

Algemene verspreiding

(Contract 061690)

Methodologieontwikkeling en modelaanpassingen voor uitbreiding MKM met broeikasgassen

Eindrapport

Erika Meynaerts, Pieter Lodewijks, Nele Renders, Daan Beheydt, Wouter Nijs

**Studie uitgevoerd in opdracht van Departement Leefmilieu, Natuur en
Energie, Afdeling Milieu-, Natuur- en Energiebeleid, Dienst
Beleidsvoorbereiding en -evaluatie**

2007/IMS/R/413



VITO

December 2007

Alle rechten, waaronder het auteursrecht, op de informatie vermeld in dit document berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916.

De informatie zoals verstrekt in dit document is vertrouwelijke informatie van VITO. Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO mag dit document niet worden gereproduceerd of verspreid worden noch geheel of gedeeltelijk gebruikt worden voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin aangewend worden.

VERSPREIDINGSLIJST

LNE: 10 exemplaren

VITO: 10 exemplaren

SAMENVATTING

In de beleidsnota van de Vlaamse minister van Openbare Werken, Energie en Leefmilieu wordt veel belang gehecht aan een goede milieueconomische onderbouwing van het beleid en wordt o.a. vermeld dat *'Beleidsonderbouwende instrumenten zoals milieukostenstatistieken, milieueconomische modellen en afwegingskaders hierbij noodzakelijk zijn en verder moeten ontwikkeld worden'*. In dit kader is de nood aan een model voor kostenberekeningen op het gebied van klimaatbeleid zeer groot en dringend. Het MilieuKostenModel (MKM) is in Vlaanderen op dit moment het belangrijkste bottom-up technisch-economisch model voor de onderbouwing van een kostenefficiënt milieubeleid. Het model heeft zijn nut al bewezen in het beleid met betrekking tot de Europese Richtlijn Nationale Emissieplafonds (2001/81/EG) en de Europese Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG). Deze context maakt dat er een studieopdracht door het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, Afdeling Milieu-, Natuur- en Energiebeleid, Dienst Beleidsvoorbereiding en -evaluatie (Cel Milieueconomie) werd uitgeschreven en toegekend aan VITO die als doel heeft om het MKM uit te breiden met broeikasgassen (CO₂ en niet-CO₂).

De uitbreiding van het MKM met broeikasgassen heeft als doel om na te gaan hoe vooropgestelde klimaatdoelstellingen tegen de laagste kosten kunnen gerealiseerd worden. Hierbij wordt niet alleen de optimale oplossing berekend maar kunnen eveneens bijkomende beperkingen in rekening gebracht worden (bv. bepaalde sectoren worden vrijgesteld van reductie). Tevens kan de impact van de keuze van exogene variabelen (bv. energieprijzen, economische groei, discontovoet) op de resultaten worden nagegaan. Hierbij kan, bijvoorbeeld, afgestemd worden met de modelparameters in het GAINS-model of de nieuwe PRIMES-energieprijzen. Naast optimalisatie kunnen met het MKM ook de gerelateerde kosten berekend worden, i.e. simulatie, van vooraf bepaalde scenario's zoals bijvoorbeeld de BAU+-energiescenario's uit Duerinck et al. (2007).

Opdat het MKM zou kunnen optimaliseren en simuleren voor broeikasgassen moet de huidige databank niet alleen uitgebreid worden met emissies en reductietechnieken voor broeikasgassen maar moeten er ook een aantal methodologische afwegingen en keuzes gemaakt worden. De praktische uitbreiding van de databank maakt deel uit van de vervolgstudie *'Berekenen van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'*. De methodologische afwegingen en keuzes zijn onderwerp van voorliggende studie.

De beknopte literatuurstudie van technisch-economische modellen (GAINS, analysemodel ECN, MARKAL/TIMES België) bevestigt de methodologie die tot nu toe met het MKM Lucht gevolgd werd bv. 'multipolluenten'-benadering, definiëring maatregelen, opbouw objectieffunctie, geen macro-economische en verdelingseffecten. Daarnaast biedt de analyse van deze modellen inspiratie met betrekking tot de methodologische aanpak voor de uitbreiding van het MKM Lucht met broeikasgassen bv. aggregatieniveau, definiëring maatregelen, kostprijsberekening, link met economisch transport- of landbouwmodel.

De technisch-economische informatie in deze modellen met betrekking tot reductie- en energiebesparingsmaatregelen kan voornamelijk van toegevoegde waarde zijn voor de sector 'industrie', gegeven het feit dat informatie met betrekking tot de Vlaamse situatie schaars is. Echter, deze informatie is nagenoeg niet rechtstreeks bruikbaar voor de

Vlaamse situatie omdat bv. het schaalniveau te hoog is waardoor landspecifieke en/of sectorspecifieke eigenschappen uit het oog verloren worden, of de informatie die publiek beschikbaar is, te beperkt is om de bruikbaarheid ervan te evalueren. Niettemin kan de technisch-economische informatie nuttig zijn om bv. het overleg met de industrie in Vlaanderen op gang te brengen.

Milieubeleidskosten en milieubaten

Voor de typologie en berekeningsmethode van milieubeleidskosten wordt uitgegaan van '*Milieubeleidskosten – Begrippen en berekeningsmethodes*' (LNE, 2007). Er wordt uitgegaan van de directe kosten voor de doelgroepen excl. belastingen en subsidies. Tevens wordt het welvaartsverlies in rekening gebracht omwille van prijs- en hoeveelheidsaanpassingen in de rechtstreeks betrokken sector. Omwille van een gebrek aan informatie worden indirecte kosten (afgeleide markten) niet in rekening gebracht.

In MARKAL/Answer of TIMES kan het effect van maatregelen met negatieve kosten worden meegenomen in het basis- of referentiescenario. Met het MKM kan ervoor geopteerd worden om deze kosten wel of niet in mindering te brengen van de totale kosten die resulteren uit de optimalisatie- of simulatieoefening.

Het neveneffect op de pollutanten waarvoor niet geoptimaliseerd of gesimuleerd wordt, wordt niet gemonetariseerd maar enkel als fysische eenheden in rekening gebracht. Externe milieukosten of –baten worden met het MKM niet in rekening gebracht bij optimalisatie of simulatie van broeikasgassen. De niet-milieugerelateerde effecten voor transport, zoals bv. toename congestie of tijdswinst, worden wel gemonetariseerd en meegenomen in de optimalisatie en simulatie met het MKM Lucht&Klimaat.

Exogene parameters

Bij de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen wordt uitgegaan van de groeiscenario's voor 2010 – 2015 – 2020 uit de studie '*Prognoses en scenario's voor luchtverontreinigende stoffen*' (Lodewijks et al., 2007). De economische groei voor het jaar 2010 werd per sector afgestemd op de groei uit de Vlaamse Sectorstudies Lucht. Voor de jaren 2015 en 2020 werd de informatie uit het BAU-energiescenario (Duerinck et al., 2006b) als uitgangspunt gebruikt. Indien meer gedetailleerde informatie met betrekking tot de economische activiteit op bedrijfs- of installatieniveau aanwezig was, werd ervoor geopteerd om deze toe te passen. De brandstofprijzen die gehanteerd worden, zijn deze uit het BAU-energiescenario. De emissieprognosestudie heeft enkel betrekking op de tijdshorizon 2010, 2015 en 2020. Wat de zichtjaren 2025 en 2030 betreft, wordt voor de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen uitgegaan van het A-scenario uit de BAU+-studie (Duerinck et al, 2007). De toekomstige niet-energiegerelateerde broeikasgasemissies worden afgestemd op prognoses van het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid) zoals weergegeven in '*Report by Belgium for the assessment of projected progress*' (15 maart 2007).

In het kader van de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen worden de ontbrekende energieverbruiken op basis van de Energiebalans Vlaanderen (2005) bijgeschat. De emissiefactoren voor CO₂, CH₄ en N₂O worden opgenomen in het MKM en/of afgestemd op de methodologie die gevolgd wordt bij de opmaak van de Belgische inventaris van broeikasgassen in het kader van het klimaatverdrag.

De omzetting naar CO₂-equivalenten wordt eveneens door het MKM zelf gedaan op basis van de niet-CO₂ broeikasgasemissies die in de databank zijn opgenomen en de GWP-waarden (CH₄= 21 en N₂O= 310 CO₂-eq).

Vraag en aanbod

De kosteneffectiviteitsanalyses die voor broeikasgassen zullen uitgevoerd worden, zullen betrekking hebben op een langere tijdshorizon (> 20 jaar). Bovendien zullen technische maatregelen niet voldoende zijn om de vereiste reducties te realiseren en zullen ook volumemaatregelen moeten in rekening gebracht worden. Bijgevolg moet de finale vraag elastisch worden. Gegeven het gebrek aan betrouwbare informatie omtrent prijselasticiteiten, worden bij voorkeur een aantal scenario's berekend waarbij telkens uitgegaan wordt van een andere prijselasticiteit bv. 0, -0,3 (MARKAL/TIMES) en -0,5. Het effect van een stijging van het inkomen op de vraag kan enkel exogeen in rekening gebracht worden.

Voor de meest sectoren wordt het aanbod in het MKM (MARKAL/Answer) als perfect elastisch beschouwd. Voor de elektriciteitssector wordt de aanbodscurve trapsgewijs opgebouwd in het MKM omwille van de beperking op de hoeveelheid elektriciteit die geproduceerd kan worden door de verschillende centrales.

Aggregatie

Voor de uitbreiding met broeikasgassen wordt uitgegaan van de databank van het MKM Lucht. Deze uitbreiding impliceert dat het bestaande niveau waarop emissiebronnen en reductiemaatregelen beschreven worden, moet geaggregeerd worden. De vraag naar aggregatie stelt zich voor de (industriële) bronnen van energiegerelateerde CO₂-, CH₄- en N₂O-emissies. De installaties waarvoor voldoende informatie beschikbaar is, blijven op een gedetailleerd niveau in de databank opgenomen. De overige installaties worden geaggregeerd zodat een set van (generieke) maatregelen gedefinieerd kan worden.

De aggregatie wordt automatisch vanuit de gedetailleerde databank van het MKM aangemaakt zodat bij actualisatie op het gedetailleerde niveau, de wijzigingen ook kunnen meegenomen worden naar de geaggregeerde niveaus. De aggregatie van installaties heeft een aantal modeltechnische implicaties en trade-offs tot gevolg ten opzichte van de modelversie die tot nu toe gebruikt werd.

Criteria die bij de aggregatie in acht genomen worden zijn: sector, vermogensklasse op installatieniveau (0 < 5 M, 5 < 20 MW, 20 < 50 MW, 50 MW), brandstoftype, groeiscenario moet ± gelijk zijn, thermisch rendement van de branders moet ± gelijk zijn.

WKK-potentieel en vraag naar warmte

Binnen het ondersteunend onderzoek 2007 van MIRA wordt het rendement van stookinstallaties meegenomen in de beschrijving van de stookinstallaties zodat een vraag naar warmte kan gedefinieerd worden. Er wordt verondersteld dat het rendement van een stookinstallatie gekoppeld kan worden aan de 'leeftijd' van de installatie. Wat de koppeling van deze datum aan een rendement betreft, wordt een beroep gedaan op de expertise binnen de afdeling energietechnologie (ETE) van VITO. Indien geen 'datum van ingebruikname' gekend is, wordt uitgegaan van een gemiddeld rendement.

In het MKM worden de WKK's gemodelleerd binnen het elektriciteitsmodel in MARKAL/Answer. Omdat de warmtevraag en warmteproductie niet meegenomen werden in het MKM, werd een 'soft' link opgezet tussen de stookinstallaties en WKK's om terugkoppeling mogelijk te maken. Met deze 'soft' link kunnen WKK-scenario's

doorgerekend worden, maar kan het MKM niet ingezet worden voor een kosteneffectieve afweging tussen reductietechnieken voor NO_x, SO₂ of CO₂ en het plaatsen van een WKK. In het kader van het MIRA-onderzoeksproject wordt de 'soft' link vervangen door een 'hard' link i.e. door een integratie van het rendement van stookinstallaties in het MKM. Op basis van het rendement en de draaiuren van elke stookinstallatie wordt een WKK-vervangingspotentieel ingeschat. Het MKM kan in deze situatie optimaliseren naar het gebruik van WKK's. Het effect van wetgeving, zoals de WKK-certificaten kan eveneens meegenomen worden in de afweging.

Elektriciteitsproductie incl. WKK en hernieuwbare energie

Net zoals voor de onderbouwing van het NEC-beleid, wordt voor de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen uitgegaan van het elektriciteitsmodel in MARKAL/Answer. Dit betekent dat er een volledige integratie is met de meest recente versie van het elektriciteitsmodel (emissies, potentieel, kosten).

Wat de beschrijving van de CO₂-reductiemaatregelen betreft, wordt in eerste instantie uitgegaan van de informatie die verzameld werd in het kader van de BAU- en BAU+-studie: STEG met CO₂-sequestratie, brandstofcel (gas, H₂), superkritische stoomgeneratie (al dan niet met CO₂-sequestratie), wervelbedverbranding (al dan niet met CO₂-sequestratie), geïntegreerde vergassing (al dan niet met CO₂-sequestratie), hoge temperatuur biomassa, wind offshore (dichtbij, gemiddelde en grote afstand). In het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*' wordt een overleg met de elektriciteitssector gepland. Tijdens dit overleg wordt getracht om, op basis van het Besluit Energieplanning, meer recente informatie met betrekking tot de sector te verkrijgen.

Gegeven dat er geen potentiële reductiemaatregelen voor broeikasgassen gedefinieerd worden voor de emissiebron 'opslag, distributie en transport van aardgas', wordt de reeds beschikbare informatie in het MKM Lucht niet geaggregeerd. De inventarisatie van de CH₄-emissies gebeurt op een geaggregeerd niveau.

Industriële sector

De bronnen van verbrandingsgerelateerde CO₂-, N₂O- en CH₄-emissies waarvoor voldoende informatie beschikbaar is, blijven op een gedetailleerd niveau in de databank opgenomen. De overige installaties worden geaggregeerd zodat een set van (generieke) maatregelen gedefinieerd kan worden. De verbrandingsgerelateerde emissies worden door het MKM berekend uitgaande van het energieverbruik en IPCC-emissiefactoren (NIR, 2007).

Gegeven de beperkte informatie die beschikbaar is in de BAU- en BAU+-studie met betrekking tot kostprijzen en energiebesparingspotentieel van specifieke maatregelen, werden/worden bijkomende informatiebronnen geconsulteerd. Tevens vindt overleg plaats met de energie-experten binnen VITO en de energieverbruikers uit het benchmarking/auditconvenant.

Warmteproductie uit biomassa (i.e. biomassaverbrandingsinstallatie met roosteroven en overschakeling stookolie naar pure plantaardige oliën) wordt voor de sector industrie niet meegenomen in het MKM noch als potentiële energiebesparingsmaatregel noch als scenario.

De bronnen van niet-energiegerelateerde N₂O-emissies (BASF Antwerpen en Lanxess Rechteroever) blijven op installatieniveau opgenomen in de databank van het MKM. De beschrijving van deze emissiebronnen wordt afgestemd op het meest recente milieujaarverslag. 3M blijft op installatieniveau opgenomen in de databank maar de overige industriële bronnen van F-gassen worden op een geaggregeerd niveau in de databank opgenomen. De meest actuele situatie van deze bronnen wordt beschreven in de inventaris F-gassen.

Een aantal emissiebronnen van niet-energiegerelateerde broeikasgassen worden in de databank van MKM geaggregeerd opgenomen onder de sector industrie. Het betreft volgende emissiebronnen: 'productie, distributie en transport elektriciteit' (SF₆), 'lozing huishoudelijk afvalwater, septische putten, etc.' (CH₄ en N₂O), 'storten' (CH₄), 'composteren' (CH₄), 'huisvuilverbrandingsinstallaties' (N₂O), 'verbranding niet-biologische afvalfractie' (CO₂), industriële bronnen van F-gassen (HFK's, SF₆), HFK-emissies van huishoudens, handel & diensten en transport.

Residentiële sector

Wat de bronnen van energiegerelateerde broeikasgasemissies betreft, wordt een onderscheid gemaakt tussen energieverbruik (voornamelijk brandstofverbruik) voor verwarming en sanitair warm water enerzijds en elektriciteitsverbruik voor elektrische apparaten en verlichting anderzijds. Wat het energieverbruik van verwarming en sanitair water betreft, wordt niet alleen een onderscheid gemaakt naar brandstoftype maar ook naar woningtype en leeftijd.

De maatregelen voor de residentiële sector worden in de mate van het mogelijke overgenomen uit de BAU- en BAU+-studie: brandstofomschakeling, isolatie, efficiëntieverbetering ketel/kachel, zonneboiler, meer energiezuinige elektrische apparaten en verlichting. Wat het energieverbruik van nieuwbouw betreft, wordt een verlaging van het E-peil als energiebesparingsmaatregel in rekening gebracht.

Tertiaire sector

Wat de bronnen van energiegerelateerde broeikasgasemissies betreft, wordt een onderscheid gemaakt tussen brandstofverbruik enerzijds en elektriciteitsverbruik voor elektrische apparaten anderzijds. Wat het brandstofverbruik betreft, wordt niet alleen een onderscheid gemaakt naar brandstoftype maar ook tussen vier subsectoren (kantoren, onderwijs, ziekenhuizen en maatschappelijke dienstverlening met onderdak, overige) en tussen bestaande gebouwen, (grondige en gewone) vergunde renovaties en nieuwbouw.

De maatregelen voor de residentiële sector worden in de mate van het mogelijke overgenomen uit de BAU- en BAU+-studie. Voor bestaande gebouwen en gewone renovatie worden volgende maatregelen in de databank opgenomen: ventilatie met warmterecuperatie, ketelomschakeling, gebouwschilmaatregelen, U-waarden Energieprestatie Regelgeving, nachtverlaging, relighting, energy star, minder koeling, fotovoltaïsche panelen. Voor nieuwbouw en grondige renovatie wordt een verlaging van het E-peil in rekening gebracht.

Transport

Aangezien de transportsector nog niet vertegenwoordigd is in het MKM, biedt een economisch transportmodel zoals TREMOVE het voordeel dat de transportmarkt reeds in detail gemodelleerd is. Wat de emissiebronnen van CO₂, CH₄ en N₂O betreft, wordt uitgegaan van bestaande scenarioberekeningen die uitgevoerd werden in opdracht van de

Europese Commissie en FOD Mobiliteit en Vervoer. Door TREMOVE wordt de meest kosteneffectieve combinatie van transportmaatregelen gekozen als reactie op het vooropgestelde beleid (bv. verhoging verkeersbelasting, brandstofprijzen of transportkosten, verstrenging emissienormen). De huidige en toekomstige referentie-emissies, de (welvaarts)kost en het rendement van deze 'pakketten van maatregelen' worden als input gebruikt voor het MKM. Aangezien geen nieuwe berekeningen uitgevoerd worden, is het niet mogelijk om de parameters van TREMOVE en MKM op elkaar af te stemmen (bv. energieprijzen, groei, discontovoet) of om de BAU+-doelstellingen/maatregelen door te rekenen. Verder overleg met TMLLeuven is nodig om de resultaten van de scenarioberekeningen te verduidelijken en aan te leveren in een formaat dat bruikbaar is voor het MKM wordt gevoerd in het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*'.

Landbouw

Wat de energiegerelateerde emissiebronnen betreft, wordt minstens het detail- of aggregatieniveau van het MKM Lucht behouden. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de subsectoren en brandstoftypes. Idealiter, wordt voor de glastuinbouw ook een onderscheid gemaakt naar teelttype. Volgende maatregelen worden in de databank opgenomen: beweegbare schermen, warmtebuffer, rookgascondensor, brandstofomschakeling, WKK, warmteproductie uit biomassa (i.e. biomassaverbrandingsinstallatie met roosteroven en overschakeling stookolie naar pure plantaardige oliën).

Voor de niet-energiegerelateerde emissiebronnen van CH₄ en N₂O wordt uitgegaan van bestaande scenarioberekeningen met het economisch landbouwmodel SELES, namelijk Toekomstverkenning landbouw en milieu (Gavilan et al., 2006). In vier mogelijke scenario's wordt rekening gehouden met de onzekerheid met betrekking tot de liberalisering van de markt en de productievoorwaarden enerzijds en het mestbeleid anderzijds. Het scenario dat het dichtste aanleunt bij beslist beleid (MAP3) en de toekomstige economische evolutie wordt als basisscenario in het MKM meegenomen. Ten opzichte van dit basisscenario worden de kosten en effecten op CH₄ en N₂O berekend van een bijkomende afbouw van de veestapel. Deze afbouw van de veestapel wordt als individuele maatregel meegenomen in het MKM en wordt in rekening gebracht in een afweging van reductie-inspanningen tussen de sectoren. In het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*' is verder overleg nodig met het Departement Landbouw en Visserij om gegevens aan te leveren in een formaat dat bruikbaar is voor het MKM. De eerste resultaten kunnen ten vroegste tegen eind januari 2008 aangeleverd worden.

INHOUD

Verspreidingslijst	I
Samenvatting	III
Inhoud	IX
Lijst van tabellen	XIII
Lijst van figuren	XIV
Hoofdstuk 1 Inleiding	1
1.1 Context	1
1.2 MilieuKostenModel voor Vlaanderen	1
1.3 Doel en afbakening studieopdracht	2
Hoofdstuk 2 Techno-economische modellen: broeikasgassen	3
2.1 Analysemodel Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)	3
2.1.1 Optiedocument energie en emissies 2010/2020	3
2.1.2 Technische fiches	3
2.1.3 Analysemodel (Daniëls et al., maart 2006)	5
2.2 RAINS en GAINS	7
2.2.1 Algemene beschrijving RAINS (Amman et al., februari 2004)	7
2.2.2 Algemene beschrijving GAINS (Wagner et al., februari 2007)	11
2.2.3 Technische specificaties GAINS (Wagner et al., februari 2007)	12
→ Dimensies	12
→ Beslissingsvariabelen, objectieffunctie en beperkingen	13
→ Reductietechnieken	15
2.3 MERLIN	15
2.4 Conclusie	18
Hoofdstuk 3 Afstemming met GEM-E3 Vlaanderen	19
3.1 Algemene beschrijving GEM-E3	19
3.2 Algemene beschrijving GEM-E3 Vlaanderen	21
3.3 Afstemming GEM-E3 Vlaanderen en MKM	22
3.4 'Soft' link: testsector non-ferro	24
3.4.1 Marginale kostencurves NO _x en SO ₂ MKM als input voor GEM-E3 Vlaanderen	24
3.4.2 Gevoeligheidsanalyse marginale kostencurves	26
→ Brandstofprijzen	26
→ Jaarlijkse kosten versus 'investeringskosten'	27
→ Zichtjaar 2010 versus 2020	28
3.4.3 Activiteitgroei GEM-E3 Vlaanderen als input voor MKM	29

3.4.4	Conclusie	31
Hoofdstuk 4	Afstemming met MARKAL/TIMES	33
4.1	<i>Beschrijving MARKAL/Answer</i>	33
4.1.1	Algemene beschrijving	33
4.1.2	MARKAL/Answer en MKM	34
4.2	<i>Beschrijving MARKAL/TIMES</i>	35
4.2.1	Algemene beschrijving	35
4.3	<i>Afstemming MARKAL/TIMES en MKM</i>	36
4.3.1	Afstemming software: VEDA FrontEnd en BackEnd	36
4.3.2	Afstemming methodologie: MARKAL/TIMES België.....	36
4.3.3	Conclusie	38
Hoofdstuk 5	Afstemming met economisch landbouwmodel	41
5.1	<i>Landbouw in techno-economische modellen voor broeikasgassen</i>	41
5.1.1	Analysemodel Energieonderzoek Centrum Nederland	41
5.1.2	RAINS/GAINS	42
5.1.3	MERLIN.....	44
5.1.4	MARKAL/TIMES.....	44
	→ MARKAL en MKM	44
	→ MARKAL/TIMES België	45
5.2	<i>SELES</i>	45
5.2.1	Algemene beschrijving SELES	45
5.2.2	Afstemming SELES en MKM	48
	→ Klimaatbeleid	48
	→ Toekomstverkenning landbouw en milieu.....	48
	→ Benadering MKM Water.....	52
	→ Conclusie	55
Hoofdstuk 6	Afstemming met economisch transportmodel.....	57
6.1	<i>Transport en techno-economische modellen voor broeikasgassen</i>	57
6.1.1	Analysemodel Energieonderzoek Centrum Nederland	57
6.1.2	RAINS/GAINS	59
6.1.3	MERLIN.....	60
6.1.4	MARKAL/TIMES.....	60
	→ MARKAL en MKM.....	60
	→ MARKAL/TIMES België	60
6.2	<i>LIMOBEL</i>	61
6.3	<i>TREMOVE</i>	63
6.3.1	Algemene beschrijving TREMOVE.....	63
6.3.2	Afstemming TREMOVE en MKM.....	65
	→ Kostencurve CO ₂ -equivalenten	65
	→ BAU+-doelstellingen.....	66
	→ Bestaande TREMOVE-simulaties.....	66
	→ Conclusie	67
Hoofdstuk 7	Ontwikkeling Methodologie	69
7.1	<i>Milieubeleidskosten en milieubaten</i>	69
7.1.1	Milieubeleidskosten	69

7.1.2	Milieubaten	70
7.2	<i>Aggregatieniveau</i>	71
7.2.1	Softwarematige aanpassingen.....	74
→	3 installaties met branders op aardgas en stookolie.....	74
→	Installaties met branders op aardgas en stookolie en maatregelen voor broeikasgassen.....	77
→	Installaties met branders op aardgas en stookolie en maatregelen voor lokale polluenten.....	79
7.2.2	Trade-offs.....	82
7.3	<i>Consistent macro-economisch basisscenario</i>	82
7.4	<i>Vraag en aanbod</i>	84
7.4.1	Prijselasticiteit vraag.....	84
7.4.2	Aanbodscurve perfect elastisch	85
7.4.3	Aanbodscurve trapsgewijs	86
7.5	<i>WKK-potentieel en vraag naar warmte</i>	87
7.5.1	Efficiëntieverbetering stookinstallaties	87
7.5.2	Koppeling stookinstallaties en WKK's	88
7.5.3	Parameters: emissiefactoren en GWP-waarden CH ₄ en N ₂ O.....	91
→	Emissiefactoren energetische broeikasgasemissies	91
→	GWP-waarden CH ₄ en N ₂ O	91
Hoofdstuk 8 toepassing methodologie per sector.....		93
8.1	<i>Elektriciteitsproductie incl. WKK en hernieuwbare energie</i>	93
8.1.1	Elektriciteitsmodel in MARKAL/Answer	94
8.1.2	Emissies	96
8.1.3	Maatregelen	97
→	BAU+-studie	97
→	Besluit Energieplanning	98
8.1.4	Opslag, distributie en transport van aardgas.....	99
8.1.5	Productie, distributie en transport van elektriciteit	100
8.1.6	Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht	101
8.2	<i>Industrie</i>	101
8.2.1	Emissies	102
→	Energiegerelateerde emissies (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	102
→	Niet-energiegerelateerde emissies (N ₂ O, F-gassen)	103
8.2.2	Maatregelen	104
→	Energiegerelateerde emissies (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	104
→	Niet-energiegerelateerde emissies (N ₂ O, F-gassen)	109
8.2.3	Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht	109
8.3	<i>Residentiële sector</i>	110
8.3.1	Algemene context.....	110
8.3.2	Emissies	110
→	Energiegerelateerde emissies (CO ₂ , N ₂ O en CH ₄).....	110
→	Niet-energiegerelateerde emissies (N ₂ O, CH ₄ en HFK's).....	112
8.3.3	Maatregelen	113
8.3.4	Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht	116
8.4	<i>Tertiaire sector</i>	117
8.4.1	Algemene context.....	117
8.4.2	Emissies	118
→	Energiegerelateerde emissies.....	118
→	Niet-energiegerelateerde emissies (CH ₄ , N ₂ O, HFK's).....	119

8.4.3	Maatregelen	122
8.4.4	Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht	123
8.5	<i>Transport</i>	124
8.5.1	Algemene context.....	124
8.5.2	Emissies	124
8.5.3	Maatregelen	125
	→ REMOVE.....	125
	→ BAU- en BAU+-studie.....	126
8.5.4	HFK-emissies	129
8.5.5	Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht	130
8.6	<i>Landbouw</i>	131
8.6.1	Algemene context.....	131
	→ CO ₂ -emissies.....	132
	→ CH ₄ en N ₂ O-emissies	132
8.6.2	Emissies	133
	→ Energiegerelateerde emissies (CO ₂ , N ₂ O).....	133
	→ Niet-energiegerelateerde emissies (CH ₄ , N ₂ O)	135
8.6.3	Maatregelen	137
	→ Energiegerelateerde emissies	137
	→ Niet-energiegerelateerde emissies	139
8.6.4	Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht	139
Hoofdstuk 9	Besluit.....	141
9.1	<i>Methodologische afwegingen en keuzes</i>	141
9.1.1	Milieubeleidskosten en milieubaten	142
9.1.2	Exogene parameters	142
9.1.3	Vraag en aanbod.....	143
9.1.4	Aggregatie	143
9.1.5	WKK-potentieel en vraag naar warmte	143
9.2	<i>Toepassing methodologie per sector</i>	144
9.2.1	Elektriciteitsproductie incl. WKK en hernieuwbare energie	144
9.2.2	Industriële sector.....	144
9.2.3	Residentiële sector	145
9.2.4	Tertiaire sector	146
9.2.5	Transport.....	146
9.2.6	Landbouw	146
Bijlage A: Overzicht reductiemaatregelen broeikasgassen per sector	Energieonderzoek Centrum Nederland.....	149
Bijlage B: Overzicht reductiemaatregelen broeikasgassen per sector GAINS	155
Bijlage C: Vertrouwelijkheidsclausule in kader van energieplannen		161
Literatuurlijst		165

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Overzicht sectoren en deelsectoren analysemodel ECN	6
Tabel 2: Substitutie-elasticiteiten aan productiezijde in GEM-E3	24
Tabel 3: Groei output per sector tot en met 2010 in GEM-E3 Vlaanderen (in lopende prijzen)	30
Tabel 4: Aannames lange en korte termijn prijselasticiteiten BAU-energiescenario	84
Tabel 5: Overzicht broeikasgasemissies energiesector (in kton CO ₂ -equivalenten) in 2004 en 2005	94
Tabel 6: Indeling gasturbines in het elektriciteitsmodel	95
Tabel 7: Indeling motoren in het elektriciteitsmodel	95
Tabel 8: Nettorendementen verschillende installatietypes in het elektriciteitsmodel	98
Tabel 9: Toekomstige CH ₄ -emissies 'opslag, distributie en transport van aardgas'	100
Tabel 10: Overzicht broeikasgasemissies industrie (kton CO ₂ -equivalenten) in 2004 en 2005	101
Tabel 11: Categorieën investeringssteun Elia	107
Tabel 12: Overzicht broeikasgasemissies residentiële sector (kton CO ₂ -equivalenten) in 2004 en 2005	110
Tabel 13: Residentiële sector (verwarming en SWW) en MKM-structuur	111
Tabel 14: Residentiële sector (elektrische toestellen en verlichting) en MKM-structuur	112
Tabel 15: Overzicht broeikasgasemissies tertiaire sector (in kton CO ₂ -equivalenten) in 2004 en 2005	117
Tabel 16: Tertiaire sector (brandstofverbruik) en MKM-structuur	119
Tabel 17: Huidige en toekomstige CH ₄ -emissies 'storten'	121
Tabel 18: Overzicht maatregelen tertiaire sector bestaande park	122
Tabel 19: Overzicht broeikasgasemissies transport (in kton CO ₂ -equivalenten) in 2004 en 2005	124
Tabel 20: Brandstofverbruik, CO ₂ -emissies en kostprijs per voertuig	127
Tabel 21: Brandstofverbruik en kostprijs van vrachtwagens uit TEMAT en SUSATRANS	129
Tabel 22: Overzicht broeikasgasemissies landbouw (kton CO ₂ -equivalenten) in 2004	131
Tabel 23: Herschaling ouderdom serres	135
Tabel 24: Overzicht toepasbaarheid en kosteninformatie energiebesparingsmaatregelen	139

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Schematisch overzicht analysemodel ECN	5
Figuur 2: Schematisch overzicht componenten jaarlijkse milieukosten vanuit nationaal en eindgebruiker perspectief in het analysemodel van ECN	6
Figuur 3: Schematische voorstelling RAINS-model	8
Figuur 4: Schematische voorstelling modelopbouw MERLIN	16
Figuur 5: Schematische voorstelling GEM-E3	20
Figuur 6: Marginale kostencurve NO _x voor het zichtjaar 2010	25
Figuur 7: Marginale kostencurve SO ₂ voor het zichtjaar 2010	26
Figuur 8: Marginale kostencurve SO ₂ met discontovoet 5% en 10%	28
Figuur 9: Marginale kostencurve SO ₂ met zichtjaar 2010 en 2020	29
Figuur 10: Schematische voorstelling koppeling MKM en MARKAL Answer	35
Figuur 11: Schematische voorstelling overschakeling van MKM naar MARKAL/TIMES	38
Figuur 12: Schematische voorstelling SELES	46
Figuur 13: Overzicht scenario's Toekomstverkenning landbouw en milieu	50
Figuur 14: Modelstructuur REMOVE	64
Figuur 15: Voorbeeld niveau 'bedrijf'	72
Figuur 16: Voorbeeld niveau 'installatie', 'apparaat', 'brandstof'	72
Figuur 17: Voorbeeld niveau 'installatie', 'apparaat', 'grondstof'	73
Figuur 18: Schematische weergave MKM vóór aggregatie, 3 installaties met een vraag naar warmte die kan ingevuld worden door branders op aardgas, ofwel branders op stookolie.	75
Figuur 19: Schematische weergave MKM ná aggregatie, i.e. de 3 branders op aardgas en de 3 branders op stookolie zijn geaggregeerd opgenomen. De totale emissies worden aan de overeenkomstige branders toegekend. De totale vraag naar warmte, waaraan een uitgemiddeld groeiscenario wordt gekoppeld stuurt het model.	76
Figuur 20: Schematische weergave MKM ná aggregatie inclusief 2 reductietechnieken voor de geaggregeerde aardgasbranders.	77
Figuur 21: Schematische weergave MKM vóór aggregatie, 3 installaties met een vraag naar warmte die kan ingevuld worden door branders op aardgas, of reductietechnieken.	79
Figuur 22: Schematische weergave MKM ná aggregatie, inclusief 3 reductietechnieken voor conventionele pollutanten voor de geaggregeerde aardgasbranders. De geaggregeerde stookoliebranders worden in dit schema wel weergegeven.	80
Figuur 23: Endogenisering van de finale vraag in het MKM	85
Figuur 24: Elastische vraag en aanbod in MKM (uitz. elektriciteitsector)	86
Figuur 25: Schema van de scenarioberekening van het effect van WKK op de emissies van een industriële sector door nacalculatie, 'soft link'.	89
Figuur 26: Schema van de uit te werken 'hard' link tussen de gemodelleerde WKK's en de stookinstallaties.	90
Figuur 27: Modelstructuur MKM waarin de residentiële sector met gedetailleerde isolatieniveaus kan opgenomen worden en waarbij de eindvraag naar warmtecomfort behouden blijft.	114
Figuur 28: Glastuinbouw en MKM-structuur	134

HOOFDSTUK 1 INLEIDING

1.1 Context

In de beleidsnota van de Vlaamse minister van Openbare Werken, Energie en Leefmilieu wordt veel belang gehecht aan een goede milieueconomische onderbouwing van het beleid en wordt o.a. vermeld dat *'Beleidsonderbouwende instrumenten zoals milieukostenstatistieken, milieueconomische modellen en afwegingskaders hierbij noodzakelijk zijn en verder moeten ontwikkeld worden'*. In dit kader is de nood aan een model voor kostenberekeningen op het gebied van klimaatbeleid zeer groot en dringend.

Het MilieuKostenModel (MKM) is in Vlaanderen op dit moment het belangrijkste bottom-up milieueconomisch model voor de onderbouwing van een kostenefficiënt milieubeleid en heeft zijn nut al bewezen in het lucht- en waterbeleid.

Deze context maakt dat er een studieopdracht door het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, Afdeling Milieu-, Natuur- en Energiebeleid, Dienst Beleidsvoorbereiding en -evaluatie (Cel Milieueconomie) werd uitgeschreven en toegekend aan VITO die als doel heeft om het MKM uit te breiden met broeikasgassen.

1.2 MilieuKostenModel voor Vlaanderen

In juni 2001 startte het BBT-Kenniscentrum van VITO met de ontwikkeling van een MilieuKostenModel voor Vlaanderen. De Vlaamse overheid ambieert met dit project de ontwikkeling van een instrument dat (i) de kosten van het milieubeleid in kaart brengt en (ii) bijdraagt tot een efficiënter milieubeleid door aan te geven hoe milieudoelstellingen tegen de laagst mogelijke kost bereikt kunnen worden.

Het MKM is een techno-economisch, bottom-up model dat via optimalisatie en simulatie moet bijdragen tot een efficiënter milieubeleid. Bij het optimaliseren staat kostenefficiëntie centraal. Daarnaast kunnen met het model ook verschillende varianten op de meest optimale oplossing doorgerekend worden of kan het model gebruikt worden om toekomstige emissies in te schatten. Het model bestaat enerzijds uit een omvangrijke en gedetailleerde databank in Access met informatie over emissiebronnen en mogelijke reductiemaatregelen en anderzijds uit een rekenalgoritme in MARKAL/Answer om de berekeningen uit te voeren. De modelresultaten worden ingelezen in Access zodat ze op een snelle en efficiënte manier kunnen geïnterpreteerd/geëvalueerd worden.

In eerste instantie werd het model ontwikkeld en operationeel gemaakt voor de pollutanten zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxides (NO_x), niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS) en meerdere sectoren binnen de doelgroep industrie en energie. Hierbij werd

uitgegaan van de reductiedoelstellingen die de Europese Richtlijn Nationale Emissieplafonds (2001/81/EG) aan België, en dus ook aan Vlaanderen, oplegt. Ondertussen staat de milieureglementering niet stil en werd het MKM voorbereid op de herziening van de NEC-Richtlijn (uitbreiding met tijdshorizon 2020, fijn stof).

Het MKM richt zich niet alleen op de milieueconomische onderbouwing van het luchtbeleid. Gegeven de verplichtingen van de Europese Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG), werd in 2003 gestart met de uitbreiding van het MKM met het milieuthema 'verontreiniging van het oppervlaktewater'. Deze toepassing is momenteel operationeel voor het Netebekken, de polluenten fosfor (P), stikstof (N) en chemisch zuurstof verbruik (CZV), en de doelgroepen industrie, bevolking, landbouw en (openbare) rioolwaterzuiveringsinstallaties. Begin 2008 worden resultaten verwacht voor alle bekkens in Vlaanderen. In opdracht van DGNRE werd in 2007 eveneens een toepassing ontwikkeld voor alle bekkens in het Waalse Gewest.

1.3 Doel en afbakening studieopdracht

Voorliggende studieopdracht heeft als doel om de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen (CO₂ en niet-CO₂) voor te bereiden zowel methodologisch als softwarematig. Hierbij moet rekening gehouden worden met volgende beleidsbehoeften:

- Doorrekenen van vooraf bepaalde scenario's resulterend uit de studie '*Berekening van BAU+ scenario's als uitbreiding van de Vlaamse energie- en broeikasgasemissiesprognosen*' (Duerinck et al., 2007), naar kosten en behaalde reducties in een economisch coherent en tijdsconsistent kader.
- Kostenefficiënte oplossingen berekenen voor verschillende mogelijke klimaatdoelstellingen in 'first best' en 'second best' omstandigheden.
- Kostenefficiënte oplossingen berekenen om tegelijk de doelstellingen voor het NEC- en post-Kyoto beleid te behalen (i.e. multipolluent benadering).
- De uitbreiding met broeikasgassen moet flexibel aanpasbaar en actualiseerbaar zijn om rekening te kunnen houden met alternatieve economische achtergrondscenario's (bv. evolutie energieprijzen en economische groei, evolutie van de EU Emissions Trading Scheme).
- De uitbreiding met broeikasgassen moet een efficiënte interactie met andere modellen (bv. partiële economische modellen voor landbouw en transport enerzijds en het algemeen evenwichtsmodel voor Vlaanderen anderzijds) toelaten.

Voorliggende studieopdracht beperkt zich tot (1) het uitwerken van de meest geschikte methodologie, rekening houdend met de uitgangssituatie, de reeds bestaande data, modellen en voornoemde beleidsbehoeften en (2) het toepassen van de voorgestelde methodologie (i.e. aanpassen van software zodat de beschikbare data kan ingebracht worden).

HOOFDSTUK 2 TECHNO-ECONOMISCHE MODELLEN: BROEIKASGASSEN

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van een aantal techno-economische modellen waarin emissiebronnen en reductiemaatregelen voor broeikasgassen aan bod komen. De modellen die beschreven worden kunnen relevante informatie aanleveren voor de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen, zowel naar methodologische aanpak als naar technisch-economische beschrijving van reductiemaatregelen toe.

2.1 Analysemodel Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)

2.1.1 Optiedocument energie en emissies 2010/2020

Het '*Optiedocument energie en emissies 2010/2020*' (Daniëls et al., maart 2006) beschrijft de mogelijkheden die Nederland heeft om de uitstoot van broeikasgassen, NEC-polluenten en fijn stof te beperken tegen 2020. Het reductiepotentieel, de kosten en andere kenmerken van verschillende beleidsopties worden in kaart gebracht. Deze optiebeschrijvingen zijn het uitgangspunt voor de verkenning van het potentieel aan emissiereductie en energiebesparing tot 2020 (Daniëls et al., februari 2006).

2.1.2 Technische fiches

De kern van het Optiedocument is een uitgebreide set van optiebeschrijvingen. Per optie wordt voor de zichtjaren 2010 en 2020 aangegeven welke emissiereductie kan bereikt worden en wat de gerelateerde kosten zijn.

De technische fiches van deze opties zijn beschikbaar via: <http://www.ecn.nl/nl/ps/onderzoeksprogramma/nationaal-klimaatbeleid/optiedocument-20102020/factsheets/>. Bijlage A geeft per sector een overzicht van de reductiemaatregelen die zijn opgenomen in deze fiches.

Wat de sector 'industrie' betreft, worden niet enkel 'generieke' maatregelen gedefinieerd maar worden voor een aantal sectoren/processen eveneens specifieke maatregelen voorgesteld (bv. ijzer- en staalindustrie, kunstmestindustrie, etheenproductie, primaire aluminiumproductie, salpeterzuurfabrieken). Hierbij dient opgemerkt te worden dat de reductiemaatregelen beschreven worden tegen de achtergrond van het 'Global Economy'-

scenario uit de Referentieramingen¹ (cf. infra). Bij de interpretatie van het reductiepotentieel en de kostprijsgegevens moet dan ook rekening gehouden worden met de hoge economische groei (en toename van emissies) van dit achtergrondscenario. Bij de interpretatie van de gegevens moet eveneens rekening gehouden worden met de benadering die door het ECN gevolgd wordt bij de kostprijsberekening (cf. infra).

In een aantal technische fiches wordt verwezen naar *ICARUS-4*, i.e. een databank met rekentool van het Utrecht Centrum voor Energieonderzoek (UCE) (Alsema et al., september 2001). De databank geeft tot 2020 voor alle belangrijke economische sectoren in Nederland (excl. elektriciteitsproductie) een overzicht van de energiebesparingsmogelijkheden met een inschatting van het besparingspotentieel, kosten en huidige implementatiegraad. Deze databank kan als input voor energie(vraag)modellen (bv. SAVE-industriemodel² van ECN of het NEMO-model³ van het Centraal Planbureau) gebruikt worden. De rekentool maakt het mogelijk om het potentieel aan energiebesparing en CO₂-reductie te evalueren en dit voor verschillende scenario's die de economische groei en de evolutie van de energieprijzen in rekening brengen. De maatregelen zijn technologische opties om het energieverbruik van een sector te reduceren (i.e. energie-efficiëntieverbetering). De kosten worden berekend op basis van de '*Methodiek Milieukosten*' (VROM, 1994 en 1998) waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen twee benaderingen, namelijk eindgebruikers (energieprijs eindgebruiker incl. taksen en accijnzen; discontovoet 15% voor industrie) en nationale benadering (schaduwprijs energie en discontovoet 5%). De toepassing in Excel is terug te vinden via: <http://www.uce-uu.nl/?action=12&menuId=5>.

De informatie in de technische fiches van het ECN en de ICARUS-4 databank kan voornamelijk van toegevoegde waarde zijn voor de sector 'industrie', gegeven het feit dat informatie met betrekking tot de Vlaamse situatie schaars is. Er moet nagegaan worden of de energiebesparings- en reductiemaatregelen die beschreven worden van toepassing zijn op de Vlaamse situatie zowel wat het besparings- en reductiepotentieel als de kostprijs van deze maatregelen betreft. Deze evaluatie behoort niet tot het studiedomein van voorliggende opdracht maar zal gebeuren in het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*'. Voor de technische fiches van het ECN kan reeds aangegeven worden dat deze fiches nagenoeg geen bruikbare informatie voor de Vlaamse situatie geven.

1 Ter onderbouwing van het energiebeleid en het klimaatbeleid zijn door ECN en MNP 'Referentieramingen energie en emissies' (van Dril et al., mei 2005) opgesteld. De referentieraming is een inschatting van de evolutie van de Nederlandse energievoorziening tot en met 2020.

2 SAVE staat voor 'Simulatie en Analyse van Verbruiksontwikkeling in Energiescenario's' en is een gedetailleerd, technisch-economisch bottom-up model. Het beleidsmodel van het ECN is gericht op het verkrijgen van kennis en informatie over de dynamiek van het energieverbruik in de verschillende bedrijfstakken in Nederland, met bijzondere aandacht voor de rol van technologische ontwikkeling.

