
| bouwmaterialen          | nb(1)      | nb(1)   | nb(1)      | nb(1)       | nb(1) |
| biodiversiteit          | 0          | 0       | 0          | 0           | 0     |
| Transport PM2,5 2020    | Wegverkeer |         |            | binnenvaart | Spoor |
|                         | Stad       | snelweg | platteland |             |       |
| Tot. marg. Externe kost | 100%       | 100%    | 100%       | 100%        | 100%  |
| waarvan                 |            |         |            |             |       |
| MEK Gezondheid          | 100%       | 100%    | 100%       | 100%        | 100%  |
| binnen Vlaanderen       | 93%        | 74%     | 75%        | 74%         | 75%   |
| in buurtregio's         | 7%         | 25%     | 24%        | 25%         | 24%   |
| in rest Europa          | 0.3%       | 0.9%    | 0.9%       | 0.9%        | 0.9%  |

nb(1): niet beschikbaar, als sensitiviteit kan men + 10 % van impacts op volksgezondheid nemen (bovengrens van impact op basis bestaande kennis)

#### 6.2.3 Kengetallen voor andere jaren, met focus op NO<sub>x</sub>

Omdat kengetallen evolueren is het aangeraden om externe kosten te analyseren per jaar, en voor elk jaar een aangepast kengetal te gebruiken. Dit is vooral van belang voor secundaire pollutanten, en vooral voor NO<sub>x</sub>. Dit betekent:

- emissies voor 2010: kengetal voor 2010;
- emissies tussen 2010 en 2020: lineaire interpolatie tussen 2010 en 2020;
- emissies na 2020: kengetal van 2020, eventueel verder aangepast voor bevolkingsgroei en economische groei.

Omdat deze verandering in de tijd het grootst is voor NO<sub>x</sub> bespreken we dit meer in detail. Tabel 45 toont de evolutie van MEK voor emissies van NO<sub>x</sub> tussen 2010 en 2020, op basis van lineaire interpolatie en met onderscheid tussen impacts via ozon en impacts via secundair fijn stof en andere impactcategorieën. De tabel illustreert dat de impacts via fijn stof gaandeweg sterk stijgen, en meer en meer de negatieve impact via ozon compenseren. De impact via ozon wordt minder negatief, wat de stijging van MEK voor NO<sub>x</sub> vergroot.

Tabel 45: Totale MEK voor emissie van NO<sub>x</sub>, kengetallenreeks voor tussenliggende jaren op basis van lineaire interpolatie voor periode tussen 2010 en 2020. (in keuro<sub>2009</sub> /ton)

| Jaar | MEK emissies NO <sub>x</sub> via hoge schouwen |                   |          | MEK emissies NO <sub>x</sub> via Lage schouwen |                   |          |        |
|------|--|-------------------|----------|--|-------------------|----------|--------|
|      | van emissie                                    | via PM en andere. | via ozon | totaal   | via PM en andere. | via ozon | totaal |
| 2010 |  | 4,21              | -3,56    | 0,65   | 6,32              | -5,74    | 0,58   |
| 2011 |  | 4,88              | -3,47    | 1,41   | 6,98              | -5,62    | 1,36   |
| 2012 |  | 5,55              | -3,38    | 2,17   | 7,64              | -5,50    | 2,14   |
| 2013 |  | 6,22              | -3,29    | 2,93   | 8,31              | -5,38    | 2,92   |
| 2014 |  | 6,89              | -3,20    | 3,69   | 8,97              | -5,26    | 3,71   |
| 2015 |  | 7,56              | -3,10    | 4,45   | 9,63              | -5,14    | 4,49   |
| 2016 |  | 8,22              | -3,01    | 5,21   | 10,30             | -5,02    | 5,27   |
| 2017 |  | 8,89              | -2,92    | 5,97   | 10,96             | -4,91    | 6,05   |
| 2018 |  | 9,56              | -2,83    | 6,73   | 11,62             | -4,79    | 6,84   |
| 2019 |  | 10,23             | -2,74    | 7,49   | 12,28             | -4,67    | 7,62   |
| 2020 |  | 10,90             | -2,64    | 8,25   | 12,95             | -4,55    | 8,40   |

De sterke evolutie van de kengetallen illustreert het relatieve belang van achtergrondconcentraties. Idealiter zouden we voor NO<sub>x</sub> geen kengetal willen produceren, maar eerder een functie die rekening houdt met de achtergrond (emissies in heel Europa) of emissies van andere pollutanten en (voor ozon) in functie van de emissiereductie. Binnen het bestek van deze studie kunnen we geen dergelijke functie presenteren.

Voorals voor NO<sub>x</sub> moet men dus opletten om geen verkeerde conclusies te trekken uit de kengetallen voor 2010. Deze kengetallen kunnen verkeerdelijk de indruk wekken dat deze pollutant ook op langere termijn minder schadelijk is voor volksgezondheid. Omdat we verwachten dat op relatief korte termijn de impacts van emissies NO<sub>x</sub> via fijn stof verhogen door veranderende achtergrondconcentraties kan het cijfer voor 2010 niet gebruikt worden om duurzaamheid van technologiekeuzes, brandstoffen of beleid op middellange termijn te beoordelen. Als het niet mogelijk is om kengetallen per jaar te gebruiken raden we aan om het kengetal voor 2020 te overwegen voor dergelijke toepassingen. Anderzijds is het voor de beoordeling van effecten van maatregelen op korte termijn wel belangrijk om kengetallen voor 2010 e.v. te gebruiken.

Voor ozon is de netto impact van emissies van NO<sub>x</sub> op externe kosten negatief omdat op korte termijn NO<sub>x</sub> meer bijdraagt aan afbraak van ozon dan vorming van ozon. Men moet wel opletten om dit cijfer te gebruiken als een kengetal voor mogelijk veel verdergaande emissiereducties van NO<sub>x</sub> of andere startsituaties (bv andere achtergrondconcentraties), waarbij het mogelijk is dat emissies van NO<sub>x</sub> netto meer bijdragen aan vorming van ozon.