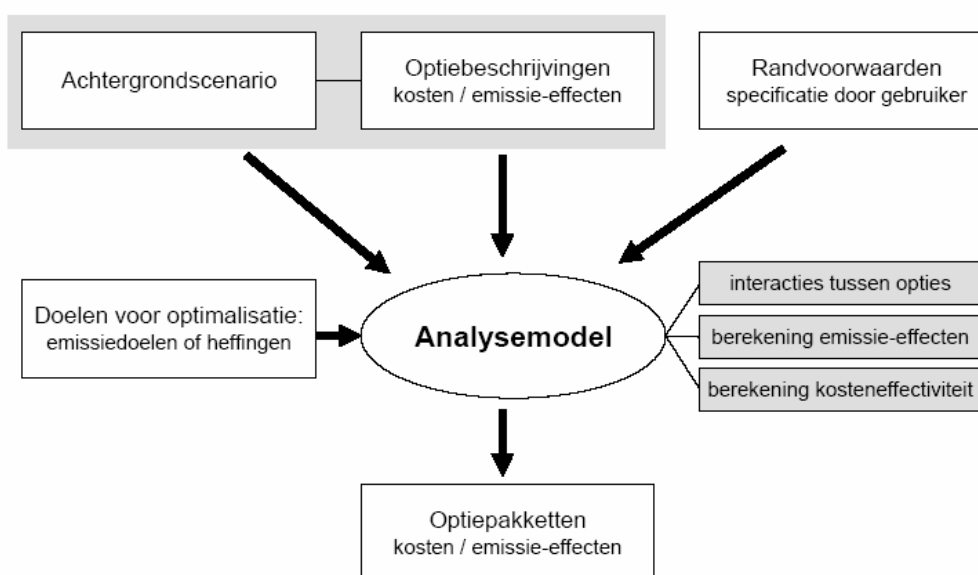
3 NEMO staat voor 'Netherlands Energy Demand Model' en is een macro-economisch topdown model dat zich richt op het doorrekenen van de effecten van energiebesparingsbeleid op energieverbruik en de toestand van het milieu. Het model is op een impliciete manier gekoppeld aan het sectormodel Athena, dat eveneens door het CPB is ontwikkeld. Informatie over sectorstructuur- en productieontwikkelingen uit Athena vormt een input voor NEMO, en omgekeerd vormt informatie over energieontwikkelingen een input voor Athena. Het technologiebestand van ICARUS wordt gebruikt om de modelparameters te schatten die de snelheid van technologische ontwikkeling en substitutiemogelijkheden weergeven.

2.1.3 Analysemodel (Daniëls et al., maart 2006)

Als onderdeel van het Optiedocument is een analysemodel ontwikkeld dat niet publiek beschikbaar is.

Het analysemodel is een optimalisatiemodel dat gebruik maakt van lineair programmeren om optiepakketten samen te stellen, gegeven een vooropgestelde emissie(reductie)doelstelling of heffing. De huidige versie van het model kan geen doelstellingen en heffingen combineren. De kosten van de optiepakketten worden geminimaliseerd, rekening houdend met de interactie-effecten tussen de opties en de vooropgestelde randvoorwaarden.

Onderstaande figuur geeft een schematische voorstelling van het analysemodel.



Figuur 1: Schematisch overzicht analysemodel ECN

BRON: Daniëls et al., maart 2006

Met behulp van scenario's kan de gebruiker de uitgangspunten voor een berekening vastleggen. Scenarioafhankelijke gegevens zijn: discontovoeten, nationale en sectorale energieprijzen, emissiefactoren energiedragers, doelstellingen of heffingen, schaalfactoren, emissies achtergrondscenario, randvoorwaarden opties.

Opties worden beschreven tegen de achtergrond van het 'Global Economy'-scenario uit de Referentieramingen. Bij de interpretatie van de modelresultaten moet dan ook rekening gehouden worden met de hoge economische groei (en toename van emissies) van dit achtergrondscenario.

De opties worden gedefinieerd op het (geaggregeerde) niveau van sectoren of deelsectoren. Dit niveau bepaalt de energieprijzen voor de eindgebruikers, de discontovoet en (een deel van) de emissiefactoren.

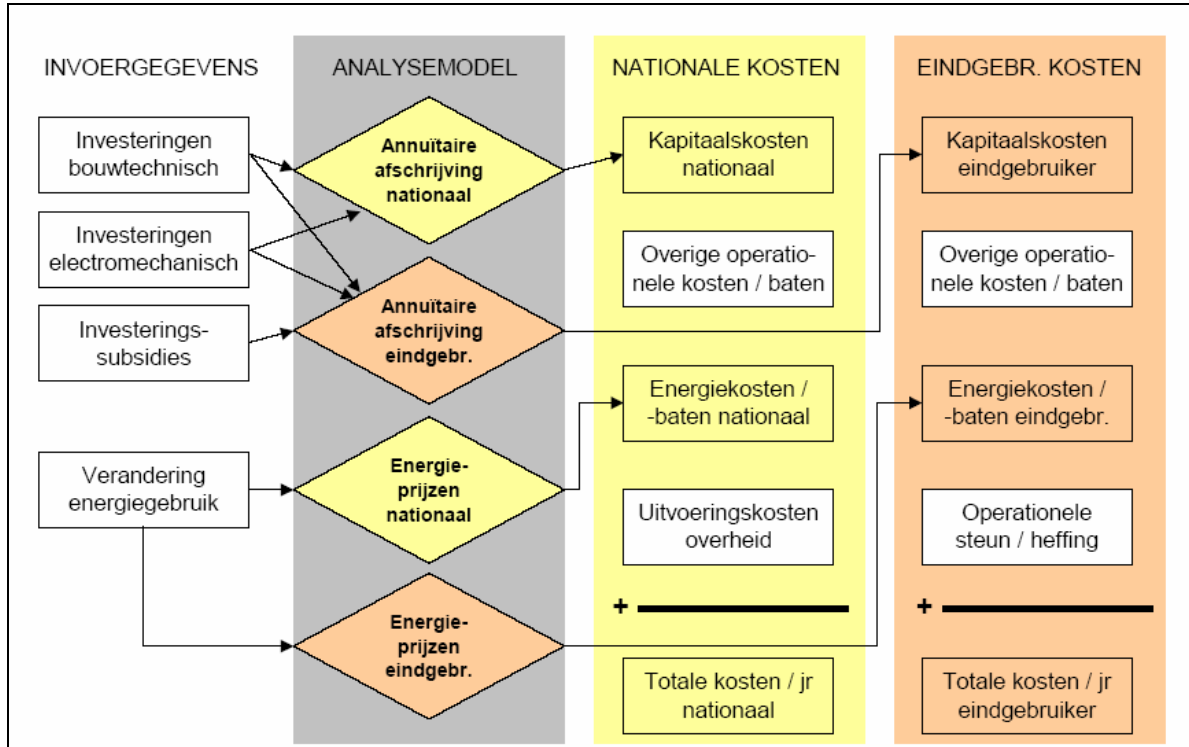
Tabel 1: Overzicht sectoren en deelsectoren analysemodel ECN

Sectoren	Deelsectoren
Landbouw	Glastuinbouw
	(Overige) landbouw
Industrie	Anorganische basischemie
	Kunstmestindustrie
	Petrochemie
	Basismetaal aluminium
	Basismetaal ferro (ijzer en staal)
	Bouw
Energiebedrijven	Elektriciteitsopwekking
	Raffinaderijen
	Gasvoorziening
Gebouwde omgeving	Huishoudens
	Handel, diensten, overheid (HDO)
Transport	Verkeer

BRON: Daniëls et al., maart 2006

De optiebeschrijvingen geven een emissiereductie op schaalniveau van Nederland zodat sectoroverschrijdende effecten (bv. WKK) correct in rekening gebracht worden.

Voor de kosten en de kosteneffectiviteit worden twee benaderingen gebruikt, namelijk nationale kosten (schaduwprijs energie en discontovoet 5%) en eindgebruikerskosten (energieprijs eindgebruiker incl. taksen en accijnzen; discontovoet 15% voor industrie) en wordt uitgegaan van de 'Methodiek Milieukosten' (VROM, 1994 en 1998).



Figuur 2: Schematisch overzicht componenten jaarlijkse milieukosten vanuit nationaal en eindgebruiker perspectief in het analysemodel van ECN

BRON: Daniëls et al., maart 2006

Een belangrijke uitzondering op voornoemde kostenbenadering zijn de opties voor de transportsector.

Verkeersopties zijn in eerste instantie direct gekoppeld aan specifieke beleidsinstrumenten.

Deze benadering heeft een aantal gevolgen zoals het feit dat alleen het technisch-economisch potentieel wordt in rekening gebracht waarvoor specifiek beleid bedacht is. Bovendien worden voor heel wat verkeersopties de overheidskosten en de verandering in overheidsinkomsten ingeschat, in tegenstelling tot de opties voor andere sectoren.

In tweede instantie wordt bij de berekening van de (maatschappelijke) kosten zoveel mogelijk uitgegaan van de welvaartsbenadering in brede zin. Dit wil zeggen dat naast de technische meerkosten ook welvaartskosten en externe of milieuschadekosten (met uitzondering van de bestudeerde polluenten) meegenomen worden. Wat de andere sectoren betreft, zijn voor de meeste opties bijkomende effecten van nutsverlies en – winst niet of minder aan de orde.

Baten worden in rekening gebracht bij opties die bv. leiden tot minder files (i.e. tijdswinst) en kosten worden in rekening gebracht bij opties die bv. leiden tot minder rijden (i.e. verlies aan mobiliteit). Voor deze benadering is gekozen omdat anders vrijwel alle maatregelen die leiden tot een kostenverhoging voor vervoer (bv. accijnsverhoging of verhoging voertuigenbelasting) als zeer kosteneffectief uit de analyse komen. Iedere niet-gereden kilometer leidt tot minder emissies en de uitgespaarde brandstofkosten leiden tot negatieve kosteneffectiviteit. Echter, het beperken van de mobiliteit brengt eveneens kosten met zich aangezien mensen ook nut ondervinden aan mobiliteit.

Het analysemodel heeft een aantal beperkingen zoals de beperkte resolutie (opties, sectoren, energiedragers). Daarnaast is het model niet in staat om rekening te houden met het feit dat door vermindering van het potentieel van maatregelen, deze maatregelen vaak wat duurder worden bv. isolatie maakt het relatief duurder om verder te besparen met een ketel met een hoger rendement⁴. Het model zorgt ervoor dat er een evenwicht is tussen de totale vraag naar en het totale aanbod van elektriciteit, maar houdt geen rekening met variatie in de tijd.

2.2 RAINS en GAINS

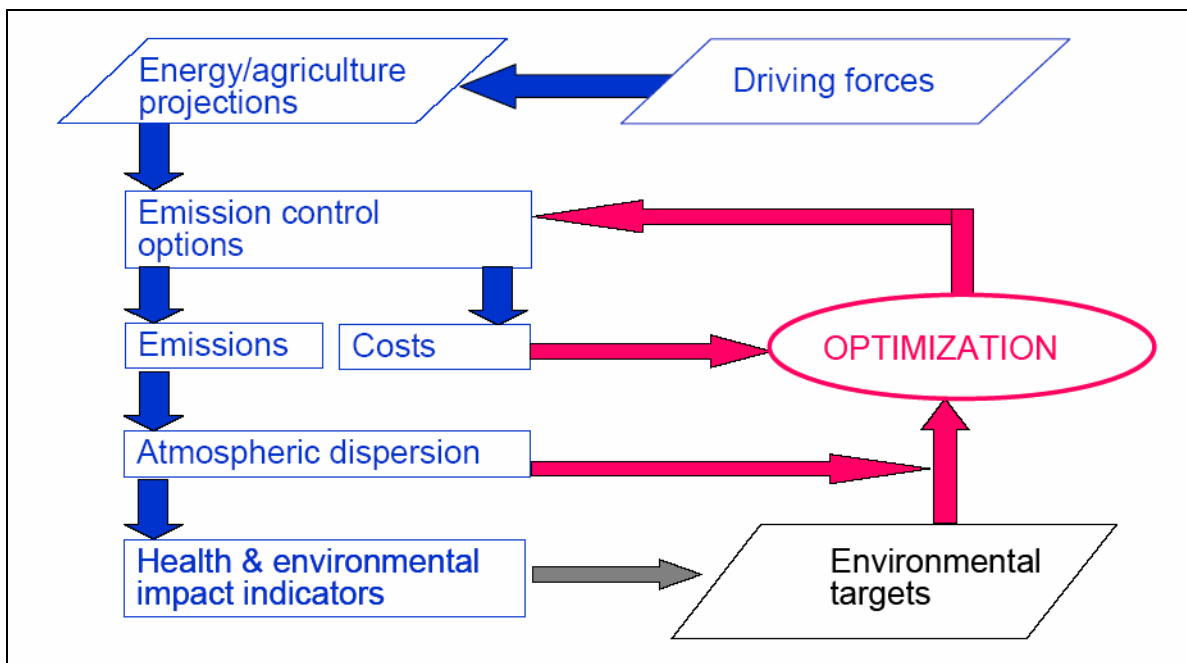
2.2.1 Algemene beschrijving RAINS (Amman et al., februari 2004)

RAINS staat voor 'Regional Air Pollution Information and Simulation' en is een 'integrated assessment model' (IAM) dat ontwikkeld werd door het International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Voor meer informatie: <http://www.iiasa.ac.at/rains>.

⁴ In het MKM wordt dit opgevangen door het rendement van de ketel relatief (procentueel) uit te drukken in plaats van absoluut.

Het RAINS-model werd gebruikt in het kader van de onderhandelingen voor het Protocol van Oslo (LRTAP), het Protocol van Göteborg (LRTAP) en de Europese NEC-Richtlijn. Daarnaast is het model ook gebruikt voor de onderbouwing van het CAFE (Clean Air for Europe) programma van de Europese Commissie (i.e. kosteneffectiviteitsanalyse). Ook op nationaal niveau is RAINS operationeel in Nederland, Italië en Finland.

Het RAINS-model bestaat uit drie modules die in Figuur 3 schematisch worden weergegeven. De *eerste module* bepaalt de emissies per land, uitgaande van een gedetailleerde analyse van sectoractiviteiten en geïmplementeerde milieumaatregelen. Deze module brengt ook de kosten van geïmplementeerde en potentiële reductietechnieken in rekening (via kostencurves). De *tweede module* gebruikt de informatie uit de eerste module in een Europese 50 km x 50 km grid van het atmosferische dispersiemodel (EMEP Eulerian model). De impact van de emissies op gezondheid, verzuring en eutrofiëring kan per individuele grid nagegaan worden. De *derde module* is de optimalisatiemodule die gebruik maakt van de beschikbare gegevens met betrekking tot emissies en hun verspreidingsgraad enerzijds en potentiële milieumaatregelen anderzijds. Gegeven een vooropgestelde doelstelling bepaalt het model hoe die doelstelling tegen de laagste kost kan bereikt worden.



Figuur 3: Schematische voorstelling RAINS-model

BRON: Amann et al., februari 2004

Wat de input van het RAINS-model betreft kan een onderscheid gemaakt worden tussen volgende parameters (Kelly, 2006):

Het *activiteitsniveau* is de hoeveelheid brandstof die verbruikt wordt door een bepaalde antropogene activiteit, in een bepaalde sector, in een bepaald jaar (energiescenario). Daarnaast kan een activiteitsniveau ook de industriële processen omvatten of het gebruik van meststoffen en de evolutie van de veestapel. Tenslotte kan het activiteitsniveau betrekking hebben op productieactiviteiten die VOS-emissies veroorzaken zoals bv.

solventgebruik, verven, drukken. Activiteitsniveaus voor het basisscenario worden door de Lidstaten aangeleverd.

De *emissiefactor* geeft per activiteit de 'ongecontroleerde' emissies, terwijl het *rendement* de impact geeft van een bepaalde reductietechniek. De emissiefactoren komen in eerste instantie uit het EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook van de European Environment Agency (EEA).

De huidige en verwachte *implementatiegraad* van een reductietechniek wordt gedefinieerd voor een bepaalde sector en voor een bepaalde tijdsperiode (meestal 1990 – 2030). Deze informatie wordt aangeleverd door de Lidstaten en/of EUROSTAT.

Informatie over *kostprijs* en *rendement* van reductietechnieken is afkomstig van bv. Reference Documents on Best Available Techniques (BREFs), de EGTEI-databank (http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm#ECODAT) of andere internationale literatuurbronnen. De kostgerelateerde parameters kunnen zowel landspecifiek (grote installatie, jaarlijks brandstofverbruik, jaarlijks afgelegde kilometers, prijs arbeid, elektriciteit, brandstof, materiaal, afvalverwerking) als generiek of technologiespecifiek (rendement, investeringskost, vaste operationele kosten, onderhoudskosten, bijkomende vraag naar arbeid, energie, materiaal) zijn.

Daarnaast heeft het RAINS-model ook exogene parameters nodig om de toekomstige milieusituatie in te schatten: *socio-economische gegevens* (bv. bevolkingsgroei, groei BNP) en *energie en landbouw scenario's* (bv. evolutie brandstofkosten en -consumptie). RAINS maakt gebruik van het basisscenario uit PRIMES. PRIMES is een energiemodel dat ontwikkeld werd door de Universiteit van Athene binnen een aantal onderzoeksprogramma's van de Europese Commissie. De huidige versie van het model (versie 2) gaat uit van een 'non-linear mixed complementarity' probleem dat wordt opgelost met GAMS/CPLEX/PATH. Het model voert partieel evenwichtsanalyses uit op de lange termijn (periode 1990 – 2030) en met vijfjaarlijkse tijdsintervallen. PRIMES kan gebruikt worden om prognoses en scenario's op te stellen en om de impact van beleid te analyseren. Dit beleid kan, bijvoorbeeld, betrekking hebben op: energie, milieu, prijsbeleid, tarieven en technische voorschriften, nieuwe technieken en hernieuwbare energiebronnen, energie-efficiëntie, alternatieve brandstoffen, energiehandel en EU-energievoorziening, vrijmaking van de energiemarkt. PRIMES simuleert het marktevenwicht (prijs- en gedraggestuurd) tussen het aanbod en de vraag naar energie. De beschikbare technieken, gekoppeld aan de vraag en het aanbod van energie, en emissiereductietechnieken worden expliciet en gedetailleerd in rekening gebracht. Het model brengt het bestaande park in rekening, de autonome ontmanteling en de mogelijkheid tot vroegtijdige vervanging. Op elk moment in de tijd maken de consumenten en producenten een keuze die beïnvloed kan worden door beleid (bv. heffingen, subsidies, regulering), marktomstandigheden (bv. tarieven) en technologische veranderingen (inclusief endogeen leren).

Wat energie betreft, maakt het RAINS-model gebruik van het basisscenario uit PRIMES, de energievoorzichten van de Europese Commissie (DG TREN) tot 2030 en nationale energievoorzichten. Wat landbouw betreft, gaat RAINS uit van de Europese prognoses met en zonder hervorming van het Europees Landbouwbeleid, die berekend worden met CAPRI⁵, en nationale prognoses.

Het RAINS-model bepaalt de emissies van SO₂, NO_x, NH₃, NMVOS, PM_{2.5} en hun verspreiding in de atmosfeer. Het model vergelijkt de mate van blootstelling met bepaalde kritische depositiewaarden. De gebruiker kan RAINS zowel toepassen voor de analyse van scenario's als voor het oplossen van een optimalisatieprobleem.

Het RAINS-model, zoals gebruikt voor de onderbouwing van het CAFE-programma van de Europese Commissie, minimaliseert de totale reductiekosten gesommeerd over vijf polluenten (SO₂, NO_x, PM_{2.5}, NH₃ en NMVOS) en over alle EU-lidstaten, gegeven een bepaald energie- en landbouwscenario. Hierbij wordt als beperking opgelegd dat bepaalde milieudoelstellingen (voor luchtkwaliteit) bereikt moeten worden. Het RAINS-model richt zich op gezondheidsrisico's veroorzaakt door fijn stof en troposferische ozon enerzijds en schade aan ecosystemen door verzuring, eutrofiëring en hoge ozonconcentraties anderzijds.

Een reductietechniek met effect op meerdere polluenten wordt niet meegenomen in de optimalisatie maar wordt via scenario's in rekening gebracht. Reductietechnieken met een effect op slechts één polluent worden volgens oplopende marginale reductiekost gerangschikt en meegenomen in een marginale kostencurve per polluent en per land. De beslissingsvariabelen van het optimalisatieprobleem zijn de segmenten van deze marginale kostencurves. Het niet-lineair optimalisatieprobleem is geformuleerd in GAMS en wordt opgelost met de solver CPLEX.

Het RAINS-model dekt een tijdshorizon van 1990, 1995, 2000 (i.e. het basisjaar) – 2030 met vijfjaarlijkse intervallen vanaf 2000. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen volgende sectoren en activiteiten in 47 landen en regio's in Europa.

- Sectoren:
 - o energie
 - o industriële productie
 - o transport
 - o gebruik solventen
 - o landbouw
- Activiteiten:

⁵ CAPRI staat voor 'Common Agricultural Policy Regional Impact' en is een model dat ontwikkeld werd door de Universiteit van Bonn. Het is een comparatief, statisch evenwichtsmodel in GAMS dat het mogelijk maakt om de impact te simuleren van landbouw- en handelsbeleid (bv. administratieve prijzen, tarieven, premies, quota's), milieubeleid (bv. normen, marktgebaseerde beleidsinstrumenten), veranderingen in exogene factoren (bv. populatie, inflatie, consumptiegedrag, technologische vooruitgang) en deze ex-ante te vergelijken. Hierbij wordt rekening gehouden met aanbod, vraag, handelsstromen, grootte landbouwgrond, grootte veestapel, opbrengsten, gebruik input, producenten- en consumentenprijzen, inkomensindicatoren, milieu-indicatoren en welvaartseffecten. CAPRI gaat na wat de impact op middellange termijn is (8 jaar) op inkomen, handel, productie, markten en milieu (N, P, K, NH₃, CH₄, N₂O) en dit zowel op een geaggregeerd (EU-27 en Noorwegen) als op een regionaal niveau (250 regio's). Voor meer informatie met betrekking tot CAPRI wordt verwezen naar Wageningen Universiteit en Researchcentrum (LEI) (John Helming, John.Helming@wur.nl) en http://www.agp.uni-bonn.de/agpo/rsrch/capri/capri_e.htm.

- brandstoffen
- processen
- andere bv. veeteelt, gebruik verf

Wat de mogelijkheden voor emissiereductie betreft, wordt een onderscheid gemaakt tussen gedragswijzigingen (autonoom of als reactie op beleidsinstrumenten), structurele maatregelen (brandstofomschakeling en verbetering energie-efficiëntie) en technische maatregelen ('end-of-pipe' of nageschakelde technieken). De RAINS-databank omvat ca. 1.500 polluentspecifieke 'end-of-pipe' maatregelen.

Het RAINS-model brengt het effect van gedragswijzigingen en structurele maatregelen exogeen in rekening met behulp van alternatieve scenario's.

2.2.2 Algemene beschrijving GAINS (Wagner et al., februari 2007)

GAINS staat voor 'Greenhouse Gas - Air Pollution Interactions and Synergies' en is in principe een uitbreiding van het RAINS-model met de polluenten uit het Kyoto Protocol namelijk CO₂, CH₄, N₂O, HFC, CFC, SF₆.

GAINS brengt structurele en niet-technische maatregelen (bv. brandstofomschakeling, energie-efficiëntieverbetering) endogeen in rekening en kan de interactie-effecten van beleid gericht op luchtverontreiniging en broeikasgassen op een geïntegreerde manier analyseren.

Het onderdeel van GAINS dat betrekking heeft op luchtverontreiniging wordt gebruikt in het kader van de herziening van de Europese NEC-richtlijn (i.e. kosteneffectiviteitsanalyse).

Het GAINS-model geeft een antwoord op de vraag: hoe kunnen één of meerdere vooropgestelde milieudoelstellingen op Europees niveau bereikt worden op de meest kostenefficiënte manier?

Het GAINS-model is een uitbreiding van het RAINS-model met emissies en reductietechnieken gericht op voornoemde broeikasgassen. Naast de uitbreiding van de gegevensdatabank, is ook de optimalisatiemodule herzien en aangepast. In tegenstelling tot de 'marginale kostencurve'-benadering (i.e. één polluent benadering), gaat het GAINS-model uit van de individuele reductietechnieken met hun specifieke kostprijs en rendement voor één of meerdere polluenten. In het RAINS-model zijn de beslissingsvariabelen de segmenten van de marginale kostencurves (voor één polluent) en dit uitgaande van vooropgestelde energie- en landbouwprognoses. In het GAINS-model zijn de beslissingsvariabelen de activiteitsniveaus van de individuele reductietechnieken.

De benadering die in het GAINS-model gevolgd wordt, biedt volgende voordelen:

- Een reductietechniek met een effect op meerdere polluenten wordt correct in rekening gebracht. Indien wordt uitgegaan van marginale kostencurves per polluent zijn deze reductietechnieken vaak niet kostenefficiënt.
- (Bepaalde) wijzigingen van het energiesysteem zijn mogelijk zonder dat bij elke wijziging de (marginale) kostencurve herberekend moet worden.

- Een geïntegreerde (in plaats van sequentiële) benadering van meerdere milieuproblemen is mogelijk doordat voor verschillende pollutanten tegelijkertijd kan geoptimaliseerd worden.
- Een allocatie van kosten naar pollutanten is niet nodig (of zelfs niet altijd mogelijk). De reductiekosten kunnen rechtstreeks gerelateerd worden aan reductietechnieken.
- Het reductiepotentieel dat technisch gezien maximaal haalbaar is, gaat verder dan de maximale toepasbaarheid van 'end-of-pipe'-technieken aangezien bijkomende reducties mogelijk zijn door een wijziging van de onderliggende activiteit bv. wijziging brandstofmix van een bepaalde subsector.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat GAINS nog steeds kan gebruikt worden om marginale kostencurves per pollutant op te stellen. Door abstractie te maken van de reductietechnieken die een effect hebben op meerdere pollutanten (i.e. brandstofomschakeling, energie-efficiëntieverbetering) kan het GAINS-model dezelfde resultaten genereren als het RAINS-model.

Aangezien de analyses met het RAINS/GAINS-model zich concentreren op het schaalniveau van Europa of de wereld, werd getracht om een aanvaardbaar evenwicht te zoeken tussen het technische detailniveau (idealiter niveau individuele emissiebron) en de beschikbaarheid van gegevens met betrekking tot toekomstige ontwikkelingen (bv. activiteit, technologische vooruitgang).

Emissiebronnen met gelijkaardige technische en economische karakteristieken werden geaggregeerd op basis van volgende criteria:

- Bijdrage emissiebron in antropogene emissies in een bepaald land is minstens 0,5%.
- Mogelijkheid om uniforme activiteitsniveaus en emissiefactoren te definiëren.
- Mogelijkheid om aanvaardbare prognoses op te stellen.
- Beschikbaarheid en toepasbaarheid gelijkaardige reductiemaatregelen.
- Beschikbaarheid van relevante gegevens.

2.2.3 Technische specificaties GAINS (Wagner et al., februari 2007)

→ *Dimensies*

De Europese versie van het GAINS-model omvat 47 landen en regio's. In de optimalisatie kunnen alle landen of subsets van landen meegenomen worden. Voor de landen die geen deel uitmaken van de optimalisatie worden de reductietechnieken en activiteitsniveaus afgestemd op het basisscenario. GAINS omvat verschillende sectoren en elke sector kan gerelateerd worden aan verschillende activiteiten bv. sector 'industriële stookinstallaties' met als gerelateerde activiteiten het verbruik van verschillende brandstoftypes zoals steenkool, aardgas, stookolie. In GAINS kunnen per land subsets van sectoren of activiteiten gedefinieerd worden. Combinaties van sectoren/activiteiten die elkaars substituut kunnen zijn (bv. steenkool en hernieuwbare energie) worden gedefinieerd en kunnen verschillen per land. De reductietechnieken worden gerelateerd aan de pollutanten en omvatten eveneens de situatie 'zonder reductietechniek'. Op die manier kan elke activiteit gerelateerd worden aan een reductietechniek ongeacht of hieraan een effectieve reductie gekoppeld is. De reductietechnieken die van toepassing zijn in een specifieke

sector, voor een specifieke activiteit en pollutant worden samengebracht in een set.

→ *Beslissingsvariabelen, objectieffunctie en beperkingen*

Er zijn twee types van beslissingsvariabelen namelijk de variabelen die het activiteitsniveau per sector, per land, per reductietechniek beschrijven en de variabelen die de substitutie tussen activiteiten definiëren.

Uitgaande van deze beslissingsvariabelen kunnen een aantal variabelen berekend worden, zoals bijvoorbeeld het activiteitsniveau per sector en per land (voor elke pollutant hetzelfde), de implementatiegraad (0 – 100%) van de reductietechnieken per sector, activiteit en land en het emissieniveau per pollutant en per land.

De objectieffunctie minimaliseert de som van de totale jaarlijkse kosten (i.e. jaarlijkse kapitaalkosten⁶, vaste en variabele operationele kosten) van de reductietechnieken en een heffing op CO₂-equivalenten. De opbouw van de objectieffunctie in GAINS stemt overeen met de objectieffunctie die in het MKM gedefinieerd werd voor de onderbouwing van het NEC-beleid in Vlaanderen.

- Kosten 'end-of-pipe'-reductietechnieken: deze reductietechnieken veranderen het onderliggende activiteitsniveau (bv. energie, landbouw) niet en kunnen zowel SCR of DeSOx zijn als bv. EURO-standaard. De kosten van deze reductietechnieken worden uitgedrukt als een kost per eenheid activiteit.
- Kosten 'brandstofomschakeling': de kosten worden uitgedrukt als een kost per eenheid activiteit en brengen de energie-efficiëntieverbetering in rekening. De substitutiemogelijkheden en gerelateerde kosten (land-, sector- en brandstofspecifiek) zijn afgeleid van energieprognoses uit PRIMES voor 0 €, 20 € en 90 € per ton CO₂.

Er wordt verondersteld dat een deel van het brandstofverbruik in bestaande installaties kan vervangen worden tegen een beperkte vast kost en dat installaties die nog niet gebouwd zijn, kunnen vervangen worden door andere installaties.

- (Exogene) heffing CO₂-equivalenten x (endogene) broeikasgasemissies: indien geen andere beperkingen opgelegd worden, zorgt deze heffing ervoor dat alle reductietechnieken gekozen worden met een totale jaarlijkse kost < heffing x emissies.

Een aantal reductiemaatregelen leveren een kostenbesparing op die groter is dan de investeringskost, zelfs bij gebruik van de private discontovoet (bv. besparing ten gevolge van daling energieverbruik). Als kostenefficiëntie het uitgangspunt is, zouden dergelijke maatregelen autonoom geïmplementeerd worden, zelfs in afwezigheid van een CO₂-beleid. Echter, in de praktijk blijkt dat imperfecte marktcondities dergelijke autonome penetratie verhinderen. Gegeven het substantieel CO₂-reductiepotentieel van deze maatregelen, zijn

⁶ In RAINS/GAINS wordt verondersteld dat er een open markt is voor reductiemaatregelen in Europa die toegankelijk is voor alle landen en tegen dezelfde voorwaarden. De kapitaalkosten kunnen bijgevolg onafhankelijk van het land gedefinieerd worden. Tegelijkertijd kan rekening gehouden met landspecifieke parameters zoals bv. gemiddelde grootte stookinstallaties, gebruik capaciteit, emissiefactoren.

de resultaten heel gevoelig voor assumpties die gemaakt worden met betrekking tot de autonome implementatiegraad.

In Klaassen et al. (oktober 2005) wordt gesteld dat maatregelen met negatieve kosten reeds deel uitmaken van de energieprognoses die door DG TREN in 2003 opgesteld werden op basis van een kostenminimaliserend energiemodel.

Volgende beperkingen worden meegenomen in de optimalisatie door het GAINS-model:

- *Energiebalans* (elektriciteit en warmte) per land, per sector, per activiteit.
- *Maximale toepasbaarheid reductietechnieken* (per land, per sector, per activiteit):

Voor NH₃-reductietechnieken (veeteelt) gelden specifieke beperkingen aangezien deze reductietechnieken gedefinieerd worden als pakketten van individuele reductietechnieken (i.e. verschillende stappen mestverwerking).

De som van de implementatiegraad van de pakketten die een bepaalde individuele reductietechniek omvatten \leq maximale implementatiegraad van de individuele reductietechniek. De som van de implementatiegraad van de pakketten die een bepaalde individuele reductietechniek omvatten \geq minimale implementatiegraad van de individuele reductietechniek (i.e. implementatiegraad basisscenario).

- *Emissiestandaard*: voor elke combinatie sector/activiteit kunnen de emissies enkel dalen en niet toenemen. Deze beperking geldt niet indien bv. een NO_x-reductietechniek de emissies van N₂O en NH₃ doet toenemen.
- *Technologiestandaard*: voor bepaalde reductietechnieken kan de implementatiegraad niet wijzigen ten opzichte van het basisscenario omdat ze gerelateerd zijn aan wetgeving (bv. EURO-standaard) of de situatie 'zonder reductietechniek' weergeven.
- *Potentieel reductietechnieken*: het absolute activiteitsniveau waarop een reductietechniek betrekking heeft, kan tot een minimum en/of maximum niveau beperkt worden (defaultwaarden zijn respectievelijk 0 en ∞).
- *'Brandstofomschakeling'*: als activiteitsniveaus kunnen wijzigen in GAINS dan kunnen deze niveaus beperkt worden door een boven- en/of ondergrens. Deze beperking kan opgelegd worden voor een activiteitsniveau per land en per sector maar ook voor een subset van sectoren. De substitutiemogelijkheden tussen brandstoftypes kunnen eveneens beperkt worden.

Naast voornoemde (default)beperkingen die de inputgegevens nader specificeren en de (default)beperkingen die zorgen voor consistentie in de modelberekeningen (bv. aggregatie subsectoren, afstemming aanbod/vraag energie vóór en ná 'fuel switch'), kunnen ook milieudoelstellingen als beperking opgelegd worden. Deze doelstellingen worden uitgedrukt in termen van verbetering van luchtkwaliteit eerder dan reductie van specifieke pollutanten (of equivalenten).

→ *Reductietechnieken*

Hierna volgt per pollutant een overzicht van het aantal reductietechnieken (i.e. zowel structurele veranderingen als nageschakelde technieken) die opgenomen zijn in GAINS (versie 1.0):

- CO₂: 230 opties voor energie, transport, industrie, residentiële en commerciële sector.
- CH₄: 28 opties voor productie en raffinage van olie en gas, distributie van gas, afval(water)verwerking, vergisting, mestverwerking, steenkoolmijnen, rijstvelden, verbranding landbouwafval.
- N₂O: 18 opties voor akker- en grasland, industrie, wervelbedverbranding, gebruik N₂O en afvalwaterverwerking.
- F-gassen : 230 opties voor koelinstallaties, mobiele en stationaire airconditioning, HCFC22-productie, primaire aluminium productie, semi-conductor industrie en andere sectoren.

Er wordt verwezen naar bijlage B voor een beknopte beschrijving per sector van de maatregelen die in GAINS zijn opgenomen. Door VITO werd de bruikbaarheid van deze gegevens voor de situatie in Vlaanderen geëvalueerd in het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*'. Omdat de resultaten van deze evaluatie betrouwbaar zijn, zijn ze niet opgenomen in voorliggend rapport.

In het algemeen kan gesteld worden dat, gegeven het schaalniveau waarop GAINS berekeningen uitvoert, vaak de landspecifieke en sectorspecifieke eigenschappen uit het oog verloren worden. Bovendien kan een verregaand oordeel over de kwaliteit van de gegevens in GAINS en de toepasbaarheid voor de Vlaamse situatie moeilijk gegeven worden, gegeven de beperkte informatie die publiek beschikbaar is. Daar waar de gegevens uit GAINS kunnen vergeleken worden met de BAU+-studie komen heel wat verschillen naar boven.

2.3 MERLIN

MERLIN staat voor 'Multi-pollutant, Multi-Effect Assessment of European Air Pollution Control Strategies: an Integrated Approach' en is een project dat door de Universiteit van Stuttgart in de periode februari 2001 – oktober 2004 uitgevoerd werd onder het 5e Kaderprogramma van de Europese Unie (EVG3-2000-00514). Meer informatie: <http://www.merlin-project.info>.

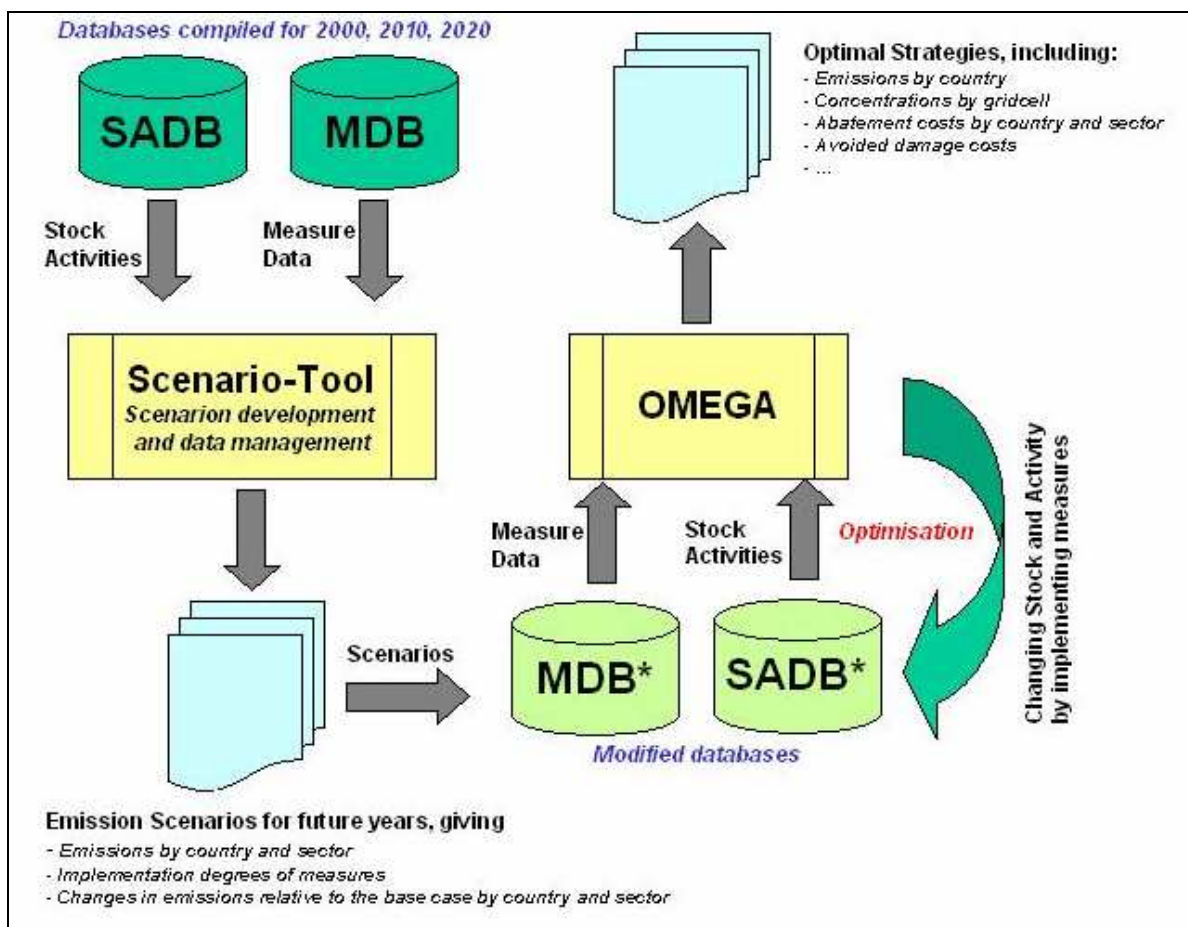
Aangezien de website van het MERLIN-project sinds 2005 niet meer geactualiseerd is, wordt verondersteld dat het model niet verder ontwikkeld wordt.

Het MERLIN-project heeft als doel een model te ontwikkelen dat kan nagaan hoe (welke milieumaatregelen?) grenswaarden en doelstellingen voor luchtkwaliteit (emissie, concentratie, depositie) kunnen bereikt worden tegen de laagste kost. Daarnaast moet het model ook de milieubaten kunnen inschatten i.e. vermeden milieuschadetekosten door implementatie van milieumaatregelen. In eerste instantie worden de baten uitgedrukt in fysieke termen, maar indien mogelijk ook gemonetariseerd. Bijgevolg kan uitgaande van de

kosten en monetaire baten een kosten-batenanalyse uitgevoerd worden. Daarnaast worden ook de macro-economische effecten en verdelingseffecten in rekening gebracht. Het project levert instrumenten en methodes op om de Europese strategie ter bestrijding van luchtverontreiniging te beoordelen op zijn efficiëntie om luchtkwaliteitsdoelstellingen te bereiken en op zijn impact op economische indicatoren.

Verschillende schaalniveaus komen aan bod in het MERLIN-project, gaande van het modelleren van atmosferische dispersie op Europese en stedelijke schaal tot het uitvoeren van macro-economische impactanalyse en analyse van verdelingseffecten.

In volgende figuur wordt een schematisch overzicht gegeven van de verschillende componenten van het model dat binnen het MERLIN-project ontwikkeld is.



Figuur 4: Schematische voorstelling modelopbouw MERLIN

BRON: <http://www.merlin-project.info>

- De databank (**SADB**= *Stock-Activity Database* en **MDB**= *Measure Database*) bevat gegevens (voor 2000, 2010 en 2020) die nodig zijn voor de berekening van emissies (inclusief broeikasgassen) en de verandering in emissies als gevolg van de implementatie van milieumaatregelen en/of wijziging van de activiteiten.
- Het is mogelijk om scenario's aan te passen en specifieke gevalstudies uit te voeren

voor individuele maatregelen, sectoren, landen of polluenten.

- Kosteneffectiviteit wordt berekend met behulp van OMEGA-2 ('Optimisation Model for Environmental Integrated Assessment').
- De optimalisatie is gebaseerd op evolutionaire (genetische) algoritmes⁷ en het is mogelijk om het model zowel te gebruiken voor kosteneffectiviteitsanalyses als voor kosten-batenanalyses (gebaseerd op EcoSense en ExternE).
- Voor de evaluatie van macro-economische en verdelingseffecten worden bijkomende modules voorzien gebaseerd op AEM en socio-economische GIS.

Het MERLIN-model en het RAINS/GAINS-model zijn beiden voorbeelden van 'integrated assessment models' (IAMs). In dergelijke modellen kunnen verschillende concepten de optimalisatie sturen: kosteneffectiviteit (cf. RAINS/GAINS), kosten-baten (cf. MERLIN), onzekerheid (onvoldoende kennis hierover in IAMs).

Het MERLIN-model verschilt van het RAINS/GAINS-model in die zin dat MERLIN in de optimalisatie ook monetaire baten, macro-economische en verdelingseffecten in rekening brengt. Bovendien kan geoptimaliseerd worden zowel uitgaande van maatregelen gedefinieerd op landniveau als maatregelen gedefinieerd op sectorniveau en wordt stedelijke luchtkwaliteit gemodelleerd. In tegenstelling tot het RAINS-model worden in het MERLIN-model maatregelen voor de reductie van broeikasgassen expliciet meegenomen in de optimalisatie, zoals dat nu ook gebeurt in het GAINS-model.

Noch in de literatuur, noch op de website van het MERLIN-project zelf is informatie terug te vinden met betrekking tot de inputgegevens van het model.

⁷ Genetisch algoritme (GA) is een zoektechniek uit de kunstmatige intelligentie die gebruikt wordt om oplossingen te vinden voor optimalisatie- en zoekproblemen. GA's zijn een klasse binnen de evolutionaire algoritmes. Initieel worden verschillende oplossingen gegenereerd. Deze oplossingen zijn, afhankelijk van het probleem, één of meerdere getallen die meestal willekeurig gekozen zijn. Door de evolutie evolueren deze willekeurige oplossingen tot optimalere oplossingen. Voor elk van de oplossingen in de populatie wordt een bepaalde waarde bepaald, de zogeheten 'fitness' waarde. Deze waarde geeft aan hoe goed de oplossing is in vergelijking met de anderen en een beoogde optimale oplossing. Op basis van deze 'fitness' waarden wordt de grootte van de populatie verminderd. Dit kan gebeuren door de beste 25 of 50% te nemen en de anderen weg te gooien of door onderling telkens twee oplossingen met elkaar te vergelijken en de beste van die twee te nemen. Om de populatie weer op de oude grootte te krijgen, dienen de oplossingen zich te reproduceren. Dit kan met behulp van mutatie en recombinitie. Bij recombinitie worden twee oplossingen gecombineerd om twee nieuwe oplossingen te maken. Dit kan bijvoorbeeld door 'crossover'. Bij mutatie worden bij een aantal willekeurig gekozen oplossingen in de populatie één of meerdere getallen gemuteerd. Hierdoor kunnen oplossingen (lichtelijk) veranderen in vergelijking met de populatie in de vorige generatie. Soms worden de beste oplossingen uitgesloten van 'crossover' en mutatie; zij gaan onveranderd door naar de volgende generatie. Dit proces wordt herhaald tot de populatie even groot is als de vorige generatie. Het stoppen van de evolutie kan op verschillende manieren. Enkele veelgebruikte stopcondities zijn: vooraf vastgesteld aantal generaties, toegewezen computertijd, convergeren naar een bepaalde 'fitness' waarde.

2.4 Conclusie

Aangezien maar beperkte informatie beschikbaar is met betrekking tot het MERLIN-project, beperken de conclusies zich tot het analysemodel van ECN en het RAINS/GAINS-model.

Beide modellen bevestigen de methodologische aanpak die met het MKM tot nu toe gevolgd werd. Zowel het analysemodel van ECN als GAINS bevestigen de voordelen van de '*multipolluenter*' benadering: een reductietechniek met een effect op meerdere polluenten wordt correct in rekening gebracht, geïntegreerde benadering van meerdere milieuproblemen is mogelijk, allocatie van kosten naar polluenten is niet nodig, etc. Daarnaast kan ook gesteld worden dat het uitgangspunt van optimalisatie en de opbouw van de *objectieffunctie* analoog zijn aan de benadering die tot nu door het MKM gevolgd werd, i.e. minimalisatie heffing en totale jaarlijkse kosten reductietechnieken. *Macro-economische en verdelingseffecten* worden in de optimalisatie niet in rekening gebracht. Er is in beide modellen ook geen sprake van een 'hard link' met een algemeen evenwichtsmodel.

Het analysemodel van ECN en het RAINS/GAINS-model leren ons dat we bij de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen op voorhand goed moeten nadenken over het geschikte/gewenste *aggregatieniveau*. Er moet een aanvaardbaar evenwicht gezocht worden tussen het technische niveau van detail, de beschikbaarheid van gegevens en de beleidsvragen die moeten beantwoord worden.

Tot nu toe lag de focus van de toepassingen van het MKM op industrie en energie. Wat de *integratie* van *transport, huishoudens en landbouw* betreft, kunnen het analysemodel van het ECN en het GAINS-model eveneens inspiratie bieden. Wat meteen opvalt, is dat geen van beide modellen gebruik maakt van een 'hard-link' met een economisch transport- of landbouwmodel. Weliswaar kan bij de definitie van de reductiemaatregelen en de berekening van de kosten een andere benadering gevolgd worden ten opzichte van de andere sectoren bv. NH₃-reductietechnieken worden in GAINS gedefinieerd als pakketten van individuele (mestverwerkings)technieken, verkeersopties zijn in het analysemodel van ECN rechtstreeks gekoppeld aan beleidsinstrumenten en bij de kostenberekening wordt zoveel mogelijk uitgegaan van de welvaartsbenadering in brede zin.

Wat de sectoren *industrie en energie* betreft, is de benadering die gevolgd wordt in het analysemodel van het ECN en het GAINS-model om bv. maatregelen te definiëren (*structurele en technische maatregelen*) en kosten te berekenen analoog aan de aanpak die tot nu toe door het MKM gehanteerd werd. In beide modellen wordt niets teruggevonden over de manier waarop *gedragwijzigingen* endogeen in rekening (kunnen) gebracht worden. In het RAINS/GAINS-model worden de effecten van gedragswijzigingen exogeen doorgerekend met behulp van alternatieve scenario's.

Voor beide modellen kan gesteld worden dat de technisch-economische informatie met betrekking tot reductie- of energiebesparingsmaatregelen nagenoeg niet rechtstreeks bruikbaar is voor de Vlaamse situatie. Niettemin kan de informatie uit de technische fiches van het ECN en de GAINS-databank nuttig zijn om bv. overleg met de industrie in Vlaanderen op gang te brengen.

HOOFDSTUK 3 AFSTEMMING MET GEM-E3 VLAANDEREN

In het MKM wordt in eerste instantie gekeken naar de directe kosten van de doelgroepen en wordt verondersteld dat interactie-effecten met andere (dan de betrokken) sectoren of de arbeidsmarkt verwaarloosbaar zijn. Echter, interacties op afgeleide markten ondermijnen vaak de doelmatigheid van (milieu)beleid en veroorzaken op die manier belangrijke extra kosten. De toegevoegde waarde van een algemeen evenwichtsmodel (AEM) ten opzichte van een techno-economisch, bottom-up model zoals het MKM, is dat het AEM ook rekening houdt met de indirecte kosten of tweede orde effecten die het gevolg zijn van de interactie tussen vraag en aanbod op afgeleide markten. In hoofdstuk 3 wordt nagegaan of en op welke manier het MKM en het algemeen evenwichtsmodel GEM-E3 Vlaanderen op elkaar kunnen afgestemd worden.

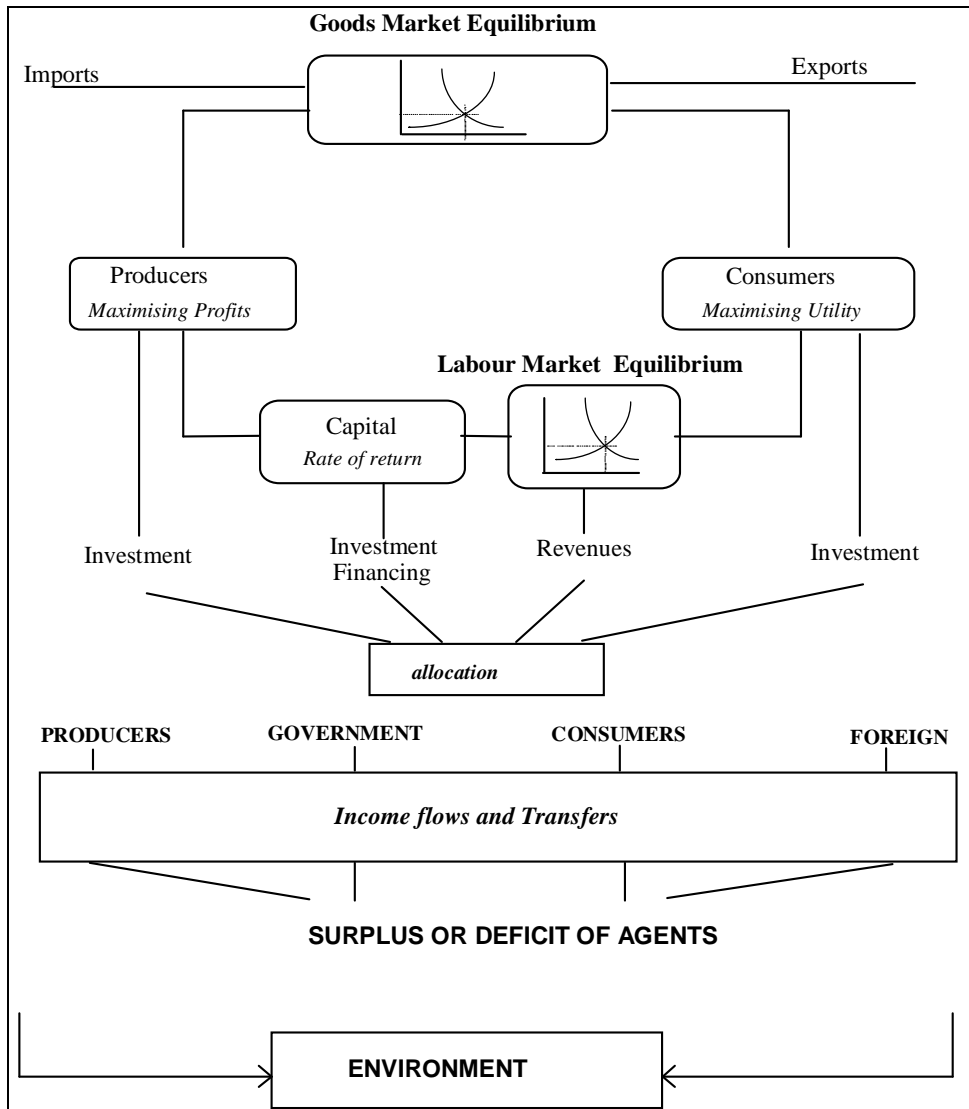
3.1 Algemene beschrijving GEM-E3

GEM-E3 is ontwikkeld binnen een multinationalaal samenwerkingsproject, met co-financiering van de Europese Commissie (DG Research). Meer informatie: <http://www.gem-e3.net/>. De partners binnen dit project zijn: CES-KULeuven, NTUA, ZEW, ERASME, Corvinus University. Naast GEM-E3 World (wereldeconomie met 6 tot 21 regio's) en GEM-E3 Europa (24 EU landen excl. Luxemburg, Malta, Cyprus en Zwitserland) is sinds 2006 een eerste (research) versie van GEM-E3 Vlaanderen (cf. infra) operationeel.

GEM-E3 is een niet-lineair, algemeen evenwichtsmodel dat de volledige economische activiteit modelleert. Een algemeen evenwichtsmodel brengt de interacties tussen consumenten, producenten en de overheid in kaart en berekent een prijsvector die simultaan vraag en aanbod op alle markten (goederen, arbeid) in evenwicht brengt. Er wordt hierbij verondersteld dat elk van de actoren zich rationeel gedraagt:

- Consumenten consumeren goederen en diensten die door de bedrijven geproduceerd worden maar leveren tegelijkertijd ook arbeid aan deze bedrijven. De consumenten maximeren hun nut, gegeven een budgetbeperking.
- De bedrijven hebben arbeid en intermediaire input (van andere bedrijven) nodig voor hun productieprocessen. Bedrijven maximeren hun winst, gegeven een bepaalde productietechnologie.
- De overheid belast arbeid en de finale consumptie om de voorziening van publieke goederen te financieren. De overheid maximeert de sociale welvaart, gegeven haar budgetbeperking.

In volgende figuur wordt GEM-E3 schematisch voorgesteld.



Figuur 5: Schematische voorstelling GEM-E3

BRON: Delhaye et al., 2007

GEM-E3 is dynamisch en recursief (accumulatie van kapitaal, investeringsbeslissingen worden gesimuleerd op basis van myopische verwachtingen) en technologische vooruitgang is expliciet opgenomen in de productiefuncties (per eenheid output minder input). Het model berekent, op een consistente manier, de middellange en lange termijn gevolgen van het beleid i.e. algemeen, milieu of energie. In concreto, kan het effect van volgende beleidsinstrumenten geanalyseerd worden (Delhaye et al., 2007):

- standaarden/normen (maximale emissie per eenheid product of input)
- belastingen (met mogelijkheid om een budgetneutraal beleid te simuleren),
- handelbare rechten
 - o op sectorieel, nationaal, regionaal of wereldniveau met specifieke doelstellingen,
 - o verschillende mogelijkheden 'burden sharing' (landen kunnen doelstellingen samen realiseren),

- o limiet op exporteerbaarheid/importeerbaarheid rechten.

Binnen GEM-E3 kan een onderscheid gemaakt worden tussen volgende dimensies (Delhaye et al., 2007):

- economische agenten: huishoudens, bedrijven, overheid, rest van de wereld.
- 18 sectoren: landbouw, 4 energietakken, 10 industriële takken, 3 markt en niet-markt diensten.
- 13 categorieën van huishoudbestedingen: 11 niet-duurzame en 2 duurzame consumptie categorieën
- 9 overheidsinkomsten/uitgaven categorieën: directe en indirecte belastingen, energie- en milieubelastingen, BTW, subsidies, importheffingen en transfers naar buitenland, sociale zekerheidsbijdragen, overheidsconsumptie en -instellingen, transfers tussen overheidsniveaus (nationaal en regionaal niveau).
- 10 luchtpolluenten: CO₂ en 5 andere broeikasgassen, SO₂, NO_x, VOS, PM₁₀ en ozon (emissies worden berekend op basis van emissiecoëfficiënten per eenheid productie of energie).
- primaire productiefactoren: arbeid en kapitaal.

GEM-E3 heeft een uitgebreide milieumodule die enerzijds het effect van beleidsinstrumenten (en emissieniveau) op het gedrag van economische agenten inschat ('behavioural' module) en anderzijds de milieuschade berekent ('state of the environment' module). Volgende emissiereductiemogelijkheden zijn expliciet opgenomen in GEM-E3 (Delhaye et al., 2007):

- reductiemaatregelen (bv. nageschakelde technieken, kleine procesaanpassingen), gemodelleerd met behulp van marginale kostencurves,
- substitutie tussen brandstoftypes en/of tussen energetische en niet energetische input,
- daling in productie en/of consumptie.

Het voorbije decennium werd GEM-E3 door de Europese Commissie ingezet voor de voorbereiding van milieubeleid (CAFE), klimaatbeleid (emissierechtenhandel), R&D-beleid (Lissabon Agenda) en belastingbeleid (harmonisatie energiebelasting).

3.2 Algemene beschrijving GEM-E3 Vlaanderen

GEM-E3 Vlaanderen is het resultaat van de studie '*Aanzet van een algemeen evenwichtsmodel voor Vlaanderen*', die in 2004 - 2006 binnen het Steunpunt Milieubeleidswetenschappen uitgevoerd werd door het Centrum voor Economische Studiën (CES) van de KULeuven. Deze studie had als doel om de haalbaarheid van de ontwikkeling van een toegepast algemeen evenwichtsmodel voor Vlaanderen te onderzoeken. Milieuaspecten stonden hierbij centraal en er werd rekening gehouden met de verdeling van bevoegdheden tussen de federale en Vlaamse gewestelijke overheid met betrekking tot milieu en fiscaliteit. Ondertussen werd de TWOL-studie '*Haalbaarheidsstudie voor de inzet van GEM-E3 Vlaanderen voor het Vlaamse lucht- en klimaatbeleid en bij uitbreiding het volledige Vlaamse milieubeleid*' (Delhaye et al., 2007) afgerond. Deze vervolgstudie werd gefinancierd door LNE, Cel Milieueconomie en werd eveneens uitgevoerd door CES-KULeuven.

GEM-E3 Vlaanderen gaat uit van de Belgische module van GEM-E3 Europa maar houdt expliciet rekening met volgende regionale karakteristieken (Delhay et al., 2007):

1. *Vraag en aanbod op de arbeidsmarkt is geregionaliseerd*: voor elke regio is er een vraag naar en een aanbod van arbeid. Het evenwicht tussen vraag en aanbod wordt gevormd op Belgisch niveau (geen verschillende evenwichtslonen in de verschillende regio's). Dit evenwicht komt tot stand door het pendelen tussen regio's (cf. punt 3).
2. *Vraag en aanbod op de goederenmarkt is geregionaliseerd*: de som van de vraag naar bv. staal van Wallonië, Vlaanderen en Brussel vormt de Belgische vraag. Aan deze vraag wordt voldaan door geïmporteerd staal en Belgische staal. Dit aanbod van Belgisch staal is dan weer de som van het aanbod van Vlaams, (Brussels) en Waals staal. Export en import met het buitenland gebeurt op Belgisch niveau en niet door de regio's apart. Tussen de goederen geproduceerd in de verschillende regio's geldt perfecte substitutie.
3. *Pendelen tussen regio's is mogelijk*: het is mogelijk om in één regio te wonen en in een andere regio te werken (de transportkosten spelen geen rol in het keuzegedrag op de arbeidsmarkt). Bv. Vlaamse ambtenaren die in Brussel werken dragen bij tot de Brusselse productie. Brussel voert Vlaamse administratie uit naar Vlaanderen.
4. *Belgische staatsstructuur wordt meegenomen*: 1 federale overheid en 3 gewesten, met de financiering van de gewesten en gemeenschappen door de BTW en personenbelasting. De gemeenschappen worden herleid tot gewesten. Bv. het Vlaamse onderwijs in Brussel wordt toegekend aan het Brusselse gewest (idem voor het Franstalige onderwijs in Brussel).

3.3 Afstemming GEM-E3 Vlaanderen en MKM

Wat de afstemming tussen GEM-E3 Vlaanderen en het MKM betreft, zijn er volgende mogelijkheden:

- *'Soft' link*: de ouput van het ene model is de input voor het andere. Het MKM kan marginale kostencurves voor Vlaanderen aanleveren als input voor GEM-E3 Vlaanderen; GEM E3 Vlaanderen kan de macro-economische en sectoriele evolutie aanleveren als exogene input voor het MKM.
- *Partiële link*: i.e. iteratief maar lokaal/globaal evenwicht?
- *'Hard' link*: i.e. integratie, maar dan moet er meer inzicht zijn in de technische specificaties van beide modellen.

Een 'hard' link is niet de ideale oplossing. Een betere optie is om de modellen te gebruiken voor de taken waarvoor ze ontworpen zijn. GEM-E3 Vlaanderen kan – als algemeen evenwichtsmodel - de macro-economische gevolgen, de impact op de arbeidsmarkt en de sectoriele impact beschrijven. Het MKM – als techno-economisch, bottom-up model – kan meer detail geven over de in te zetten reductiemaatregelen. De twee modellen kunnen dus perfect parallel gebruikt worden maar moeten wel op elkaar afgestemd worden. Deze afstemming kan gebeuren via een partiële of 'soft' link.

Indien gekozen wordt voor een partiële link, moet opgelet worden voor dubbeltellingen. Als GEM-E3 Vlaanderen een emissiereductie van bv. 30% voorspelt, mag dit niet zomaar in het MKM opgenomen worden. Het MKM kan bv. wel aangeven wat het meest kostenefficiënte reductiebeleid is en gegeven dit beleid kan dan met GEM-E3 Vlaanderen nagegaan worden

wat de macro-economische effecten zijn. Om dubbeltellingen te vermijden is het dus beter om de modellen naast elkaar te laten bestaan.

Het is technisch gezien mogelijk om de marginale kostencurves per pollutant, per sector als output van het MKM te gebruiken als input voor GEM-E3 Vlaanderen. Per pollutant en sector moet bekeken worden of de marginale kostencurve geschat moet worden op basis van productie of op energiebasis. De output van het MKM moet zodanig aangeleverd worden dat een continue functie (zonder 'fuel switch') geschat kan worden. Hierbij moet opgemerkt worden dat het reductiepotentieel overschat kan worden door de manier waarop GEM-E3 Vlaanderen gebruik maakt van de output van het MKM:

- GEM-E3 weegt verschillende emissiereductiemogelijkheden af op sectorniveau of veronderstelt dat iedereen in de sector voor dezelfde combinatie kiest (of kan kiezen). In het MKM worden reductiemaatregelen gedefinieerd op het niveau van een individuele emissiebron en ook de afweging gebeurt op dit niveau.
- GEM-E3 rekent het effect van een bepaalde combinatie van emissiereductiemogelijkheden door op de emissiefactoren van alle brandstoftypes. In het MKM wordt een reductietechniek steeds gedefinieerd, gegeven het verbruik van een bepaald brandstoftype (of types) in het basisscenario.

Daarnaast is er ook een strategisch aspect waarmee rekening moet gehouden worden: worden de marginale kostencurves uit RAINS gebruikt in GEM-E3 Vlaanderen of de curves uit het MKM. De RAINS-curves wijken immers sterk af van de MKM gebaseerde curves (meer detail). Indien de Vlaamse cijfers (op Europees niveau) aanvaardbaar en beter zijn, kunnen deze gebruikt worden om deel te nemen aan Europese onderhandelingen.

GEM-E3 Vlaanderen kan het basisscenario voor het MKM bepalen door bv. de evolutie van de vraag voor de verschillende sectoren aan te leveren. Op die manier wordt een grotere consistentie bereikt – die is er niet als aan elk bedrijf gevraagd wordt wat de verwachte groei zal zijn.

De berekeningen die voor broeikasgassen met het MKM zullen uitgevoerd worden, zullen betrekking hebben op een langere tijdshorizon. Bovendien zullen nageschakelde technieken en brandstofomschakeling niet volstaan om de vooropgestelde CO₂-doelstellingen te realiseren. Bijgevolg is het belangrijk dat het MKM op termijn op een bepaald (geaggregeerd) niveau prijselastisch wordt. De activiteitsniveaus moeten prijsgevoelig zijn en de vraag moet kunnen veranderen (cf. infra). GEM-E3 Vlaanderen kan zorgen voor de referentiewaarden.

In volgende tabel wordt een overzicht gegeven van de substitutie-elasticiteiten aan de productiezijde in GEM-E3. Gecombineerd met de prijs en hoeveelheden kunnen alle prijselasticiteiten bepaald worden.

Tabel 2: Substitutie-elasticiteiten aan productiezijde in GEM-E3

Niveau	Substitutie-elasticiteit
<i>1^{ste} niveau</i>	Tussen kapitaal en andere productiefactoren: 0,4, behalve 0,3 voor dienstensector en landbouw
<i>2^{de} niveau</i>	Tussen elektriciteit en andere input (arbeid, brandstof en andere materialen): 0,2, behalve 0,4 voor energie-intensieve sectoren
<i>3^{de} niveau</i>	Tussen arbeid, brandstof en andere materialen: 0,3
<i>4^{de} niveau</i>	Tussen verschillende brandstoffen: 0,9 voor energie-intensieve sectoren en elektriciteitssector, behalve 0,1 voor brandstofsectoren, 0,4 voor transportsector, 0,6 voor andere sectoren Tussen verschillende materialen: 0,5 voor energie-intensieve sectoren, 0,1 voor brandstofsectoren en transport, 0,3 voor andere sectoren

BRON: Delhaye et al., 2007

3.4 'Soft' link: testsector non-ferro

In deze paragraaf wordt de praktische haalbaarheid van de afstemming tussen GEM-E3 Vlaanderen en het MKM onderzocht aan de hand van een concreet voorbeeld. Om de resultaten van deze oefening zo transparant mogelijk te houden, wordt gekozen voor de non-ferro als testsector.

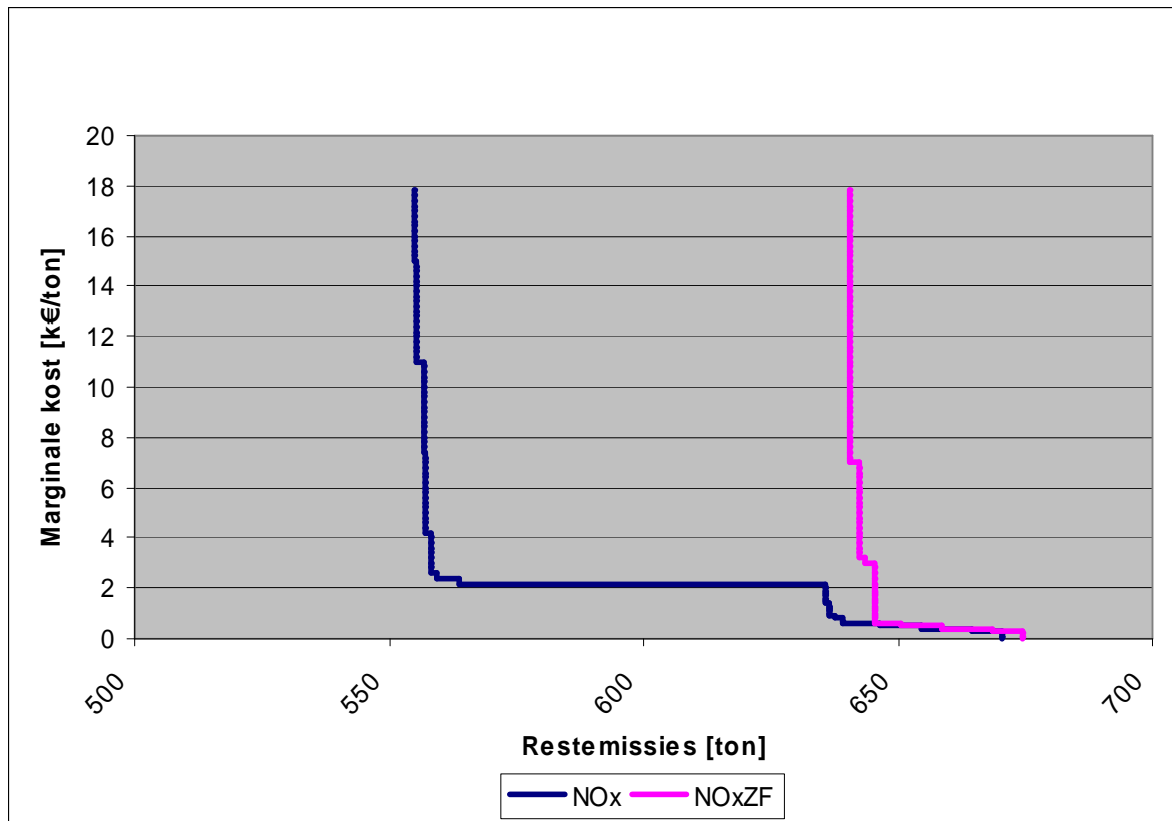
3.4.1 Marginale kostencurves NO_x en SO₂ MKM als input voor GEM-E3 Vlaanderen

In volgende figuur wordt de marginale kostencurve voor NO_x gegeven met en zonder 'fuel switch' (ZF). Laatstgenoemde kostencurve bevat de punten waardoor een continue kostencurve geschat moet worden voordat deze curve als input voor GEM-E3 Vlaanderen kan gebruikt worden.

De marginale kostencurve wordt opgesteld door een steeds strengere heffing op NO_x op te leggen. Tot een marginale kost van 2 € per kg NO_x wordt de heffing verhoogd met stappen van 0,1 € per kg NO_x; vanaf 2 € per kg NO_x wordt de heffing met stappen van 0,2 € per kg verhoogd.

De reductietechniek 'fuel switch' wordt uit de kostencurve gehaald door de prijs voor aardgas heel hoog te veronderstellen, namelijk 99.999 € per GJ. Tevens wordt een beperking opgelegd op niveau van een apparaat (+ reductietechniek) zodat het verbruik van een bepaald brandstoftype niet hoger kan zijn dan het huidige verbruik, rekening houdend met de (maximaal) verwachte groei over de periode 2000 - 2010.

De reductie van NO_x geeft geen aanleiding tot neveneffecten op de emissies van SO₂, NMVOS of fijn stof (of geen interactie-effecten).



Figuur 6: Marginale kostencurve NO_x voor het zichtjaar 2010

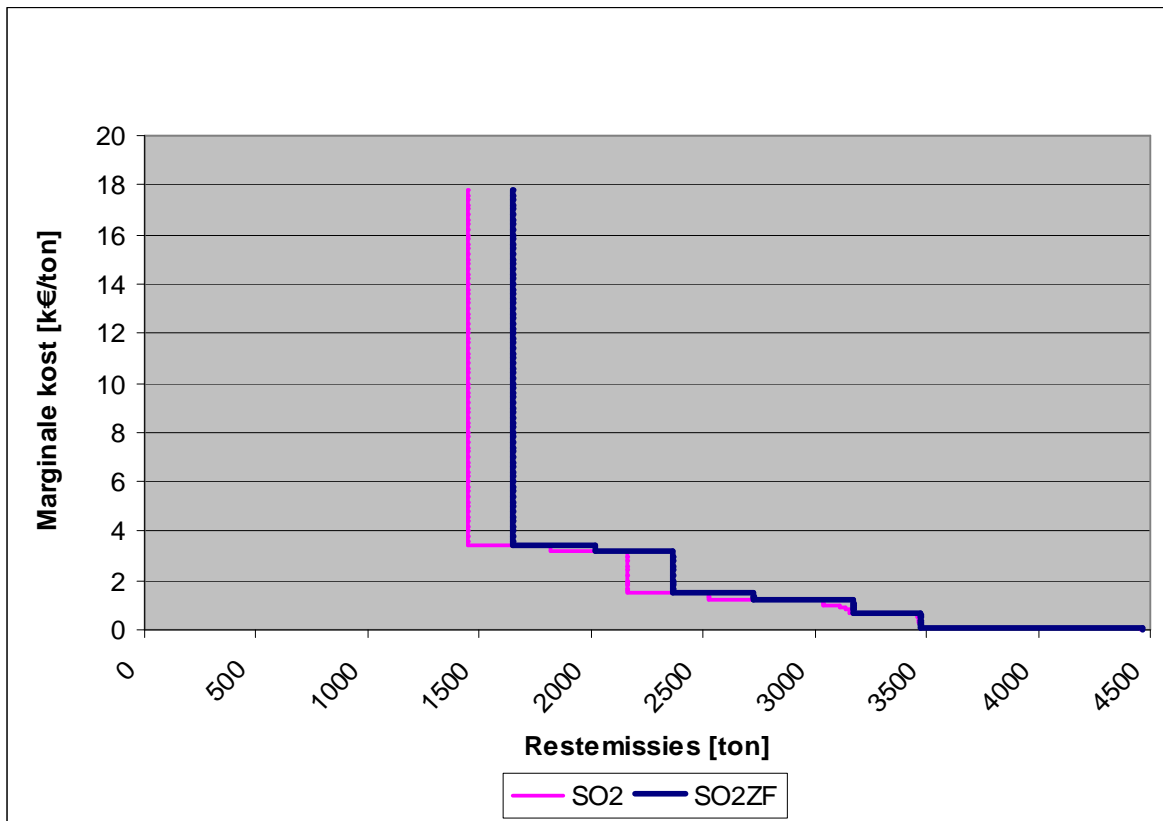
BRON: VITO

De marginale kostcurve heeft betrekking op het zichtjaar 2010. Aangezien het MKM dynamisch is, wordt uitgegaan van investeringskosten (in plaats van jaarlijkse kosten). De brandstofprijzen werden overgenomen uit de studie 'Energie- en broeikasgasscenario's voor het Vlaamse gewest – Business as usual scenario 2000-2020' (Duerinck et al., 2006b). Voor de verschillende brandstoftypes werden volgende brandstofprijzen in het jaar 2010 gehanteerd:

- Cokes: 3,50 €/GJ
- Zware stookolie: 4,96 €/GJ
- Stookolie: 7,98 €/GJ
- Aardgas: 6,73 €/GJ (met 'fuel switch') en 99.999 €/GJ (zonder 'fuel switch')

Het effect van reductietechnieken waarvan geweten is dat ze in de periode 2000 – 2010 geïmplementeerd (en gebruikt) worden, wordt enkel doorgerekend in de restemissies. Dit wil zeggen dat de marginale kosten van deze technieken niet terug te vinden zijn in de marginale kostencurve.

In volgende figuur wordt de marginale kostencurve voor SO₂ gegeven met en zonder 'fuel switch' (ZF). Er wordt uitgegaan van dezelfde veronderstellingen als voor de opmaak van de marginale kostencurve voor NO_x. De reductie van SO₂ in de situatie zonder 'fuel switch' geeft geen aanleiding tot neveneffecten op de emissies van NO_x, NMVOS of fijn stof (of geen interactie-effecten).



Figuur 7: Marginale kostencurve SO₂ voor het zichtjaar 2010

BRON: VITO

3.4.2 Gevoeligheidsanalyse marginale kostencurves

→ *Brandstofprijzen*

De optie 'fuel switch' werd voor deze oefening uitgeschakeld door de prijs voor aardgas zeer hoog te zetten. De enige 'fuel switch' die in de non-ferro mogelijk is, is tussen zware stookolie en aardgas. Het MKM zal gegeven de hoge aardgasprijs hiervoor niet opteren. Zoals in Figuur 6 kan afgelezen worden, komt een minimale 'fuel switch' voor in het begin van de kostencurve. De NO_x-emissies zijn hier iets hoger. De oorzaak hiervan is het feit dat we het MKM toelaten om met de bestaande installaties te voldoen aan de economische groei tussen 2000 – 2010. Bij deze extreem hoge aardgasprijs zal het MKM deze economische groei opvangen door waar mogelijk zware stookolie te gebruiken, zodat de emissies in het startpunt van de kostencurve hoger liggen. Dit iets hoger gebruik van zware stookolie is niet uit te schakelen.

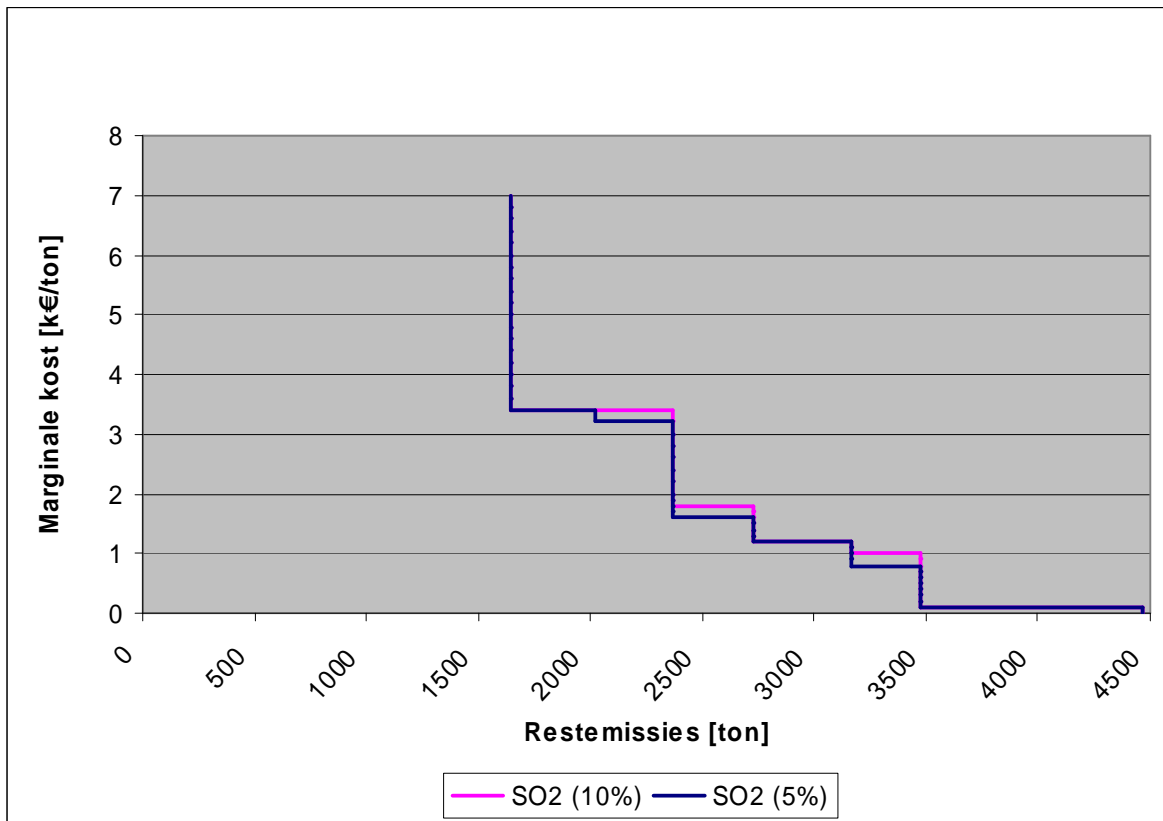
→ *Jaarlijkse kosten versus 'investeringskosten'*

De marginale kostencurves in Figuur 6 en Figuur 7 zijn opgemaakt uitgaande van 'investeringskosten' in plaats van jaarlijkse kosten. GEM-E3 Vlaanderen rekent op dit moment met jaarlijkse kosten. Zolang het MKM berekeningen uitvoert voor één zichtjaar tegelijkertijd heeft de keuze 'investeringskosten' of jaarlijkse kosten geen effect op de marginale kostencurve.

Indien uitgegaan wordt van jaarlijkse kosten worden de investeringskosten op voorhand (i.e. door de databank VBA code) omgerekend naar jaarlijkse kosten. De jaarlijkse kosten (i.e. investeringskosten en operationele kosten) worden door MARKAL/Answer enkel in rekening gebracht voor de periode waarop de beslissing om een RT te implementeren betrekking heeft. De levensduur van de reductietechniek is niet van belang voor de optimalisatie, wel om de correcte verdiscontering uit te kunnen voeren. Voor de optimalisatie-oefeningen in het kader van de 'intersectorale'- studie (NEC) werd enkel voor het jaar 2010 geoptimaliseerd. De jaarlijkse kost in 2010 werd gerapporteerd. Indien uitgegaan wordt van de volledige investeringskosten (en operationele kosten) gebeurt de verdiscontering van de investeringskosten door MARKAL/Answer zelf en worden de investeringskosten van een RT meegenomen voor de ganse levensduur van de RT.

Voorbeeld ter illustratie: stel dat voor een periode van 20 jaar (2010 - 2030), elke vijf jaar een beslissing moet genomen worden over het al dan niet implementeren van een reductietechniek (RT), bijvoorbeeld omdat elke 5 jaar de wetgeving strenger wordt. Stel dat MARKAL/Answer beslist om een RT met levensduur van 20 jaar in 2010 te implementeren. Mogelijk wordt deze RT vanaf 2015 niet meer geïmplementeerd door verstrengde wetgeving en moet het model voor een verdergaande RT kiezen. Indien wordt uitgegaan van jaarlijkse kosten worden enkel jaarlijkse kosten in rekening gebracht voor de vijf jaar van implementatie. Indien investeringskosten (en operationele kosten) als input worden aangeleverd aan MARKAL/Answer kan het model dezelfde beslissing nemen maar dan worden wel de investeringskosten aangerekend voor de ganse levensduur van de RT.

De keuze van de discontovoet moet wel afgestemd worden op GEM-E3 Vlaanderen. Onderstaande figuur geeft aan dat door een verandering van de discontovoet van 5% naar 10% een opwaartse/neerwaartse verschuiving van de curve kan plaatsvinden. Dit effect hangt samen met de grootte van de stappen die gekozen wordt bij de opmaak van de kostencurve. Des te kleiner de stappen, des te groter de kans dat elke trap van de marginale kostencurve overeenkomt met één specifieke reductietechniek en des te meer kans dat elke trap gekenmerkt wordt door een opwaartse verschuiving.



Figuur 8: Marginale kostencurve SO₂ met discontovoet 5% en 10%

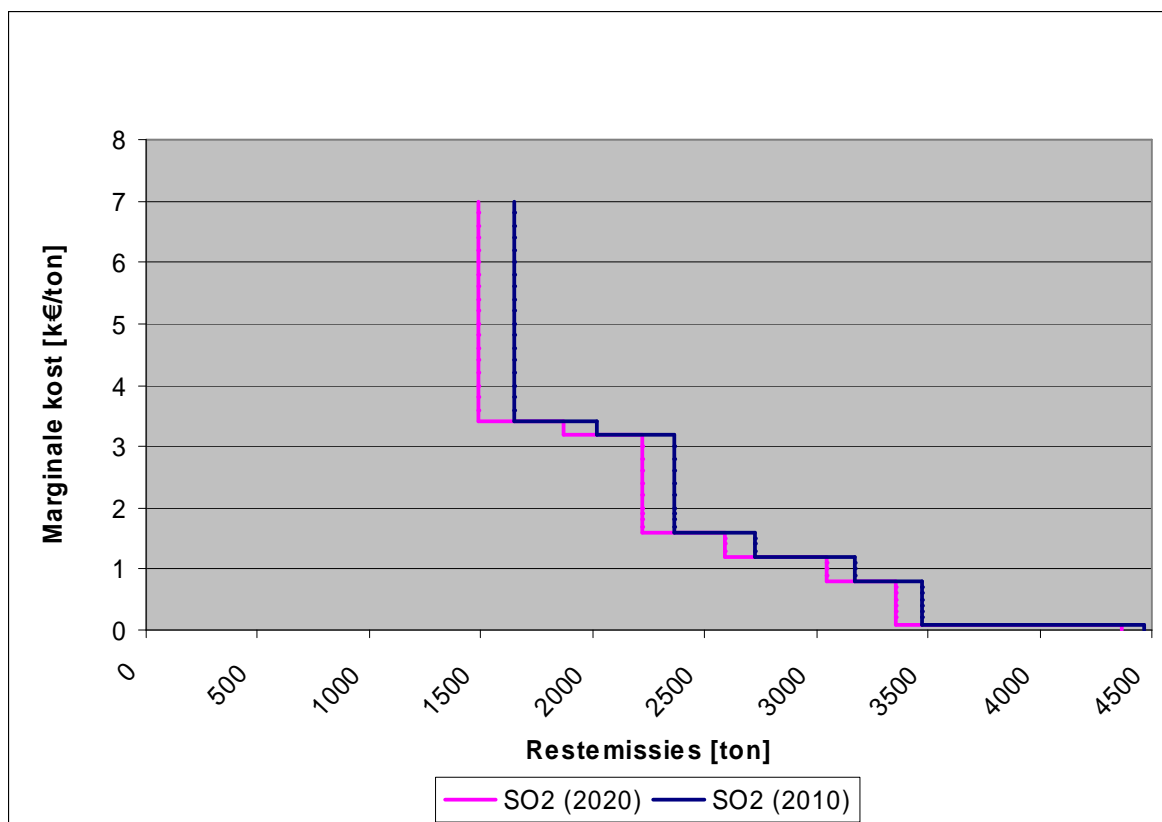
BRON: VITO

→ *Zichtjaar 2010 versus 2020*

GEM-E3 Vlaanderen rekent met één marginale kostencurve per pollutant waardoor er alleen maar meer gereduceerd kan worden in de tijd i.e. bewegen langs marginale kostencurve. Eventueel kan een verschuiving van de marginale kostencurve in tijd bv. door technische innovatie in GEM-E3 Vlaanderen meegenomen worden maar dan moet gerekend worden met investeringen in plaats van jaarlijkse kosten. Op dit moment rekent GEM-E3 Vlaanderen met jaarlijkse kosten.

De marginale kostencurves in Figuur 6 en Figuur 7 zijn opgemaakt voor het zichtjaar 2010. In wat volgt, wordt nagegaan of en op welke manier deze assumptie de resultaten beïnvloedt door een marginale kostencurve op te stellen voor het zichtjaar 2020. De resultaten kunnen beïnvloed worden door het feit dat het MKM rekening houdt met een groei van de activiteit die vijfjaarlijkse gedefinieerd wordt (2005, 2010, 2015, 2020). Deze groei brengt tevens de verbetering in energie-efficiëntie in rekening.

Volgende figuur toont aan dat de vorm van de marginale kostencurve niet beïnvloed wordt door de keuze van het zichtjaar en dat er enkel een verschuiving naar links is van de curve.



Figuur 9: Marginale kostencurve SO₂ met zichtjaar 2010 en 2020

BRON: VITO

Daarnaast kunnen de resultaten ook beïnvloed worden door het feit dat bepaalde reductietechnieken voor de periode 2010 – 2020 als geïmplementeerd beschouwd worden (doet zich niet voor bij de non-ferro). De marginale kosten van deze reductietechnieken zijn niet terug te vinden in de marginale kostencurve. Indien het zichtjaar 2010 is, worden de marginale kosten van deze reductietechnieken wel meegenomen in de marginale kostencurve. Dergelijke effecten kunnen voorkomen worden door in het MKM de optie 'implemented RT' uit te schakelen.

3.4.3 Activiteitgroei GEM-E3 Vlaanderen als input voor MKM⁸

De referentiegroei van het BNP is endogeen in GEM-E3 en afhankelijk van de kalibratie van het model. Het Europese GEM-E3 model wordt gekalibreerd in functie van de prognoses van energieprijzen door de Europese Commissie (DG TREN). Het regionale GEM-E3 model is gebaseerd op het Europese model.

Wat de groei in output betreft, wordt in onderstaande tabel voor Vlaanderen en per sector een overzicht gegeven tot 2010, zoals gebruikt in het regionale GEM-E3 model. Merk ook op dat deze groei ook steunt op veronderstellingen met betrekking tot de evolutie van de energieprijzen, belastingen etc. en dat er nog wat onzekerheden zijn met betrekking tot de

⁸ Op basis van communicatie met Mevr. Delhaye (CES-KULeuven) (06/04/2007).

gegevens die gebruikt worden in het regionale GEM-E3 model. De sectoren in Tabel 3 stemmen overeen met de 18 sectoren uit GEM-E3.

Tabel 3: Groei output per sector tot en met 2010 in GEM-E3 Vlaanderen (in lopende prijzen)

Sector	1995 (mio €)	2000 (mio €)	2005 (mio €)	2010 (mio €)
1	6.570	7.271	7.890	8.637
2	268	292	312	335
3	6.268	6.695	7.036	7.451
4	531	591	634	681
5	4.083	4.464	4.897	5.397
6	15.952	16.536	17.884	20.355
7	22.644	23.649	25.616	28.967
8	7.987	9.729	11.056	12.285
9	6.956	8.004	8.780	9.841
10	21.477	25.413	29.235	33.688
11	10.068	11.212	12.366	13.977
12	47.716	49.186	52.064	58.171
13	20.546	23.291	25.498	28.129
14	2.441	3.200	3.633	4.026
15	16.069	16.185	16.595	18.184
16	6.839	7.595	8.249	9.172
17	71.710	78.327	84.795	94.781
18	27.704	30.658	33.281	36.146

BRON: CES-KULeuven, april 2007

De informatie in bovenstaande tabel werd aangeleverd om consistente groeiscenario's te kunnen opstellen voor de verschillende sectoren in het MKM. Echter, de outputniveaus worden uitgedrukt in lopende prijzen, terwijl het MKM (productie)volumes nodig heeft. Bovendien zijn deze gegevens afkomstig van het prototype (of research model) GEM-E3 Vlaanderen en kan gesteld worden dat zonder verdere operationalisering van het model deze gegevens onvoldoende betrouwbaar zijn voor gebruik in het MKM.

3.4.4 Conclusie

Op basis van de oefening voor de non-ferro wordt ingeschat dat ca. 36 mandagen nodig zijn om voor 18 sectoren de gewenste input aan GEM-E3 Vlaanderen aan te leveren (i.e. ca. 2 mandagen per sector).

De 18 sectoren zoals gedefinieerd in het MKM zijn:

- Automobiel
- Chemie
- Coatings
- Elektriciteit
- Glasnijverheid
- Glastuinbouw
- Grafische nijverheid
- Huisvuilverbranding
- Ijzer en staal
- Intensieve veeteelt
- Kleiverwerkende nijverheid
- Non-ferro
- Papier industrie
- Productie plantaardige oliën
- Raffinaderijen
- Textiel
- Voeding
- Overige NO_x, SO₂ en NMVOS

De koppeling van deze MKM-sectoren met de 18 sectoren in GEM-E3 (Vlaanderen) moet doordacht gebeuren (eventueel met behulp van NACE-codes) maar wordt haalbaar geacht.

Bij de opmaak van de marginale kostencurves als input voor GEM-E3 Vlaanderen moet de keuze van de discontovoet op voorhand vastgelegd worden in samenspraak met CES KULeuven. Tevens moet sector per sector nagegaan worden of er naast 'fuel switch' nog reductietechnieken in de marginale kostencurve aanwezig zijn die meerdere polluenten tegelijkertijd reduceren. Indien het multipolluenten-effect relevant is, moet in samenspraak met CES-KULeuven nagegaan worden op welke manier met dit effect al dan niet rekening kan gehouden worden.

Wat de terugkoppeling van GEM-E3 Vlaanderen naar het MKM betreft, kan gesteld worden dat het prototype (research) model onvoldoende betrouwbare gegevens beschikbaar stelt als input voor consistente groeiscenario's of prijselasticiteiten. In Delhaye et al. (2007) wordt aangegeven dat voor dergelijke afstemming CES KULeuven ca. 1 persoonsmaand nodig heeft.

Tijdens de slotvergadering van de TWOL-studie '*Haalbaarheidsstudie voor de inzet van GEM-E3 Vlaanderen voor het Vlaamse lucht- en klimaatbeleid en bij uitbreiding het volledige Vlaamse milieubeleid*' (dd. 21/06/2007) werd beslist om voorlopig niet verder te gaan met de regionalisering van GEM-E3. Bijgevolg zullen ook geen acties ondernomen worden om het MKM en GEM-E3 Vlaanderen op elkaar af te stemmen.