Om deze reden maken we in de kengetallen onderscheid tussen impacts via fijn stof en andere en via ozon. De mate waarin de gebruiker deze kengetallen wil of kan optellen hangt samen met de vraagstelling. Er zijn toepassingen (bijv. verkeersplannen) waarbij baten en kosten voor verschillende groepen en over verschillende soorten impacts worden geaggregeerd. In dat geval is het geen probleem om ook voor NO<sub>x</sub> kosten en baten van fijn stof en ozon op te tellen. Anderzijds kunnen er toepassingen zijn zoals duurzaamheidsbeoordelingen waarbij het net de bedoeling is om te toetsen of er negatieve effecten te verwachten zijn. Dan is het minder aangewezen om de effecten zomaar te aggregeren.

In hoofdstuk 3 zijn ook de kengetallen besproken bij achtergrondconcentraties voor 2007. We zien dat de impacts via fijn stof een heel stuk lager zijn dan in 2010. Deze cijfers vormen een goed kengetal voor de jaren 2007 tot 2010 maar we weten niet of zij in hun geheel een beter kengetal vormen voor

emissies voor 2010. Op basis van de nu beschikbare informatie kunnen we geen uitspraken doen over het verloop van de functie vóór 2007 en na 2020. Hiervoor is verder onderzoek nodig. Op basis van deze elementen en omwille van consistentie tussen pollutanten raden we aan om voor impacts voor 2010 het kengetal van 2010 te hanteren.

### 6.3 Externe kosten van emissies van NH<sub>3</sub>

Verder geven we ook een cijfer voor externe kosten van emissies van ammoniak (NH<sub>3</sub>). Op basis van het Europese Ecosense web en Source-Receptor matrices van EMEP wordt de externe kost geschat op 30 keuro2009/ton emissie NH<sub>3</sub> voor emissies in 2010 en 33 keuro/ton emissie NH<sub>3</sub> voor emissies in 2020. Dit omvat voornamelijk impacts op gezondheid als gevolg van de bijdrage van NH<sub>3</sub> aan de vorming van secundair fijn stof, en in mindere mate impacts op biodiversiteit en landbouwgewassen. Omdat modellen verschillen is dit resultaat niet direct te vergelijken met de schattingen voor SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>.

Tabel 46: MEK van emissies van NH<sub>3</sub> uit België (in keuro<sub>2009</sub>/ton emissie)

| MEK NH3 | Emissies in 2010 | Emissies in 2020 |
|---------|------------------|------------------|
| Totaal  | 30               | 33               |

Bron : gebaseerd op Preiss, 2008c

### 6.4 Externe kosten van emissies naar lucht van zware metalen

Tabel 47 geeft een overzicht van externe kosten voor volksgezondheid van emissies van zware metalen, rekening houdend met blootstelling via lucht, drinkwater en voedselketen. De cijfers zijn gebaseerd op een Europees model (Watson). Deze resultaten worden geaggregeerd meegenomen in Ecosense web v4.

Tabel 47: MEK voor effecten op gezondheid van emissies naar lucht van zware metalen en dioxines volgens EcoSense web (2010)

|              | hoge schouwen | lage schouwen | eenheid                 |
|--------------|---------------|---------------|-------------------------|
| Cd           | 99,1          | 109,5         | in keuro2009/ton        |
| As           | 627           | 699           | in keuro2009/ton        |
| Ni           | 2,72          | 4,99          | in keuro2009/ton        |
| Pb           | 329           | 348           | in keuro2009/ton        |
| Hg           | 9,47          | 9,47          | in miljoen euro2009/ton |
| Cr*          | 15,7          | 28,3          | in keuro2009/ton        |
| Cr-VI**      | 78,4          | 141,5         | in keuro2009/ton        |
| Formaldehyde | 0,24          | 0,24          | in keuro2009/ton        |
| Dioxines     | 43794         | 43794         | in miljoen euro2009/ton |

\* en \*\*: externe kosten voor Cr en Cr-VI mogen niet samen gebruikt worden.

Bron: gebaseerd op Preiss, 2008c

### 6.5 Kengetallen voor broeikasgassen

Tabel 48 geeft een overzicht van kengetallen voor externe kosten broeikasgassen, op basis van de preventiekosten, verbonden met wereldwijde kostenefficiënte maatregelen om de stijging van temperatuur tot max 2°C te beperken.

Tabel 48: Kengetallenreeks voor externe kosten van de voornaamste broeikasgassen voor emissies in periode 2010-2050

| Externe kost in jaar van emissie. |       |      |      |       |       |       |         |
|-----------------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|---------|
| Stof                              | GWP   | 2010 | 2020 | 2030  | 2040  | 2050  | eenheid |
| CO2 eq                            | 1     | 20   | 60   | 100   | 160   | 220   | €/ton   |
| CO2                               | 1     | 20   | 60   | 100   | 160   | 220   | €/ton   |
| CH4                               | 21    | 0,4  | 1,3  | 2,1   | 3,4   | 4,6   | k €/ton |
| N2O                               | 310   | 6,2  | 18,6 | 31,0  | 49,6  | 68,2  | k €/ton |
| <b>HFK's</b>                      |       |      |      |       |       |       |         |
| HFK-23                            | 11700 | 234  | 702  | 1170  | 1872  | 2574  | k €/ton |
| HFK-32                            | 650   | 13   | 39   | 65    | 104   | 143   | k €/ton |
| HFK-41                            | 150   | 3,0  | 9,0  | 15,0  | 24,0  | 33,0  | k €/ton |
| HFK-43-10mee                      | 1300  | 26   | 78   | 130   | 208   | 286   | k €/ton |
| HFK-125                           | 2800  | 56   | 168  | 280   | 448   | 616   | k €/ton |
| HFK-134                           | 1000  | 20,0 | 60,0 | 100,0 | 160,0 | 220,0 | k €/ton |
| HFK-134a                          | 1300  | 26,0 | 78,0 | 130,0 | 208,0 | 286,0 | k €/ton |
| HFK-152a                          | 140   | 2,8  | 8,4  | 14,0  | 22,4  | 30,8  | k €/ton |
| HFK-143                           | 300   | 6,0  | 18,0 | 30,0  | 48,0  | 66,0  | k €/ton |
| HFK-143a                          | 3800  | 76   | 228  | 380   | 608   | 836   | k €/ton |
| HFK-227ea                         | 2900  | 58   | 174  | 290   | 464   | 638   | k €/ton |
| HFK-236fa                         | 6300  | 126  | 378  | 630   | 1008  | 1386  | k €/ton |
| HFK-245ca                         | 560   | 11   | 34   | 56    | 90    | 123   | k €/ton |
| <b>PFK's</b>                      |       |      |      |       |       |       |         |
| CF4                               | 6500  | 130  | 390  | 650   | 1040  | 1430  | k €/ton |
| C2F6                              | 9200  | 184  | 552  | 920   | 1472  | 2024  | k €/ton |
| C3F8                              | 7000  | 140  | 420  | 700   | 1120  | 1540  | k €/ton |
| C4F10                             | 7000  | 140  | 420  | 700   | 1120  | 1540  | k €/ton |
| c-C4F8                            | 8700  | 174  | 522  | 870   | 1392  | 1914  | k €/ton |
| C5F12                             | 7500  | 150  | 450  | 750   | 1200  | 1650  | k €/ton |
| C6F14                             | 7400  | 148  | 444  | 740   | 1184  | 1628  | k €/ton |
| SF6                               | 23900 | 478  | 1434 | 2390  | 3824  | 5258  | k €/ton |

GWP op basis IPCC, Second assessment Report (1996), geciteerd MIRA AG 2007, Klimaatverandering

De kengetallen voor toekomstige jaren houden al rekening met economische en demografische groei, en hiervoor moet bij toepassing niet verder gecorrigeerd worden. Deze kengetallen zijn immers gebaseerd op modellen die bijv. voor 2050 rekening houden met hoe economische ontwikkelingen en prijsniveaus de emissies in 2050 bepalen zonder beleid, en hoe economische en technische evolutie de prijzen in 2050 bepalen van technieken en maatregelen om broeikasgasemissies te reduceren, bijv. voor hernieuwbare energie. Omdat dit verschilt van model tot model en voor verschillende technologieën kunnen we daar hier niet dieper op ingaan (Kuik et al., 2009).

## 6.6 Consistentie met andere kengetallen

Deze kengetallen zijn gebaseerd op de Europese ExternE methode, rekening houdend met de meest recent beschikbare update uit ExternE-Needs (2005-2009) en EcoSense-web v4 (mei 2010). Voor impacts op volksgezondheid in Vlaanderen en buurregio's zijn verspreidingsmodellen gehanteerd die toelaten om meer in detail de impacts in die regio's te berekenen, rekening houdend met een fijner grid. Verder is lokale informatie gebruikt over gezondheid, bevolking en bevolkingsevolutie en over waardering van impacts op gezondheid. Tevens zijn kengetallen berekend voor een sector als geheel (hoge en lage schouwen, transport met onderscheid naar stad, snelweg, platteland, spoor en



binnenvaart). Tot slot zijn kengetallen berekend voor huidige situatie (2010) en voor hun evolutie tot 2020. De impacts op andere categorieën en buiten de buurregio's zijn berekend via de recente versie van EcoSense web v4.

Dit maakt dat deze kengetallen de bestaande kengetallen of data voor Vlaanderen op basis van ExternE of verwante methodes vervangen. Dit geldt voor de data uit Torfs et al, 2005 (Vlaamse studie, MIRA) en data voor België uit Europees onderzoek (bijv. Holland et al, 2005, Preiss et al, 2008c). Omdat er vele methodologische bouwstenen, data en aannames verschillen tussen deze studies en voorliggende studie kunnen we geen analyse maken welke factoren het meeste bijdragen aan deze verschillen. Enkel voor cijfers op basis van ExternE-Needs 2009 weten we dat voor NO<sub>x</sub> de grote verschillen te wijten zijn aan gebruik van een ander verspreidingsmodel met fijner grid voor blootstellingsbepaling (zie hoofdstuk 3).

De discussie en vergelijking met andere studies toont het belang om lokale informatie en verspreidingsmodellen te gebruiken. De verschillen in MEK per ton pollutant kunnen daarom vrij groot zijn in vergelijking met vroegere kengetallen of Europese studies die met minder detail de impacts in Vlaanderen en buurregio's analyseren.

Deze kengetallen voor Vlaanderen kunnen gebruikt worden samen met deze uit het kengetallenhandboek voor schaduwkosten (de Bruyn et al, 2010).

Omdat deze kengetallen eigen verspreidingsmodellen en lokale data hanteren zijn de resultaten minder goed vergelijkbaar met inschattingen van externe kosten voor andere landen, ook al zijn beide gebaseerd op ExternE-Needs. Om de relatieve hoogte van externe kosten voor Vlaanderen of België te vergelijken met deze van andere landen kan men daarom ook beroep doen op de kengetallen afgeleid via EcoSense-web (Preiss et al, 2008c).

## **6.7 Aanbevelingen voor verder onderzoek**

Dit onderzoek toont een reeks van belangrijke leemtes in de kennis en data rond externe kosten van emissies naar lucht en broeikasgassen.

Deze studie toont het belang om lokale informatie en lokale verspreidingsmodellen te integreren in het Europese ExternE raamwerk voor berekening van externe kosten. Hier is tot nu toe nog weinig onderzoek naar gebeurd. Hierbij moet men onderscheid maken tussen de gevolgen van gebruik van andere verspreidingsmodellen, een fijner grid en lokaal specifieke data. In verhouding tot bijv. gezondheidsimpacts en monetaire waardering heeft men minder onderzoek gedaan naar de gevolgen van keuzes van verspreidingsmodellen en keuzes of aannames rond achtergrondconcentraties.