HOOFDSTUK 4 AFSTEMMING MET MARKAL/TIMES

VITO werkt reeds jaren met MARKAL en is zelf lid van de ETSAP-groep die het model ontwikkelt, met steun van alle aangesloten landen. Samen met CES KULeuven ontwikkelde VITO een MARKAL/TIMES model voor België. Het MKM, zoals het gebruikt wordt voor de onderbouwing van het NEC-beleid, is opgebouwd in MARKAL/Answer. In dit hoofdstuk wordt de MARKAL-familie van modellen nader beschreven. Tevens wordt nagegaan wat de mogelijkheden zijn om het MKM af te stemmen met MARKAL/TIMES.

4.1 Beschrijving MARKAL/Answer

4.1.1 Algemene beschrijving

MARKAL ('MARKet ALlocation') werd ontwikkeld in een coöperatief internationaal project gedurende een periode van ongeveer 2 decennia binnen het Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) van het International Energy Agency (IEA). De bouwstenen van een MARKAL-model omvatten specifieke energietechnologieën en emissiereductiemaatregelen. Elk van deze bouwstenen is kwantitatief omschreven door een set van technische en economische parameters (= technologie expliciet). Aangezien MARKAL meestal gebruikt wordt om voorspellingen te maken over een tijdshorizon van 50 jaar, worden bestaande en toekomstige technologieën in het model opgenomen. Zowel de aanbods- als de vraagzijde worden gemodelleerd, zodat beide zijden in evenwicht zijn. Het model selecteert de combinatie van technologieën die de totale systeemkost (of 'cost of supply') minimaliseert (of het producentensurplus maximaliseert).

Typisch worden in MARKAL een aantal modelruns na elkaar uitgevoerd die elk een 'alternatieve toekomst' vertegenwoordigen. De referentiesituatie is de eerste modelrun die wordt uitgevoerd. In deze referentie worden geen emissiebeperkingen opgelegd aan het model zodat er geen reductietechnieken vereist zijn. Daarna kunnen modelruns worden uitgevoerd waarin steeds strengere emissiebeperkingen worden opgelegd. In elke run zal MARKAL de meest kostenefficiënte combinatie van reductietechnieken selecteren om aan de beperkingen te voldoen, maar bij elke verstrenging van de emissiebeperking zal de totale systeemkost stijgen. De resultaten van elke modelrun zijn onafhankelijk van de voorgaande runs. De optimaliseringssoftware die MARKAL gebruikt is GAMS, de 'solver' kan gekozen worden, afhankelijk van het probleem dat moet opgelost worden.

Zoals reeds eerder aangegeven, wordt in de objectieffunctie van het standaard MARKAL-model de totale systeemkost (of 'cost of supply') geminimaliseerd. De vraag is inelastisch en bijgevolg verandert het consumentensurplus niet. Minimalisering van de totale systeemkost

impliceert dat het producentensurplus gemaximaliseerd wordt. De verandering in het producentensurplus wordt niet berekend noch gerapporteerd.

Naast het standaard MARKAL-model kan ook uitgegaan worden van een elastische vraag en wordt in de objectieffunctie de som van het producenten- én consumentensurplus gemaximaliseerd. Het totale nettosurplus wordt in de micro-economie beschouwd als een goede benadering van de maatschappelijke welvaart. MARKAL berekent een evenwicht waarbij zowel het aanbod als de vraag door het model bepaald worden. Het evenwicht wordt gestuurd door de vraagfunctie die door de gebruiker gespecificeerd wordt (exogene vraagfunctie): hoe verandert de vraag in functie van de marktprijs? Waarbij de marktprijs de marginale productiekost is om aan de vraag te voldoen.

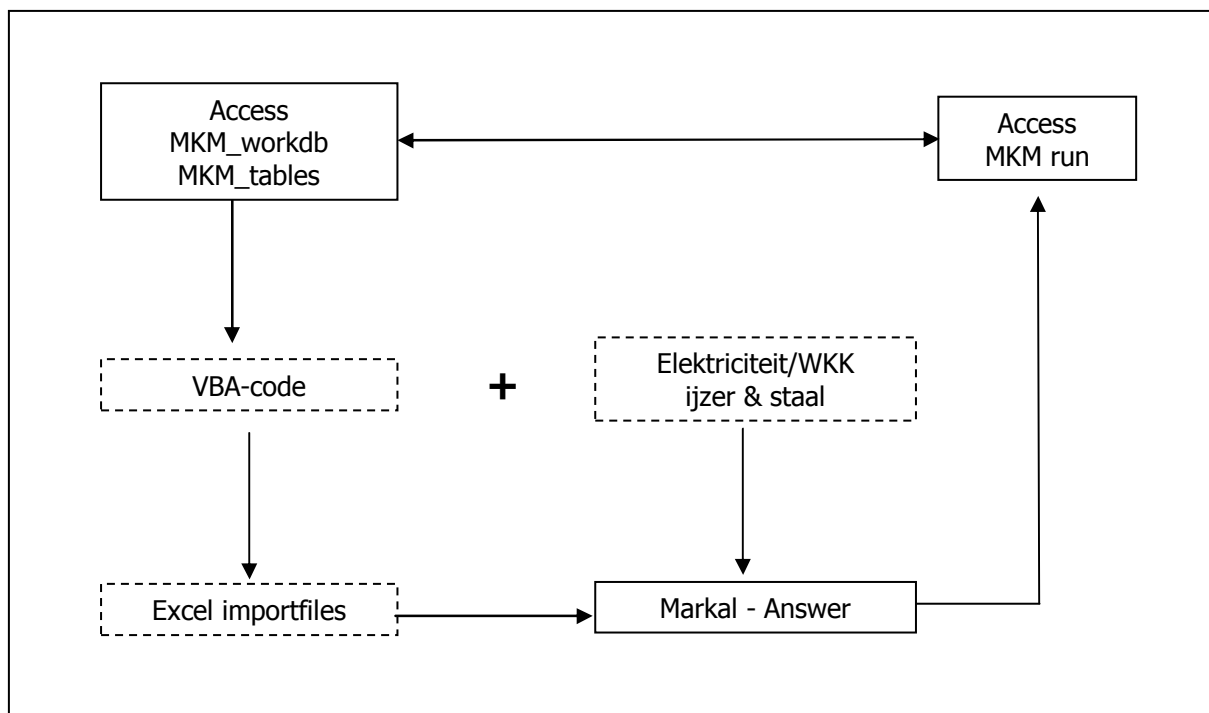
Answer is de grafische user-interface om op een gebruiksvriendelijke manier te kunnen werken met MARKAL. Answer is een Windows gebaseerde gebruikersomgeving die toelaat data toe te voegen, te bewerken, MARKAL-runs uit te voeren en de resultaten te verwerken. De Answer software wordt ontwikkeld door Noble-Soft Systems Pty Ltd.

Voor meer informatie over MARKAL/Answer verwijzen we naar de website: <http://www.etsap.org/Tools.asp> en <http://www.etsap.org/documentation.asp>.

4.1.2 MARKAL/Answer en MKM

Het MKM is een techno-economisch, bottom-up, lineair programmeringsmodel dat opgebouwd is in MARKAL/Answer. Voor het MKM gebruikt VITO de optimaliseringssoftware GAMS en de solver CPLEX. Tot nu toe werd steeds uitgegaan van het standaard MARKAL-model met een inelastische vraag.

Het MKM maakt op een iets andere manier gebruik van de Answer-software dan dat dit normaal gezien gebeurt. Voor het MKM ontwikkelde VITO een Access-databank die de data bevat omtrent emissiebronnen, reductietechnieken, technische en economische parameters. Normaal gezien zouden deze data manueel in Answer moeten ingebracht worden, maar gezien de omvang is dit een onmogelijke taak. Daarom werd de Access-databank van het MKM voorzien van een Visual Basic-programma dat uit de databank automatisch importfiles genereert die in Answer kunnen ingelezen worden. Eenmaal de importfiles in Answer zijn ingelezen kan van een MARKAL-model gesproken worden.



Figuur 10: Schematische voorstelling koppeling MKM en MARKAL Answer

BRON: VITO

4.2 Beschrijving MARKAL/TIMES

4.2.1 Algemene beschrijving

MARKAL/TIMES behoort eveneens tot de MARKAL-familie van modellen en werd ook ontwikkeld binnen de ETSAP groep. Net zoals MARKAL/Answer is het een technologiespecifiek, dynamische partieel evenwichtsmodel van de energiemarkt. MARKAL/TIMES gebruikt eveneens GAMS als optimaliseringssoftware met CPLEX als solver. TIMES bouwt verder op de sterktes van MARKAL/Answer en voegt een aantal uitbreidingen toe aan het model.

- Bijkomende mogelijkheden voor de gebruiker. Bv. flexibele input/output, weergave, vraagelasticiteiten gemakkelijker in rekening te brengen.
- 'Vintage': mogelijkheid om bestaande capaciteit op een correcte manier te laten overgaan naar nieuwe capaciteit. Bv. in MARKAL/Answer wordt de reductiemaatregel 'brandstofcel' gedefinieerd met volgende rendementen: 20% (in 2005), 35% (in 2010) en 55% (in 2020). MARKAL zou vanaf 2010 alle brandstofcellen een rendement van 35% geven ook al staan er nog de brandstofcellen van 20%. In MARKAL/Answer moet dit opgelost worden door afzonderlijke installaties (en combinaties) te definiëren.
- Tijdsindeling onbeperkt gedurende een jaar en chronologie van de tijdsindeling (belangrijk voor bv. elektriciteitsopwekking, pompcentrales zoals deze in Coö). In MARKAL hebben enkel elektriciteit en lage temperatuur warmte een strikt gedefinieerde tijdsindeling, namelijk 6 periodes voor elektriciteit en 3 voor warmte.

- Flexibele keuze lengte tijdsperiode bv. 2006, 2008, 2010, 2012, 2015, 2020, 2030, 2050.

VEDA vormt de grafische user-interface voor MARKAL/TIMES. VEDA bestaat uit twee hoofdapplicaties: enerzijds VEDA-FrontEnd, anderzijds VEDA-BackEnd. De Front-End wordt gebruikt om het TIMES model op te bouwen, data in te brengen, te wijzigen en de modelruns uit te voeren. De Back-End wordt gebruikt om de resultaten te verwerken, tabellen en grafieken op te stellen.

In opdracht van het Federaal Wetenschapsbeleid werd door VITO en CES-KULeuven het MARKAL/TIMES model ook in België geïmplementeerd (Nijs et al., 2006). In dit project werden maatregelen en welvaartskosten ingeschat uitgaande van het opleggen van strenge reducties voor energiegebonden CO₂-emissies voor België in 2050.

4.3 Afstemming MARKAL/TIMES en MKM

4.3.1 Afstemming software: VEDA FrontEnd en BackEnd

MARKAL maakt gebruik van Answer maar eventueel kan de BackEnd-toepassing van MARKAL/TIMES gekoppeld worden aan MARKAL. Dit houdt in dat de verwerking van resultaten van MARKAL in plaats van in Access in Veda gebeurt. Daarnaast kan geopteerd worden om MARKAL volledig te vervangen door MARKAL/TIMES. Deze overschakeling is arbeidsintensief en de toegevoegde waarde hangt ondermeer af van de beleidsvragen die moeten beantwoord worden en een eventuele toename in efficiëntie voor de gebruiker. Het verschil tussen MARKAL en MARKAL/TIMES werd reeds in paragraaf 4.2.1 aangegeven.

4.3.2 Afstemming methodologie: MARKAL/TIMES België

Een belangrijke afstemming is deze met de methodologie van MARKAL/TIMES, in het bijzonder de toepassing voor België. Bij de uitbouw van het MKM met broeikasgassen kan bv. gekeken worden naar de aggregatieniveaus die in het model voor België gehanteerd worden.

Indien de vraag in het MKM op geaggregeerd (sector)niveau endogeen wordt (partieel evenwicht), moeten vraagelasticiteiten op dit niveau beschikbaar zijn. Voor de energievraag vanwege gezinnen en binnen de transportsector wordt gewerkt met een gemiddelde prijselasticiteit van -0,3. Voor de energievraag vanwege industriële sectoren wordt een prijselasticiteit gehanteerd van -0,35. Dit cijfer is gebaseerd op een studie waarbinnen productiefuncties werden ingeschat voor verschillende industriële sectoren in België. De prijselasticiteiten varieerden per sector tussen -0,4 en -0,8 (Van Regemorter, 2004).

De prijselasticiteit van de finale vraag in MARKAL/TIMES België wordt gelijk aan -0,3 verondersteld voor alle vraagcategorieën.

In het kader van het project 'Treating uncertainty and risk in energy systems with MARKAL/TIMES' of TUMATIM (VITO en CES-KULeuven in opdracht van Federaal Wetenschapsbeleid) zal getracht worden om de prijselasticiteiten in MARKAL/TIMES te verbeteren. Met behulp van een verbeterde econometrische methodologie zal getracht

worden om een onderscheid te maken tussen de prijselasticiteit van de vraag naar energie en de vraag naar het nut van die energie. Immers, verhoging van het prijsniveau veroorzaakt efficiëntieverbeteringen, waardoor de vraag naar bruikbare energie minder sterk daalt dan de vraag naar energie. In het projectvoorstel wordt eveneens het gebrek aan goede Belgische cijfers met betrekking tot prijselasticiteiten aangegeven. Bovendien wordt gesteld dat in het beperkt aantal buitenlandse studies bij de bepaling van de prijselasticiteiten geen rekening gehouden wordt met de verbetering van de energie-efficiëntie. Aangezien dit project pas eind 2007 van start gaat en een looptijd heeft van 3 jaar, zullen de resultaten op korte termijn niet beschikbaar zijn voor de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen.

Naast methodologie kunnen voor een aantal (sub)sectoren, en voornamelijk voor de industriële sectoren, de eenheidskostprijzen en rendementen van maatregelen uit de databank van MARKAL/TIMES België worden overgenomen in het MKM. Voor volgende industriële sectoren worden reductiemaatregelen voorgesteld met overeenkomstige investerings- en operationele kosten:

- Ijzer- en staal productie:
 - o Ruw ijzerproductie: hoogoven, COREX, CCF, DRI, CCS
 - o Staalproductie: oxystaaloven, elektrooven, toename schroot
- Chemie:
 - o Ammoniak standaard productie → 'advanced' productie → 'advanced' productie + CO₂-afvang
 - o Chloor membraanproductie → chloor 'advanced' membraanproductie
- Pulp en papier:
 - o Mechanische pulpproductie, chemische pulpproductie, recycleren van pulp en deze ingedeeld in de productie van papier met lage en hoge kwaliteit
- Cement:
 - o Klinkerproductie droog proces, klinkerproductie nat proces
- Glasproductie:
 - o Warmterecuperatie, verbeterde branders
- Ongebluste kalkproductie:
 - o 'nieuw proces'
- Andere industrie: stoom (boilers), proceswarmte, motoren, elektrochemie, andere gemodelleerd naar eindgebruik (vb. vraag naar stoom, proceswarmte)
 - o WKK, biomassa

De databank van MARKAL/TIMES België bevat voor de industriële emissiebronnen nuttige informatie met betrekking tot eenheidskostprijzen en rendementen van reductiemaatregelen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het niveau waarop de informatie beschikbaar is heel geaggregeerd is. Bijgevolg zal de databank van MARKAL/TIMES België in eerste instantie gebruikt worden ter controle en ter aanvulling van andere informatiebronnen (bv. BAU+-studie, energieplannen).

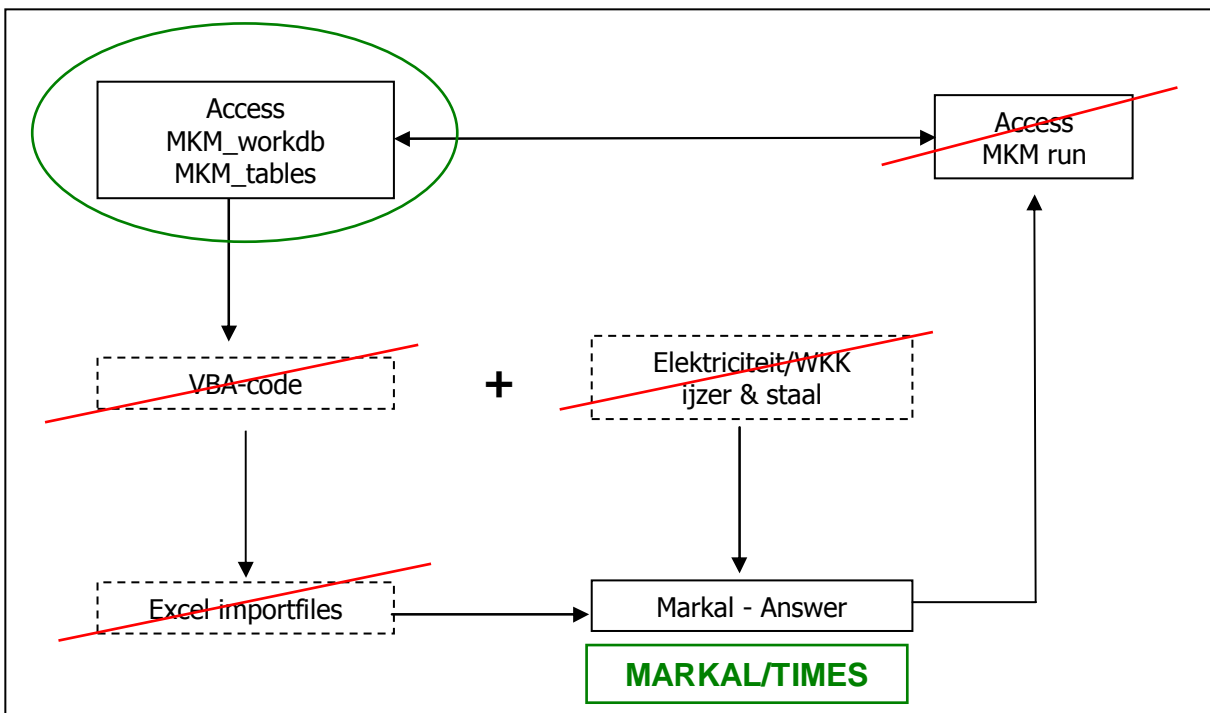
4.3.3 Conclusie

Een overschakeling naar VEDA-BackEnd voor de verwerking van de resultaten biedt geen echte voordelen.

VITO heeft speciaal voor het MKM een Access-databank ontworpen van waaruit de modelruns gebeuren en de resultaten worden ingelezen. De verwerking gebeurt vanuit deze databank d.m.v. queries. Voordeel van deze zelf ontworpen databank is dat ze aan de noden en vragen kan aangepast worden, terwijl dit bij een aangekocht softwareproduct zoals VEDA, niet het geval is.

Het overstappen naar VEDA-FrontEnd is, zoals aangegeven, mede afhankelijk van de beleidsvragen die het MKM moet beantwoorden. Echter, de ombouw van het MKM naar MARKAL/TIMES zal minstens 120 mandagen in beslag nemen. Aangezien de eerste modelresultaten voor broeikasgassen begin 2008 verwacht worden, werd in samenspraak met LNE besloten dat dergelijke overschakeling op korte termijn niet haalbaar is.

De nieuwe mogelijkheden die MARKAL/TIMES biedt kunnen ook een 'trigger' zijn om op termijn over te schakelen. Dergelijke overschakeling vraagt om een volledig herschrijven van de Visual Basic-code van het MKM die nu de Answer importfiles genereert. De importfiles van VEDA zijn helemaal anders opgebouwd. Daarnaast zal ook de expertise moeten verworven worden om met VEDA te kunnen werken.



Figuur 11: Schematische voorstelling overschakeling van MKM naar MARKAL/TIMES

BRON: VITO

Wat de methodologische afstemming betreft, zal vooral gekeken worden naar de aanpak van MARKAL/TIMES België met betrekking tot bv. aggregatieniveau, elastische vraag. Deze toepassing kan ook nuttige informatie bevatten om leemtes in de databank van het MKM op te vullen en/of om beschikbare (Vlaamse) gegevens te toetsen bv. prijselasticiteiten, technisch- en socio-economische parameters.

HOOFDSTUK 5 AFSTEMMING MET ECONOMISCH LANDBOUWMODEL

Tot nu toe richtte het MKM zich voornamelijk op technische milieumaatregelen in de landbouwsector en werden constante productievolumes verondersteld. Het effect op de vraag- en aanbodscurve of het verlies aan welvaart werd niet in rekening gebracht omwille van een gebrek aan informatie of omdat dergelijk effect als niet relevant beschouwd werd.

Indien het effect van een technische of organisatorische milieumaatregel op de output beperkt is, is de veronderstelling van een inelastische vraag aanvaardbaar. Bij de berekening van de milieukost van een volumemaatregel is het noodzakelijk het welvaartsverlies in rekening te brengen. Zelfs indien volumemaatregelen geen inzet van bijkomende middelen vergen, kan niet de facto besloten worden dat de kosten van deze maatregelen nul zijn.

In dit hoofdstuk wordt in eerste instantie gekeken naar de methodologische aanpak in een aantal techno-economische modellen voor broeikasgassen zoals het analysemodel van het Energieonderzoek Centrum Nederland, RAINS/GAINS, MERLIN en MARKAL/TIMES. Daarnaast wordt nagegaan of en op welke manier het MKM en het economisch landbouwmodel SELES op elkaar afgestemd kunnen worden.

5.1 Landbouw in techno-economische modellen voor broeikasgassen

5.1.1 Analysemodel Energieonderzoek Centrum Nederland

Wat de beschrijving van het analysemodel van het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) betreft, wordt verwezen naar paragraaf 2.1. Informatie met betrekking tot de methodologische aanpak die gehanteerd wordt voor de landbouwsector is voornamelijk terug te vinden in Daniëls et al. (maart 2006) en de technische fiches op de website van het Energieonderzoek Centrum.

Wat de reductie van CO₂-emissies betreft, worden volgende maatregelen beschreven in de technische fiches:

- Beperking groei van de intensieve glastuinbouw met als uitgangspunt de aanscherping en handhaving van de gewasnormen uit de Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) glastuinbouw 2002. De kosten gerelateerd aan een beperking van de groei van de glastuinbouwsector betreffen voornamelijk het verlies van toegevoegde waarde in de sector zelf.

- Nieuwe concepten kleinschalige WKK in de landbouwsector (brandstofcellen) met als referentie een ketel met 95% rendement. Omdat niet alle nieuw te bouwen WKK's gebaseerd zijn op 'nieuwe concepten', wordt de vervroegde afschrijving van (een deel van) de installaties tegen hoge(re) kosten voorzien.
- Potentieelbenutting kleinschalige WKK in de landbouwsector met als referentie een ketel met 95% rendement.
- Warmtevraagvermindering en verhoging omzettingsrendement glastuinbouw door gerichte besparingsmaatregelen (niet door reductie activiteit of capaciteit). De inschatting van de effecten op het energiegebruik is gebaseerd op het SAVE⁹-industriemodel waarin besparingsopties uit Icarus-4 zijn meegenomen.
- Warmtevraagvermindering en verhoging omzettingsrendement overige landbouw (excl. WKK). De inschatting van de effecten op het energiegebruik is eveneens gebaseerd op het SAVE-industriemodel.

De maatregelen die in de technische fiches beschreven worden voor de reductie van CH₄-emissies, betreffen de samenstelling van het veevoeder en mestverwerking. De maatregelen die voorgesteld worden met betrekking tot de vergisting van mest hebben eveneens een neveneffect op de CO₂-emissies. Er wordt tevens aangegeven dat er mogelijks ook effecten zijn op NH₃- en N₂O-emissies maar dat de precieze effecten onbekend zijn.

- Aanpassing samenstelling veevoeder rundvee. Omdat (1) verschillende maatregelen mogelijk zijn om de samenstelling van het veevoeder te wijzigen en (2) de kosten en effecten onzeker zijn, wordt een gemiddelde inschatting gegeven van 10 € per koe per jaar.
- Vergisting mest en co-substraat melkveebedrijven.
- Vergisting mest en co-substraat varkensbedrijven.
- Vergisting mest melkveebedrijven.
- Vergisting mest varkensbedrijven.

Wat de reductie van N₂O-emissies betreft, wordt een daling van het gebruik van stikstofkunstmest voorgesteld. De kosten gerelateerd aan de reductie van het gebruik van kunstmeststoffen hebben betrekking op derving van de gewasopbrengst. Tevens wordt een besparing gerealiseerd op het gebruik van kunstmest.

5.1.2 RAINS/GAINS

In het RAINS/GAINS-model dat toegelicht werd in paragraaf 2.2, wordt voor de landbouwsector een onderscheid gemaakt tussen de broeikasgassen CO₂, CH₄ en N₂O.

Wat de reductie van de energiegerelateerde CO₂-emissies betreft, wordt in Klaassen et al. (oktober 2005) een onderscheid gemaakt tussen efficiëntieverbetering en 'brandstofomschakeling'. Er wordt verondersteld dat alle maatregelen met negatieve kosten reeds deel uitmaken van het basis(energie)scenario.

⁹ SAVE staat voor 'Simulatie en Analyse van Verbruiksoptimalisering in Energiescenario's' en is een gedetailleerd, technisch-economisch bottom-up model. Het beleidsmodel van het ECN is gericht op het verkrijgen van kennis en informatie over de dynamiek van het energieverbruik in de verschillende bedrijfstakken in Nederland, met bijzondere aandacht voor de rol van technologische ontwikkeling. Het model maakt gebruik van de ICARUS 4-databank die een overzicht geeft van alle technologische opties die resulteren in energiebesparing gedurende een periode van 25 jaar, inclusief de gerelateerde kosten.

Voor de inschatting van de CH₄-emissies tengevolge van vergisting en mestverwerking, wordt in GAINS uitgegaan van een emissiefactor per dier x het aantal dieren (i.e. analoog aan de inschatting van NH₃-emissies). Wat de reductie van CH₄-emissies ten gevolge van fermentatieprocessen betreft, worden in Isaksson et al. (2005) voedergerelateerde maatregelen gedefinieerd. De kostenbesparing die gerealiseerd wordt door de toename van de productiviteit wordt gelijkgesteld aan: marginale productiekost x reductie veestapel. Uitgaande van een perfect competitieve markt voor melk en vlees wordt deze marginale productiekost benaderd door de marktprijs.

De CH₄-emissies ten gevolge van mestverwerking kunnen gereduceerd worden via anaerobe vergisting (biogas) van vloeibaar mest. Er wordt hierbij gewezen op de interactie-effecten met de pollutanten NH₃ en N₂O. Tevens wordt in Isaksson et al. (2005) vermeld dat de aanpassing van varkensstallen voor de reductie van NH₃-emissies (bv. mestopvang- en opslagsysteem) eveneens de emissies van CH₄ reduceert.

In GAINS worden de *N₂O-emissies* uit landbouwgronden, dierlijk mest en emissies uit andere bodems in rekening gebracht. Om de directe (i.e. door N-input via toediening minerale meststoffen, mest, oogstresten) en indirecte (i.e. door evaporatie, herdepositie, lekkage) N₂O-emissies uit de bodem in rekening te kunnen brengen, werd een vereenvoudigd conceptueel model opgesteld, uitgaande van de IPCC-methodologie. N₂O-emissies ten gevolge van mestopslag worden eveneens meegenomen in GAINS op basis van de N-excretie. Bij de berekening van N-input naar de bodem wordt abstractie gemaakt van het effect van de verwijdering van stikstof naar de lucht gedurende mestopslag.

In Winiwarter (2005) wordt gesteld dat de reductie van N₂O-emissies heel sterk samenhangt met de reductie van NH₃- en NO_x-emissies. Reductietechnieken specifiek voor de reductie van N₂O-emissies grijpen eerder in op de activiteit dan wel de emissiefactor, of het reduceren van de bemesting en meer specifiek de toediening van minerale meststoffen (neveneffect op NH₃). In GAINS wordt er niet teruggekoppeld naar de meststofproductie. Er wordt tevens aangegeven dat zelfs voor de technieken die specifiek voorgesteld worden voor N₂O-reductie, de reductie van N₂O eerder een positief neveneffect is dan dat het een drijvende kracht is om deze opties te kiezen.

Volgende N₂O-reductietechnieken komen in GAINS aan bod:

- reductie gebruik meststoffen (i.e. pakket van 'good practice'-maatregelen),
- optimalisatie timing gebruik meststoffen (i.e. pakket van maatregelen),
- verhinderen conversie van ammonium naar nitraat,
- precisie landbouw (i.e. benadering voor een pakket van verdergaande maatregelen),
- stopzetting cultivatie op organische bodems (reductiekosten worden gelijkgesteld aan verlies aan inkomsten).

5.1.3 MERLIN

Noch in de literatuur, noch op de website van het MERLIN-project zelf is informatie terug te vinden met betrekking tot de inputgegevens van het model of de methodologie die gebruikt wordt voor de landbouwsector.

5.1.4 MARKAL/TIMES

→ *MARKAL en MKM*

Zoals reeds eerder aangegeven, maakt het MKM gebruik van MARKAL/Answer om berekeningen door te voeren. De methodologie die tot nu toe gevolgd werd om de landbouwsector te modelleren, is eerder rudimentair en is in eerste instantie gericht op de pollutanten SO₂, NO_x en fijn stof.

In het kader van de studie *'Opstellen en uitwerken van een methodologie voor een intersectorale afweging van de haalbaarheid van mogelijke maatregelen voor de reductie van diverse pollutantemissies naar de lucht'* (Ecolas en VITO, 2005) werden in de databank van het MKM voor de subsectoren 'glastuinbouw' en 'intensieve veehouderij' de verbrandingsgerelateerde emissies voor SO₂ en NO_x opgenomen. Deze emissies zijn gebaseerd op het brandstofverbruik en emissiefactoren voor 2003, aangeleverd door LNE, Dienst Lucht en Klimaat. Voor de sector 'glastuinbouw' wordt een onderscheid gemaakt tussen 'ketels extra zware stookolie', 'ketels lichte stookolie', 'ketels aardgas' en 'ketels steenkool'. Bijgevolg kunnen per brandstoftype de CO₂-emissies berekend worden op basis van de overeenkomstige CO₂-emissiefactor en het energieverbruik. Voor de sector 'intensieve veehouderij' wordt geen onderscheid gemaakt naar brandstoftype maar worden de emissies geïnventariseerd op het geaggregeerde niveau van de subsector. De CO₂-emissies kunnen niet berekend worden op basis van de overeenkomstige CO₂-emissiefactor van de brandstoftypes en het energieverbruik.

In het kader van de studie *'Prognoses en scenario's luchtverontreinigende stoffen'* (Lodewijks et al., augustus 2007) werden voornoemde emissies geactualiseerd voor 2004. Hierbij werd gebruik gemaakt van het brandstofverbruik voor 2004 uit de Energiebalans Vlaanderen. Tevens werd de databank uitgebreid met de verbrandings- en procesgerelateerde emissies van fijn stof.

De toepassingen van het MKM richtte zich tot nu toe voornamelijk op technische milieumaatregelen in de landbouwsector. Tevens werden constante productievolumes verondersteld. Het effect op de vraag- en aanbodscurve of het verlies aan welvaart werd niet in rekening gebracht omwille van een gebrek aan informatie of omdat dergelijk effect als niet relevant beschouwd werd. Dergelijke partieel evenwichtseffecten kunnen meegenomen worden in het MKM door in plaats van een inelastische vraag uit te gaan van een elastische vraag. Deze optie is voorzien in MARKAL (TIMES) maar werd tot nu toe niet gebruikt. Eventueel kan de landbouwsector gemodelleerd worden in het MKM en kan een elastische vraag geïntroduceerd worden, maar gezien het bestaan van het economisch landbouwmodel SELES, weegt deze inspanning niet op tegen een 'soft link' of 'hard link' met dit model.

Wat de sector 'glastuinbouw' betreft, zijn in het kader van de studie '*Opstellen en uitwerken van een methodologie voor een intersectorale afweging van de haalbaarheid van mogelijke maatregelen voor de reductie van diverse pollutemissies naar de lucht*' (Ecolas en VITO, juli 2005) volgende (NO_x-) reductietechnieken in de databank van het MKM opgenomen:

- Ketels zware stookolie:
 - o 'fuel switch + low NO_x-brander'
 - o SCR en SNCR
- Ketels lichte stookolie:
 - o low NO_x-brander
- Ketels steenkool:
 - o 'fuel switch + low NO_x-brander'

In het kader van de studie '*Prognoses en scenario's luchtverontreinigende stoffen*' (Lodewijks et al., augustus 2007) is de maatregel 'ventilatie in combinatie met een natte wasser' voor de reductie van fijn stof emissies in de databank van het MKM opgenomen.

→ *MARKAL/TIMES België*

De landbouwsector is zeer vereenvoudigd opgenomen in het MARKAL/TIMES model voor België. Slechts één generieke vraag is gemodelleerd zonder een uitsplitsing naar eindgebruik. Ook de reductietechnieken zijn generiek: 'WKK' is als reductiemaatregel opgenomen.

5.2 SELES

De toegevoegde waarde van een economisch landbouwmodel zoals SELES ten opzichte van het MKM, is dat met dergelijk model niet alleen kan nagegaan worden of de impact van technische milieumaatregelen op het inkomen (brutosaldo) van de landbouwer relevant is, naast de investerings- en operationele kosten van deze milieumaatregel, maar ook hoe groot deze impact is. Daarnaast kan met SELES ook een inschatting gemaakt worden van de 'kostprijs' van volumemaatregelen. Omdat deze maatregelen geen inzet van extra middelen vergen, zijn de investerings- en operationele kosten veelal beperkt. Niettemin kan de kostprijs van een volumemaatregel substantieel zijn door de impact van dergelijke maatregel op het brutosaldo van de landbouwer. SELES biedt ook het voordeel dat de impact voor de landbouwsector van de overschakeling naar biobrandstoffen (i.e. toename in energieteelten) correct kan in rekening gebracht worden.

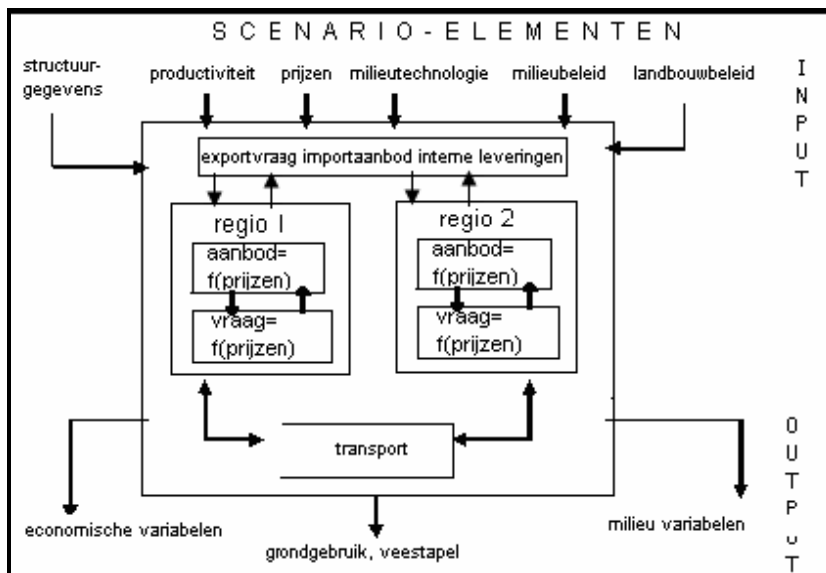
5.2.1 Algemene beschrijving SELES

SELES staat voor 'Socio-Economisch Landbouweffecten Evaluatie Systeem' voor het Vlaamse overheidsbeleid en werd initieel ontwikkeld voor de evaluatie van het mestactieplan (MAPII). In wat volgt, wordt een beknopte beschrijving gegeven van het model op basis van Gavilan et al. (2006).

SELES is een comparatief-statisch model dat gebruikt wordt om de effecten van landbouw- en milieubeleid voor de landbouwsector in Vlaanderen te analyseren. Het model geeft inzicht in de ontwikkeling van economische variabelen (schaduwrijzen en brutosaldo), grondgebruik, omvang en samenstelling van de veestapel en milieuv variabelen. Wat de milieuv variabelen betreft, is SELES op dit moment gericht op het beleid ter verwijdering van stikstof (N) en fosfor (P). De hoeveelheid mest geproduceerd, de hoeveelheid dierlijk mest aangewend op het land, kunstmestgebruik, mestverwerking en mesttransport zijn resultaten van het model dat streeft naar winstmaximalisatie van de producent, gegeven de randvoorwaarden vanuit de markt en het (milieu)beleid.

De modelresultaten worden bepaald door de inputdata (of exogene variabelen), de balansen en de beperkingen. De balansen geven de verbanden tussen activiteiten weer: wat geconsumeerd wordt, moet ergens ook geproduceerd worden. De beperkingen geven een boven- of ondergrens weer zoals bv. bemestingseisen, mestacceptatie, melk- en suikerquota.

In volgende figuur wordt de opbouw van SELES schematisch voorgesteld.



Figuur 12: Schematische voorstelling SELES

BRON: Gavilan et al., 2006

SELES is een geregionaliseerd model waarbij de verschillende regio's van de landbouwsector in Vlaanderen aan elkaar gekoppeld zijn via marktprijzen (van bv. intermediaire input). Het model is op (landbouw)activiteiten (bv. melkkoeien, vleesvarkens, granen) gebaseerd: bedrijfsdata uit het Vlaams Landbouwmonitoringsnetwerk¹⁰ worden opgesplitst naar individuele landbouwactiviteiten op bedrijfsniveau. Gesommeerd over de structuurgegevens van het Nationaal Instituut voor de Statistiek (NIS) wordt inzicht verworven in de input-outputverhoudingen en de economische structuur van de landbouwsector in Vlaanderen.

¹⁰ Vóór 2004: bedrijfsdata van het Centrum voor Landbouw Economie of CLE.

Het model is programmatorisch en mathematisch opgebouwd. De doelfunctie beschrijft het principe van winstmaximalisatie i.e. maximalisatie brutosaldo of maximalisatie opbrengsten verminderd met variabele kosten. Het brutosaldo voor individuele en regionale bedrijven wordt zo hoog mogelijk door optimaal gebruik van de vaste input (i.e. grond, mestafzetmogelijkheden, melkquota) over de verschillende activiteiten, gegeven de beperkingen met betrekking tot landbouwbeleid, milieubeleid, technologie (input-output coëfficiënten), marktprijzen en structuurgegevens.

Indien de marginale opbrengsten en marginale kosten per eenheid activiteit niet gelijk zijn, passen de endogene variabelen zich aan. Endogene variabelen in SELES zijn hoofdzakelijk prijzen van interne leveringen (ruwvoer, jongvee, mest), marktbaar eindproducten (aardappelen, groenten, fruit), grond en quota. Wat de landbouwmarkt voor bv. melk, graan, suikerbieten betreft, is er een Europese prijszetting en wordt verondersteld dat Vlaamse boeren prijsnemers zijn. Een verhoging van de kosten door bv. implementatie van milieumaatregelen kunnen niet doorgerekend worden in de prijs en bijgevolg wordt enkel een verlies van producentensurplus in rekening gebracht. Wat de landbouwmarkt voor bv. jongvee en gras betreft, is er geen Europese prijszetting. Een stijging van de kosten wordt doorgerekend in de prijs van het marktbaar product. Uitgaande van de gehanteerde elasticiteitscoëfficiënten, wordt er zowel een verlies aan producenten- als consumentensurplus in rekening gebracht.

In de doelfunctie worden afschrijvingen en vaste kosten voor kapitaal en arbeid niet in rekening gebracht omdat verondersteld wordt dat op de korte tot middellange termijn de beschikbaarheid van deze productiefactoren voor de Vlaamse landbouwsectoren niet beperkend is. Bijgevolg kunnen in SELES, strikt genomen, geen 'reductietechnieken' opgenomen worden waarbij de investeringskost mee de keuze voor deze reductiemaatregel bepaalt (communicatie met Dhr. J. Gavilan).

De landbouwproductie vindt plaats binnen de kaders van de landbouwtechniek zoals aangegeven en gemodelleerd in SELES. Vaste kosten worden beschouwd als niet recupereerbare uitgaven uit het verleden. De uitkomsten van SELES gelden enkel voor de korte tot middellange termijn (i.e. 3 à 4 jaar). Voor langere termijnen wordt een referentiescenario gebruikt.

SELES is een sectormodel en is niet in staat om evoluties buiten de landbouwsector in te schatten. Op korte termijn kan verondersteld worden dat deze evoluties relatief beperkt zijn maar op de lange termijn niet. Om dit probleem op te lossen wordt in de toekomstverkenningen een onderscheid gemaakt tussen autonome ontwikkelingen (bv. prijsontwikkelingen arbeids- en kapitaalmarkt, technische evoluties) en beleidsontwikkelingen. Autonome ontwikkelingen zijn onder alle scenario's gelijk en kunnen ingeschat worden op basis van trendanalyse van historische gegevens. Autonome ontwikkelingen worden meegenomen in het referentie- of basisscenario dat voor een toekomstige referentieperiode (bv. 2020) de meest waarschijnlijke toestand van de landbouwsector beschrijft bij ongewijzigd landbouwbeleid. De resultaten van de beleidsscenario's worden met dit basisscenario vergeleken zodat het effect van beleidsmaatregelen kan afgezonderd worden van de autonome ontwikkelingen.

In het kader van MIRA-S 2009 zullen de gegevens van SELES geactualiseerd worden. Er wordt ook getracht om voor bepaalde diercategorieën af te stappen van de 'gemiddeld bedrijf'-benadering. De eerste SELES-resultaten kunnen ten vroegste tegen mei 2008 verwacht worden.

5.2.2 Afstemming SELES en MKM

De afstemming tussen SELES en het MKM heeft betrekking op de problematiek van CH₄- en N₂O-emissies van de landbouwsector. Wat de CO₂-problematiek betreft (i.e. voornamelijk glastuinbouw), is geen economisch landbouwmodel nodig (cf. infra).

Idealiter, wordt met SELES een kostencurve opgesteld uitgaande van een beperking op broeikasgassen. Deze resultaten kunnen meegenomen worden in het MKM via een 'soft link', partiële integratie of 'hard link'. Een eerder pragmatische oplossing zou zijn dat uitgaande van bestaande simulaties met SELES (bv. toekomstverkenning landbouw en milieu (Gavilan et al., 2006)) een aantal 'pakketten van maatregelen' met hun kostprijs en reductiepotentieel voor niet-energiegerelateerde broeikasgasemissies afgeleid worden. Deze maatregelen kunnen dan meegenomen worden in een afweging van reductie-inspanningen tussen de landbouwsector en de andere sectoren.

→ *Klimaatbeleid*

Op dit moment kan in SELES geen beperking op broeikasgassen opgelegd worden. Hiervoor is informatie nodig met betrekking tot de kost (bijvoorbeeld kostprijs aangepaste voeding zoals kokosolie) die het effect op de productiebeslissing stuurt. Deze informatie is niet onmiddellijk beschikbaar.

Indien in SELES een beperking voor broeikasgassen kan opgelegd worden, opteert VITO voor een 'soft link' met SELES. De resultaten van SELES kunnen aan het MKM aangeleverd worden via bv. vereenvoudigde kostencurves. Met behulp van deze kostencurves kan het MKM een reductie van CO₂-equivalenten afwegen tussen de landbouwsector en andere sectoren op basis van maatregelen, primair gericht op de reductie van broeikasgassen.

Bij de opmaak van de kostencurves moeten op voorhand de meest relevante 'beleidsscenario's' (i.e. hoe groot moeten de stappen van de marginale kostencurve zijn?) voor broeikasgassen geselecteerd worden.

Tevens moet rekening gehouden worden met het feit dat SELES, strikt genomen, geen reductiemaatregelen in rekening kan brengen waarbij de investeringskost mee de keuze van deze maatregel bepaalt.

In paragraaf 5.2.1 werd reeds aangegeven dat in de doelfunctie afschrijvingen en vaste kosten voor kapitaal en arbeid niet in rekening gebracht worden omdat verondersteld wordt dat op de korte tot middellange termijn de beschikbaarheid van deze productiefactoren voor de Vlaamse landbouwsectoren niet beperkend is.

→ *Toekomstverkenning landbouw en milieu*

Op basis van bestaande simulaties kunnen een aantal 'pakketten van maatregelen' met kostprijs en reductiepotentieel voor niet-energiegerelateerde broeikasgassen gedefinieerd worden waardoor een afweging van reductie-inspanningen tussen de landbouwsector en de andere sectoren mogelijk is.

Hierbij kunnen, bijvoorbeeld, de beleidscenari s uit Gavilan et al. (2006) als uitgangspunt dienen. Deze scenario's zijn opgebouwd rond de grootste onzekerheden met betrekking tot de toekomstige ontwikkelingen in de landbouwsector, ongeacht het beleidsniveau. Het betreft enerzijds de onzekerheid met betrekking tot de liberalisering van de markt en de productievoorwaarden en anderzijds de onzekerheid met betrekking tot het mestbeleid (binnen dit thema dringen de beleidskeuzes zich het meeste op). De ontwikkeling van productiviteit, excretie per dier, mestverwerkingskost, nutriëntenbehoefte van gewassen en de derogatie is gekoppeld aan de sleutelonzekerheid milieubeleid. De quotaregeling, de directe betalingen van de eerste pijler van het Gemeenschappelijk landbouwbeleid (GLB) en het prijsniveau van de producten is gekoppeld aan de mate van liberalisering.

Op die manier zijn er vier mogelijke combinaties/scenario's:

- Sterk milieubeleid en weinig liberalisering (Europese en Milieu of EM)
- Sterk milieubeleid en veel liberalisering (Welvaart en Milieu of WM)
- Zwak milieubeleid en veel liberalisering (Economie en Globalisering of EG)
- Zwak milieubeleid en weinig liberalisering (Regionale Markt of RM)

In elk van de vier scenario's is een combinatie gemaakt van volgende scenario-elementen: productiviteit, prijs, milieutechnologie, milieu- en landbouwbeleid (cf. figuur 13). Het startjaar van de berekeningen is 2000 – 2001 en de tijdshorizon van de toekomstverkenning is 2020. Voor een gedetailleerde beschrijving van de modelinput voor de vier scenario's wordt naar Gavilan et al. (2006).

Onzekerheden	Referentie	EM	WM	EG	RM
<i>Productiviteit</i>	Matige groei	Matige groei	Matige groei	Sterke groei	Sterke groei
<i>Prijs</i>	Matige daling	Stabiele prijzen	Matige daling	Sterke daling	Stabiele prijzen
<i>Milieutechnologie</i>	Stabiele excretie	Dalende excretie bij varkens en kippen	Dalende excretie bij varkens en kippen	Stabiele excretie varkens en kippen	Stabiele excretie varkens en kippen
	N/P-behoefte stijgend	N/P-behoefte gelijk	N/P-behoefte gelijk	N/P-behoefte stijgend	N/P-behoefte stijgend
	Mestacceptatie gelijk	Verhoogde mestacceptatie	Verhoogde mestacceptatie	Mestacceptatie gelijk	Mestacceptatie gelijk
	Hoge mestverwerkingskost	Hoge mestverwerkingskost	Hoge mestverwerkingskost	Lagere mestverwerkingskost	Lagere mestverwerkingskost
<i>Milieubeleid</i>	46% kwetsbaar gebied met derogatie grasland en maïs	100% kwetsbaar gebied zonder derogatie	100% kwetsbaar gebied zonder derogatie	100% kwetsbaar gebied met derogatie op grasland	100% kwetsbaar gebied met derogatie op grasland
<i>Landbouwbeleid</i>	Directe betaling 30% gekoppeld aan gewaskeuze	Directe betaling 30% gekoppeld aan gewaskeuze	Directe betaling (toeslagrechten) afgeschaft	Directe betaling (toeslagrechten) afgeschaft	Directe betaling 30% gekoppeld aan gewaskeuze
	Toeslagrechten behouden	Toeslagrechten behouden	Geen quota meer	Geen quota meer	Toeslagrechten behouden
	Quota behouden	Quota behouden			Quota behouden

Figuur 13: Overzicht scenario's Toekomstverkenning landbouw en milieu

BRON: Gavilan et al., 2006

Aangezien SELES een comparatief-statisch model is, wordt de toekomstverkenning berekend uitgaande van de referentiesituatie in 2020. Bijgevolg kunnen uit Gavilan et al. (2006) geen resultaten afgeleid worden voor 2010, 2015, 2025 en 2030. Aangezien de focus van de toekomstverkenning het mestbeleid is (reductie nutriënten en NH₃-emissies), is de reductie van niet-energiegerelateerde broeikasgasemissies een neveneffect en geen primair effect. Bijgevolg kan de vraag gesteld worden of de kosten van deze simulaties niet heel hoog zullen zijn, indien enkel en alleen gerelateerd aan de reductie van CO₂-equivalenten.

In het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*' moet nog geen gezamenlijke optimalisatie naar lucht- en klimaatbeleid uitgevoerd worden. Als de kosten en effecten van de vier scenario's meegenomen worden in een optimalisatieoefening (i.e. afweging reductie-inspanningen tussen landbouwsector en overige sectoren) zouden de kosten niet enkel aan CO₂ mogen toegerekend worden. Echter, indien bv. de verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater gemonetariseerd worden, zal dit zeer waarschijnlijk leiden tot negatieve kosten. Indien voor de landbouwsector de neveneffecten op niet-broeikasgassen gewaardeerd worden, zal dit ook voor de andere sectoren moeten gebeuren.

In samenspraak met de opdrachtgever wordt ervoor geopteerd om de effecten op CH₄ en N₂O en de kosten van de vier scenario's uit Gavilan et al. (2006) niet mee te nemen in een afweging van reductie-inspanningen tussen de landbouwsector en de overige sectoren. Het scenario dat het dichtste aanleunt bij beslist beleid (MAP3) en de toekomstige economische evolutie wordt als basisscenario in het MKM meegenomen.

Door te opteren voor de scenariobenadering, kan de waardering van neveneffecten beperkt blijven tot de externe kosten (baten) van bv. (vermeden) congestie in de transportsector en moeten de externe kosten (baten) van luchtpolluenten niet in rekening gebracht worden.

Ten opzichte van het basisscenario worden met SELES de kosten en effecten op CH₄ en N₂O berekend van een bijkomende afbouw van de veestapel. Deze afbouw van de veestapel wordt wel als individuele maatregel meegenomen in het MKM en wordt in rekening gebracht in een afweging van reductie-inspanningen tussen de landbouwsector en de overige sectoren.

Om het effect van de toekomstverkenningen en de (bijkomende) afbouw van de veestapel op CH₄ en N₂O te kunnen inschatten, is een CH₄- en N₂O-coëfficiënt per diercategorie nodig zoals gedefinieerd in de NIS-landbouwtelling (GNIS-code). Deze coëfficiënten zijn niet aanwezig in de SELES-versie die besproken wordt in Gavilan et al. (2006).

In het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*', werden CH₄- en N₂O-coëfficiënten door de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) aangeleverd en door het Departement Landbouw en Visserij (Afdeling Monitoring en Studie of AM&S) gekoppeld aan het SELES-model.

De emissiecoëfficiënten van lachgas en methaan werden door de VMM aangeleverd per categorie, zoals onderscheiden in de landbouwtellingen van het NIS. Gewassen en dieren zijn in het SELES-model opgenomen als 'activiteiten'. Een activiteit is samengesteld uit verschillende gewassen of diercategorieën. Bijvoorbeeld: de activiteit 'graan' bestaat uit tarwe, rogge, spelt, gerst, haver, korrelmaïs, etc. De activiteit 'stieren' bestaat uit de NIS-categorieën 'mannelijke runderen van 1 tot jonger dan 2 jaar voor de reproductie en andere'

en 'mannelijke runderen van 2 jaar en ouder voor de reproductie en andere'. Dit betekent dat de emissiecoëfficiënten eerst moesten geaggregeerd worden op het niveau van de SELES-activiteit. De weging van het belang van elke NIS-categorie in de emissie van de SELES-activiteit gebeurde op basis van het aantal dieren of aantal hectaren per categorie in het totaal van de activiteit uitgaande van de NIS-landbouwtelling van 2003. De herziening van de excretienormen (MAP3) werd niet in rekening gebracht.

De emissiecoëfficiënten zelf zijn producten van een aantal andere coëfficiënten zoals 'mestproductie', 'vluchtig gedeelte', 'emissiepotentieel'. Deze berekende producten werden opgenomen in SELES. De emissie van de activiteiten is in SELES gelijk aan het aantal dieren of hectaren x berekende emissiecoëfficiënt.

AM&S heeft de SELES-resultaten voor 2003 niet vergeleken met de inschattingen die door de Vlaamse Milieumaatschappij gebeuren. Doordat de VMM wel de herziening van de excretienormen (MAP3) in rekening brengt, wijken de cijfers van SELES vermoedelijk af van de inschattingen van de VMM.

De evolutie van de veestapel uit de Toekomstverkenning landbouw en milieu wordt afgestemd op de prognoses van het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid). Voor het referentiescenario is het uitgangspunt de dieraantallen volgens de CAFE-baseline (i.e. Vlaams aandeel in Belgische cijfers). Voor het beleidscenario van het Vlaams Klimaatbeleidsplan worden vanaf 2005 de dieraantallen constant verondersteld uitgaande van de laatste NIS-cijfers, met uitzondering van:

- melkvee:daling verondersteld op basis van cijfers verkregen van AM&S
- varkens: afname van stapel met -5% in 2010 ten opzichte van 2005.

→ *Benadering MKM Water*

Zoals reeds aangegeven werd in paragraaf 1.2, richt het MKM zich niet alleen op de milieueconomische onderbouwing van het luchtbeleid. Gegeven de verplichtingen van de Europese Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG), werd in 2003 gestart met de uitbreiding van het MKM met het milieuthema 'verontreiniging van het oppervlaktewater'. Deze toepassing is momenteel operationeel voor het Netebekken, de pollutanten fosfor (P), stikstof (N) en chemisch zuurstof verbruik (CZV), en de doelgroepen industrie, bevolking, landbouw en (openbare) rioolwaterzuiveringsinstallaties. Eind 2007 - begin 2008 worden resultaten verwacht voor alle bekkens in Vlaanderen.

(a) Toepassing Netebekken

Wat de maatregelen voor diffuse emissiebronnen uit de landbouwsector betreft, kan een onderscheid gemaakt worden tussen enerzijds de volumegerichte maatregelen, waarbij getracht wordt om de hoeveelheid mest die op het land gebracht wordt te beperken, en anderzijds de maatregelen die gericht zijn op het beperken van de uitspoeling van het mest naar de rivieren (oeverzones en groenbemesters).

Voor de toepassing voor het Netebekken werd gebruik gemaakt van SELES en SENTWA voor de bepaling van respectievelijk kosten en effecten van volumegegerichte maatregelen. Volgende scenario's of 'pakketten van maatregelen' werden voor Vlaanderen gemodelleerd met SELES:

- EU-beleid 2006,
- halfweg kwetsbaar gebied met een N-norm van 210 kg/ha,
- kwetsbaar gebied met een N-norm van 170 kg/ha, huidige acceptatie,
- kwetsbaar gebied met een N-norm van 170 kg/ha, acceptatie + 25%,
- kwetsbaar gebied met een N-norm van 150 kg/ha, huidige acceptatie,
- kwetsbaar gebied met een N-norm van 150 kg/ha, acceptatie + 25%.

Met behulp van SELES werd ingeschat hoe de landbouwsector reageert op verdere mestbeperkingen. De afweging tussen afbouw veestapel, mestverwerking, mesttransport en kunstmestgebruik gebeurde binnen SELES zelf. Resultaten van SELES waren de wijziging van de hoeveelheid dierlijk mestgebruik, kunstmestgebruik, mestverwerking en mesttransport per streek. Een combinatie van streken werd specifiek opgebouwd voor het Netebekken. Ook werd met SELES ingeschat hoe de totale inkomens wijzigen in de landbouwsector in Vlaanderen. Deze wijziging werd omgerekend naar een gemiddelde kost per ha en uitgaande van het aantal ha in het Netebekken kon vervolgens de totale wijziging van inkomens in het Netebekken ingeschat worden. Dit komt niet overeen met de wijziging van de inkomens van het Netebekken zoals deze berekend zou worden door het SELES-model zelf. Door bijkomende mestrestricties in het Netebekken vinden immers mesttransporten plaats vanuit het Netebekken richting andere streken. Een gevolg hiervan is dat inkomens in het Netebekken relatief hoger zouden zijn dan wanneer er bijkomende mestbeperkingen zouden zijn in alle streken. Mits de doelstelling van de optimalisatieoefening een minimalisatie van de maatschappelijke kost in Vlaanderen was, zou het verkeerd geweest zijn om te werken met relatief hogere inkomens voor het Netebekken in functie van strengere bemestingsnormen. Vandaar werd een gemiddelde Vlaamse kost toegepast, die beter aangeeft wat de maatschappelijke gevolgen zijn op Vlaams niveau. Een verdere vertaling van verandering in bemesting naar verandering in uitspoeling werd ingeschat op basis van SENTWA-berekeningen.

Wat de geleide emissies uit de landbouwsector betreft, werden enkel de puntbronnen in de glastuinbouw en melkveeteelt opgenomen. Maatregelen voor puntbronnen in de landbouwsector beperken zich tot individuele zuiveringsinstallaties. Dezelfde installaties kunnen geïmplementeerd worden in melkveebedrijven en in glastuinbouwbedrijven.

(b) Toepassing alle bekkens in Vlaanderen

In het kader van de uitbreiding van het MKM naar alle bekkens in Vlaanderen, wordt getracht om de maatregelen voor de landbouwsector te verbeteren. Uitgangspunt hierbij is de studie *'Reductiepotentieel en kosten van beleidsmaatregelen met betrekking tot diffuse en puntbronnen. Maatregelen en instrumenten die verontreiniging door de landbouw kunnen voorkomen'* (Dessers et al., juli 2007). Deze studie werd uitgevoerd door ILVO in opdracht van de VMM.

De ILVO-studie resulteerde in een beschrijving van 14 maatregelen voor diffuse bronnen en 2 maatregelen voor puntbronnen (drainwater glastuinbouw). Voor elke maatregel wordt een korte beschrijving gegeven en wordt een overzicht gegeven van de wijze van implementatie in de landbouwsector in Vlaanderen, de potentiële milieuwinst (reductie nutriëntemissies

(N/P) en chemisch zuurstofverbruik (CZV)) en de bijhorende kosten (voor een 'gemiddeld' landbouwbedrijf). Wat de inventarisatie van kostprijsgegevens betreft, wordt getracht om een onderscheid te maken tussen¹¹: private en maatschappelijke kosten, directe en indirecte kosten, milieu- en reguleringskosten, milieubeleids- en milieuschadekosten. Er wordt tevens een onderscheid gemaakt tussen investerings- en operationele kosten.

In wat volgt, wordt een overzicht gegeven van de reductiemaatregelen voor diffuse bronnen die ook een (relevante) impact kunnen hebben op de CH₄- en N₂O-emissies van de landbouwsector in Vlaanderen:

- Basismaatregel: nieuw mestdecreet (zoals van kracht begin 2007 of MAP3) i.e. mestuitscheidingsnormen, bemestingsnormen, mestverwerking.
- Maatregelen met betrekking tot productie nutriënten:
 - o afbouw veestapel,
 - o productiever melkvee,
 - o voederefficiëntieverbetering varkens en pluimvee,
 - o omschakeling naar biologische landbouw.
- Maatregelen met betrekking tot toepassing nutriënten:
 - o mestdecreet zonder derogatie i.e. verstrenging basismaatregel,
 - o verlaagde bemestingsnorm,
 - o bemesting volgens advies,
 - o afvoeren en composteren gewasresten vollegrondsgroenten,
 - o teeltverschuiving naar teelten met hoge N-opname,
 - o mestverwerking (anaerobe vergisting).
- Maatregelen met betrekking tot nutriëntenverlies van perceel naar oppervlaktewater:
 - o inzaaien groenbemester.

Door ILVO werd ook een matrix opgesteld die een indicatie geeft van de combinatiemogelijkheden van voornoemde maatregelen.

Indien het reductiepotentieel van de maatregelen uit de ILVO-studie voor de broeikasgassen CH₄ en N₂O kan ingeschat worden, kunnen de individuele maatregelen meegenomen worden in de afweging van de reductie-inspanningen tussen de landbouwsector en de andere sectoren. Op die manier is er ook coherentie tussen de aanpak binnen het MKM Water en het MKM Lucht & Klimaat.

ILVO geeft aan dat er minstens 6 à 9 maandagen nodig zijn om het effect van de reductiemaatregelen op NH₃, N₂O en CH₄ in te schatten.

Wat de individuele reductiemaatregelen uit de ILVO-studie betreft, geldt er op dit moment de onzekerheid met betrekking tot de inschatting van het reductiepotentieel voor CH₄ en N₂O enerzijds en de inschatting van de kostprijs anderzijds (gedragsreacties, impact op brutosaldo). Laatstgenoemde onzekerheid kan genuanceerd worden aangezien dezelfde kostprijsgegevens zullen gebruikt worden in het MKM Water. Daarnaast kan ook hier opgemerkt worden dat bij de inventarisatie van de maatregelen de focus ligt op reductie van nutriëntemissies en chemisch zuurstofverbruik en niet op de reductie van broeikasgasemissies. De vraag kan gesteld worden of deze maatregelen ook het

¹¹ Dit is niet de terminologie die in de ILVO-studie gebruikt werd. Om consistentie te bewaren, werden de kostenbegrippen afgestemd op 'Milieubeleidskosten – Begrippen en berekeningsmethodiek' (LNE, 2007).

belangrijkste (meest kostenefficiënte) reductiepotentieel voor broeikasgassen in rekening brengen.

Gegeven voornoemde onzekerheden en het tijdsbestek van voorliggende studie en de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*', worden er in eerste instantie geen individuele maatregelen voor N₂O en CH₄ in de databank van het MKM opgenomen.

→ *Conclusie*

Het scenario uit de Toekomstverkenning landbouw en milieu dat het dichtste aanleunt bij beslist beleid (MAP3) en de toekomstige economische evolutie wordt als basisscenario in het MKM meegenomen. De evolutie van de veestapel wordt afgestemd op de prognoses van LNE (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid). Ten opzichte van dit basisscenario worden de kosten en effecten op CH₄ en N₂O berekend van een bijkomende afbouw van de veestapel. Deze afbouw van de veestapel wordt als individuele maatregel meegenomen in het MKM en wordt in rekening gebracht in een afweging van de reductie-inspanningen tussen de landbouwsector en de overige sectoren. De eerste resultaten kunnen door het Departement Landbouw & Visserij tegen eind januari 2008 aangeleverd worden.

HOOFDSTUK 6 AFSTEMMING MET ECONOMISCH TRANSPORTMODEL

Tot nu toe richtte het MKM zich op stationaire emissiebronnen binnen de doelgroep industrie en energie (incl. glastuinbouw, intensieve veeteelt, gebouwenverwarming). In dit hoofdstuk wordt nagegaan op welke manier de transportsector als emissiebron kan meegenomen worden in het MKM. Hierbij wordt eerst gekeken naar de methodologische aanpak in enkele techno-economische modellen voor broeikasgassen zoals het analysemodel van het Energieonderzoek Centrum Nederland, RAINS/GAINS, MERLIN en MARKAL/TIMES. Vervolgens worden de mogelijkheden voor afstemming met het economisch transportmodel TREMOVE afgetoetst.

6.1 Transport en techno-economische modellen voor broeikasgassen

6.1.1 Analysemodel Energieonderzoek Centrum Nederland

Wat de beschrijving van het analysemodel van het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) betreft, wordt verwezen naar paragraaf 2.1. Informatie met betrekking tot de methodologische aanpak die gehanteerd wordt voor de transportsector is voornamelijk terug te vinden in Daniëls et al. (maart 2006) en de technische fiches op de website van het ECN.

De opties voor de reductie van broeikasgasemissies door de transportsector worden in het analysemodel van het ECN rechtstreeks gekoppeld aan specifieke beleidsinstrumenten.

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 2.1, heeft deze benadering een aantal gevolgen zoals het feit dat alleen het technisch-economisch potentieel in rekening gebracht wordt waarvoor specifiek beleid bedacht is. Bovendien worden voor heel wat verkeersopties de overheidskosten en de verandering in overheidsinkomsten ingeschat (bv. accijns- en BTW-derving ten gevolge van aanscherping ACEA-convenant¹²), in tegenstelling tot de opties in andere sectoren (met name industrie, landbouw, energie, huishoudens en tertiair). Voor de bepaling van de kosten en de kosteneffectiviteit worden twee benaderingen gevolgd, namelijk nationale kosten en eindgebruikerskosten en wordt uitgegaan van de 'Methodiek Milieukosten' (VROM, 1994 en 1998).

¹² Convenant dat de Europese Commissie met de vereniging van autoconstructeurs (ACEA/KAMA/JAMA) heeft afgesloten om tot een daling van de CO₂-uitstoot van de transportsector te komen. In dat convenant engageert ACEA zich tot een gemiddelde CO₂-uitstoot van nieuwe personenwagens van 140 g/km in 2008 en een verdere reductie tegen 2012 die voorlopig werd vastgelegd op 120 g/km.

Bij de berekening van de (maatschappelijke) kosten van de reductietechnieken voor de transportsector worden naast de technische meerkosten ook welvaartskosten en externe kosten (met uitzondering van de bestudeerde pollutanten) meegenomen. Wat de andere sectoren betreft, zijn voor de meeste opties deze bijkomende effecten niet of minder aan de orde.

In de technische fiches van het ECN worden volgende CO₂-reductietechnieken voor de transportsector beschreven:

- Aanscherping ACEA-convenant: verlenging van het lopende convenant met de automobielrijverheid tot 120 g/km in 2012/2013. De gemiddelde in de EU verkochte auto is in 2020 ongeveer 10% zuiniger dan zonder het verlengde convenant. Het effect op de CO₂-emissies is geringer omdat zuiniger auto's ceteris paribus leiden tot meer autogebruik. Voor de brandstofkostenelasticiteit van het autogebruik is de bandbreedte -0,2 tot -0,4 gehanteerd uit (Schipper et al., 2002).
- Accijns-, MRB- en BPM-cocktail¹³: een combinatie van (1) de invoering van twee accijnstarieven voor diesel wegverkeer; (2) de verhoging van de LPG-accijns, schrappen huidige lage accijnstarief rode diesel; (3) het schrappen van de brandstoftoeslagen in de MRB voor diesel en LPG en van de dieseltoeslag in BPM; (4) het verlagen van de hoofdsom MRB met € 100 en (5) de generieke verlaging BPM met € 4000, en een CO₂-heffing in de BPM van € 100 per ton CO₂. De kosteneffectiviteit (volgens nationale kostenbenadering) van deze optie wordt arbitrair gelijk gesteld aan 0 € per ton CO₂.
- Verlaging van de BPM-dieseltoeslag: de kosteneffectiviteit (volgens nationale kostenbenadering) van deze optie wordt arbitrair gelijk gesteld aan 0 € per ton CO₂.
- Afschaffing van de BPM-dieseltoeslag: de kosteneffectiviteit (volgens nationale kostenbenadering) van deze optie wordt arbitrair gelijk gesteld aan 0 € per ton CO₂.
- Alleen zuinige personenauto's: (1) alle autokopers gaan vanaf 2006 een A- of B-label auto kopen of (2) alle kopers schakelen binnen één grootsegment over naar het meest zuinige alternatief. Het verlies aan nut (i.e. consument 'moet' een andere auto kopen dan gewenst) is kwantitatief niet in te schatten. De kosteneffectiviteit (volgens nationale kostenbenadering) van deze optie wordt arbitrair gelijk gesteld aan 0 € per ton CO₂.
- CO₂-differentiatie BPM: (1) BPM-differentiatie tussen A-auto (zuinigste binnen een autoklasse) en G-auto (onzuinigste binnen een autoklasse) door deze maatregel 2006 bedraagt ongeveer 10 - 15 € per g/km in 2006 of (2) vanaf 01/01/2007 energiepremie van € 1000 voor nieuwe personenauto's met een A-label en € 500 voor auto's met een B-label. Het verlies aan nut (i.e. consument 'moet' auto kopen die ze zonder maatregel niet zouden aanschaffen) wordt niet gewaardeerd. De kosteneffectiviteit van deze optie wordt arbitrair gelijk gesteld aan 0 € per ton CO₂.
- Emissiehandelsysteem brandstoffen: in 2012 wordt in EU-verband een systeem van CO₂-emissiehandel ingevoerd voor brandstoffen voor het wegverkeer. Als doelstelling wordt voor 2020 een absoluut plafond afgesproken voor de CO₂-uitstoot door het wegverkeer dat 25% onder het niveau van 2012 ligt. Het emissiehandelsysteem staat toe dat door oliemaatschappijen CO₂-emissierechten uit landen binnen of buiten de EU kunnen worden ingekocht om het EU-plafond te halen. De kosten als gevolg van verminderde mobiliteit worden niet gewaardeerd. De kosteneffectiviteit wordt gelijk gesteld aan 11 € per ton CO₂ (marktprijs emissierechten).

13 MRB: Nederlandse 'Wet motorrijtuigenbelasting' en BPM: Nederlandse 'Belasting van personenauto's en motorrijwielen'.

- EU convenant CO₂-uitstoot bestelauto's: de lopende convenanten met ACEA, JAMA en KAMA voor personenauto's worden in 2004 verbreed naar bestelauto's. Hierbij wordt voor 2012/2013 een doel voor bestelauto's vastgesteld dat gelijkwaardig is aan het doel van 120 g/km voor de gemiddelde CO₂-uitstoot van nieuwe personenauto's in 2012. Dit komt neer op een reductie van 15% van de gemiddelde CO₂-uitstoot.
- Het Nieuwe Rijden III: richt zich vooral op verdere bekendheid van de zuinige rijstijl en de mate waarin deze rijstijl wordt toegepast. Het potentieel van deze maatregel wordt ingeschat op 0,3 Mton CO₂.
- Kilometerheffing personenauto's, bestelauto's en motorfietsen.
- Snelheidsbegrenzer bestelauto's.
- Snelheidsverlaging op snelwegen.
- Toepassing biobrandstoffen in transportsector.

6.1.2 RAINS/GAINS

In het RAINS/GAINS-model dat toegelicht werd in paragraaf 2.2, wordt voor de transportsector een onderscheid gemaakt tussen de broeikasgassen CO₂, N₂O en HFK's.

In Klaassen et al. (oktober 2005) wordt aangegeven dat GAINS enkel de technische maatregelen voor de reductie van CO₂-emissies van de transportsector bekijkt, namelijk efficiëntieverbetering en brandstofomschakeling.

De technische maatregelen die ingezet kunnen worden om de energie-efficiëntie te verbeteren zijn gegroepeerd in een beperkt aantal technologiepakketten waarvan de kosteneffectiviteit en milieuefficiëntie wordt vergeleken met potentiële maatregelen in andere sectoren. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen 'verbeterde motortechnologie'¹⁴ en 'hybride technologie'¹⁵ met verbeterde motortechnologie'. De kosten die in rekening gebracht worden, zijn: investeringskosten, operationele kosten en onderhoudskosten. Tevens wordt een besparing gerealiseerd door de reductie van het brandstofverbruik. Wat de brandstofsubstitutie betreft, wordt een onderscheid gemaakt tussen biodiesel, vervanging benzine door diesel, gecombineerd aardgas (CNG), ethanol en H₂-brandstofcellen. Er wordt gerekend met brandstofprijzen exclusief taksen. Voor de overschakeling naar CNG en H₂-brandstofcellen wordt eveneens rekening gehouden met bijkomende investeringskosten.

De milieu-impact van brandstofomschakeling wordt bekeken van 'well-to-wheel' (i.e. van productie brandstof tot uitlaat).

In Winiwarter (2005) wordt aangegeven dat de N₂O-emissies van de transportsector kunnen toenemen door aanwezigheid van een katalysator.

Wat de HFK-emissies betreft, wordt in Tokha (2005) een onderscheid gemaakt naar vijf subcategorieën van koeling namelijk huishoudelijk, commercieel, industrieel, transport en stationaire airconditioning. Door de uitfasering van ozonafbrekende stoffen (Protocol van Montreal) worden CFK's en HCFK's vervangen, voornamelijk door de overeenkomstige HFK's. HFK's worden gebruikt in mobiele airconditioning systemen van auto's waarbij emissies

¹⁴ Verbeterde motortechnologie voornamelijk onder impuls van Europa, dat sinds de jaren '90 steeds strengere normen voor uitlaatgassen (euronorm) afvaardigt.

¹⁵ Hybride wagens rijden zuiniger omdat ze overtollig motorgebruik tijdens bijvoorbeeld het remmen omzetten in elektriciteit, die weer kan gebruikt worden.

vrijkomen door lekkage en verliezen tijdens de vervanging van het koelmiddel. Als reductiemaatregelen voor de transportsector worden vermeld: overschakeling van HFK134a naar 'CO₂ onder druk' en 'good practice'-maatregelen tijdens onderhoud en afbraak. Aan deze maatregelen zijn investeringskosten, operationele en onderhoudskosten verbonden.

Andere transportvormen (bv. bussen, treinen, gekoeld transport) waarbij airconditioning voorkomt, worden niet beschreven in Tohka (2005). Er wordt tevens geen rekening gehouden met verliezen van F-gassen tijdens het gebruik van het transportmiddel. Er wordt enkel verondersteld dat de volledige hoeveelheid koelmiddel op het einde van de levensduur nog aanwezig is, mits eventueel bijvullen tijdens de levensduur maar zonder dit verlies als extra emissiebron in rekening te brengen.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van voornoemde maatregelen wordt verwezen naar bijlage B.

6.1.3 MERLIN

Noch in de literatuur, noch op de website van het MERLIN-project zelf is informatie terug te vinden met betrekking tot de inputgegevens van het model of de methodologie die gebruikt wordt voor de transportsector.

6.1.4 MARKAL/TIMES

→ *MARKAL en MKM*

Zoals reeds aangegeven, richtte het MKM zich tot nu toe op de stationaire emissiebronnen binnen de sectoren 'industrie' en 'energie' (incl. glastuinbouw, intensieve veeteelt, gebouwenverwarming).

→ *MARKAL/TIMES België*

De transportmodule van het model laat toe om de technologiekeuzes op lange termijn voor verschillende CO₂-reductiedoelstellingen te berekenen. De grote sterkte is de koppeling met de transformatiesector. Dit betekent dat, indien het model opteert voor meer vervoer op elektriciteit, de vraag naar elektriciteit hoger wordt.

In de transportsector van het MARKAL/TIMES model voor België onderscheiden we de 4 categorieën van transport:

- Weg
- Spoor
- Scheepvaart
- Luchtvaart

Lucht- en scheepvaart zijn geaggregeerd gemodelleerd, met één categorie voor elk. Weg- en spoortransport worden verder ingedeeld in personenvervoer en goederenvervoer en opgesplitst per transportmodus:

Wegtransport

Personenvervoer:	Auto: korte en lange afstand Bus: 'urban' en 'intercity' Motor
Goederenvervoer:	Truck

Spoor transport

Personenvervoer:	'Urban' en 'intercity'
Goederenvervoer	

De vraag wordt in het model uitgedrukt in 'personen km' voor personenvervoer en in 'ton km' voor het goederenvervoer. Op dit moment wordt de bezettingsgraad vast verondersteld (geen maatregelen die inspelen op mobiliteitsvraag bv. modale shift), maar in het model kunnen variabele bezettingsgraden opgenomen worden. Aan elke vraag wordt voldaan door middel van een aantal verschillende technologieën (vraag naar transport per auto kan voldaan worden door bv. dieselwagens, benzinewagens, hybride wagens). Deze technologieën worden gekarakteriseerd door de volgende parameters: investeringskost, operationele kost, brandstoftype, efficiëntie, jaar dat technologie beschikbaar wordt.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de opgenomen technologieën en de overeenkomstige parameters verwijzen we naar Nijs et al. (2006).

6.2 LIMOBEL

LIMOBEL of 'Long-run impacts of policy packages on mobility in Belgium' is een DWTC-project dat een looptijd heeft van vijf jaar en uitgevoerd wordt door het consortium VITO, Federaal Planbureau (FPB) en Universiteit van Bergen (GTM). LIMOBEL heeft als doel om een model te ontwikkelen en te operationaliseren dat het mogelijk maakt om de impact van het vervoerbeleid op de economie, de vraag naar goederen- en personenvervoer, het energieverbruik, de emissies, de filevorming, de ongevallen en het welzijn te analyseren.

De belangrijkste bijdragen van LIMOBEL, die terug te vinden zijn in de 'call for proposal':

- Uitgaande van de structuur van het bestaande PLANET-model van het FPB (cf. <http://www.plan.be>), een model opbouwen voor macro-economische projecties op lange termijn (tot 2030) op sectoraal (i.e. verschillende economische bedrijfstakken) en regionaal (i.e. de drie Belgische gewesten) niveau. Hierbij wordt expliciet aandacht besteed aan de wisselwerking tussen de economie in het algemeen en de transportsector zodat de veronderstelling van een exogene macro-economische ontwikkeling wegvalt. Een andere uitbreiding ten opzichte van PLANET is de invoering van verschillende consumentengroepen zodat het verdelingseffect van beleidsmaatregelen kan worden geanalyseerd. Tenslotte zal het model rekening houden met de Belgische institutionele context met zijn gewesten en federale overheid.
- Een verband leggen tussen het uitgebreide PLANET-model en NODUS (GTM), waardoor een meer realistische modelvorming kan worden uitgewerkt van de algemene vervoerskosten en de impact van infrastructurele maatregelen. Het netwerkmodel zal worden uitgebreid tot het personenvervoer zodat er rekening kan worden gehouden met de wisselwerking tussen het personen- en goederenvervoer.
- Een verband leggen tussen het model dat de milieu-impact berekent (VITO) en de

twee andere modellen. Het milieumodel zal geactualiseerd worden en de parameters zullen aangepast worden zodat het model gebruikt kan worden voor een tijdshorizon tot 2030. Bovendien zal de methodologie uitgebreid worden naar maritiem transport.

De drie modellen zullen gebruikt worden voor de ontwikkeling van een basisscenario en verschillende alternatieve scenario's waarin budgetneutrale beleidspakketten geïntroduceerd worden. Deze pakketten kunnen zowel economische instrumenten omvatten als 'command-and-control' instrumenten en maatregelen met betrekking tot de capaciteit van infrastructuur. Het finale resultaat zal een kosten-baten analyse van deze beleidspakketten zijn.

Het model dat binnen het LIMOBEL-project ontwikkeld wordt, is verschillend van TREMOVE op de volgende punten (communicatie met Mevr. Mayeres (FPB)):

- Wat de economische modellering betreft, is het belangrijkste verschil dat TREMOVE een partieel evenwichtsmodel is voor de transportsector, terwijl in LIMOBEL een algemeen evenwichtsbenadering gevolgd wordt. In LIMOBEL wordt een toegepast algemeen evenwichtsmodel ontwikkeld dat toelaat om de interacties tussen de transportsector en de rest van de economie te analyseren: (i) hoe beïnvloedt de economie de transportvraag en (ii) wat is de impact van transportmaatregelen op de transportsector, op de economie in het algemeen, op de andere sectoren dan de transportsectoren, op de verschillende inkomensgroepen, de verschillende overheidsniveaus, enz. Wat punt (i) betreft, baseert TREMOVE zich op SCENES en werkt TREMOVE dus zelf geen prognoses uit. Punt (ii) wordt in TREMOVE slechts op een rudimentaire wijze bekeken, namelijk via de marginale kost van overheidsfondsen.
- In LIMOBEL wordt het PLANET-model gekoppeld aan het netwerkmodel NODUS zodat niet enkel de impact van algemene maatregelen (zoals een verandering van de transportbelastingen, of emissieregulering) maar ook de impact van lokale infrastructuurmaatregelen kan nagegaan worden.
- In LIMOBEL is er ook een emissiemodule voorzien, gekoppeld aan PLANET en NODUS. De algemene benadering zal waarschijnlijk hetzelfde zijn als in TREMOVE, alhoewel de specifieke uitwerking kan verschillen.

Gegeven de algemeen evenwichtsbenadering van het model dat binnen het LIMOBEL-project ontwikkeld wordt, is eerder een afstemming met GEM –E3 Vlaanderen voor de hand liggend dan met het MKM. Dit wordt eveneens bevestigd in Delhay et al. (2007). Bovendien is het LIMOBEL-project nog maar net opgestart en zal in de komende vijf jaar moeten blijken of het project de vooropgestelde doelstellingen zal realiseren.

6.3 TREMOVE

Aangezien de transportsector nog niet vertegenwoordigd is in het MKM, biedt een economisch transportmodel zoals TREMOVE het voordeel dat de transportmarkt reeds in detail gemodelleerd is.

Aangezien technische maatregelen (bv. efficiëntieverbetering en alternatieve brandstof- of motortechnologieën) vaak niet volstaan om de uitstoot van broeikasgassen te reduceren, zullen ook maatregelen die inspelen op de mobiliteitsvraag (i.e. absoluut + modale shift) en maatregelen die de ritparameters beïnvloeden (bv. rijgedrag en doorstroming) in rekening gebracht moeten worden. Ook als partiële evenwichtsmodel kan TREMOVE van toegevoegde waarde zijn.

Partiële evenwichtseffecten kunnen eveneens meegenomen worden in het MKM door in plaats van een inelastische vraag uit te gaan van een elastische vraag. Deze optie is voorzien in MARKAL maar werd tot nu toe niet gebruikt. Eventueel kan de transportsector gemodelleerd worden in het MKM maar het bestaan van het economisch transportmodel TREMOVE, maakt het bouwen van een 'soft link' of 'hard link' beter geschikt.

In Bogaert et al. (november 2006) wordt bovendien gesteld dat in de grote beschikbaarheid van transportonderzoek relatief weinig studies beschikbaar zijn die elasticiteiten rapporteren. Dit kan grotendeels verklaard worden door de inherente complexiteit van transport: de prijs van transport is een complexe interactie van verschillende kostencomponenten waarop bovendien een grote spreiding zit tussen de verschillende gebruikers. Meer in het algemeen wordt in Bogaert et al. (november 2006) aanbevolen dat verder onderzoek nodig is naar prijselasticiteiten voor alle milieugoederen en tevens voor hun milieuvriendelijke alternatieven.

6.3.1 Algemene beschrijving TREMOVE

TREMOVE is een transport- en emissie-simulatiemodel dat de effecten van mobiliteits- en milieubeleid (bv. prijsbeleid, emissienormen, subsidies voor schonere voertuigen) doorrekent. Het model berekent de vraag naar transport, de modale shifts, het voertuigpark, de beslissingen voor aankoop van een voertuig, de emissies en het welvaartseffect. In wat volgt, wordt een beknopte beschrijving van TREMOVE gegeven op basis van De Ceuster et al. (november 2006). Meer informatie: <http://www.tremove.org>.

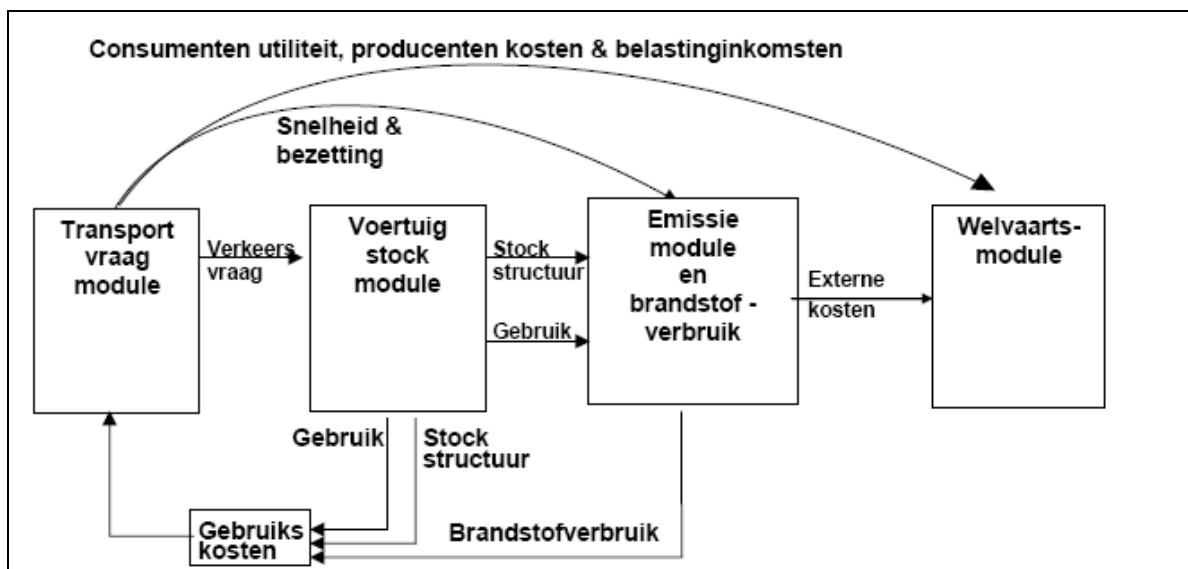
TREMOVE 2.3 omvat zowel personenvervoer als goederenvervoer in 21 Europese landen (EU15, Zwitserland, Noorwegen, Hongarije, Polen, Slovenië, Tsjechië). Naast het Europese model is er ook een Belgische en een Vlaamse versie beschikbaar. TREMOVE kan effecten doorrekenen van beleidsvragen zowel op het geaggregeerde niveau van Europa en alle transportmodi als op een meer gedetailleerd niveau van één land of één transportmodus.

De eerste versie van het TREMOVE-model werd ontwikkeld in 1997-1998 door de KULeuven en Standard & Poor's DRI, en was bedoeld als een analytisch instrument om het Europese Auto-Oil II programma te ondersteunen. Sinds 2002 ontwikkelt Transport & Mobility Leuven het model verder, ondermeer voor de Europese Commissie (DG Environment) in het kader van Clean Air for Europe (CAFE). In 2006-2007 wordt het Europese model uitgebreid naar 31 landen en de tijdshorizon tot 2030. Ook is een verdere ontwikkeling gepland van de transport- en emissie-submodellen.

Daarnaast worden met REMOVE ook scenario's berekend voor de Federale en Vlaamse Overheid waarbij mobiliteit geïntegreerd wordt benaderd met economie en milieu. Zo berekende TMLeuven de uitlaatemissies van wegtransport voor de tijdshorizon 1990-2030 in opdracht van de FOD Mobiliteit en Vervoer en Febiac. Voor de Mobiliteitscel van de Vlaamse overheid werd de haalbaarheid en de wenselijkheid nagegaan van een toekomstscenario benadering voor het onderbouwen van het beleid.

Het model wordt per land en per jaar (1995-2020) opgezet. De numerieke waarden verschillen telkens van land tot land maar de modelstructuur is gelijk voor alle landen. Telkens worden de transportstromen en emissies in drie regio's beschreven: een gebied rond een grote metropool, een aggregaat van alle andere stedelijke omgevingen en de landelijke gebieden. Verplaatsingen in het niet-stedelijke gebied worden verder opgesplitst in korte (< 500 km) en lange (>= 500 km) verplaatsingen. Het model brengt expliciet in rekening dat transportmodi en wegtypes verschillend zijn per gebied.

In volgende figuur wordt de modelstructuur van REMOVE schematisch voorgesteld.



Figuur 14: Modelstructuur REMOVE

BRON: Bogaert et al., november 2006

De '*transport vraag module*' beschrijft de transportstromen en het beslissingsproces van de gebruiker met betrekking tot de keuze van het transportvolume, het vervoermiddel, de periode (i.e. piek of niet-piek) en de regio. REMOVE is een partieel evenwichtsmodel¹⁶ waarbij de transportvraag wordt gestuurd door de prijzen en tijdskosten (i.e. 'out-of-pocket' kosten, heffing of subsidie en tijds winst/verlies) van alle transportmodi.

De '*voertuig stock module*' kijkt naar de evolutie van het voertuigpark (aantal, leeftijd, types) per voertuigtype (bv. kleine benzinevoertuigen, grote vrachtwagens) en transportmodus. Per jaar wordt berekend hoeveel en welke voertuigen verschroot worden en hoeveel nieuwe

¹⁶ Dit houdt in dat de transportmarkt in detail gemodelleerd is en dat veranderingen in de ene transportmarkt een effect hebben op de andere transportmarkt. Een verschuiving tussen transport en niet-transport goederen is mogelijk maar het globale inkomen en productieniveau blijven constant.

voertuigen aangekocht worden. De samenstelling en de leeftijd van de vloot heeft een effect op de gebruikerskost die in rekening gebracht wordt in de 'transport vraag module'.

De '*emissie module en brandstofverbruik*' berekent de emissies en het brandstofverbruik, uitgaande van de structuur van het voertuigpark, het aantal gereden kilometers per voertuigtype en de omstandigheden waaronder gereden wordt. Het brandstofverbruik beïnvloedt de prijs in de 'transport vraag module'. Emissies worden berekend per regio, periode en netwerktype voor volgende polluenten: CO₂, CO, CH₄, NMVOS, NO_x, PM, SO₂, N₂O, C₆H₆, TOFP (of 'tropospheric ozone formation potential').

De '*welvaartsmodule*' berekent het effect op de totale welvaart van een land i.e. (verdisconteerde) consumenten- en producentensurplus (huishoudens en bedrijven), belastingsontvangsten uit de transportsector en externe kosten verontreiniging en klimaatverandering.

6.3.2 Afstemming REMOVE en MKM

Wat de afstemming tussen REMOVE en het MKM betreft, zijn er verschillende mogelijkheden.

Idealiter, wordt met REMOVE een kostencurve opgesteld uitgaande van een beperking op broeikasgassen. Deze resultaten kunnen meegenomen worden in het MKM via een 'soft link', partiële integratie of 'hard link'. Een eerder pragmatische oplossing zou zijn dat uitgaande van (bestaande) simulaties met REMOVE een aantal 'pakketten van maatregelen' met hun kostprijs en reductiepotentieel voor broeikasgasemissies afgeleid worden. Deze maatregelen kunnen dan meegenomen worden in een afweging van reductie-inspanningen tussen de transportsector en de andere sectoren.

→ *Kostencurve CO₂-equivalenten*

Bij de opmaak van de kostencurves moeten op voorhand de meest relevante 'beleidsscenario's' (i.e. hoe groot moeten de stappen van de marginale kostencurve zijn?) voor broeikasgassen geselecteerd worden.

Idealiter, wordt in REMOVE uitgegaan van een stijgende CO₂-heffing zodat een kostencurve voor een bepaald jaar afgeleid kan worden. VITO opteert in dit geval voor een 'soft link' tussen de twee modellen: de resultaten van REMOVE worden aan het MKM aangeleverd via bv. vereenvoudigde kostencurves.

Met behulp van deze kostencurves kan het MKM een reductie van CO₂-equivalenten afwegen tussen de landbouwsector en andere sectoren op basis van maatregelen, primair gericht op de reductie van broeikasgassen.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat geen éénduidige maatregelen kunnen toegekend worden omdat bijvoorbeeld 'modale shifts' continue variabelen zijn. Echter, door TMLLeuven wordt aangegeven dat de vraageffecten veel belangrijker zijn dan de verschuivingen tussen verschillende transportmodi. Er vinden eerder minder verplaatsingen plaats en verschuivingen tussen diesel- en benzinewagens dan dat er, bijvoorbeeld, minder met de auto en meer met de bus gereden wordt.

Een nadeel van deze benadering is wel dat de BAU+-doelstellingen/maatregelen uit (Duerinck et al., 2007) niet meer doorgerekend kunnen worden.

→ *BAU+-doelstellingen*

TREMOVE kan de kostprijs berekenen van de BAU+-doelstellingen. De resultaten worden dan als input gebruikt voor het MKM. Echter, deze optie zal hoogstwaarschijnlijk tot de selectie van andere maatregelen in TREMOVE leiden dan in de BAU+-studie. Enerzijds zijn bepaalde maatregelen uit de BAU+-studie niet opgenomen in TREMOVE zoals bv. wagens op waterstof of brandstofcellen, liefkenshoektunnel voor goederenvervoer per spoor. Anderzijds wordt in de BAU+-studie uitgegaan van andere basisveronderstellingen dan in TREMOVE zoals met betrekking tot bv. hybride wagens. Om de aannames uit Duerinck et al. (2007) zo goed mogelijk te benaderen, moeten heel wat basisgegevens uit TEMAT overgenomen worden.