Verder toont het de beperkingen van kengetallen gebaseerd op een beperkte set van emissiereducties, en het verdient aanbeveling om te zoeken naar kengetallen functies waarbij externe kosten afhangen van achtergrondconcentraties en omvang van de emissiereducties (voor ozon).

Deze studie toont dat er meer onderzoek nodig is naar hoe externe kosten evolueren in de tijd als gevolg van evolutie in demografie, economie en milieu. Deze studie bevestigt het belang van wijzigingen in achtergrondconcentraties voor externe kosten voor secundaire pollutanten fijn stof en ozon. Dit is vooral van groot belang voor NO<sub>x</sub>. De noodzaak van meer informatie over evolutie externe kosten geldt zowel voor de jaren voor 2010, na 2020 en (in mindere mate) voor tussenliggende jaren. Er is daarbij verder nog weinig kennis en ervaring over hoe om te gaan met externe kosten die evolueren in de tijd in beleidsgerichte toepassingen.

Er zijn nog geen berekeningen gedaan voor externe kosten van emissies van NH<sub>3</sub> in Vlaanderen op basis van de BeEUROS modellen. Recente Europese schattingen geven aan dat dit een belangrijke externe kost kan vormen. Er is daarbij ook aandacht nodig voor toepasbaarheid van dosis-effect relaties en aggregatie van impact over verschillende pollutanten bij toepassing.

In ExternE-Needs is een eerste inschatting gemaakt voor impacts op biodiversiteit, gebaseerd op data uit verschillende Europese landen. Het is nodig om deze methodiek ook toe te passen met Vlaamse data en modellen.

Er ontbreken rekenregels of kengetallen voor impacts van fijn stof op vervuiling van gebouwen, met inbegrip van historische vervuiling.

Er ontbreken studies naar waardering van gezondheidseffecten in Vlaanderen. Gezondheidseffecten zijn de belangrijkste bron van externe kosten en hun waardering is voor een groot stuk gebaseerd op data voor andere Europese landen.

Er is nood aan een instrument om sneller en consistent resultaten uit verspreidingsmodellen door te rekenen naar externe kosten.

## 7 Literatuurlijst

- Aman et al., 2006, Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution , report by the European Centre for Environment and Health, Bonn Office, Joint WHO / Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution, 2006.
- Anthoff, David, NEEDS Project, FP6, of Greenhouse gas emissions”, 2007.
- Anthoff D; Hepburn D C; Richard S.J. Tol, Equity weighting and the marginal damage costs of climate change, Ecological Economics, 2009, 836-849.
- Arcadis en Metroeconomica, 2009 Reële milieugerelateerde gezondheidskosten in Vlaanderen – Eindrapport LNE 06/12038/RD.
- Bickel, S. Schmid, R. Friedrich, M. Maibach, C. Doll, A. Ricci , UNification of accounts and marginal costs for transport efficiency (UNITE), Interim report 9.2 : Accounts approach for environmental costs, Stuttgart : IER University of Stuttgart, 2000.
- Bickel, P. Friedrich, R., (Eds.), 2001. Environmental External Costs of Transport. Springer, Amsterdam.
- Bickel P, Bert Droste-Franke (2006), Derivation of fall-back values for impact and cost factors for airborne pollutants Annex D to HEATCO Deliverable 5 , IER, Stuttgart.
- Brunekreef, B., Forsberg, B., 2005. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. European Respiratory Journal 26, 309–318.
- de Bruyn S. , M.H. (Marisa) Korteland, A.Z. (Agnieszka) Markowska, .D. (Marc) Davidson, F.L. (Femke) de Jong, M. (Mart) Bles, M.N. (Maartje) Sevenster (2010 a), Handboek Schaduwprijzen, Waardering en weging van emissies en milieueffecten, Delft, CE Delft, maart 2010.
- de Bruyn, M.H. (Marisa) Korteland, A.Z. (Agnieszka) Markowska, .D. (Marc) Davidson, F.L. (Femke) de Jong, M. (Mart) Bles, M.N. (Maartje) Sevenster (2010 b) , Bijlagen - Handboek Schaduwprijzen Delft, CE Delft, maart 2010.
- De Ceuster G. (2004), Internalisering van externe kosten van wegverkeer in Vlaanderen, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2004/04, Transport & Mobility Leuven.
- Den Hond et al, 2008. Implementatie van de strategie voor het verzamelen van incidentiegegevens i.v.m. aandoeningen die mogelijks wijzen op endocriene verstoring bij de mens en berekening van de maatschappelijke kost van een aantal geïdentificeerde prioritaire aandoeningen. VITO rapport 2007/TOX/R/062.
- De Nocker L., Vermoote S. , valuation of environmental impacts on preferences revealed in political negotiations and public referenda, in EC, ExternE NewExt, New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies, EC 2005.
- Defra, 2005 , zie Watkiss, 2005.
- Defra 2009, Carbon Valuation in UK Policy , Appraisal: A Revised Approach , Climate Change Economics, Department of Energy and Climate Change, July 2009.
- Deutsch, F., J. Vankerkom, et al. (2008). "Modelling concentrations of airborne primary and secondary PM10 and PM2,5 with the BelEUROS-model in Belgium." Ecological Modelling 217(3-4): 230-239.
- Deutsch F, Vankerkom J, Veldeman N, Peelaerts W, Fierens F, Vanpoucke C, Trimpeneers E, Vancraeynest L, Buysse H (2010) Eindrapport "Verklarende factoren voor evoluties in luchtkwaliteit", Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA, Milieurapport Vlaanderen, VITO-rapport 2010/RMA/R/234.
- Derwent, R. G., Dollard, G. J. and Metcalfe, S. E. (1988). On the nitrogen budget for the United Kingdom and north-west Europe. Q. J. R. Meteorol. Soc. 114, 1127-1152.
- EC, 1996, ExternE, Externalities of Energy, Volume 2: Methodology, Luxembourg : European Commission, 1996.
- EC, 2005, 5, ExternE - Externalities of Energy – Methodology 2005; Update. EUR 21951 EN. European Commission, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 2005, ISBN 92-79-00423-9.
- EC, 2007 , Communication from the Commission, of 10 January 2007, entitled: "Limiting Global Climate Change to 2 degrees Celsius - The way ahead for 2020 and beyond" [COM(2007) 2 final.
- EcosenseWeb.[http://ecoweb.ier.uni-stuttgart.de/ecosense\\_web/ecosensele\\_web/frame.php](http://ecoweb.ier.uni-stuttgart.de/ecosense_web/ecosensele_web/frame.php).
- EEA, 2009. European Environment Agency. Population Density Disaggregated with Corine Land Cover 2000. GIS Data – Population Density Grid. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/population-density-disaggregated-with-corine-land-cover-2000-2> [26/04/2010].

- ExternE, 2005. Externalities of Energy. Methodology 2005 Update. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung – IER, Universität Stuttgart, Germany. European Commission, Directorate-General for Research, 270 pp.
- Favrel et al, 2001, Mobilité durable en region bruxelloise, Rapport final, MD/DD/012/ CEESE, Bruxelles, 200.
- Friedrich, R. (2008). Note on the choice of values of marginal external costs of greenhouse gas emissions, July 15, 2008, EcoSenseWeb V2.0, <http://ecosenseweb.ier.uni-stuttgart.de/index.php> , News, related documents.
- FPB, 2009. Bevolkingsvooruitzichten 2007-2060. Accessed via [http://www.plan.be/databases/database\\_det.php?lang=nl&TM=46&IS=60&DB=DEMOG&ID=26](http://www.plan.be/databases/database_det.php?lang=nl&TM=46&IS=60&DB=DEMOG&ID=26) [20/01/2010]. Federaal PlanBureau.
- FOD Mobiliteit, 2008. Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer. Statistieken van het Wegvervoer. Reizigers-km per Wegennet, Gewest en Jaar tot 2008. [http://www.mobiliteit.fgov.be/data/mobil/TabB3\\_pkmN.pdf](http://www.mobiliteit.fgov.be/data/mobil/TabB3_pkmN.pdf) [12/05/2010].
- Goedkoop et al and R. Spriensma The Eco-indicator 99 : A damage-oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report, second edition Amersfoort : PRé Consultants B.V., 2000.
- Hoge Raad voor Financiën, "Studiecommissie voor de Vergrijzing", Jaarlijks verslag 2010, Federale Overheidsdienst Financiën, 2010.
- Holland M. , Steve Pye, Paul Watkiss, Bert Droste-Franke, Peter Bickel, (2005) Damages per tonne of PM2,5, NH3, SO2, NOx and VOC's of Eu25 Member State , (excluding Cyprus) and surrounding seas Service Contract for carrying out cost-benefit analysis of airquality related issues, in particular in the clean air for Europe(CAFE) programme , Didcot : AEA Technology Environment, 2005.
- Hope, C., (2005), Integrated Assessment Models, in Helm D ed Climate Change Policy, Oxford University Press.
- Hurley F et al., 2005, Methodology for the cost–benefit analysis for CAFE. Volume 2: health impact assessment. Brussels, European Commission, 2005.
- Int Panis et al, 2008, The effect of changing background emissions on external cost estimates for secondary particles. The Open Environmental Journal - blz. 8 -vol. (2)47-53(2008) 2008/IMS/P/005.
- Jensen S.S., Willumsen E., Brandt J., Kristensen N.B., 2008. Evaluation of Exposure Factors Applied in Marginal External Cost Analysis of Transportation Related Air Pollution. Transportation Research Part D, pp. 255-273.
- Jerrett, Michael, Burnett, Richard T., Pope, C. Arden, III, Ito, Kazuhiko, Thurston, George, Krewski, Daniel, Shi, Yuanli, Calle, Eugenia, Thun, Michael, (2009) Long-Term Ozone Exposure and Mortality, N Engl J Med 2009 360: 1085-1095.
- Ketzel, M., Omstedt, G., Johansson, C., Du`ring, I., Pohojola, M., Oettl, D., et al., 2007. Estimation and validation of PM2,5/PM10 exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modelling. Atmospheric Environment 41, 9370–9385.
- Koellner, 2001 ,Land use in product life cycles and its consequences for Ecosystem quality, University of St Gallen, ETH Zurich, 2001.
- Krewitt W., Schlomann B., Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern Gutachten im Rahmen von Beratungsleistungen für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit , DLR, Institut für Technische Thermodynamik, Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung, Stuttgart, 2006.
- Kuik, O., Brandera, L., Nikitina, N., Navrud, S., Magnussen, K., El Hadji, F., 2008. A Database of Studies on Energy-related External Costs due to Land Use Changes, Acidification and Eutrophication, Visual Intrusion and Climate Change. Delivery of FP6 Cases Project.
- Kuik O., report on the monetary valuation of energy related impacts on land use changes, acidification, eutrophication, visual intrusion and climate change, CASES report WP 3, 2007.
- Kuik, O., L. Brander, et al. (2009). "Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: A meta-analysis." Energy Policy 37(4): 1395-1403.
- Ott et al, 2006 , Ott, Walter, Baur, Martin and Kaufmann, Yvonne, e c o n c e p t AG, Frischknecht, Rolf and Steiner, Roland, ESU-services, 2006. , NEEDS, project, FP6, RS1b\_D4.2, "Assessment of Biodiversity Losses".
- LNE 2007. Milieubeleidskosten, begrippen en berekeningsmethoden. Pp. 41.
- Mendelsohn, Dinar A.; Williams L., The distributional impact of climate change on rich and poor countries, Environment and Development Economics, 11: 159–178, 2006.
- Meyer S. et Hecq W. (Université libre de Bruxelles - CEESE), Etablissement d'un indicateur environnemental adapté à l'ensemble des véhicules routiers actuels ou à venir, Premier colloque international "Environnement et Transport", Collections de l'INRETS, Avignon 19-20 juin 2003.