Door TMLeuven wordt aangegeven dat het vastleggen van (heel wat) randvoorwaarden in TREMOVE niet eenvoudig is en het nut ondergraaft van een modelsimulatie. Dergelijke simulaties zouden enkele maanden in beslag nemen.

Een andere optie is dat met TREMOVE de vraag naar transport berekend wordt voor de verschillende transportmodi uitgaande van de BAU+-doelstellingen. Deze vraag kan, bijvoorbeeld, opgenomen worden in de transportmodule van MARKAL/TIMES. Belangrijk nadeel van deze optie is dat twee verschillende 'transportmodellen' door elkaar gebruikt worden (consistentie?).

→ *Bestaande TREMOVE-simulaties*

Een andere optie is om gebruik te maken van bestaande TREMOVE-simulaties of scenarioberekeningen (bv. Europese, Belgische). Op die manier kan de hoeveelheid werk beperkt worden (maximaal 10 mandagen) en kan er toch een (suboptimale) afweging plaatsvinden tussen de transportsector en de andere sectoren.

Door TREMOVE wordt de meest kosteneffectieve combinatie van transportmaatregelen gekozen als reactie op het vooropgestelde beleid (bv. verhoging verkeersbelasting, brandstofprijzen of transportkosten, verstrenging emissienormen). De (welvaarts)kost en het rendement van deze 'pakketten van maatregelen' worden als input gebruikt voor het MKM.

Bij voorkeur worden de resultaten opgesplitst naar de verschillende transportmodi (i.e. weg, spoor, binnenvaart, zeevaart, luchtvaart (LTO)), zodat een vergelijking met de resultaten van bv. BAU- en BAU+-studie of de Emissie-Inventaris Lucht van de VMM mogelijk is.

Een nadeel van deze optie is dat de BAU+-maatregelen/doelstellingen niet in rekening kunnen gebracht worden. Aangezien geen nieuwe berekeningen uitgevoerd worden, is het niet mogelijk om de parameters van TREMOVE en MKM op elkaar af te stemmen (bv. energieprijzen, groei, discontovoet).

Indien de focus van de scenarioberekeningen niet klimaatbeleid maar bv. mobiliteits- of luchtbeleid is, is de reductie van broeikasgasemissies een neveneffect en geen primair

effect. Bijgevolg kan de vraag gesteld worden of de (welvaarts)kosten van deze simulaties niet heel hoog zullen zijn, indien ze enkel en alleen gerelateerd worden aan de reductie van CO₂ (-equivalenten). Eventueel kunnen de externe kosten (baten) meegenomen worden in de berekening van de (welvaarts)kosten. Echter, gegeven de conclusie met betrekking tot de landbouwsector, worden ook voor de transportsector geen milieugerelateerde externe kosten (baten) in rekening gebracht. De externe kosten (baten) van (vermeden) congestie worden wel in rekening gebracht (cf. consumenten- en producentensurplus).

→ *Conclusie*

In samenspraak met de opdrachtgever wordt voor de meest pragmatische optie gekozen: de (welvaarts)kost en het rendement van bestaande TREMOVE-simulaties worden als input gebruikt voor het MKM.

De opdrachtgever geeft de voorkeur aan de scenario's die berekend werden in opdracht van de Europese Commissie:

- A25: brengt de impact van nieuwe voertuignormen in rekening (euronorm 5 en 6)
- C1: brengt de impact van een verhoging van de brandstoftaks in rekening
- D21: 130 g per km CO₂
- D23: 120 g per km CO₂
- E1: belasting op infrastructuur voor vrachtwagens

Daarnaast zijn de vier scenario's voor ASSESS (i.e. evaluatie witboek transport) (i.e. niets doen, partiële, volledige en verregaande implementatie) zeer interessant aangezien het Federaal Planbureau deze scenario's ook gebruikt¹⁷. Ook de drie scenario's uit de studie voor FOD Mobiliteit en Vervoer (i.e. verhoging brandstofprijzen, verhoging transportkosten en verhoging verkeersbelasting) bevatten nuttige informatie.

Indien gebruik gemaakt wordt van bestaande TREMOVE-simulaties moet rekening gehouden worden met volgende bemerkingen:

- (a) Aangezien geen nieuwe berekeningen uitgevoerd worden, is het niet mogelijk om de parameters van TREMOVE en MKM op elkaar af te stemmen (bv. energieprijzen, groei, discontovoet). Ook de BAU+-maatregelen/doelstellingen kunnen niet in rekening gebracht worden.
- (b) Voornoemde scenarioberekeningen hebben betrekking op België in plaats van Vlaanderen. Echter, de samenstelling van het wagenpark in Vlaanderen is relatief gezien verschillend van het Belgisch wagenpark bv. het aandeel van grote en kleine wagens in het totale wagenpark is verschillend. Dit is voornamelijk een probleem voor simulaties die betrekking hebben op de korte termijn en is minder relevant voor simulaties tot 2020 (verschil vlakt zich dan uit). Een 'second best' oplossing zou zijn om de resultaten om te rekenen a rato het aantal voertuigkilometers (x 0,6 geeft volgens TMLLeuven een goede benadering).
- (c) De scenarioberekeningen voor FOD Mobiliteit en Vervoer hebben een tijdshorizon tot

¹⁷ Aangezien geen kostprijsgegevens voor deze scenarioberekeningen beschikbaar zijn, worden ze niet opgenomen in het MKM.

2030, terwijl de simulaties voor de Europese Commissie tot 2020 gaan. Voordeel hierbij is dat de H₂-auto's niet opnieuw in TREMOVE moeten ingebracht worden. Echter, TREMOVE is een 'perfect foresight'-model (i.e. resultaat simulaties tussenliggende jaren is functie van het opgelegde eindpunt) zodat de vraag kan gesteld worden of beide scenarioberekeningen wel zomaar ten opzichte van elkaar mogen afgewogen worden.

- (d) Om berekeningen uit te kunnen voeren met het MKM is informatie met betrekking tot het baseline-scenario nodig en dit voor het vijfjaarlijkse interval 2010 - 2015 - 2020 - 2025 - 2030. Echter, de scenarioberekeningen voor de Europese Commissie en FOD Mobiliteit en Vervoer zijn uitgevoerd met verschillende TREMOVE-versies en gaan uit van verschillende baseline-scenario's. Door TMLeuven wordt aangegeven dat de verschillen in baseline tussen de EC- en FOD-simulaties enkel te wijten zijn aan een actualisatie van gegevens. De baseline zou in een vergelijking tussen scenario's niet relevant zijn, indien wordt uitgegaan van dezelfde referentie maar dat is niet het geval. Als de verschillen tussen de baseline-scenario's beperkt zijn, kan een gemiddelde baseline gedefinieerd worden die voor alle simulaties kan gelden (i.e. een baseline waarvan verondersteld kan worden dat de resultaten van de simulaties niet significant wijzigen). Eventueel kan het BAU(+)-scenario als uitgangspunt genomen worden maar dan moeten de emissiereducties als percentages aangeleverd worden. Tevens moet opgemerkt worden dat het BAU(+)-scenario al zeker al afwijkt van de baseline van TREMOVE voor wat de implementatie van hybride voertuigen betreft. De vraag kan dan gesteld worden in welke mate het verschil in assumpties de reductie van emissies (%) en bijkomende kosten beïnvloedt. Idealiter, wordt in het gemiddelde 'baseline'-scenario het beslist beleid met betrekking tot euro 5 en 6 meegenomen.

In het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*' wordt naar een oplossing of pragmatische aanpak gezocht voor voornoemde bemerkingen. Dit gebeurt in samenspraak met de opdrachtgever en TMLeuven.

HOOFDSTUK 7 ONTWIKKELING METHODOLOGIE

De uitbreiding van het MKM met broeikasgassen heeft als doel om na te gaan hoe vooropgestelde klimaatdoelstellingen tegen de laagste kosten (i.e. op een kostenefficiënte manier) kunnen gerealiseerd worden. Hierbij wordt niet alleen de optimale oplossing berekend maar kunnen eveneens bijkomende beperkingen in rekening gebracht worden (bv. bepaalde sectoren worden vrijgesteld van reductie). Tevens kan de impact van de keuze van exogene variabelen (bv. energieprijzen, economische groei, discountvoet) op de resultaten worden nagegaan. Hierbij kan, bijvoorbeeld, afgestemd worden met de modelparameters in het GAINS-model of de nieuwe PRIMES-energieprijzen.

Naast optimalisatie kunnen met het MKM ook de gerelateerde kosten berekend worden, i.e. simulatie, van vooraf bepaalde scenario's (i.e. pakketten van maatregelen en beleidsinstrumenten) zoals bijvoorbeeld de BAU+-energiescenario's uit Duerinck et al. (2007).

Opdat het MKM zou kunnen optimaliseren en simuleren voor broeikasgassen moet de huidige databank niet alleen uitgebreid worden met emissies en reductietechnieken voor broeikasgassen maar moeten er ook een aantal methodologische afwegingen en keuzes gemaakt worden. De praktische uitbreiding van de databank maakt deel uit van de studie *'Berekenen van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'*. De methodologische afwegingen en keuzes zijn onderwerp van voorliggende studie en worden nader toegelicht in dit hoofdstuk.

7.1 Milieubeleidskosten en milieubaten

7.1.1 Milieubeleidskosten

Voor de typologie en berekeningsmethode van milieubeleidskosten wordt uitgegaan van *'Milieubeleidskosten – Begrippen en berekeningsmethodes'* (LNE, 2007). De benadering die tot nu toe in het MKM Lucht gevolgd werd, gaat uit van de directe milieukosten voor de doelgroepen. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen investeringskosten en operationele kosten excl. belastingen en subsidies. Welvaartsverlies, indirecte milieukosten, externe milieukosten en -baten worden niet in rekening gebracht. Deze benadering kan verdedigd worden zolang de berekeningen betrekking hebben op de korte termijn (10 jaar) en de focus enkel uitgaat naar technische maatregelen. De benadering die tot nu toe gevolgd werd, wordt bevestigd in de literatuur met betrekking tot het RAINS/GAINS-model.

Bij de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen houden voornoemde veronderstellingen niet langer stand. Indien relevant, wordt in de directe kosten voor de doelgroepen tevens het welvaartsverlies in rekening gebracht omwille van prijs- en hoeveelheidsaanpassingen in de rechtstreeks betrokken sector. Voor industrie en energie wordt het welvaartsverlies in rekening gebracht via elasticiteiten (cf. infra). Wat de landbouw- en transportsector betreft, wordt het partieel evenwichtseffect meegenomen in respectievelijk de scenarioberekeningen met SELES en TREMOVE. Omwille van een gebrek aan informatie worden indirecte kosten (afgeleide markten) niet in rekening gebracht, noch in het MKM Lucht, noch bij de uitbreiding met broeikasgassen. In het analysemodel van het ECN en in MARKAL/TIMES België wordt (indien relevant) het welvaartsverlies voor de doelgroepen in rekening gebracht.

Het neveneffect op de pollutanten waarvoor niet geoptimaliseerd of gesimuleerd wordt, wordt niet gemonitariseerd maar enkel als fysische eenheden in rekening gebracht. Externe milieukosten of het negatief effect op bv. conventionele luchtpolluenten of kwaliteit van het oppervlaktewater, worden met het MKM niet in rekening gebracht bij optimalisatie of simulatie van broeikasgassen. De niet-milieugerelateerde effecten voor transport, zoals bv. toename congestie, worden wel gemonitariseerd en meegenomen in de optimalisatie en simulatie met het MKM Lucht&Klimaat. Dit stemt overeen met de benadering die gevolgd wordt in het analysemodel van het ECN. In MARKAL/TIMES België en in RAINS/GAINS worden externe kosten of baten niet gemonitariseerd.

In MARKAL/Answer of TIMES kan het effect van maatregelen met negatieve kosten worden meegenomen in het basis- of referentiescenario. Met het MKM kan ervoor geopteerd worden om deze kosten wel of niet in mindering te brengen van de totale kosten die resulteren uit de optimalisatie- of simulatieoefening. Bijgevolg kan zowel aangesloten worden op de methodologie die in het analysemodel van het ECN (i.e. maatregelen met negatieve kosten(effectiviteit) worden in rekening gebracht) en door RAINS/GAINS gevolgd wordt (i.e. maatregelen met negatieve kosten worden verondersteld deel uit te maken van het basis (energie) scenario).

7.1.2 Milieubaten

Wat de milieubaten betreft, wordt het (positief) neveneffect op de pollutanten waarvoor niet geoptimaliseerd of gesimuleerd wordt niet gemonitariseerd maar enkel als fysische eenheden in rekening gebracht.

Externe milieubaten of het (positief) effect op bv. conventionele luchtpolluenten of kwaliteit op het oppervlaktewater, worden met het MKM niet in rekening gebracht bij optimalisatie of simulatie uitgaande van broeikasgassen. De niet-milieugerelateerde baten voor transport, zoals bv. tijdsinst, worden wel gemonitariseerd en meegenomen in de optimalisatie en simulatie met het MKM Lucht&Klimaat. Deze benadering stemt overeen met deze die gevolgd wordt in het analysemodel van het ECN. In MARKAL/TIMES België en in RAINS/GAINS worden externe kosten of baten niet gemonitariseerd.

7.2 Aggregatieniveau

In de databank van het MKM Lucht is informatie opgenomen met betrekking tot emissiebronnen (bv. vermogen, brandstofverbruik, concentratie, volumestroom) en mogelijke reductiemaatregelen (bv. rendement, investerings- en operationele kosten). Voor de bedrijven uit de Emissie-inventaris Lucht (EIL)¹⁸ van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) die een emissiejaarverslag moeten indienen of die bijkomend in de Vlaamse Sectorstudies Lucht werden behandeld, is deze informatie beschikbaar op niveau van de individuele emissiebron. Wat de overige emissiebronnen betreft, heeft de informatie betrekking op het geaggregeerde niveau van een subsector of sector, afhankelijk van het niveau van detail van de beschikbare informatiebron of de relevantie van de emissiebron in de totale milieuproblematiek.

Voor de uitbreiding met broeikasgassen wordt uitgegaan van de databank van het MKM Lucht. Deze uitbreiding impliceert dat het bestaande niveau waarop emissiebronnen en reductiemaatregelen beschreven worden, moet geaggregeerd worden. Zoals reeds aangegeven in paragraaf 2.4, moet bij de keuze van het aggregatieniveau een gezond evenwicht gezocht worden tussen het technische detailniveau (idealiter, individuele emissiebron) en de beschikbaarheid van informatie. Daarnaast moet ook rekening gehouden worden met de tijdshorizon waarvoor berekeningen worden uitgevoerd en het formaat dat gebruikt wordt in het kader van rapportering van emissies en prognoses (bv. CRF ~ broeikasgassen, NFR ~ conventionele luchtpolluenten).

Idealiter, wordt voor simulatie/optimalisatie op de korte termijn het meest gedetailleerde niveau behouden dat op dit moment beschikbaar is in het MKM: → Bedrijf → Installatie → Apparaat → Brandstof/Grondstof. In volgende figuren worden de verschillende niveaus geïllustreerd voor het bedrijf AMYLUM.

¹⁸ De Emissie-Inventaris Lucht geeft een overzicht van de emissies van de meeste luchtverontreinigende stoffen door de industrie, de gebouwenverwarming, het verkeer en de land- en tuinbouw. Alle emissies van industriële en niet-industriële bronnen in Vlaanderen worden verzameld en in detail opgeslagen in een centraal databank bij de Vlaamse Milieumaatschappij. Voor de industrie komen de cijfers uit de geïntegreerde milieujaarverslagen (IMJV's). De drempelwaarden waarboven een individuele melding van de emissies via een IMJV verplicht is, zijn zodanig gekozen dat hiermee 90% van de totale emissie geïnventariseerd wordt. De emissies van de overige (niet-individueel) geregistreerde bedrijven, die onder deze drempelwaarden vallen en bijgevolg niet rapporteringsplichtig zijn, worden 'collectief' bijgeschat. Voor de opmaak van de emissie-inventaris wordt zoveel mogelijk gesteund op meetresultaten. Wanneer echter geen meetgegevens beschikbaar zijn, wordt gebruik gemaakt van massabalansen of emissiefactoren. De CO₂-emissies uit de Energiebalans Vlaanderen en deze uit de Emissie-Inventaris Lucht worden zoveel mogelijk op mekaar afgestemd. De methodologie en de emissiefactoren van ondermeer de IPCC-richtlijnen worden gebruikt. Deze richtlijnen geven echter geen emissiefactoren op van een beperkt aantal specifieke producten. In zulke gevallen wordt een emissiefactor berekend op basis van de koolstofinhoud en de verbrandingswaarde van deze producten. Voor raffinaderijen worden de CO₂-emissies overgenomen die rechtstreeks door de bedrijven aan de Belgische Petroleum Federatie gemeld worden.

Bedrijf

Bedrijfsnummer: 192 CSB index: 500 XY-coördinaten: 12718001
 Bedrijf: AMYLUM NACE-code: 1562
 Sectorcode poll: VO # Werknemers: 638

Subformulier Stof

Stofnummer: 890 S gehalte:
 Bedrijfsnummer: 192 As gehalte: 0
 Stofgroepnummer: 30 HW: 37.81
 Stofgroep: AARDGAS Eenheid HV: MJ/Nm³
 Omschrijving: aardgas CO2 gehalte: 56.1 kg/GJ
 Stofsoort:
 Limiet op stofgroep:

Formulier vervangbrandstof Formulier installaties

Figuur 15: Voorbeeld niveau 'bedrijf'

BRON: MKM Lucht, VITO

Installaties

Jaartal weergegeven data: 2000

Install.nr.: 794 P-eenheid:
 Bedrijfsnr.: 192 Install.nr.VMM: 2
 Installatie: TARWEGLUTENFABRICAGE Lambert co. X: 0
 INS code: 2044 Lambert co. Y: 0
 # installaties: 1 Datum ingebruikname:
 P geïnstall.: 0 Reductie Inst. Emissiegrw. Scenario
 P reëel: 0

Subformulier Apparaten

Install.nr.: 794 Apparaat: BRANDERS DROGERS ROSIN IEN II D5
 Apparaatnr.: 1711 Rendement: Toepasbh. %
 Stofnr.: 890 Limiet capac.: Reële capac.: 460.6
 Datum ingebruikname: Eenheid cap.: m³/h
 Stof: aardgas TvV apparaat:
 Eenheid stofverbruik: km³ Investering: k€
 Functie stof: BRANDSTOF Operationeel: k€
 SNAP code: 40605 Econ.levensduur:
 # app.: 2
 App.nr.VMM: 2.1

Formulier reductie

Subformulier Activiteit

Stof verbruik: 3442 Formulier emissies

Figuur 16: Voorbeeld niveau 'installatie', 'apparaat', 'brandstof'

The screenshot shows a software window titled "Installaties" with a date field set to "2000". It contains several input fields and buttons. The main section includes fields for "Install.nr.", "Bedrijfsnr.", "Installatie" (DROGEN ZETMELEN), "INS code", "# installaties", "P geïnstall.", and "P reëel". There are also fields for "P-eenheid", "Install.nr.VMM", "Lambert co. X", "Lambert co. Y", and "Datum ingebruikname". Buttons for "Reductie Inst.", "Emissiegw.", and "Scenario" are present, along with navigation arrows.

The "Subformulier Apparaten" section includes fields for "Apparaat" (1STE DROGER ZETMEEL D9 FLASH I), "Rendement", "Toepasbh.", "Limiet capac.", "Reële capac.", "Eenheid cap.", "Stof" (UREN FLASH I+III), "Eenheid stofverbruik", "Tvv apparaat", "Functie stof" (GRONDSTOF), "Investering", "Operationeel", "Econ.levensduur", "# app.", and "App.nr.VMM". Buttons for navigation and "Formulier reductie" are also shown.

The "Subformulier Activiteit" section includes a field for "Stof verbruik" (7396) and a button for "Formulier emissies".

Figuur 17: Voorbeeld niveau 'installatie', 'apparaat', 'grondstof'

Voor berekeningen binnen een beperkte tijdshorizon kan de vraag (of activiteitsniveau) exogeen blijven. Voor de optimalisaties die tot nu toe zijn uitgevoerd met het MKM was de tijdshorizon voldoende kort (10 jaar) om deze veronderstelling te kunnen verdedigen.

De optimalisatie/simulaties die voor broeikasgassen zullen uitgevoerd worden, zullen betrekking hebben op een langere tijdshorizon (> 20 jaar). Indien de berekeningen op de langere termijn betrekking hebben, kan het gedetailleerde niveau niet aangehouden worden door bv. een gebrek aan betrouwbare gegevens. De gedetailleerde informatie moet vertaald worden naar het niveau van een subsector, een sector of het Vlaamse Gewest. De assumptie van een inelastische vraag wordt op de lange termijn losgelaten en de vraag wordt elastisch verondersteld (partieel evenwicht). Dit heeft ook zijn weerslag op de keuze van het aggregatieniveau: (betrouwbare) informatie met betrekking tot (prijs)elasticiteiten is schaars, zeker voor het gedetailleerde niveau van een installatie of bedrijf.

De vraag naar aggregatie stelt zich voor de (industriële) bronnen van energiegerelateerde CO₂-, CH₄- en N₂O-emissies.

Informatie met betrekking tot de referentiesituatie (geïmplementeerde en geplande maatregelen) en het energiebesparingspotentieel is schaars zodat er een gezond evenwicht moet gezocht worden tussen het technische detailniveau en de beschikbaarheid van informatie. De installaties waarvoor voldoende informatie beschikbaar is, blijven op een gedetailleerd niveau in de databank opgenomen. De overige installaties worden geaggregeerd zodat een set van (generieke) maatregelen gedefinieerd kan worden.

De aggregatie van installaties heeft ook een aantal modeltechnische implicaties en trade-offs tot gevolg ten opzichte van de modelversie die tot nu toe gebruikt werd (i.e. MKM Lucht).

7.2.1 Softwarematige aanpassingen

Aangezien in het kader van de vervolgstudie '*Berekenen van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*' een inschatting moet gegeven worden van het neveneffect van klimaatmaatregelen op luchtverontreinigende stoffen en geen gezamenlijke optimalisatie van broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen moet uitgevoerd worden, heeft de aggregatie van de informatie uit het MKM Lucht in eerste instantie enkel betrekking op de beschrijving van de emissiebron. Maatregelen voor broeikasgassen worden opgenomen in de databank op dit geaggregeerde niveau.

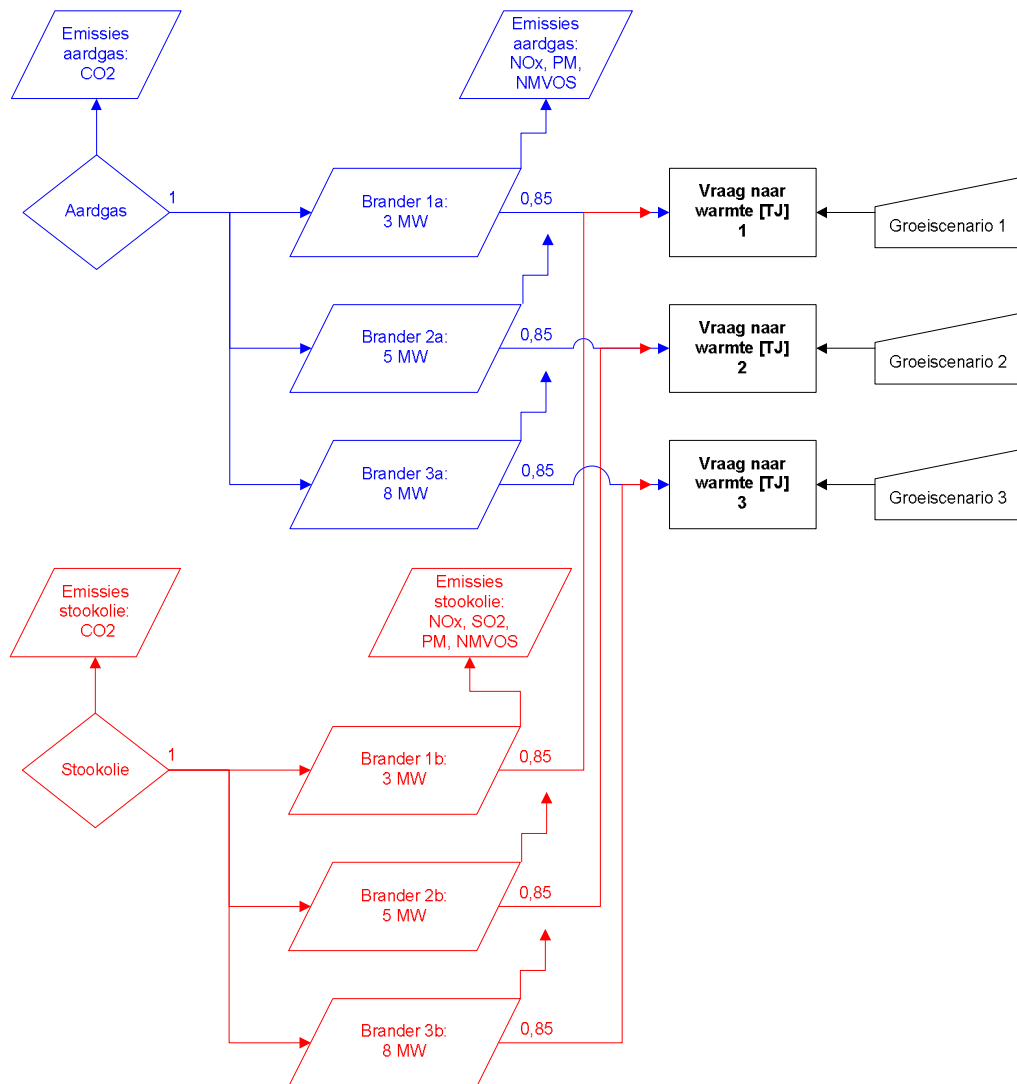
In de toekomst moet het MKM ook gezamenlijke optimalisatieoefeningen, i.e. voor broeikasgassen én conventionele polluenten, kunnen uitvoeren. Hiervoor moet in een tweede fase ook de reductietechnieken voor conventionele polluenten uit het MKM Lucht geaggregeerd worden en moet ook het neveneffect van deze technieken op broeikasgassen ingeschat worden. Uitzondering is de reductietechniek 'brandstofomschakeling' waarvoor reeds in de databank van het MKM Lucht het effect op CO₂ wordt ingeschat (via CO₂-emissiefactor brandstoffen). Bij de aggregatie van de industriële (energiegerelateerde) emissiebronnen wordt weliswaar rekening gehouden met de reductietechnieken voor conventionele polluenten.

Aan de hand van volgende voorbeelden wordt geïllustreerd hoe de aggregatie van de energiegerelateerde emissiebronnen en reductietechnieken doorgevoerd wordt.

→ *3 installaties met branders op aardgas en stookolie*

Er wordt uitgegaan van volgende situatie in het MKM:

- 3 installaties met elk 2 branders, waarvan 1 op aardgas en 1 op stookolie. Beide branders zijn even groot binnen de installatie. Het thermisch rendement van de branders is 85% (dus voor elke eenheid brandstof in, 0,85 eenheid warmte uit (1 op 0,85)).
- De emissies van lokale luchtpolluenten zijn gekoppeld aan de apparaten (branders), terwijl de verbrandingsgerelateerde emissies van CO₂ en CH₄ (en in beperkte mate N₂O) aan de brandstoffen gekoppeld zijn.
- De vraag naar warmte is per installatie gedefinieerd, dus warmte kan geleverd worden door zowel aardgas als stookolie. Per vraag is daarnaast een groeiscenario gedefinieerd.

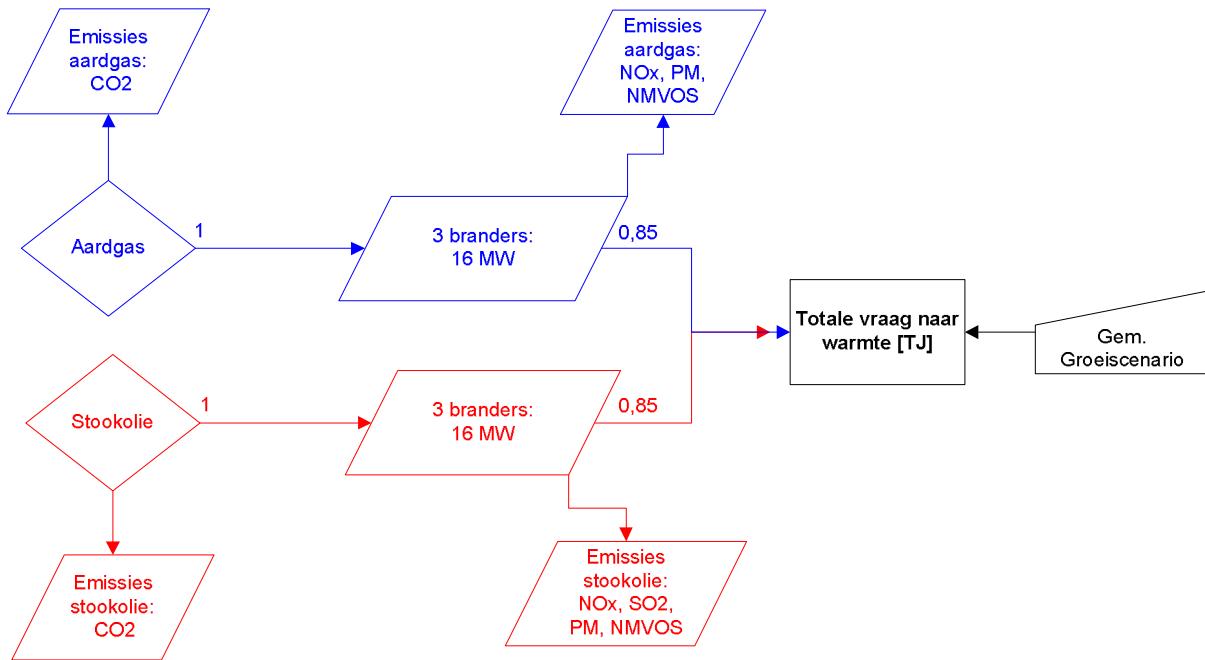


Figuur 18: Schematische weergave MKM vóór aggregatie, 3 installaties met een vraag naar warmte die kan ingevuld worden door branders op aardgas, ofwel branders op stookolie.

BRON: VITO

De aggregatie van bovenstaande uitgangssituatie in het MKM gebeurt als volgt:

- Per sector
- Per vermogensklasse op installatieniveau
 - o $0 < 5$ MW
 - o $5 < 20$ MW
 - o $20 < 50$ MW
 - o 50 MW
- Per brandstoftype
- Groei-scenario moet \pm gelijk zijn
- Thermisch rendement van de branders moet \pm gelijk zijn



Figuur 19: Schematische weergave MKM ná aggregatie, i.e. de 3 branders op aardgas en de 3 branders op stookolie zijn geaggregeerd opgenomen. De totale emissies worden aan de overeenkomstige branders toegekend. De totale vraag naar warmte, waaraan een uitgemiddeld groeiscenario wordt gekoppeld stuurt het model.

BRON: VITO

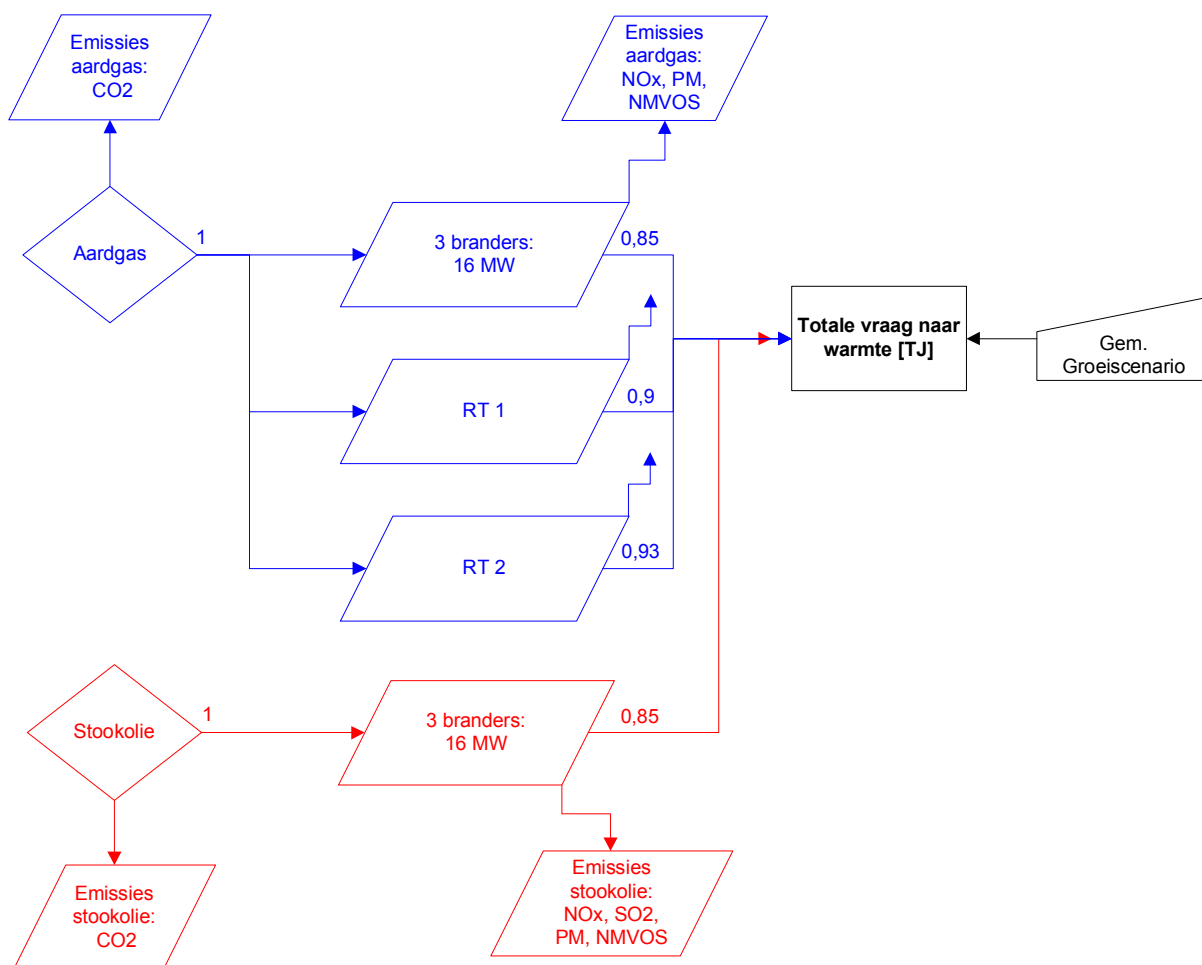
In het geaggregeerde model worden de 3 branders op aardgas en de 3 branders op stookolie geaggregeerd. De totale vraag naar warmte wordt bepaald en het groeiscenario wordt uitgemiddeld. De totale emissies worden per geaggregeerde groep van branders opgenomen.

De aggregatie wordt automatisch vanuit de gedetailleerde databank van het MKM aangemaakt zodat bij actualisatie op het gedetailleerde niveau, de wijzigingen ook kunnen meegenomen worden naar de geaggregeerde niveaus. Zeker indien voor actualisatie gebruik kan gemaakt worden van de elektronische databank van de Vlaamse Milieumaatschappij¹⁹. In deze databank, die op dit moment nog niet operationeel is, wordt de informatie verwerkt die jaarlijks door de bedrijven via de (elektronische) integrale milieujarverslagen (IMJV's) aangeleverd wordt.

¹⁹ Vanaf 2006 moeten bedrijven hun milieujarverslag elektronisch indienen via intelligente formulieren of via een papieren versie van deze formulieren. In opdracht van de VMM zorgt Dolmen voor de aanpassing en vernieuwing van de 'Emissie-Inventaris Lucht'-databank zodat de gegevens die binnenkomen via de integrale milieujarverslagen automatisch kunnen opgenomen worden. Deze databank kan met behulp van xml-files geëxporteerd of geïmporteerd worden in Access. Indien de structuur van de Access-databank kan omgevormd worden tot een bruikbare structuur voor het MKM, kan de databank van het MKM periodiek geactualiseerd worden met de gegevens uit de IMJV.

→ *Installaties met branders op aardgas en stookolie en maatregelen voor broeikasgassen*

In bovenstaand voorbeeld worden de oorspronkelijke apparaten geaggregeerd. De maatregelen voor broeikasgassen worden aan de geaggregeerde databank toegekend. Deze technieken kunnen dus niet vertaald worden naar de individuele installaties in de gedetailleerde databank. In het kader van de klimaatstudie *'Berekenen van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'* wordt deze uitbreiding met technieken voltooid.



Figuur 20: Schematische weergave MKM ná aggregatie inclusief 2 reductietechnieken voor de geaggregeerde aardgasbranders.

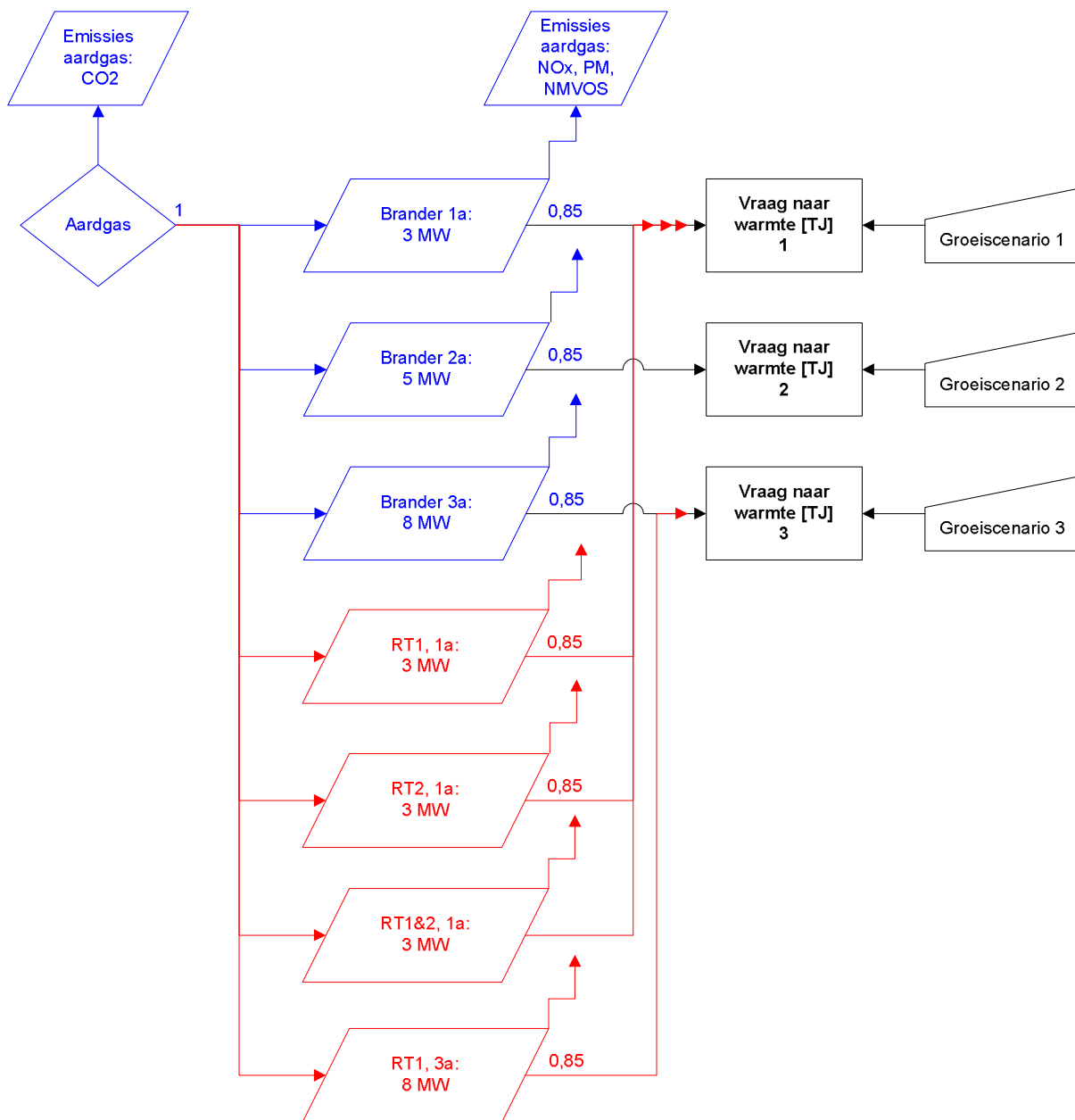
BRON: VITO

In bovenstaande figuur zijn 2 maatregelen toegekend aan de geaggregeerde groep branders op aardgas:

- De 3 branders op aardgas vertegenwoordigen samen 16 MW en hebben een thermisch rendement van 85%.

- Reductietechniek 1 (RT 1) vertegenwoordigt een brander op aardgas met een verbeterd thermisch rendement van 90%. Reductietechniek 2 (RT 2) heeft een nog beter thermisch rendement van 93%.
Voor elke maatregel worden de volgende gegevens voorzien:
 - o Investeringskost per opgegeven capaciteit
 - o Operationele kost per opgegeven capaciteit per jaar
 - o Economische levensduur in jaren
 - o Capaciteit en eenheid (meestal MW bij stookinstallaties)
 - o Energiebesparing en eenheid (% of GJ)
 - o Implementatiegraad in %: % van de activiteit van de originele branders waarop de maatregel reeds geïmplementeerd is
 - o Toepasbaarheid in %: totale % van de activiteit van de originele branders waarop de maatregel kan geïmplementeerd worden, dus inclusief de implementatiegraad.
- Indien met de techniek naast de energiebesparing (i.e. door het verbeterde thermisch rendement) een bijkomende reductie van de conventionele pollutanten kan gerealiseerd worden, kan dit eveneens ingegeven worden.
- De emissies van lokale luchtpolluenten zijn gekoppeld aan de apparaten en reductietechnieken (branders), terwijl de verbrandingsgerelateerde emissies van CO₂ en CH₄ aan de brandstof gekoppeld zijn.

→ *Installaties met branders op aardgas en stookolie en maatregelen voor lokale pollutanten*



Figuur 21: Schematische weergave MKM vóór aggregatie, 3 installaties met een vraag naar warmte die kan ingevuld worden door branders op aardgas, of reductietechnieken.

BRON: VITO

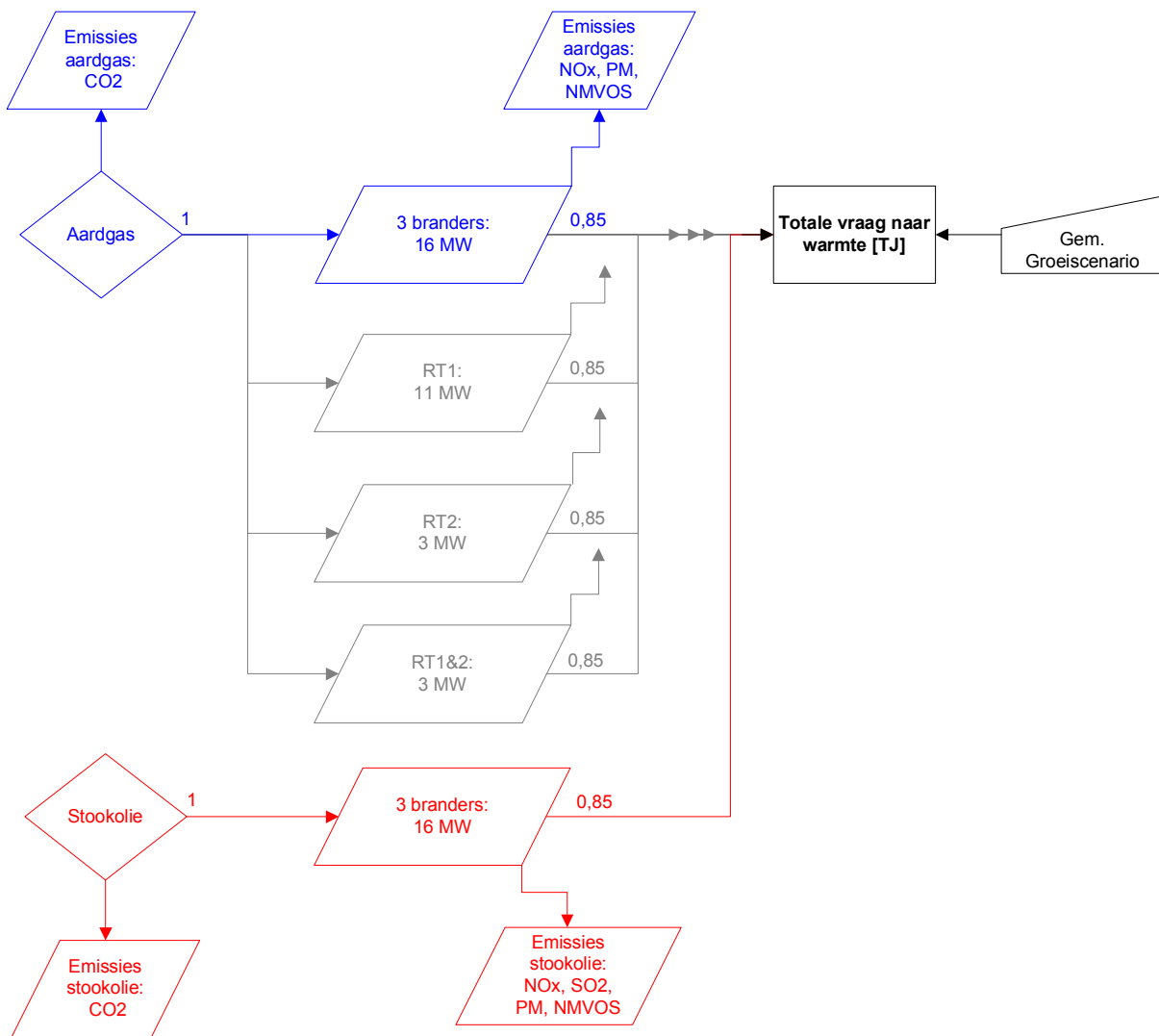
Bovenstaand schema geeft de situatie weer van het gedetailleerde MKM met 3 installaties die elk 1 brander op aardgas hebben. Om de leesbaarheid van Figuur 21 te verhogen werden de branders op stookolie, zoals weergegeven in Figuur 18, weggelaten.