- Maibach M., C. Schreyer, D. Sutter ; H.P. van Essen, B.H. Boon, R. Smokers, A. Schroten ; C. Doll ; B. Pawlowska, M. Bak (2008), Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Internalisation Measures and Policies for All external Costs of Transport (IMPACT), Version 1.1 , Delft : CE Delft, 2008.
- Michiels, H., Int Panis, L., De Vlieger, I., Mayeres, I., 2010. Limobel - Long Run Impacts of Policy Packages on Mobility in Belgium. External Environmental Cost Model for Transport (Task 4.6). Study Carried out for the Belgian Federal Public Planning Service, Science Policy.
- MIRA (2007) Milieuraapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2007, Milieu, mens en gezondheid, Bossuyt M., Colles A., Den Hond E., Verschaeve L., Tilborghs G., Wildemeersch D., Chovanova H., Van Campenhout K., Mampaey M., Teughels C., Stassen S., Collier P., Hooft P., Torfs R., Nawrot T. & Keune H., Vlaamse Milieumaatschappij, [www.milieuraapport.be](http://www.milieuraapport.be).
- MIRA (2007) Milieuraapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2007, Fotochemische luchtverontreiniging, Dumont G., Fierens F., Vandermeiren K., De Geest C., Vlaamse Milieumaatschappij, [www.milieuraapport.be](http://www.milieuraapport.be).
- MIRA (2007) Milieuraapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2007, Fotochemische luchtverontreiniging, Dumont G., Fierens F., Vandermeiren K., De Geest C., Vlaamse Milieumaatschappij, [www.milieuraapport.be](http://www.milieuraapport.be).
- Máca V. Scasny M. et al, 2009, 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 4.2a., CUEC, Prague, 2009.
- Nerhagen L., Bergström R., Forsberg B., Johansson C., Eneroth K., 2009. The Mortality Cost of Particulate Matter Due to Emissions in the Stockholm Area – An Investigation into Harmfulness, Sources and the Geographical Dimension of Their Impact. VTI Rapport 635A, 40 pp.
- Perez, L.; Medina-Raon, M.; Kuenzli, N.; Alastuey, A.; Pey, J.; Prez, N.; Garcia, R.; Tobias, A.; Querol, X.; Sunyer, J. Size fractionate particulate matter, vehicular traffic, and case-specific daily mortality in Barcelona (Spain) Environ. Sci. Technol. 2009, 43 ( 13DOI 10.1021/es8031488).
- Preiss, Ph, Volker Klotz (2008a), revised Description of updated and extended tools for the detailed site-dependent assessment of External costs EcoSenseWeb, Report NEEDS, IER, 2008.
- Preiss, Ph. and Klotz V., (2008b), <http://EcoSenseWeb.ier.uni-stuttgart.de/> EcoSenseWeb V2.0, <http://ecosenseweb.ier.uni-stuttgart.de/index.php> , News, related documents.
- Preiss, Ph. and Klotz V., (2008c), Report on the procedure and data to generate averaged/aggregated data, NEEDS, Rs3a, WP1, D3.1, IER, 2008.
- Quintet A (2008), La valeur tutélaire du carbone, Rapport de la commission présidée par Alain Quinet, , Rapports et documents, Juin 2008, Centre d'analyse strategique, Premier ministre, Paris, 2008.
- Quintet A (2009), La valeur tutélaire du carbone, Rapport de la commission présidée par Alain Quinet, Tome 2, Exercices de modélisation et contributions, Rapports et documents, N° 16-2009, Centre d'analyse strategique, Premier ministre, Paris, 2009.
- Rabl A , Spadaro J, (2009), report on the methology for the consideration of uncertainties, NEEDS, Deliverable , D7.2, Armines, Paris, 2009.
- Ready R, Navrud S, Day B, et al. (2004 )Benefit Transfer in Europe: How Reliable Are Transfers between Countries? Environmental and Resource Economics. 2004;29(1):67-82.
- Russel A.G., Brunekreef B. (2009), A Focus on Particulate Matter and Health, Environ. Sci. Technol., 2009, 43 (13), pp pp 4620–4625, DOI: 10.1021/es9005459.
- Schrooten L., Van Rompaey H. (2002). Ontwikkeling van een Methodologie voor een Emissie-Inventaris van PM10 en PM2,5 en Opstellen van een Emissie-Inventaris voor 1995 en 2000. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij. 190 pp.
- Simpson, D., Olendrzynski, K., Semb, A., Storen, E. and Unger, S. (1997). Photochemical oxidant modelling in Europe: multi-annual modelling and source-receptor relationships. EMEP/MSC-W, Report, 3/97, Oslo, July 1997.
- Tarrasón, L. NEEDS project, FP6, Rs1b\_TP1.1 “Source-receptor calculation at the hemispheric level”, Norwegian Meteorological Institute - Research and Development Department - Section Air Pollution, 2006.
- Stern, N. (2006),The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press Cambridge, UK.
- Thorpe A ,Roy M. Harrison Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review , Science of the Total Environment, (2008)270 – 282.
- Tol R. & Downing T. (2001) The marginal costs of climate changing emissions. In R. Friedrich and P. Bickel (eds.), Environmental External Costs of Transport. Springer Verlag, Heidelberg.
- Tol Richard S.J. (2006) The Stern review of the economics of climate change, a comment, IVM.