In het voorbeeld heeft brander 1a drie verschillende potentiële reductietechnieken, namelijk RT1, RT2 en de gecombineerde RT1&2. Brander 2a heeft geen mogelijkheid tot reduceren.

Brander 3a heeft één potentiële reductietechniek, nl. RT1, die eenzelfde reductietechniek voorstelt als RT1 op brander 1a (vb. Low NO_x-branders op brander 1a en 3a).

De emissies van de conventionele pollutanten die vrijkomen bij de reductietechnieken zijn lager dan de emissies van de bestaande (originele) apparaten. De verbrandingsgerelateerde emissies van CO₂ en CH₄ wijzigen niet door implementatie van de reductietechnieken voor conventionele pollutanten, aangezien het thermisch rendement gelijk blijft aan dat van het bestaande apparaat.

In het geaggregeerde MKM ziet de structuur van bovenstaand voorbeeld er als volgt uit:



Figuur 22: Schematische weergave MKM ná aggregatie, inclusief 3 reductietechnieken voor conventionele pollutanten voor de geaggregeerde aardgasbranders. De geaggregeerde stookoliebranders worden in dit schema wel weergegeven.

BRON: VITO

In bovenstaande Figuur 22 werden de reductietechnieken uit Figuur 21 geaggregeerd opgenomen:

- De 3 branders op aardgas vertegenwoordigen samen 16 MW en hebben een thermisch rendement van 85%.
- RT1 is een aggregatie van de reductietechniek RT1 op brander 1a en 3a. RT2 is de reductietechniek die enkel op brander 1a voorkomt. RT1&2 is de combinatie van RT1 en 2 die enkel op brander 1a voorkomt.
- Voor elke reductietechniek, dus ook voor de gecombineerde technieken, worden de volgende gegevens voorzien:
 - o Investeringskost per opgegeven capaciteit.
 - o Operationele kost per opgegeven capaciteit per jaar.
 - o Economische levensduur in jaren.
 - o Capaciteit en eenheid (meestal MW bij stookinstallaties).
 - o Implementatiegraad in %: % van de activiteit van de originele branders waarop de reductietechniek reeds geïmplementeerd is.
 - o Toepasbaarheid in %: totale % van de activiteit van de originele branders waarop de reductietechniek kan geïmplementeerd worden, dus inclusief de implementatiegraad.
 - o Emissiereductie per pollutant in % ten opzichte van de uitgestoten emissie van de geaggregeerde bestaande apparaten waarop de techniek een effect heeft. Dit percentage wordt bijgevolg uitgemiddeld indien het verschillend is voor de geaggregeerde reductietechnieken. Indien de reductietechniek voor conventionele luchtpolluenten een bijkomend effect heeft op broeikasgasemissies door een wijziging van het thermisch rendement, kan dit worden opgenomen.

Zoals reeds eerder aangegeven maakt bovenstaande aggregatie van bestaande reductietechnieken voor conventionele pollutanten geen deel uit van de vervolgstudie *'Berekenen van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'*. Om optimalisatieoefeningen uit te kunnen voeren voor zowel conventionele luchtpolluenten als voor broeikasgassen, kan deze aggregatie later uiteraard aan de geaggregeerde databank worden toegevoegd.

Apparaten met procesemissies worden niet geaggregeerd en blijven individueel herkenbaar in de geaggregeerde databank.

Indien berekeningen worden uitgevoerd voor geaggregeerde installaties kan de beslissing om in een reductietechniek te investeren niet langer beperkt blijven tot 0 of 1 ('mixed integer programming') maar wordt een continue beslissingsvariabele geïntroduceerd. Voor installaties die nog wel op individueel installatieniveau in de databank opgenomen blijven (bv. grote energieverbruikers industrie) wordt wel nog uitgegaan van mixed integer programming. Met MARKAL/Answer kan tegelijkertijd met 0/1 en continue variabelen gewerkt worden. In de databank van het MKM moet deze optie voorzien worden i.e. veld 'toepasbaarheid' toevoegen. Dit veld wordt standaard op 100% gezet (voor een individuele emissiebron kan een reductietechniek enkel voor 100% geïmplementeerd worden of niet) maar voor geaggregeerde emissiebronnen kan de toepasbaarheid variëren van 0% tot 100%, afhankelijk van de activiteit waarvoor de techniek geïmplementeerd kan worden.

7.2.2 Trade-offs

Indien berekeningen met het MKM uitgevoerd worden met geaggregeerde installaties houdt dit ook in dat de resultaten niet meer op het detailniveau van een individuele installatie kunnen weergegeven worden. De vraag kan gesteld worden naar verifieerbaarheid en herkenbaarheid van zowel input als output van het MKM.

Het doorrekenen van emissiegrenswaarden zoals, bijvoorbeeld, in het kader van Lodewijks et al. (2007) gebeurde, is niet meer mogelijk op het geaggregeerde niveau. Immers, emissiegrenswaarden kunnen enkel toegekend worden op het gedetailleerde niveau van een installatie. Niettemin kan de vraag gesteld worden naar de relevantie van dergelijke oefening indien de gedetailleerde databank niet continu up-to-date kan gehouden worden.

Modeltechnisch gezien is het beter om met continue beslissingsvariabelen berekeningen uit te voeren in plaats van 0/1-variabelen omdat op die manier hoekoplossingen (i.e. lokaal in plaats van globaal optimum) vermeden worden. Echter, in het geval van continue beslissingsvariabelen wordt de output van het MKM minder herkenbaar en verifieerbaar.

Op niveau van de individuele emissiebron is er voor ca. 50% van de installaties de leeftijd beschikbaar en kan vervanging op einde levensduur in rekening gebracht worden. Op geaggregeerd niveau kan de leeftijd van de stookinstallaties uitgemiddeld worden en kan vervanging op einde levensduur voor alle geaggregeerde niveaus in rekening gebracht worden. Het ingeven van de residuële capaciteit ('RESID' in MARKAL/Answer) maakt het mogelijk om een snellere vervanging van de installaties door te rekenen.

In hoofdstuk 8 wordt per sector aangegeven op welk niveau (i.e. sector, subsector, individueel) de emissiebronnen, energiebesparings- en/of reductiemaatregelen gedefinieerd worden.

7.3 Consistent macro-economisch basisscenario

Bij de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen wordt uitgegaan van de groeiscenario's voor 2010 – 2015 – 2020 uit de studie '*Prognoses en scenario's voor luchtverontreinigende stoffer*' (Lodewijks et al., 2007) die reeds opgenomen zijn in de databank van het MKM.

In het kader van deze emissieprognosestudie werd de simulatieperiode van het MKM uitgebreid tot 2020, met een vijfjaarlijkse simulatieperiode. Tevens werden de economische groeiscenario's uitgebreid tot en met 2020. De economische groei voor het jaar 2010 werd per sector afgestemd op de groei uit de Vlaamse Sectorstudies Lucht. Voor de jaren 2015 en 2020 werd de informatie uit het BAU-energiescenario (Duerinck et al., 2006b) als uitgangspunt gebruikt.

Voor de energiegerelateerde activiteiten werd afgestemd op het BAU-energiescenario. De jaarlijkse verandering van het brandstofverbruik brengt zowel de verbetering in energie-efficiëntie als de groei van de activiteiten in rekening. In het kader van de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen wordt abstractie gemaakt van de verbetering van de energie-efficiëntie. Immers, in het kader van een onderzoeksproject voor MIRA (cf. 7.5) zal de verbetering van energie-efficiëntie opgenomen worden in de beschrijving van het rendement van stookinstallaties. De groeiscenario's mogen bijgevolg enkel de verandering in activiteit in rekening brengen en niet de combinatie van activiteit en energie-intensiteit.

Wat de niet-energiegerelateerde activiteiten betreft, werd een onderscheid gemaakt tussen twee categorieën:

- Voor procesemissies die nog in verband kunnen gebracht worden met een belangrijke energetische activiteit en waarbij de activiteit tot op een voldoende gedetailleerd niveau werd gespecificeerd, werd de evolutie van de activiteitsdragers uit het BAU-scenario overgenomen (zonder de energie-efficiëntieverbetering in rekening te brengen).
- Voor emissies waarbij het energieverbruik weinig of niet relevant is, werd getracht om deze te relateren aan de meest relevante basisgegevens waarvoor in het BAU-scenario wel expliciete aannames gemaakt werden (bv. evolutie bevolking voor droogkuis en huishoudelijk gebruik solventen, evolutie benzineverbruik voor tankstations). Tevens werd de informatie, die verzameld werd in de Vlaamse Sectorstudies Lucht, uitgebreid en opnieuw onderzocht.

Indien meer gedetailleerde informatie met betrekking tot de economische activiteit op bedrijfs- of installatieniveau aanwezig was, werd ervoor geopteerd om deze toe te passen.

Er werd getracht om in de mate van het mogelijke het brandstofverbruik in TJ per sector 'vast te leggen' op de niveaus die het resultaat zijn van het BAU-energiescenario. Vanuit het oogpunt van optimalisatie worden de brandstofverbruiken in TJ per sector niet meer vastgelegd op deze niveaus.

De brandstofprijzen die gehanteerd werden, zijn deze uit het BAU-energiescenario. Echter, de brandstofprijzen kunnen per sector eenvoudig aangepast worden om andere scenario's door te rekenen.

Het basis- of referentiescenario, gebaseerd op het BAU-energiescenario, is het uitgangspunt voor zowel optimalisatie als simulatieoefeningen met het MKM. Voor de simulatieoefeningen moeten, uitgaande van het referentiescenario, bijkomende beperkingen vastgelegd worden om het milieueffect en de kosten van vooraf vastgelegde 'pakketten van maatregelen' en beleidsinstrumenten te kunnen simuleren. Voor de energiegerelateerde broeikasgasemissies kunnen, bijvoorbeeld, de BAU- en BAU+- scenario's doorgerekend worden door de te behalen CO₂-emissiereducties per (sub)sector aan het MKM op te leggen.

De emissieprognosestudie heeft enkel betrekking op de tijdshorizon 2010, 2015 en 2020. Wat de zichtjaren 2025 en 2030 betreft, wordt uitgegaan van het A-scenario uit de BAU+-studie (Duerinck et al, 2007).

Het A-scenario en het BAU-energiescenario gaan uit van dezelfde context, met name relatief lage economische groei, hoge energieprijzen en hoge CO₂-prijs. In het kader van de BAU+-studie werd deze context uitgebreid met de tijdshorizon 2025 en 2030.

De toekomstige niet-energiegerelateerde broeikasgasemissies worden afgestemd op prognoses van het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid) zoals weergegeven in 'Report by Belgium for the assessment of projected progress' (15 maart 2007).

7.4 Vraag en aanbod

7.4.1 Prijselasticiteit vraag

Bij de berekeningen die tot nu toe met het MKM zijn uitgevoerd, is steeds uitgegaan van een inelastische vraag en werden voornamelijk de kosten en effecten van technische maatregelen in rekening gebracht. Wel is het steeds mogelijk geweest om verschillende evoluties van de vraag in verschillende scenario's op te nemen. Zoals reeds eerder aangegeven, is de veronderstelling van een inelastische vraag aanvaardbaar zolang het effect van een technische reductiemaatregel op de output beperkt is. Voor de kosteneffectiviteitsanalyses die tot nu toe zijn uitgevoerd was de tijdshorizon voldoende kort (10 jaar) om deze veronderstelling te kunnen verdedigen.

De kosteneffectiviteitsanalyses die voor broeikasgassen zullen uitgevoerd worden, zullen betrekking hebben op een langere tijdshorizon (> 20 jaar). Bovendien zullen technische maatregelen niet voldoende zijn om de vereiste reducties te realiseren en zullen ook volumemaatregelen moeten in rekening gebracht worden. Bijgevolg moet bij de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen ook de vraag elastisch worden.

Zoals reeds aangegeven in voorgaande paragraaf is informatie met betrekking tot (prijs)elasticiteiten schaars, zeker voor het gedetailleerde niveau van een installatie of bedrijf. Het gebrek aan betrouwbare Belgische gegevens wordt ondermeer bevestigd door Bogaert et al. (november 2006) (paragraaf 6.3.2) en Duerinck et al. (2007). In Duerinck et al. (2007) werd voor een aantal sectoren (cf. Tabel 4) op basis van geaggregeerde gegevens inschattingen gemaakt van het effect van de energieprijzen op het energiegebruik. De inschatting van dit effect werd gebaseerd op elasticiteiten die op basis van literatuur vastgelegd werden. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de lange termijn en de korte termijn. Wat de LT-elasticiteit van residentiële en tertiaire sector betreft, werd uitgegaan van MARKAL/TIMES België. Het effect van hoge energieprijzen werd in rekening gebracht in het BAU-scenario (en niet in het REF-scenario). In de literatuur werden geen betrouwbare sectorspecifieke referenties over de prijselasticiteit van het energieverbruik in de industrie teruggevonden.

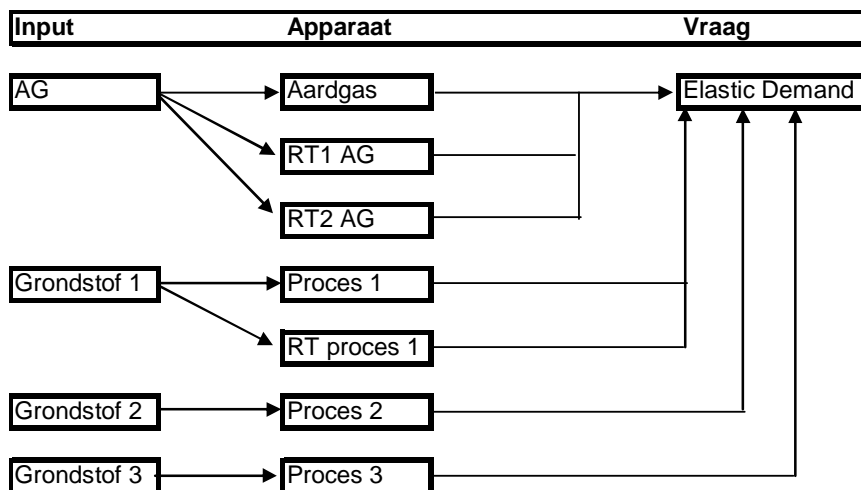
Tabel 4: Aannames lange en korte termijn prijselasticiteiten BAU-energiescenario

	LT-elasticiteit	KT-elasticiteit
<i>Residentieel</i>	-0,3	-0,09
<i>Tertiair</i>	-0,3	-0,09
<i>Landbouw</i>	-0,18	-0,05
<i>Transport</i>	-0,65	-0,16

BRON: Duerinck et al., 2007

Bij de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen wordt de finale vraag elastisch. Gegeven het gebrek aan betrouwbare informatie omtrent prijselasticiteiten, worden bij voorkeur een aantal scenario's berekend waarbij telkens uitgegaan wordt van een andere prijselasticiteit bv. 0, -0,3 (MARKAL/TIMES) en -0,5. Voor alle sectoren wordt uitgegaan van dezelfde prijselasticiteit. Het effect van een stijging van het inkomen op de vraag (inkomenselasticiteit) kan enkel exogeen in rekening gebracht worden.

In volgende figuur wordt schematisch weergegeven op welk niveau de prijselasticiteiten aan het MKM gekoppeld worden. De prijselasticiteiten die toegekend worden aan de finale vraag, hebben zowel een effect op de verbrandingsemissies als op de procesemissies. Een vraagreductie heeft immers een gevolg voor alle technologieën en processen in het model die nodig zijn om aan die vraag te voldoen.



Figuur 23: Endogenisering van de finale vraag in het MKM

BRON: VITO

7.4.2 Aanbodscurve perfect elastisch

Voor de meest sectoren wordt het aanbod in het MKM (MARKAL/Answer) als perfect elastisch beschouwd (i.e. horizontale aanbodscurve): een onbeperkte hoeveelheid q wordt aangeboden tegen een vaste marginale productiekost (in € per eenheid q). Deze marginale productiekost bestaat uit een energiegcomponent (bv. kostprijs aardgas per eenheid q) en (eventueel) een maatregelencomponent (bv. kostprijs reductietechniek per eenheid q). Wegens een gebrek aan informatie wordt de eenheidskost van niet-energetische inputs niet doorgerekend in de marginale productiekost. De marginale productiekost neemt toe (i.e. opwaartse verschuiving aanbodscurve) indien de kostprijs van energie toeneemt en/of een maatregel geïmplementeerd wordt.

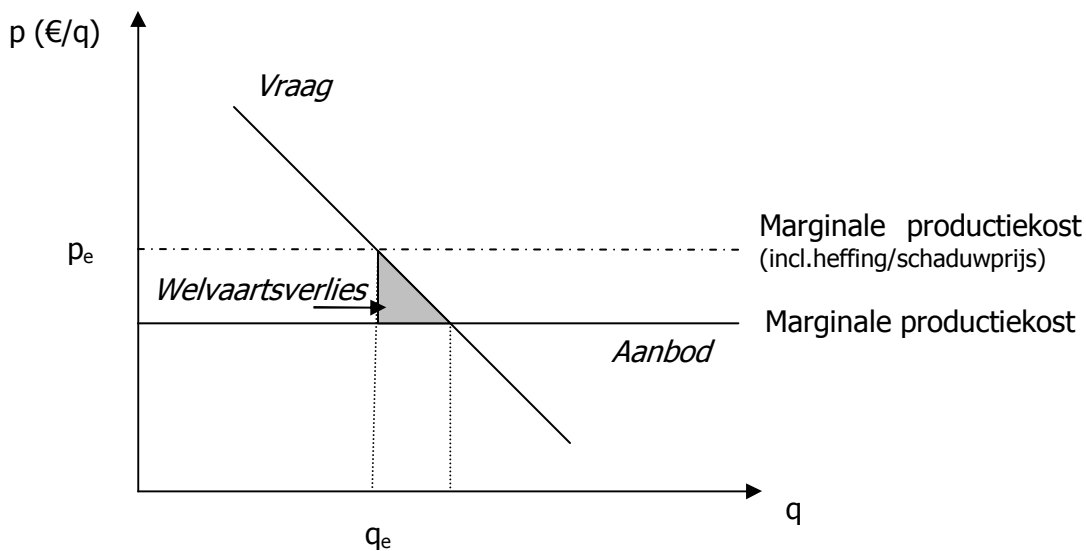
Indien een emissieplafond wordt opgelegd, wordt in MARKAL/Answer de marginale productiekost uitgebreid met de schaduwprijs van deze beperking. De schaduwprijs wordt als het ware opgeteld bij de marginale productiekost die geldig is wanneer er geen beperking is. De schaduwprijs zal kleiner zijn voor energiezuinige of minder vervuilende technologieën.

Uitgaande van maximalisatie van het consumenten- en producentensurplus zal in de nieuwe situatie:

- de vraag reageren op de prijswijziging,
- eventueel een nieuwe (reductie- of energiezuinige) technologie worden gekozen.

De situatie die uitgaat van een heffing is gelijkaardig, de schaduwprijs wordt dan vervangen door het heffingsbedrag.

De prijs van alle mogelijke (technologie)keuzes en de prijselasticiteit van de vraag bepalen wat de nieuwe evenwichtshoeveelheid (vraag) (q_e) gaat zijn. Het welvaartsverlies in de situatie zonder reductiemogelijkheden wordt in volgende figuur weergegeven door de gemarkeerde driehoek. Het welvaartsverlies kan beperkt worden door een maatregel te implementeren indien in de nieuwe situatie de marginale productiekost (die de lagere schaduwprijs omvat) lager is.



Figuur 24: Elastische vraag en aanbod in MKM (uitz. elektriciteitssector)

BRON: VITO

7.4.3 Aanbodscurve trapsgewijs

Voor de elektriciteitssector wordt de aanbodscurve trapsgewijs opgebouwd in het MKM omwille van de beperking op de hoeveelheid elektriciteit die geproduceerd kan worden. Elke trap van deze aanbodscurve bestaat uit de (stijgende) marginale productiekost om elektriciteit te produceren met behulp van steenkoolcentrales, STEG's, nucleaire centrales, windenergie etc.

7.5 WKK-potentieel en vraag naar warmte

Binnen het ondersteunend onderzoek 2007 van MIRA, wordt het MKM uitgebreid met het WKK-potentieel en daaraan gerelateerd, de vraag naar warmte. Tot nu toe zat in het MKM de efficiëntieverbetering van stookinstallaties vervat in de economische groeiscenario's, maar deze werkwijze is niet zeer transparant. De brandstofbesparingen en emissiereducties van WKK's werden tot nu toe d.m.v. een 'soft' link aan het MKM doorgerekend.

7.5.1 Efficiëntieverbetering stookinstallaties

In de databank van het MKM Lucht worden de stookinstallaties beschreven aan de hand van het brandstofverbruik. Dit wil zeggen dat de berekeningen van het MKM gestuurd worden door een vraag naar brandstof en niet door een vraag naar warmte. Bij een efficiëntieverbetering van stookinstallaties, bv. rendement neemt toe van 80% naar 90%, blijft de vraag naar warmte constant, maar daalt het brandstofverbruik. In het MKM kan dit momenteel enkel in rekening gebracht worden door een correctie van de vraag naar brandstof. Daarnaast is de efficiëntieverbetering inherent verbonden aan het economische groeiscenario in de databank. Dit betekent dat bij het uitwerken van een scenario een onderscheid moet gemaakt worden naar brandstofgerelateerde emissies en procesemissies. In het scenario voor de procesemissies mag immers de efficiëntieverbetering niet in rekening worden gebracht, terwijl dit voor de brandstofgerelateerde emissies wel het geval is. Het aanpassen van deze scenario's is momenteel geen transparant gegeven.

In het kader van het MIRA-onderzoeksproject wordt het rendement meegenomen in de beschrijving van de stookinstallaties. Op die manier kan de efficiëntieverbetering van een stookinstallatie meegenomen worden in de berekeningen van het MKM door een aanpassing van het rendement van deze installatie, of voor eenzelfde warmtevraag zal er minder brandstof verbruikt worden. Daarnaast worden de efficiëntieverbetering en het economisch groeiscenario door deze aanpassing losgekoppeld en transparanter.

De rendementen worden in de databank van het MKM opgenomen zodat een vraag naar warmte kan gedefinieerd worden. Er wordt verondersteld dat het rendement van een stookinstallatie gekoppeld kan worden aan de 'leeftijd' van de installatie. Wat de leeftijd van de installaties betreft, wordt uitgegaan van de 'datum van ingebruikname' die gerapporteerd wordt in de milieujaarverslagen. Wat de koppeling van deze datum aan een rendement betreft, wordt een beroep gedaan op de expertise binnen de afdeling energietechnologie (ETE) van VITO. Indien geen 'datum van ingebruikname' gekend is, wordt uitgegaan van een gemiddeld rendement.

In de Access-databank van het MKM wordt het rendement van elke stookinstallatie opgenomen en wordt de 'Visual Basic'-code aangepast zodat MARKAL/Answer de rendementen kan toepassen in modelruns.

Voor de residentiële en tertiaire sector wordt het MKM gestuurd door een vraag naar warmtecomfort (naar analogie met een vraag naar warmte voor industrie en landbouw) en een vraag naar elektriciteit. Enkel voor de residentiële en tertiaire sector wordt de vraag naar elektriciteit in de databank van het MKM gespecificeerd en gekoppeld aan het elektriciteitsmodel. Voor de overige sectoren wordt het elektriciteitsverbruik niet meegenomen in de databank van het MKM, gegeven het gebrek aan informatie met

betrekking tot het potentieel aan elektriciteitsbesparing. De vraag naar elektriciteit zit voor alle sectoren op sectorniveau in het elektriciteitsmodel (cf. paragraaf 8.1.1).

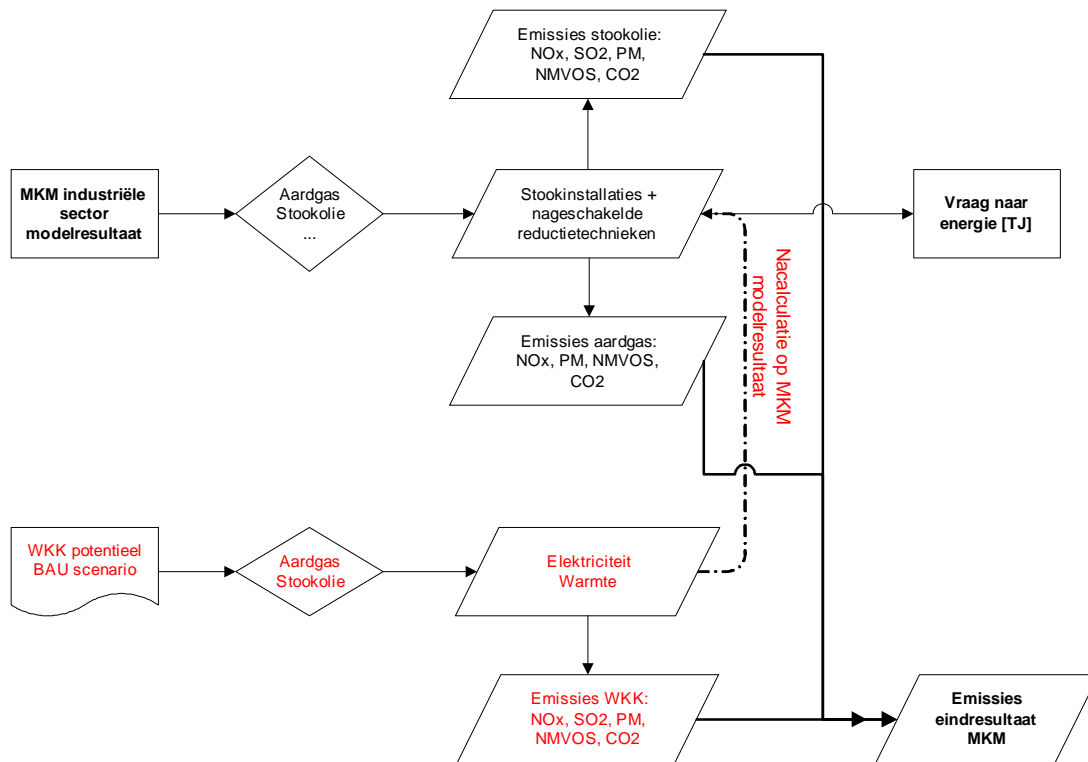
7.5.2 Koppeling stookinstallaties en WKK's

In het MKM worden de WKK's gemodelleerd binnen het elektriciteitsmodel in MARKAL/Answer (cf. Figuur 10). Echter, de warmteproductie van de WKK's moet teruggekoppeld worden naar de andere sectoren omdat door het plaatsen van een kwalitatieve WKK een bestaande stookinstallatie niet meer, of minder gebruikt zal worden. Bijgevolg vindt een 'boekhoudkundige' verschuiving plaats van het energieverbruik en (volgens de MBO) een gedeelte van de bijhorende emissies in de richting van de elektriciteitsproductie. Bovendien wordt globaal genomen een besparing op het energieverbruik gerealiseerd omdat het rendement van gezamenlijke opwekking hoger is dan dat van gescheiden opwekking.

Omdat de warmtevraag en warmteproductie op dit moment niet meegenomen worden in het MKM, is in het kader van Lodewijks et al. (2007) een 'soft' link opgezet tussen de stookinstallaties en WKK's om deze terugkoppeling mogelijk te maken. Er wordt uitgegaan van het WKK-potentieel (BAU-prognose) uit de studie *'Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020'* (Devriendt et al., 2005)²⁰.

Deze WKK-prognoses zijn eveneens het uitgangspunt van het BAU-energiescenario in Duerinck et al. (2006b). In het kader van de BAU-studie werd per sector bepaald wat de implementatiegraad van WKK's is voor de jaren 2004, 2006, 2008, 2010, 2015 en 2020. Tevens werden de overeenkomstige emissies van de WKK's berekend. Uitgaande van de implementatiegraad van de WKK's, werd voor de eindgebruikers per sector de afname van het brandstofverbruik (in TJ) berekend. De achterliggende gegevens van het BAU-energiescenario gaven, uitgaande van voornoemde aannames met betrekking tot de afname van het brandstofverbruik, de opsplitsing per brandstoftype. Door middel van deze opsplitsing werden de vermeden emissies voor de sectoren berekend.

²⁰ In Devriendt et al. (2005) worden voor 2020 BAU-scenario's (i.e. 'business-as-usual') en PRO-scenario's (i.e. pro-actief beleid) berekend voor de hernieuwbare energiebronnen biomassa, wind en zon. De studie beschouwt vier categorieën van energieproductietechnieken: productie van groene stroom (i.e. elektriciteitsproductie uit hernieuwbare energiebronnen), kwalitatieve WKK (i.e. relatieve primaire energiebesparing 5%), productie van groene warmte (i.e. warmte uit hernieuwbare energiebronnen) en productie van biobrandstoffen (i.e. productie transportbrandstof uit hernieuwbare energiebronnen). Voor het opstellen van de prognoses werd voor WKK (zowel fossiele als groene) en voor zuivere groene elektriciteitsproductie (i.e. elektriciteitsproductie uit biomassa, wind onshore, wind offshore, zon) gebruikt gemaakt van het elektriciteitsmodel in MARKAL/Answer. De prognoses met betrekking tot zuivere groene warmteproductie (niet-WKK maar warmteproductie uit biomassa en thermische zonne-energie) en productie biobrandstoffen zijn niet met het elektriciteitsmodel berekend.

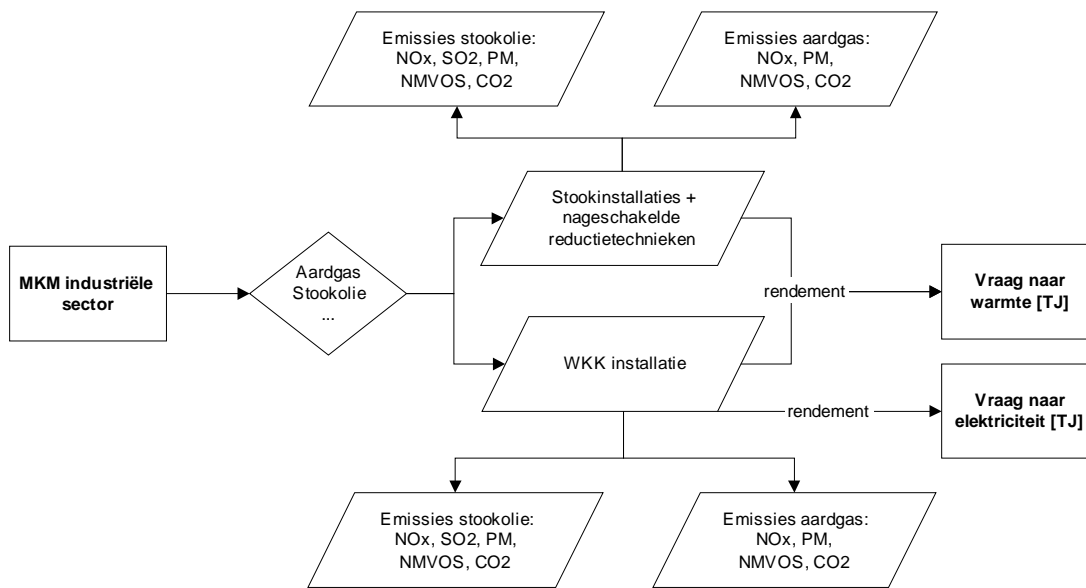


Figuur 25: Schema van de scenarioberekening van het effect van WKK op de emissies van een industriële sector door nacalculatie, 'soft link'.

BRON:VITO

Met deze 'soft' link kunnen WKK-scenario's doorgerekend worden, maar kan niet geoptimaliseerd worden. Het MKM kan dus niet ingezet worden voor een kosteneffectieve afweging tussen reductietechnieken voor NO_x, SO₂ of CO₂ en het plaatsen van een WKK.

Idealiter, wordt de 'soft' link vervangen door een 'hard' link i.e. door een integratie van het rendement van stookinstallaties in het MKM. Het MKM kan in deze situatie optimaliseren naar het gebruik van WKK's. De MKM-oplossing moet niet meer voldoen aan de vraag naar energie maar aan de vraag naar warmte. Aangezien een WKK naast warmte ook elektriciteit produceert, zal een andere elektriciteitscentrale minder moeten produceren om aan de vraag te kunnen voldoen. Ook dit effect wordt door de 'hard' link meegenomen in de kostenoptimalisatie. Het effect van wetgeving, zoals de WKK-certificaten kan eveneens meegenomen worden in de afweging (want gemodelleerd in het elektriciteitsmodel).



Figuur 26: Schema van de uit te werken 'hard' link tussen de gemodelleerde WKK's en de stookinstallaties.

BRON: VITO

In het kader van het MIRA-onderzoeksproject wordt de 'soft' link vervangen door een 'hard' link, waarbij op basis van het rendement en de draaiuren van elke stookinstallatie een WKK-vervangingspotentieel wordt ingeschat.

In optimalisatieoefeningen kan het MKM zelf beslissen welke stookinstallaties vervangen zullen worden door een WKK en wanneer dit kan gebeuren. De resultaten van deze 'hard' link moeten d.m.v. testruns afgetoetst worden met het WKK-potentieel dat ingeschat is in de studie *'Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020'*.

De investerings- en werkingskosten en rendementen van de WKK's worden overgenomen uit voornoemde studie. Voor de gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit zijn de kostprijzen van mogelijke reductietechnieken reeds aanwezig in het MKM of worden deze in het kader van de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen verzameld.

7.5.3 Parameters: emissiefactoren en GWP-waarden CH₄ en N₂O

→ *Emissiefactoren energetische broeikasgasemissies*

De verbrandingsgerelateerde emissies van CO₂, CH₄ en N₂O worden door het MKM berekend uitgaande van het brandstofverbruik en (IPCC-)emissiefactoren.

Voor de bedrijven die op niveau van de individuele emissiebron in het MKM Lucht zijn opgenomen, zijn de CO₂-emissies reeds aanwezig in de databank en gebaseerd op het brandstofverbruik. Het MKM gebruikt hiervoor de op bedrijfsniveau beschikbare energieverbruiken van de individuele installaties en IPCC-emissiefactoren (zonder oxidatiefactor). De energieverbruiken werden in het kader van de studie '*Opstellen en uitwerken van een methodologie voor een intersectorale afweging van de haalbaarheid van mogelijke maatregelen voor de reductie van diverse pollutiemissies naar de lucht*' (VITO en Ecolas, 2005) gecorrigeerd om consistentie met de Energiebalans Vlaanderen te bekomen.

In het kader van de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen worden de ontbrekende energieverbruiken op basis van de Energiebalans Vlaanderen (2005) bijgeschat. De emissiefactoren voor CO₂, CH₄ en N₂O worden opgenomen in het MKM en/of afgestemd op de methodologie die gevolgd werd bij de opmaak van de Belgische inventaris van broeikasgassen (1990 – 2005) in het kader van het Klimaatverdrag (United Nations Framework on Climate Change).

→ *GWP-waarden CH₄ en N₂O*

Idealiter worden de verschillende broeikasgassen teruggebracht op dezelfde noemer met name CO₂-equivalenten. De emissies van CH₄ en N₂O worden omgerekend naar CO₂-equivalenten met behulp van omzettingcoëfficiënten. Hierbij wordt uitgegaan van de global warming potentials (GWPs) zoals gedefinieerd in de UNFCCC Reporting Guidelines on Annual Inventories (1996). Voor CH₄ is de GWP gelijk aan 21 (ton CO₂-equivalenten per ton emissie) en voor N₂O is de GWP gelijk aan 310.

De omzetting naar CO₂-equivalenten wordt door het MKM gedaan op basis van de emissies van CH₄ en N₂O die in de databank van het MKM zijn opgenomen en de GWP-waarden. Deze omzetting moet geprogrammeerd worden in het MKM.

HOOFDSTUK 8 TOEPASSING METHODOLOGIE PER SECTOR

In dit hoofdstuk wordt de methodologie uit Hoofdstuk 7 per sector toegepast. Er wordt een overzicht gegeven van de informatiebronnen die zullen gebruikt worden om de databank van het MKM uit te breiden met emissies en reductiemaatregelen voor broeikasgassen. Tevens wordt een indicatie gegeven van de wijzigingen (in aggregatieniveau) ten opzichte van de databank van het MKM Lucht. Indien relevant, wordt aangegeven welke acties nog ondernomen moeten worden in het kader van de vervolgstudie '*Berekening Vlaamse kostencurves voor broeikasgasmaatregelen*'.

8.1 Elektriciteitsproductie incl. WKK en hernieuwbare energie

Elektriciteitcentrales en WKK's veroorzaken voornamelijk CO₂-emissies en een beperkte hoeveelheid CH₄- en N₂O-emissies. Daarnaast veroorzaakt de productie, het transport en de distributie van elektriciteit ook een beperkt aantal SF₆-emissies.

In volgende tabel wordt uitgaande van de Kernset Milieudata MIRA-T 2006 een indicatie gegeven van het relatieve belang van de verschillende broeikasgassen. De broeikasgasemissies worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten voor 2004 en 2005. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de cijfers voor 2005 voorlopige cijfers zijn. De broeikasgasemissies van de energiesector (excl. raffinaderijen) vertegenwoordigen in 2004 en 2005 een aandeel van ca. 22% in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen.

Tabel 5: Overzicht broeikasgasemissies energiesector (in kton CO₂-equivalenten) in 2004 en 2005

<i>Emissiebron</i>	<i>Polluent</i>	<i>kton CO₂-equivalenten (2004)</i>	<i>kton CO₂-equivalenten (2005)</i>
<i>elektriciteitscentrales</i>	CO ₂	16.019	16.374
<i>WKK</i>	CO ₂	2.769	3.216
<i>warmteproductie</i>	CO ₂	14	8
<i>transport en distributie van aardgas</i>	CO ₂	123	123
<i>elektriciteitscentrales</i>	CH ₄	5	5
<i>WKK</i>	CH ₄	1	1
<i>transport en distributie van aardgas</i>	CH ₄	246	246
<i>elektriciteitscentrales</i>	N ₂ O	26	27
<i>WKK</i>	N ₂ O	7	7
<i>productie, transport en distributie van elektriciteit</i>	SF ₆	7	7
	CO ₂	18.926	19.721
	CH ₄	253	253
	N ₂ O	33	34
	SF ₆	7	7
	Totaal	19.218	20.015

Op basis van: Kernset Milieudata MIRA-T 2006

8.1.1 Elektriciteitsmodel in MARKAL/Answer

Net zoals voor de onderbouwing van het NEC-beleid, wordt voor de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen uitgegaan van het elektriciteitsmodel in MARKAL/Answer. Dit betekent dat er een volledige integratie is met de meest recente versie van het elektriciteitsmodel (emissies, potentieel, kosten).

Het *elektriciteitsmodel* is een bottom-up optimalisatiemodel in *MARKAL/Answer* (cf. paragraaf 4.1) met als objectieffunctie 'een gegeven hoeveelheid stroom (vraag naar elektriciteit) produceren tegen de laagste totale kost'. Aangezien het distributienet belangrijke transporten over de gewestelijke grenzen toelaat, wordt er uitgegaan van het huidige en toekomstige Belgische uitrustingspark. Het aanbod aan elektriciteit bestaat uit de hoeveelheid elektriciteit in België geproduceerd en de hoeveelheid elektriciteit geïmporteerd.

De *meest recente versie* van het elektriciteitsmodel wordt beschreven in Duerinck et al. (2006, 2007) en omvat volgende installatietypes:

- Elektriciteitscentrales,
- WKK-installaties (motoren en gasturbines),
- hernieuwbare energie i.e. groene WKK-turbines, groene WKK-motoren, overige biomassa, windenergie (onshore en offshore) en zonne-energie. Groene WKK omvat installaties die werken op biogas uit stortplaatsen, GFT-vergisting, (R)WZI-slib vergisting.
- afvalverbrandingsovens met energierecuperatie²¹ (i.e. roosterovens voor verbranding restafval),
- nucleair vermogen.

²¹ Vanaf 2005 hebben de roosterovens van IVAGA en IVM een energierecuperatiesysteem met een gezamenlijk vermogen van 10,8 MWe.

Ook de nieuwe STEG-eenheden op aardgas (incl. centrales op site BASF, Sidmar en Tessenderlo Chemie) zijn opgenomen in het elektriciteitsmodel. Elk type van installatie gebruikt een specifieke brandstof en wordt gekenmerkt door een specifiek rendement, op basis waarvan een inschatting gemaakt wordt van het energieverbruik per brandstof en het totale primaire energieverbruik van de elektriciteitssector in Vlaanderen.

Wat de *WKK-installaties* betreft, heeft het brandstofverbruik betrekking op zowel de productie van elektriciteit als de productie van warmte. De koppeling met het MKM impliceert dan ook dat in de sectoren waar de geproduceerde warmte gebruikt wordt, een correctie van het brandstofverbruik moet toegepast worden ('soft' link (Lodewijks et al., 2007) => 'hard' link (MIRA-onderzoeksproject)).

In volgende tabellen wordt een overzicht gegeven van respectievelijk de indeling in gasturbines en motoren in het elektriciteitsmodel.

Tabel 6: Indeling gasturbines in het elektriciteitsmodel

<i>Gasturbines</i>	Draaiuren	Sector
<i>1-15 MWe</i>	5000	Industrie - metaal, textiel, voeding
	6000	Industrie - minerale niet-metaal
	7000	Industrie - overig, staal
	8000	Industrie - chemie, non ferro, papier, voeding
<i>15-35 MWe</i>	6000	Industrie - minerale niet-metaal
	7000	Industrie - overig
	8000	Industrie - chemie, raffinaderijen
<i>35-50 MWe</i>	5000	Industrie - voeding
	7000	Industrie - overig
	8000	Industrie - chemie, non ferro, papier, raffinaderijen
<i>50-100 MWe</i>	8000	Industrie - chemie
		Industrie - raffinaderijen

BRON: Devriendt et al., 2005

Tabel 7: Indeling motoren in het elektriciteitsmodel

<i>Motoren</i>	Draaiuren	Sector
<i><200 kWe</i>	3000	Residentieel
	3500	Tertiair
	4000	Tuinbouw
<i>200-500 kWe</i>	3000	Residentieel
	3500	Tertiair
	4000	Tuinbouw
<i>500-1000 kWe</i>	3500	Tertiair
	4000	Tuinbouw
<i>>1000 kWe</i>	3500	Tertiair
	4000	Tuinbouw, Industrie - textiel
	5000	Industrie - metaal
	6000	Industrie - staal, voeding, overig
	7000	Industrie - chemie, minerale niet-metaal
	8000	Industrie - 8000 draaiuren
		Industrie - < 1 MWe

BRON: Devriendt et al., 2005

Het systeem van groenestroomcertificaten en warmtekrachtcertificaten is vereenvoudigd opgenomen in het elektriciteitsmodel. Om de groenestroomcertificaten te modelleren, wordt aan de producenten van groene stroom een productieafhankelijke hoeveelheid (€ per MWh) toegekend. Wat de warmtekrachtcertificaten betreft, is er voor elke technologie een ontvangst toegekend aan de producent. Op voorhand is voor elke klasse technologie het rendement vastgelegd. Dit rendement leidt tot een bepaalde primaire energiebesparing per hoeveelheid elektriciteit geproduceerd.

Zuivere (niet-WKK) warmteproductie uit fossiele brandstoffen en biomassa, thermische zonne-energie en productie van biobrandstoffen worden niet in het elektriciteitsmodel gemodelleerd. Potentieel en kostprijzen voor productie van groene warmte en productie van biobrandstoffen is terug te vinden in Devriendt et al. (2005). Indien relevant, wordt hier naar verwezen in de volgende paragrafen bij de bespreking voor industrie, huishoudens, tertiair en landbouw.

8.1.2 Emissies

In het kader van de Vlaamse Sectorstudie voor de elektriciteitsproductie (Duerinck et al., 2002) werden de individuele installaties gedetailleerd in kaart gebracht en gemodelleerd in MARKAL/Answer.

Dit model werd voor de studie *Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020* (Devriendt et al., 2005) uitgebreid met het potentieel voor hernieuwbare energie en WKK. Zoals reeds aangegeven in paragraaf 7.5, werd het geactualiseerde elektriciteitsmodel (incl. WKK en hernieuwbare energie) gebruikt voor modellering van de energiesector in de REF- (Duerinck et al., 2006a), BAU- (Duerinck et al. 2006b) en BAU+-studie (Duerinck et al. 2007). Deze studies geven meteen ook een gedetailleerde beschrijving van de meest recente versie van het elektriciteitsmodel die gekoppeld wordt aan de databank van het MKM Lucht&Klimaat.

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 0, wordt in het kader van het ondersteunend onderzoek 2007 van MIRA de koppeling met het elektriciteitsmodel uit Duerinck et al. (2006) geoptimaliseerd. Dit project zal ervoor zorgen dat het MKM kan ingezet worden voor een kosteneffectieve afweging tussen reductietechnieken voor NO_x, SO₂ of CO₂ en het plaatsen van een WKK.

8.1.3 Maatregelen

→ *BAU+-studie*

Wat de beschrijving van de CO₂-reductiemaatregelen betreft, wordt in eerste instantie uitgegaan van de informatie die verzameld werd in het kader van de BAU-studie (Duerinck et al., 2006b) en BAU+-studie (Duerinck et al., 2007).

Vanassche et al. (maart 2007) geeft een overzicht van de maatregelen die opgenomen zijn in de BAU- en BAU+-energiescenario's. Tevens wordt een indicatie gegeven van de kostprijs van voornoemde maatregelen.