- Tol Richard S.J. (2005) The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties, energy policy 33 (2005) 2064-2074.
- Torfs R., De Nocker L., Schrooten L., Aernouts K. & Liekens I. (2005) Internalisering van externe kosten voor de productie en de verdeling van elektriciteit in Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2005/01, Vito.
- Torfs R., 2003. Kwantificering van gezondheidsrisico's aan de hand van DALY's en externe gezondheidskosten. Vito rapport in opdracht van VMM-MIRA. 2003/IMS/R/077.
- Torfs R. et al., 2004. Evaluatie van beleidsscenario's met betrekking tot fijn stof (PM2,5). 2004, Vito rapport 2004/IMS/R/069.
- Torfs R., Hurley F., Miller B., Rabl A. (2007), A set of concentration-response functions. NEEDS, New Energy Externalities Developments for Sustainability, Deliverable 3.7 – RS1b/WP3, 162 pp. , Vito, 2007.
- UNFCCC, Copenhagen Accord, FCCC/CP/2009/L.7 , 18 december 2009, <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/l07.pdf>.
- Van Poppel M., Lefebvre W., Degraeuwe B., Janssen S., Berghmans P., Brabers R., Daems J., Bleux N., Deutsch F., Vankerkom J., Janssen L., Peelaerts W. (2009). Onderzoek naar de Invloed van Wegverkeer op de Luchtkwaliteit in de Stad Antwerpen in het Kader van de Opmaak van een Actieplan Fijn Stof. Studie uitgevoerd in opdracht van de Stad Antwerpen, 221pp.
- Van Regemorter, W. Nijs, N. Renders, S. Proost, J. Duerinck, Markal/TIMES, a model to support greenhouse gas reduction policies, Juni 2007.
- Van Steertegem, M. (Ed.) (2009). Milieuverkenning 2030: Milieurapport Vlaanderen, Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), Aalst, Belgium. ISBN 978-908040200-3. 383 pp, [www.milieurapport.be](http://www.milieurapport.be).
- Watkiss, P., Anthoff, D., Downing, T., Hepburn, C., Hope, C., Hunt, A., Tol, R. (2005): The Social Cost of Carbon (SCC) Review – Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment. Final Report. AEA Technology Environment, Harwell, November 2005.
- WHO, 2006, Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution, Joint WHO / Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution, WHO European Centre for Environment and Health, Bonn Office, 2006.

## 8 Afkortingen, begrippen

|                     |   |
|---------------------|---|
| Aërosolen:          | atmosferische (stof)deeltjes (particles).   |
| BelEUROS            | Verspreidingsmodel voor berekening effect van emissiescenario's op concentraties, in deze studie gebruikt voor emissies van alle polluenten voor hoge en lage schouwen en voor impacts in buurregio's.  |
| BKG                 | Broeikasgas, gas dat de opwarming van de aarde bevordert.   |
| BTW                 | belasting op de toegevoegde waarde  |
| CAFE                | Clean air for Europe, Europees programma ter ondersteuning van de Europese Commissie bij de bestrijding van luchtverontreiniging  |
| COMEAP              | Committee on the Medical Effects of Air Pollutants, Adviesorgaan in het VK  |
| COP                 | Conference of Parties, zie UNFCCC   |
| CO <sub>2</sub>     | Koolstofdioxide, een belangrijk broeikasgas   |
| CO <sub>2</sub> -eq | CO <sub>2</sub> -equivalent (CO <sub>2</sub> -eq): meeteenheid gebruikt om het opwarmend vermogen (global warming potential) van broeikasgassen weer te geven. CO <sub>2</sub> is het referentiegas, waartegen andere broeikasgassen gemeten worden. (zie GWP, global warming potential.) |
| Daly                | Disability adjusted life years, is een indicator om verschillende gezondheidseffecten onderling te vergelijken, en die rekening houdt met ernst en duur van de aandoening, wordt uitgedrukt in aantal verloren gezonde levensjaren.   |
| EC                  | Europese commissie  |
| EcoSense            | Software ontwikkeld binnen ExternE om externe kosten te berekenen   |
| EcoSense-web        | Vereenvoudigde publieke versie van EcoSense   |
| Ex-Daly             | Rekeninstrument van Vito om gezondheidseffecten milieuverontreiniging in te schatten, uitgedrukt in Daly's of externe kosten  |
| Equity weighting    | Rekening houden met relatieve inkomens bij het monetair waarderen van effecten, zodat – in de context van waardering externe kosten BKG - effecten in landen met lagere inkomens een hoger gewicht krijgen dan bij waardering op basis van lokale marktprijzen of bereidheid tot betalen. |
| ExternE             | Externalities of Energy. Europees onderzoeksproject dat de impact op de gezondheid en het leefmilieu kwantificeert door vervuilende stoffen te volgen vanaf de bron tot aan de impact   |
| IFDM-RIO            | Keten van verspreidingsmodellen voor geïntegreerde berekening effect van emissiescenario's op concentraties, gebruikt in deze studie voor verspreiding impacts van PM 2.5 van transport   |
| IPCC                | Intergovernmental Panel on Climate Change (opgericht door de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) en het Milieuprogramma van de Verenigde Naties (UNEP))  |
| LRTAP               | Long-Range Transboundary Air Pollution, verdrag over grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand afgesloten in Genève  |
| NEEDS               | New Energy Externalities Development for Sustainability. Project gefinancierd door EC 6th framework programme (2003-2007); Sustainable Energy Systems. (ook ExternE-Needs)  |
| NewExt              | New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies. Project gefinancierd door EC 5th Framework Programme (1998 – 2002), Thematic programme: Energy, Environment and Sustainable Development, Contract No: ENG1-CT2000-00129                                       |
| NO <sub>x</sub>     | Stikstofoxiden  |
| PDF                 | Potentially disappeared fraction, indicator om verlies aan biodiversiteit te meten, rekening houdend met verwachte biodiversiteit bij een bepaald landgebruik en actuele biodiversiteit, alle soorten worden hierbij gelijk gewogen.  |
| PM10, PM2,5         | Zwevend stof met aërodynamische diameter kleiner dan 10 resp. 2,5 µm. Dit is de verzamelnaam voor zwevende deeltjes in de lucht die hetzelfde gedrag hebben als sferische deeltjes met die bepaalde diameter (10 of 2,5 µm). PM2,5 is een deelfractie van PM10.                           |
| PMcoa               | PMcoarse: Zwevend stof met aërodynamische diameter kleiner dan 10 µm  |

|                |   |
|----------------|---|
|                | en groter dan 2,5 µm. Is een deelfractie van PM 10.   |
| UNFCCC         | United Nations Framework Convention on Climate Change (ook Klimaatverdrag)  |
| verdisconteren | het omrekenen van een bedrag (winst of verlies) voor een toekomstig jaar naar de waarde van datzelfde bedrag in een referentiejaar (meestal de huidige generatie) aan de hand van een discontovoet. Verdiscontering houdt in dat men een lagere waarde toekent aan toekomstige kosten en baten in vergelijking met onmiddellijke kosten en baten. |
| Vito:          | Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek   |
| VMM:           | Vlaamse Milieumaatschappij  |
| VOS            | vluchtige organische stoffen  |
| WHO            | World Health Organisation   |

## 9 Eenheden

CO<sub>2</sub>-eq: CO<sub>2</sub>-equivalent

keuro : 1 000 euro



## Bijlage A: Methode om output BelEUROS en IFDM-RIO te linken met ExDaly

Hoe gaat het doorlopen van deze keten van emissies naar kosten nu praktisch in z'n werk? Dit bespreken we hierna. Eerst voor het IFDM-RIO-model, daarna voor de berekeningen met het BelEUROS-model.

We hebben berekeningen gedaan voor het jaar 2007, wat als goede proxy wordt beschouwd voor de huidige toestand. Met BelEUROS rekenden we ook scenario's door voor het jaar 2020 (en zelfs voor 2010 en 2015 voor 1 bepaalde pollutent).

We gebruiken de combinatie IFDM-RIO om de externe kosten van uitlaat-PM<sub>2,5</sub> afkomstig van wegverkeer in Vlaanderen te berekenen. De output van dit model is een concentratieverschil tussen het BAU-scenario (metingen 2007) en een scenario met 100% verminderde verkeersemissies, samen met het aantal mensen dat wordt blootgesteld aan een zekere concentratiewijziging. Zoals hoger reeds aangestipt mogen we hier de fijn stof emissies met 100% verlagen omdat primair PM<sub>2,5</sub> niet reactief is en er bijgevolg geen fouten in de modelschaling kunnen sluipen. De concentratie- en bevolkingsstap uit de impact pathway methode wordt hier dus in één vloeiende beweging berekend. Er is een opsplitsing gemaakt naar soort wegsegment (ruraal, snelweg en urbaan), omdat fijn stof emissies uitgestoten in de stad vermoedelijk een veel grotere kost met zich meebrengen dan emissies op het platteland.

We gebruiken vervolgens de externe kost per 1 µg/m<sup>3</sup> primair fijn stof en per 10 miljoen mensen, zoals het uit de DALY-calculator komt (we noemen dit hierna de externe kosten factor = ekf). Ter herinnering :de DALY-calculator is een eenvoudige rekentool voor de evaluatie van de gezondheidseffecten ten gevolge van een bepaalde blootstelling voor een bepaald aantal mensen, en is opgesteld naar analogie met het exDALY-model. Voor elk wegtype kunnen we dan de externe kost berekenen als volgt:

$$EK(\Delta C) = \Delta C * \frac{P(\Delta C)}{10000000} * ekf$$

voor elke  $\Delta C$  = concentratieverschilniveau PM<sub>2,5</sub> tov BAU 2007  
met  $EK(\Delta C)$  = externe kosten voor bepaald concentratieverschilniveau  
 $\Delta C$  = grootte van het concentratieverschil (µg/m<sup>3</sup>) tov BAU  
 $P(\Delta C)$  = totaal aantal mensen waarvoor de concentratie PM<sub>2,5</sub> met  $\Delta C$  is gewijzigd tov BAU  
ekf = externe kosten factor voor 10 mio mensen, per µg/m<sup>3</sup>

De totale externe kosten voor een bepaald soort wegsegment kunnen bekomen worden door de som te maken van de kosten over alle verschilniveaus:

$$EK_{tot} = \sum_{\Delta C} EK(\Delta C)$$

Passen we dit toe voor de 3 soorten Vlaamse wegtypes, en delen we deze externe kosten door hun respectievelijke emissieverschillen, dan bekomen we een gemiddelde externe kost. Zoals hoger reeds uitgelegd kan de de gemiddelde externe kost die we hier berekenen dus als goede benadering gezien worden voor de marginale externe kost (MEK) in euro per ton emissie.

Langs de andere kant gebruiken we ook het luchtverspreidingsmodel BelEUROS om emissies van de andere pollutenten (PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOS en PM<sub>2,5</sub> voor de andere sectoren dan transport) door te rekenen. De rekenmethode verloopt voor een groot stuk analoog aan de procedure van IFDM-RIO. Het belangrijkste verschil is dat de output van BelEUROS een grid is met concentratiewaardes, zowel voor een baseline als een alternatief scenario. Het concentratieverschil tussen de twee scenario's moeten we hier nog zelf berekenen.

Standaard zullen we steeds twee scenario's met elkaar vergelijken. Voor de twee matrices met concentratiewaardes (voor elk scenario een totaal van 2240 cellen en een aantal

concentratiepolluenten) berekenen we eerst een externe kost door te vermenigvuldigen met de respectievelijke ekf en de bevolking per cel. Per cel c berekenen we de externe kost dan als volgt:

$$EK_c(C_{i,j}) = C_c \cdot \frac{P_c}{P_g} \cdot ekf_{i,j}$$

voor elke concentratiepolluent i en steekjaar j

met  $EK_c(C)$  = externe kost in cel c berekend op basis van concentratie C

$C_c$  = concentratie in cel c

$P_c$  = totale bevolking in cel c

$P_g$  = totale bevolking in totale beschouwde grid

ekf = externe kostenfactor voor totale bevolking in beschouwde grid, per  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sommeren over de cellen c en de concentratiepolluenten i geeft dan de totale externe kost voor 1 scenario,  $EK_j$ .

$$EK_j \approx \sum_i \sum_c EK_c(C_{i,j})$$

Vervolgens wordt het verschil gemaakt tussen de externe kosten van de twee scenario's. We moeten dan enkel nog delen door het oorspronkelijk emissieverschil tussen de twee scenario's, om tot een gemiddelde externe kost ( $\approx$ MEK) te komen.