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - STEG met CO₂-sequestratie, - brandstofcel (gas, H₂), - superkritische stoomgeneratie (al dan niet met CO₂-sequestratie), - wervelbedverbranding²² (al dan niet met CO₂-sequestratie), - geïntegreerde vergassing²³ (al dan niet met CO₂-sequestratie), - hoge temperatuur biomassa, - wind offshore (dichtbij, gemiddelde en grote afstand). |
|---|

Er wordt uitgegaan van de *discussienota Energie voor de studie 'Energie en broeikasgasscenario's voor het Vlaamse gewest – verkenning beleidsscenario's tot 2030'*, met in bijlage 1 een overzicht van de mogelijke beschikbare nieuwe technologieën met beginjaar 2005. Deze technieken werden onderzocht in het kader van de studie *'Markal/Times, a model to support greenhouse gas reduction policies'* (Nijs et al., 2006). Kostprijzen van WKK en hernieuwbare energie zijn gedetailleerd terug te vinden in de studie *'Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020'* (Devriendt et al., oktober 2005).

Rendementsverbetering en brandstofomschakeling worden expliciet meegenomen in het elektriciteitsmodel. Het model kiest endogeen voor een bepaalde technologie om te voldoen aan de vraag naar stroom op basis van de modelparameters zoals bv. kostprijs, brandstofprijs, rendement. In het REF- en BAU-energiescenario (Duerinck et al., 2006) wordt voor de belangrijkste installatietypes uitgegaan van de nettorendementen (ná aftrek eigenverbruik) in onderstaande tabel.

²² Wervelbedverbranding of 'fluidised bed combustion' (FBC) is een technologie die de brandstof verbrandt in een bed van vaste deeltjes die in suspensie gehouden worden door een opwaartse luchtstroming (Goovaerts et al., mei 2002). De deeltjes in het bed kunnen zich vrij bewegen zoals in een fluïdum.

²³ Een techniek waarbij steenkool eerst wordt omgezet in een brandbaar gas of syngas. Dit gas wordt vervolgens gereinigd en ontzwaveld tot zuiverheid vergelijkbaar met aardgas zodat het syngas geschikt is voor verbranding in een stoom en gas (STEG) installatie. Deze combinatie van kolenvergassing gevolgd door elektriciteitsopwekking in een STEG wordt IGCC of 'Integrated Gasification Combined Cycle' genoemd.

Tabel 8: Netto-rendementen verschillende installatietypes in het elektriciteitsmodel

<i>Installatietype</i>	Elektrisch rendement	Rendement warmteproductie
<i>Kolencentrale groot</i>	0,37	
<i>Kolencentrale klein</i>	0,36	
<i>Gasturbine repowering</i>	0,40	
<i>Klassieke gascentrale</i>	0,35	
<i>Centrale hoogovengas</i>	0,36	
<i>STEG centrale 1995</i>	0,50	
<i>STEG centrale 2000</i>	0,54	
<i>STEG 2015</i>	0,61	
<i>WKK gasturbine</i>	0,36	0,42
<i>WKK gasturbine 2010</i>	0,40	0,47
<i>WKK gasmotor</i>	0,35	0,59
<i>WKK gasmotor 2010</i>	0,35	0,59
<i>WKK dieselmotor</i>	0,33	0,44
<i>WKK dieselmotor 2010</i>	0,39	0,51
<i>Pompcentrale</i>	0,74	

BRON: Duerinck et al., 2006b

→ *Besluit Energieplanning*

In het kader van de vervolgstudie *'Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'* wordt een overleg met de elektriciteitssector gepland. Tijdens dit overleg wordt gebracht om, op basis van het Besluit Energieplanning, meer recente informatie met betrekking tot de sector te verkrijgen.

Op 14 mei 2004 keurde de Vlaamse Regering het *Besluit Energieplanning* (B.S. 16 juli 2004) goed (meer informatie: <http://www.energiesparen.be/beleid/energieplanning.php>). Dit besluit trad in werking op 14 oktober 2004 en legt een aantal verplichtingen met betrekking tot energie-efficiëntie op aan ingedeelde energie-intensieve inrichtingen. Met het Besluit Energieplanning wordt uitvoering gegeven aan de IPPC ('Integrated Pollution Prevention and Control') richtlijn (96/61/EC). Deze richtlijn verplicht de lidstaten om in het kader van de milieuwetgeving ervoor te zorgen dat zowel bij de uitbating van de inrichting als bij de vergunningsaanvraag voor een nieuwe inrichting, rekening wordt gehouden met de energie-efficiëntie van de installaties.

Het beleid van de Vlaamse overheid inzake het verhogen van de energie-efficiëntie in de industrie en het reduceren van de CO₂-uitstoot, is in eerste instantie gericht op het afsluiten van vrijwillige overeenkomsten, de zogenaamde convenanten. Het *Benchmarkingconvenant* verzekert dat de grote energie-intensieve vestigingen tegen 2012 tot de wereldtop inzake energie-efficiëntie zullen behoren. Daarnaast is in 2005 het *Auditconvenant* van start gegaan waarin de middelgrote energie-intensieve ondernemingen zich engageren om een energieplan op te stellen en de rendabele maatregelen die daaruit voortvloeien ook effectief uit te voeren. Het Besluit Energieplanning moet dan ook als complementair met deze convenanten bekeken worden. Het is het wettelijk kader om de ondernemingen die niet zijn toegetreden tot een convenant, toch te verplichten rekening te houden met de energie-efficiëntie. Aangezien de elektriciteitssector uitgesloten is van het Benchmarkingconvenant,

vallen alle elektriciteitscentrales onder het toepassingsgebied van het Besluit Energieplanning.

Het Besluit Energieplanning bepaalt dat *energieplannen en –studies* moeten worden opgesteld door energiedeskundigen die door VEA (Vlaams Energieagentschap) aanvaard zijn. Een *energieplan* bevat een lijst met maatregelen die het specifiek energiegebruik in de inrichting kunnen verminderen. Alle maatregelen van deze lijst die een interne rentevoet (IRR) van minstens 15% na belastingen hebben, moeten uiterlijk voor 30 oktober 2007 uitgevoerd worden. In de *energiestudie* dient aangetoond te worden dat de in bedrijf te stellen inrichting de meest energie-efficiënte inrichting is die economisch haalbaar is, m.a.w. dat er gewerkt wordt met de Best Beschikbare Technieken (BBT).

8.1.4 Opslag, distributie en transport van aardgas

De CH₄-emissies tijdens distributie en transport van aardgas zijn in grote mate afhankelijk van het materiaal waarin de transportleidingen geproduceerd zijn (Anoniem, januari 2007a). De emissies zijn gedaald door een sterke vermindering in het gebruik van gietijzeren distributieleidingen en een belangrijke toename in het gebruik van distributieleidingen in kunststof.

Wat de huidige CH₄-emissies van 'opslag, transport en distributie van gas' betreft, worden de inschattingen van de VMM voor het jaar 2004 in het MKM opgenomen. Voor 2004 zijn de CH₄-emissies gelijk aan 11,737 kton.

Deze gegevens zijn eveneens terug te vinden in de Kernset Milieudata MIRA-T 2006. Bij de inschatting van deze emissies wordt door de VMM rekening gehouden met het aantal kilometer aardgasleiding en het type leiding (staal, gietijzer, vezelcement, PE, PVC). De emissiefactor is afhankelijk van het type leiding. Om de aardgasverliezen om te rekenen naar CH₄-emissies wordt ervan uitgegaan dat aardgas 85% mol methaan bevat.

Wat de inschatting van de toekomstige CH₄-emissies betreft, wordt uitgegaan van de methodologie die gevolgd werd in Lodewijks et al. (2007) voor de inschatting van de toekomstige NMVOS-emissies (VOS-emissies = 19,76% CH₄-emissies).

In Lodewijks et al. (2007) wordt voor de inschatting van de toekomstige CH₄-emissies rekening gehouden met de evolutie van de emissies van het totale distributienet volgens het A-scenario²⁴ uit Duerinck et al. (2006b): de CH₄-emissievracht van het distributienet voor 2004 wordt gedeeld door de inschatting van de CH₄-emissies in 2004 (namelijk 9,96 kton) en vermenigvuldigd met de inschatting van de toekomstige CH₄-emissies. Inschattingen voor 2025 en 2030 werden door VITO eveneens gemaakt in het kader van de BAU-studie maar werden niet gerapporteerd in Duerinck et al. (2006b). De CH₄-emissies van de hoge drukstations (1.640 ton) worden opgeteld bij de emissies van het totale distributienet.

²⁴ In het A-scenario wordt verondersteld dat gietijzeren leidingen volgens de historische trend volledige worden vervangen door leidingen in betere materialen. De aardgasverliezen zijn tussen 1990 en 2003 met 15% gedaald, voornamelijk als gevolg van de afbouw van het gietijzeren leidingennetwerk. Gemiddeld nam dit met 48 km per jaar af. Indien de vervanging in de toekomst aan hetzelfde tempo gebeurt, zullen alle gietijzeren leidingen vervangen zijn tegen 2010. Omdat het distributienet de volgende jaren blijft uitbreiden, nemen de emissies na 2010 opnieuw toe.

Tabel 9: Toekomstige CH₄-emissies 'opslag, distributie en transport van aardgas'

Jaar	CH ₄ -emissies (ton)
2010	$10.213/9,96 \times 9,22 + 1.640 = 11.094$ ton
2015	$10.213/9,96 \times 9,57 + 1.640 = 11.453$ ton
2020	$10.213/9,96 \times 9,79 + 1.640 = 11.679$ ton
2025	$10.213/9,96 \times 9,95 + 1.640 = 11.843$ ton
2030	$10.213/9,96 \times 10,08 + 1.640 = 11.976$ ton

Op basis van: Duerinck et al., 2006b

In de Kernset Milieudata MIRA-T 2006 worden CO₂-emissies (123 kton in 2004 en 2005) gerapporteerd, gekoppeld aan het eigen energiegebruik van de emissiebron 'transport en distributie van aardgas'.

8.1.5 Productie, distributie en transport van elektriciteit

In de Kernset Milieudata MIRA-T 2006 wordt een beperkte hoeveelheid SF₆-emissies gerapporteerd ten gevolge van de productie, distributie en het transport van elektriciteit (7 kton CO₂-equivalenten in 2004 en 2005). De actuele situatie wordt jaarlijks weergegeven in de inventaris F-gassen. De meest recente referentie hieromtrent is de studie '*Update of the emission inventory of ozone depleting substances, HFCs, PFCs and SF₆ for 2005*' (Altdorfer et al., 2005).

SF₆ wordt gebruikt als elektrische isolatie in elektrische energiesystemen (Van Rompaey et al., 2002). De elektronegativiteit van SF₆ geeft dit gas unieke onderbrekings- en isolerende eigenschappen. SF₆ wordt gebruikt bij midden- en hoogspanningsvermogenschakelaars en bij GIS-installaties. Bij vermogenstransformatoren wordt in België geen SF₆ gebruikt.

De enige alternatieve technologie die momenteel kan worden toegepast is gebruik maken van een vacuüm onderbrekingskamer. Deze vacuümtechnologie is enkel toepasbaar voor middenspanningsvermogenschakelaars. Er is in het verleden reeds veel onderzoek gebeurd naar mogelijke alternatieven voor SF₆ en dit is momenteel nog steeds zo. Voor gasgeïsoleerde vermogenschakelaars worden mengsels van SF₆ met andere gassen geëvalueerd (bv. SF₆-N₂). Daarnaast is het verplicht om SF₆ terug te winnen bij onderhoud of definitieve verwijdering van de hoogspanningsschakelaars.

Gegeven het beperkte aandeel dat voornoemde emissiebronnen vertegenwoordigen in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen, worden deze emissiebronnen op een geaggregeerd niveau opgenomen in de databank van het MKM (~ CRF). De toekomstige emissies worden afgestemd op de prognoses van LNE (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid) zoals weergegeven in '*Report by Belgium for the assessment of projected progress*' (15 maart 2007).

8.1.6 Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 0, wordt in het kader van het ondersteunend onderzoek 2007 van MIRA de koppeling met het elektriciteitsmodel geoptimaliseerd. Dit project zal ervoor zorgen dat het WKK-potentieel niet meer via een 'soft' link doorgerekend wordt maar via een 'hard' link.

De SF₆-emissies ten gevolge van de 'productie, distributie en het transport van elektriciteit' worden op een geaggregeerd niveau opgenomen in de databank van het MKM onder de sector industrie.

In de databank van het MKM Lucht is de emissiebron 'distributie van aardgas' opgenomen uitgaande van de Emissie-Inventaris Lucht van de Vlaamse Milieumaatschappij voor het jaar 2000 (i.e. Distrigas en Fluxys). De CO₂-emissies worden door het MKM berekend uitgaande van het energieverbruik en de CO₂-emissiefactoren voor aardgas en diesel. De NMVOS-emissies van de distributie van aardgas zijn op een geaggregeerd niveau (i.e. gasdistributie (2004)) in het MKM Lucht opgenomen. Gegeven dat er geen potentiële reductiemaatregelen voor broeikasgassen gedefinieerd worden voor de emissiebron 'opslag, distributie en transport van aardgas', wordt de reeds beschikbare informatie in het MKM Lucht niet geaggregeerd. De inventarisatie van de CH₄-emissies gebeurt op een geaggregeerd niveau.

8.2 Industrie

Wat de industrie betreft, wordt een onderscheid gemaakt tussen volgende broeikasgassen: CO₂, CH₄, N₂O en F-gassen of gefluoreerde broeikasgassen (HFK's (fluorkoolwaterstoffen), PFK's (polyfluorkoolwaterstoffen) en SF₆ (zwavelhexafluoride)).

In volgende tabel wordt uitgaande van de Kernset Milieudata MIRA-T 2006 een indicatie gegeven van het relatieve belang van de verschillende broeikasgassen. De broeikasgasemissies worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten voor 2004 en 2005. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de cijfers voor 2005 voorlopige cijfers zijn. De broeikasgasemissies van de industrie (incl. raffinaderijen) vertegenwoordigen in 2004 en 2005 een aandeel van ca. 30% in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen.

Tabel 10: Overzicht broeikasgasemissies industrie (kton CO₂-equivalenten) in 2004 en 2005

<i>Polluent</i>	kton CO₂- equivalenten (2004)	kton CO₂- equivalenten (2005)
<i>CO₂ (energie en proces)</i>	23.807	22.293
<i>CH₄ (vnl. cokesoven en sinterfabriek Sidmar)</i>	19	50
<i>N₂O (vnl. caprolactam- en salpeterzuurproductie)</i>	2.702	2.745
<i>HFK's</i>	521	521
<i>PFK's (3M)</i>	306	306
<i>SF₆ (glas)</i>	48	48
<i>Totaal</i>	27.404	25.964

Op basis van: Kernset Milieudata MIRA-T 2006

Een uitbreiding van het MKM met broeikasgassen voor de sector industrie is slechts haalbaar indien op (sub)sectoraal niveau minstens volgende gegevens beschikbaar zijn:

- emissies,
- reductiemaatregelen (gegroepeerd) of procesaanpassingen (gegroepeerd),
- besparing in GJ (idealiter per brandstoftype) of reductie niet-energiegerelateerde broeikasgassen in ton
- kostprijs in € per GJ of € per ton reductie niet-energiegerelateerde broeikasgassen

Zeker wat betreft de energiegerelateerde emissies van CO₂, CH₄ en N₂O dringt een aggregatie zich op. Informatie met betrekking tot de referentiesituatie (geïmplementeerde en geplande maatregelen) en het energiebesparingspotentieel is schaars zodat er een gezond evenwicht moet gezocht worden tussen het technische detailniveau en de beschikbaarheid van informatie.

8.2.1 Emissies

→ *Energiegerelateerde emissies (CO₂, CH₄, N₂O)*

Wat de CO₂-emissies betreft, kan een onderscheid gemaakt worden tussen enerzijds het energetisch gebruik van brandstof voor toepassingen zoals proceswarmte en aandrijving en anderzijds het niet-energetisch gebruik van brandstof als grondstof in een productieproces. Voorbeelden van niet-energetische gebruik van brandstof zijn het gebruik van aardgas voor de productie van ammoniak, het gebruik van cokes als reductans in hoogovens voor staalproductie of het gebruik van ethyleen voor de productie van polyethyleen. Meer dan 92% van dit niet-energetisch verbruik vindt plaats in de chemische industrie (Anoniem, 2006).

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 7.5.3, zijn de CO₂-emissies reeds aanwezig in de databank voor de bedrijven die op niveau van de individuele emissiebron in het MKM Lucht zijn opgenomen. Het MKM gebruikt hiervoor de op bedrijfsniveau beschikbare energieverbruiken van de individuele installaties en IPCC-emissiefactoren. De energieverbruiken werden in het kader van de BAU-studie gecorrigeerd om consistentie met de Energiebalans Vlaanderen te bekomen. In het kader van de uitbreiding met broeikasgassen worden de ontbrekende energieverbruiken op basis van de Energiebalans Vlaanderen (2005) bijgeschat.

De CH₄- en de (beperkte hoeveelheid) N₂O-emissies van verbrandingsprocessen worden met behulp van energieverbruiken en IPCC-emissiefactoren berekend door het MKM. Deze emissiefactoren moeten nog opgenomen worden in de databank van het MKM. Er wordt afgestemd op de methodologie die gevolgd werd bij de opmaak van de Belgische inventaris van broeikasgassen (1990 – 2005) (cf. paragraaf 7.5.3).

→ *Niet-energiegerelateerde emissies (N₂O, F-gassen)*

Industriële N₂O-emissies zijn afkomstig van de productie van salpeterzuur door BASF Antwerpen en van de productie van caprolactam door BAYER Rechteroever (nu: Lanxess Rechteroever) en (in mindere mate) BASF Antwerpen.

Voor de *productie van salpeterzuur*²⁵ zijn de emissies reeds in het MKM Lucht aanwezig op basis van de EIL VMM (situatie 2000). Gegeven het feit dat ondertussen reductiemaatregelen geïmplementeerd werden (met relevant milieueffect), worden de gegevens geactualiseerd op basis van het meest recente milieujaarverslag. Bv. in navolging van het convenant ter reductie van de lachgasemissies, dat door BASF Antwerpen in 2005 afgesloten werd met de Vlaamse overheid, werden reeds twee salpeterzuurinstallaties uitgerust met een katalysator die lachgas omzet in stikstof- en zuurstofgas.

De N₂O-emissies (2000) voor de *productie van caprolactam* worden in de databank van het MKM geactualiseerd op basis van de meest recente milieujaarverslagen.

De *industriële emissies van PFK's*²⁶ kunnen toegeschreven worden aan één bedrijf, met name 3M. De overige industriële emissies van F-gassen kunnen toegekend worden aan volgende emissiebronnen (Van Rompaey et al., oktober 2002):

- HFK's: industriële koel- en vriestoepassingen (incl. chemische, farmaceutische, petrochemische, olie-, gas-, metallurgische en kunststofindustrie), PU-isolerend schuim, PU-spuitbussen (drijfgas en blaasmiddel) (521 kton CO₂-equivalenten in 2005 cf. Kernset Milieudata MIRA-T 2006).
- SF₆: geluidsisolatie dubbel glas (48 kton CO₂-equivalenten in 2005 cf. Kernset Milieudata MIRA-T 2006).

Enkel de PFK-emissies van 3M worden op installatieniveau opgenomen in de databank van het MKM. De overige industriële bronnen van F-gassen worden op een geaggregeerd niveau in de databank opgenomen. De actuele situatie wordt jaarlijks weergegeven in de inventaris F-gassen. De meest recente referentie hieromtrent is de studie '*Update of the emission inventory of ozone depleting substances, HFCs, PFCs and SF₆ for 2005*' (Altdorfer et al., 2005).

²⁵ Salpeterzuur wordt geproduceerd op basis van ammoniak en is een basisproduct voor bv. de productie van minerale meststoffen en voor de productie van polyurethaan-grondstoffen. Polyurethaan is een veelzijdige kunststof die vooral als schuimen wordt aangewend voor de aanmaak van autozetels, dashborden, schoenzolen en isolatieschuimen.

²⁶ PFK-emissies worden veroorzaakt door de productie- en opslagzones van (elektrochemische) celsystemen waar gefluoreerde organische componenten worden geproduceerd en gezuiverd.

In onderstaande tabel wordt aangegeven welke acties nog moeten ondernomen worden om de databank van het MKM uit te breiden met industriële emissies van broeikasgassen. Deze acties maken deel uit van het studiedomein van de vervolgstudie *'Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'*.

Polluenten	Emissies	Acties
CO ₂ energiegerelateerd	Energieverbruik x EF	Ontbrekende verbruiken aanvullen op basis van Energiebalans Vlaanderen (2005)
CO ₂ niet-energiegerelateerd	EIL VMM	-
CH ₄ energiegerelateerd	Energieverbruik x EF	EF toevoegen (NIR, 2007)
CH ₄ niet-energiegerelateerd	EIL VMM	-
N ₂ O energiegerelateerd	Energieverbruik x EF	EF toevoegen (NIR, 2007)
N ₂ O salpterzuur	EIL VMM (BASF Antwerpen)	actualiseren
N ₂ O caprolactam	EIL VMM (BASF Antwerpen, BAYER RO)	actualiseren
PFK's	Inventaris F-gassen (3M)	actualiseren
Overige F-gassen	Inventaris F-gassen (HFK's, SF ₆)	actualiseren

Voor de inschatting van de toekomstige broeikasgasemissies wordt verwezen naar paragraaf 7.3.

8.2.2 Maatregelen

De installaties waarvoor voldoende informatie beschikbaar is, blijven op een gedetailleerd niveau in de databank opgenomen. De overige installaties worden geaggregeerd zodat een set van (generieke) maatregelen, op basis van informatie uit bv. energieplannen en literatuur (bv. MARKAL/TIMES België, GAINS, ICARUS-4), kan gedefinieerd worden. Het niveau van aggregatie kan pas bepaald worden na evaluatie van de beschikbare informatiebronnen. Deze evaluatie kadert binnen de vervolgstudie *'Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'*.

→ *Energiegerelateerde emissies (CO₂, CH₄, N₂O)*

(a) BAU- en BAU++-studie

Wat de beschrijving van de maatregelen in het MKM betreft, wordt in eerste instantie uitgegaan van de informatie die verzameld werd in het kader van de BAU-studie (Duerinck et al., 2006b) en BAU++-studie (Duerinck et al., 2007).

In Vanassche et al. (maart 2007) wordt een overzicht gegeven van de maatregelen die opgenomen zijn in de BAU- en BAU++-energiescenario's voor de industrie. In het *BAU-* scenario werd de invloed van beleidsinstrumenten geëvalueerd die geïmplementeerd zijn/worden ná 2001. De voornaamste instrumenten van het huidig Vlaamse klimaat- en energiebeleid die voor de periode tot 2012 doorgerekend zijn in het BAU-scenario, zijn het benchmarkingconvenant, het auditconvenant, de REG-openbaredienstverplichtingen voor netbeheerders en WKK.

Met de benchmarkingconvenanten en het doorgedreven gebruik van WKK kunnen de grootste energiebesparingen gerealiseerd worden.

Kostprijzen voor het gebruik van WKK zijn reeds gedetailleerd aanwezig in het MKM (cf. 8.1.3). De kostprijzen zijn gebaseerd op de studie *'Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020'* (Devriendt et al., oktober 2005).

In de 'discussienota industrie' voor de *BAU+*-studie (Duerinck et al., 2007) wordt als doelstelling een verlaging van de gemiddelde energie- en/of CO₂-intensiteit van de afgewerkte producten voorgesteld. De energie-intensiteit en/of CO₂-intensiteit van de afgewerkte producten kan verlagen door de processen te optimaliseren, door de samenstelling van de afgewerkte producten te laten variëren, en door in hogere mate over te schakelen op CO₂-armere brandstoffen.

Gegeven de beperkte informatie die beschikbaar is in de BAU- en BAU+-studie met betrekking tot kostprijzen en energiebesparingspotentieel van specifieke maatregelen, werden/worden bijkomende informatiebronnen geconsulteerd zoals de technische fiches van het Energie-onderzoek Centrum Nederland (cf. bijlage A), MARKAL/TIMES België (cf. 4.3), GAINS (cf. bijlage B), ICARUS-4 en de BREF 'energy-efficiency'²⁷. Tevens vindt overleg plaats met de energie-experten binnen VITO en de grote energieverbruikers uit het benchmarking/auditconvenant.

(b) Benchmarkingconvenant en energieplannen

De energie-intensieve bedrijven (primair energieverbruik > 0,5 PJ per jaar) in Vlaanderen of de vestigingen die ressorteren onder de Europese Richtlijn Verhandelbare Emissierechten kunnen toetreden tot het Benchmarkingconvenant. De Vlaamse Overheid en de onderneming komen dan overeen dat tegen 2012 de wereldtop naar energie-efficiëntie bereikt wordt. Een energieplan moet de afstand van de onderneming tot de wereldtop aantonen. Het bedrijf moet dan alle rendabele maatregelen (i.e. met een interne rentevoet of IRR na belastingen van minstens 15%) ten laatste in 2005 uitvoeren. Indien dit ontoereikend is om de wereldtop te bereiken, moet het bedrijf ook minder rendabele (i.e. met een IRR na belastingen van minstens 6%) uiterlijk in 2007 uitvoeren. Als tegenprestatie vrijwaart de overheid deze bedrijven van bijkomende energie- of CO₂-taksen, verleent ze korting op de federale bijdrage op energie en reserveert voor ze Vlaamse steun tot bevordering van energie-efficiëntie.

Een aantal van deze grote energieverbruikers (i.e. raffinaderijen, ijzer- en staalindustrie, chemie (ammoniakproductie, chloorproductie, naftacrackers)), worden bezocht om aan de hand van deze energieplannen bijkomende informatie te vergaren. De focus van deze energieplannen is weliswaar 2008 maar niettemin kunnen ze interessante informatie bevatten om de referentiesituatie en potentiële reductietechnieken te definiëren. VITO heeft met de betrokken bedrijven een vertrouwelijkheidsclausule afgesloten waardoor de informatie uit de energieplannen niet kan vrijgegeven worden (cf. bijlage C).

²⁷ Op dit moment is de tweede draft van de BREF 'Energy Efficiency' beschikbaar die zich voorlopig beperkt tot een technische beschrijving van maatregelen om energie-efficiëntie te verbeteren.

De informatie uit voornoemde literatuurbronnen wordt in eerste instantie gebruikt om een lijst van maatregelen op te stellen die het overleg met de industrie met betrekking tot de energieplannen op gang moet brengen. Indien dit overleg geen of onvoldoende bijkomende informatie oplevert, wordt deze lijst van (generieke) maatregelen gebruikt als input voor het MKM. Voordat deze (generieke) maatregelen in de databank worden opgenomen, wordt de toepasbaarheid voor de Vlaamse situatie en het geschikte niveau van aggregatie per (sub)sector vastgelegd. Dit gebeurt in samenspraak met de leden van de stuurgroep van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*'.

(c) Auditconvenant en energieplannen

Het Auditconvenant richt zich op de middelgrote energie-intensieve industriële bedrijven met een primair energieverbruik tussen 0,1 en 0,5 PJ per jaar, die buiten het toepassingsgebied van het Benchmarkingconvenant vallen. De bedrijven die het convenant ondertekenen verbinden er zich toe een audit te laten uitvoeren voor de bepaling van hun energiebesparingspotentieel. Binnen het jaar na toetreding moeten de bedrijven een energieplan voorleggen aan het verificatiebureau dat ook het Benchmarkingconvenant opvolgt. In een eerste fase moeten de bedrijven alle rendabele maatregelen (i.e. met een IRR ná belastingen van minstens 15% doorvoeren; in een tweede fase de minder rendabele maatregelen (i.e. met een IRR ná belastingen van minstens 13,5%). De toetredende bedrijven mogen rekenen op dezelfde tegenprestaties van de overheid als de benchmarkingbedrijven.

Er vindt overleg plaats met een aantal federaties om bijkomende informatie te vergaren met betrekking tot kosten en potentieel van energiebesparingsmaatregelen voor middelgrote energieverbruikers.

Volgende sectoren zijn toegetreden tot het auditconvenant:

- Agoria
- Baksteenfederatie
- Bemefa
- Cobelpa
- Febelgra
- Fedustria (voorheen Febelhout en Febeltex)
- Essenscia (voorheen Fedichem)
- Fetra
- Fevia
- GSV Staalindustrie Verbond
- VGI-FIV Glasindustrie
- VOKA

(d) Energiebesparingsprojecten Elia

In het kader van het Besluit van de Vlaamse regering van 29 maart 2002 inzake de openbare dienstverplichtingen ter bevordering van het rationeel energiegebruik (REG) dient de distributienetbeheerder Elia een primaire energiebesparing te realiseren bij de eindafnemers van elektriciteit aangesloten op het distributienet in Vlaanderen waarvoor Elia werd benoemd als distributienetbeheerder voor de netten met een spanning tussen 26 en 70 kV. De elektriciteitsnetbeheerders zijn door dit Uitvoeringsbesluit op het Vlaams Elektriciteitsdecreet sinds 2003 verplicht om jaarlijks 1 % te besparen op het primair energieverbruik (i.e. 0,4 %

van het elektriciteitsgebruik) van hun aangeslotenen. Dit is een resultaatsverplichting en om deze resultaatsverplichting te bereiken heeft Elia sinds 2003 een REG-actieplan opgesteld. De aanpak van Elia steunt op drie pijlers: (1) sensibiliseren, (2) energieaudits en –adviezen subsidiëren en (3) investeringssteun verlenen voor concrete energiebesparende maatregelen.

VITO vervult zowel in pijler 2 als in pijler 3 een rol die een belangrijke bron van informatie kan opleveren. Bij de investeringssubsidies staat VITO in voor de controle van de technische gegevens en de berekeningen in het aanvraagdossier of de haalbaarheidsstudie. VITO evalueert de energiebesparende maatregelen op basis van hun energetische terugverdientijd i.e. investeringskosten in € versus energiebesparing in €. Maatregelen kunnen van Elia tussen de 10% en 40% subsidie krijgen. De maatregelen worden in drie categorieën (A, B en C) verdeeld, gegroepeerd volgens de terugverdientijd en bijbehorende procentuele tussenkomst van Elia uitgedrukt in een percentage van de direct aantoonbare investeringskost.

Tabel 11: Categorieën investeringssteun Elia

<i>Categorie</i>	Terugverdientijd	Investeringssteun Elia
<i>A</i>	Van 1 tot 2 jaar	10 %
<i>B</i>	Tussen 2 en 5 jaar	(10 TVT – 10) %
<i>C</i>	Meer dan 5 jaar	40 %

Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze maatregelen ook werkelijk geïmplementeerd worden. Het gaat zeker niet om futuristische maatregelen want ze moeten binnen 1,5 à 2 jaar geïmplementeerd worden en zijn gericht op de nutsvoorzieningen (bv. perslucht, stoom).

De aanvraagdossiers die bij Elia ingediend worden voor investeringssteun kunnen bijkomende informatie opleveren met betrekking tot de energiebesparingsmogelijkheden van de 'kleinere' energieverbruikers. Aangezien VITO aan een vertrouwelijkheidsclausule is gebonden, kunnen de gegevens enkel mits akkoord van Elia gebruikt worden in het kader van de uitbreiding van het MM met broeikasgassen. Er werd een nota naar Elia verstuurd om de vraag naar informatie te kaderen. Echter, omwille van vertrouwelijkheidsredenen kan Elia geen informatie vrijgeven.

(e) Warmteproductie uit biomassa

In Devriendt et al. (2005) wordt het potentieel ingeschat van het gebruik van hernieuwbare brandstoffen voor stoom/warm waterketels voor proceswarmte of voor ruimteverwarming en thermische olie. Ovens, fornuizen en andere toepassingen worden niet in overweging genomen voor overschakeling naar biomassa.

Mogelijke technieken voor opwekking van warmte/stoom uit hernieuwbare bronnen zijn verbranding van biomassa namelijk hout, pellets of pure plantaardige oliën.

Voor kolen, petroleumproducten en aardgas wordt het (theoretisch) maximum vervangingspotentieel voor 2003 ingeschat op respectievelijk: 3,4 PJ per jaar, 20,9 PJ per

jaar en 54,2 PJ per jaar. Dit potentieel wordt afgetoetst bij de bespreking van de energieplannen.

De andere brandstoffen zoals afval- en recuperatiegassen of reeds hernieuwbare brandstoffen worden niet meegenomen in het potentieel dat vervangen kan worden.

In Devriendt et al. (2005) worden twee technieken overwogen om in de industrie te gebruiken voor warmteproductie met hernieuwbare brandstoffen: biomassaverbrandingsinstallatie met roosteroven en overschakeling stookolie naar pure plantaardige oliën.

Voor het vermogen van 5.000 kWth wordt in Devriendt et al. (2005) een overzicht gegeven van de technisch-economische parameters voor zowel conventionele (aardgas- en stookolieketel) als hernieuwbare warmteproductie (biomassaverbranding, PPO-brander + voorverwarming). Er wordt verondersteld dat jaarlijks 5% per jaar van het maximum potentieel (i.e. bestaande stookinstallaties op stookolie of 20,9 PJ) (degressief) vervangen wordt.

In het BAU-scenario wordt verondersteld dat er geen groei zal zijn in biomassa/pellet-installaties en dat er geen omschakeling zal gebeuren van stookolieketels naar oliën en vetten. In het PRO-scenario (i.e. pro-actief beleidsscenario) wordt verondersteld dat groene warmte op hetzelfde niveau komt als stookolieverbranding.

Wat de beschikbaarheid van biomassa betreft, wordt in Devriendt et al. (2005) zowel uitgegaan van verhandelbare stromen (pellets, koolzaad, PPO, etc.) als biomassareststromen (varkens- en pluimveemest, groen-afval, GFT-afval, dierlijk afval, slib, stortgas, etc.). Het potentieel beperkt zich bijgevolg niet tot Vlaanderen.

Tevens wordt in Devriendt et al. (2005) opgemerkt dat bij het gebruik van pellets voor louter warmteproductie op kleine schaal de emissies gelijkaardig zijn aan deze van een installatie op stookolie. Voor sommige pollutanten scoren de pelletinstallaties beter, bv. SO_x. Wat de emissies van fijn stof betreft, scoren deze installaties minder goed (i.e. eigen aan verbranding vaste brandstof).

De rendabiliteit van de ombouw van een conventionele installatie naar een biomassa-installatie is ondermeer afhankelijk van het verschil in kostprijs tussen fossiele brandstoffen en biobrandstoffen enerzijds en de randvoorwaarden met betrekking tot de verbranding van biomassa(reststromen) (bv. emissiegrenswaarden) anderzijds. Daarnaast zal ook de beschikbaarheid van biomassa²⁸ een limiterende factor zijn en zal afstemming binnen en buiten Europa nodig zijn.

In samenspraak met de opdrachtgever, wordt ervoor geopteerd om warmteproductie uit biomassa voor de sector industrie niet mee te nemen in het MKM noch als potentiële energiebesparingsmaatregel noch als scenario.

²⁸ In Devriendt et al. wordt aangegeven dat we in Vlaanderen in 2020 ongeveer 31 PJ beschikbare biomassa (i.e. koolzaad, graan, lignocellulose, pellets, houtafval, gebruikte oliën en vetten, biomassareststromen, organische fractie HVV) hebben voor energietoepassingen (groene elektriciteit, groene warmte, biobrandstoffen). De benodigde biomassa voor groene warmte onder het PRO-scenario wordt reeds op 22 PJ ingeschat.

→ *Niet-energiegerelateerde emissies (N₂O, F-gassen)*

In 2005 werd een convenant ter reductie van de lachgasemissies afgesloten tussen BASF Antwerpen en de Vlaamse overheid. De doelstelling van dit convenant is om de emissies van N₂O te reduceren tot 2,5 kg per ton 100% salpeterzuur. In 2006 werd een nieuwe katalysator die de N₂O-emissies reduceert tot stikstof- en zuurstofgas reeds ingebouwd in twee van de vier salpeterzuurinstallaties en begin 2007 werd deze katalysator ook ingebouwd in de derde salpeterzuurinstallatie. Einde 2007 wordt een nieuwe salpeterzuurinstallatie in bedrijf genomen die van meet af aan voorzien is van de nieuwe katalysator.

De PFK-emissies van 3M zijn sterk gedaald en de SF₆-emissies zijn volledig weggevallen tengevolge van de implementatie van naverbrandingsinstallaties, gecombineerd met een fluoriderecuperatie-eenheid die de afgassen van deze installaties thermisch oxideert en de waterstoffluoride recupereert (Anoniem, januari 2007).

Informatiebronnen met betrekking tot geïmplementeerde en/of potentiële reductiemaatregelen zijn de meest recente milieujaarverslagen en energieplannen van BASF Antwerpen, BAYER Recheroever en 3M.

Wat de overige emissiebronnen van F-gassen betreft, zal een groot deel van de emissies gereduceerd worden door de uitfasering van een aantal producten en apparaten die gefluoreerde broeikasgassen bevatten of waarvan de werking op dergelijke gassen berust. Op 4 juli 2006 werd de Europese Verordening nr. 842/2006 van het Europees Parlement en de Raad inzake bepaalde gefluoreerde broeikasgassen van kracht die in artikel 9 verbiedt dat de producten en apparaten in bijlage II op de markt gebracht worden. Vanaf 4 juli 2007 geldt de verbodsbepaling voor niet-navulbare houders, koelmiddelen in niet-ingesloten systemen voor directe verdamping, brandbeveiligingssystemen en brandblussers, vensters voor particuliere woningen en banden. Vanaf 4 juli 2008 geldt de verbodsbepaling voor andere vensters dan die voor particuliere woningen en schuim met één component (behalve indien dit nodig is om aan de nationale veiligheidsnormen te voldoen).

De geïmplementeerde en potentiële reductiemaatregelen voor BASF Antwerpen, Bayer RO en 3M worden opgenomen in de databank van het MKM. Wat de overige industriële bronnen van F-gassen betreft, wordt het effect van Europese Verordening nr. 842/2006 rechtstreeks doorgerekend in de toekomstige emissies. Er wordt hierbij afgestemd met de prognoses van LNE (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid) zoals weergegeven in 'Report by Belgium for the assessment of projected progress' (15 maart 2007).

8.2.3 Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht

De bronnen van verbrandingsgerelateerde CO₂-, N₂O- en CH₄-emissies waarvoor voldoende informatie beschikbaar is, blijven op een gedetailleerd niveau in de databank opgenomen. De overige installaties worden geaggregeerd zodat een set van (generieke) maatregelen gedefinieerd kan worden.

De bronnen van niet-verbrandingsgerelateerde N₂O-emissies (BASF Antwerpen en Lanxess Recheroever) blijven op installatieniveau opgenomen in de databank van het MKM. 3M blijft op installatieniveau opgenomen in de databank. De overige industriële bronnen van F-gassen worden op een geaggregeerd niveau in de databank opgenomen onder de sector industrie.

8.3 Residentiële sector

8.3.1 Algemene context

In de residentiële sector kan een onderscheid gemaakt worden tussen de bronnen van energiegerelateerde en niet-energiegerelateerde broeikasgasemissies. Laatstgenoemde hebben betrekking op de N₂O en CH₄-emissies ten gevolge van de lozing van huishoudelijk afvalwater, septische putten etc. en de bronnen van HFK-emissies.

In volgende tabel wordt uitgaande van de Kernset Milieudata MIRA-T 2006 een indicatie gegeven van het relatieve belang van de verschillende emissiebronnen. De broeikasgasemissies van de verschillende emissiebronnen worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten voor 2004 en 2005. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de cijfers voor 2005 voorlopige cijfers zijn. De broeikasgasemissies van de residentiële sector vertegenwoordigen in 2004 en 2005 een aandeel van 16% in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen.

Tabel 12: Overzicht broeikasgasemissies residentiële sector (kton CO₂-equivalenten) in 2004 en 2005

<i>Emissiebron</i>	Polluent	kton CO₂- equivalenten (2004)	kton CO₂- equivalenten (2005)
<i>energiegebruik</i>	CO ₂	13.635	13.362
<i>gebouwenverwarming</i>	CH ₄	22	21
<i>gebouwenverwarming</i>	N ₂ O	478	470
<i>lozing huishoudelijk afvalwater, septische putten etc.</i>	CH ₄	50	50
<i>lozing huishoudelijk afvalwater, septische putten etc.</i>	N ₂ O	156	157
<i>totaal HFK's</i>	HFK's	85	85
	CO ₂	13.635	13.362
	CH ₄	72	71
	N ₂ O	634	627
	HFK's	85	85
	Totaal	14.426	14.145

Op basis van: Kernset Milieudata MIRA-T 2006

8.3.2 Emissies

→ *Energiegerelateerde emissies (CO₂, N₂O en CH₄)*

De huidige en toekomstige energiegerelateerde broeikasgasemissies van de residentiële sector worden in het MKM opgenomen, uitgaande van de basisgegevens uit de BAU- en BAU+-energieprognoses (Duerinck et al. 2006b; 2007) en IPCC-emissiefactoren (NIR, 2007).

Het energieverbruik wordt opgesplitst in enerzijds energieverbruik (voornamelijk brandstofverbruik) voor verwarming en sanitair warm water (SWW) en anderzijds elektriciteitsverbruik voor elektrische apparaten en verlichting.

Om de prognoses van het energieverbruik voor *verwarming en sanitair warm water* op te stellen, werd het Vlaamse woningpark in de REF-, BAU- en BAU+-studie zeer gedetailleerd ingedeeld op basis van vier criteria, namelijk woningtype (open, halfopen, gesloten woning of appartement), decentrale of centrale verwarming, brandstoftype en woningleeftijd (woningen ouder dan 1945, 1946-1970, 1971-1990, >1990 en nieuwbouw (i.e. gebouwd ná 2000)). Ook het aanwezige ketel/kachelttype (ketelttype jaren '70, '80 en '90; modulerende en condenserende gasketel; oude en nieuwe kachel) vormde eveneens een variabele in de energieprognosen.

In het kader van de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen dringt een aggregatie van deze woningkenmerken zich op, zodat een te groot aantal mogelijke combinaties (installatie, gecombineerd met apparaten en brandstoffen) in het model vermeden worden. Er wordt een onderscheid gemaakt naar woningtype, woningleeftijd, ketel/kachelttype en brandstoftype.

In volgende tabel wordt aangegeven op welke manier de residentiële sector ingepast wordt in de databankstructuur van het MKM. Naast de aggregatie van zowel centrale als decentrale verwarming, worden tevens leeftijdscategorieën geaggregeerd. Het jaar 1970 vormt hierbij een kritische grens, aangezien de oliecrisisen rond deze periode ertoe hebben geleid dat de woningen gebouwd na 1970 over meer isolatie beschikken. Met 'gemiddelde ketel/kachel' wordt bedoeld: de gemiddelde ketel/kachel van gans het woningpark in het basisjaar.

Tabel 13: Residentiële sector (verwarming en SWW) en MKM-structuur

Woningtype ~ Bedrijf	Woningleeftijd ~ Installatie	Ketel/kachelttype ~ Apparaat	Brandstof ~ Brandstof
Appartement	'≤1970-brandstof' '>1970-brandstof' 'Nieuwbouw-brandstof'	Gemiddelde ketel/kachel	Aardgas Stookolie Hout Steenkool LPG Elektriciteit
Éengezinswoning	'≤1970-brandstof'' '>1970-brandstof'' 'Nieuwbouw-brandstof''	Gemiddelde ketel/kachel	Aardgas Stookolie Hout Steenkool LPG Elektriciteit

BRON: VITO

Voor het elektriciteitsverbruik door *elektrische toestellen en verlichting* binnen de residentiële sector wordt het woningpark als één geheel beschouwd en wordt er met andere woorden geen onderscheid gemaakt tussen nieuwbouw en bestaande woningen, enz. Daarenboven wordt het elektriciteitsverbruik niet verder opgesplitst tussen de verschillende apparatuur, maar in het MKM Klimaat opgenomen onder één installatie.

Tabel 14: Residentiële sector (elektrische toestellen en verlichting) en MKM-structuur

Bedrijf	Installatie	Apparaat
elektrische toestellen en verlichting	Idem als bedrijf	Idem als Installatie

BRON: VITO

Het elektriciteitsverbruik door elektrische apparatuur is afhankelijk van enerzijds de implementatiegraad en anderzijds de efficiëntie van de elektrische apparatuur.

Wat het elektriciteitsverbruik van elektrische toestellen en verlichting betreft, wordt rekening gehouden met een autonome efficiëntieverbetering die gerealiseerd wordt in de periode 2000-2030. Deze efficiëntieverbetering wordt ingeschat op basis van literatuur²⁹.

→ *Niet-energiegerelateerde emissies (N₂O, CH₄ en HFK's)*

In de Kernset Milieudata van MIRA-T 2006 zijn N₂O en CH₄-emissies voor 2004 terug te vinden voor de emissiebron '*lozing van huishoudelijk afvalwater, septische putten etc.*', namelijk: 0,5 kton N₂O en 2,4 kton CH₄. Deze emissies vertegenwoordigen in 2004 een aandeel van 0,23% in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen.

In dezelfde kernset worden voor de 'huishoudens' eveneens de totale *HFK*-emissies gegeven, uitgedrukt in CO₂-equivalenten 85 kton 0,095% van het totaal aan CO₂-equivalenten in Vlaanderen. De actuele situatie wordt jaarlijks weergegeven in de inventaris F-gassen. De meest recente referentie hieromtrent is de studie '*Update of the emission inventory of ozone depleting substances, HFCs, PFCs and SF₆ for 2005*' (Altdorfer et al., 2005).

Gegeven het beperkte aandeel dat voornoemde emissiebronnen vertegenwoordigen in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen, worden deze emissiebronnen op een geaggregeerd niveau opgenomen in de databank van het MKM (~ CRF). De toekomstige emissies worden afgestemd op de prognoses van LNE (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid) zoals weergegeven in '*Report by Belgium for the assessment of projected progress*' (15 maart 2007).

²⁹ Mogelijke referenties: Ziesing H.-J., Markewitz P., Schlomann B., Matthes F.C., *Klimaschutz in Deutschland bis 2030. Endbericht zum Forschungsvorhaben Politikszenerarien III*, Forschungsbericht 201 41 142, Umweltbundesamt, januari 2005. *Energy-efficiency, a shortcut to Kyoto targets, the vision of European Home Appliances Manufacturers*, CECEd, 2006.

8.3.3 Maatregelen

De maatregelen voor de residentiële sector worden, in de mate van het mogelijke, zoveel mogelijk overgenomen uit de BAU- en de BAU+-studie. Vanassche et al. (maart 2007) geeft een overzicht van de maatregelen die in deze studies in rekening gebracht worden.

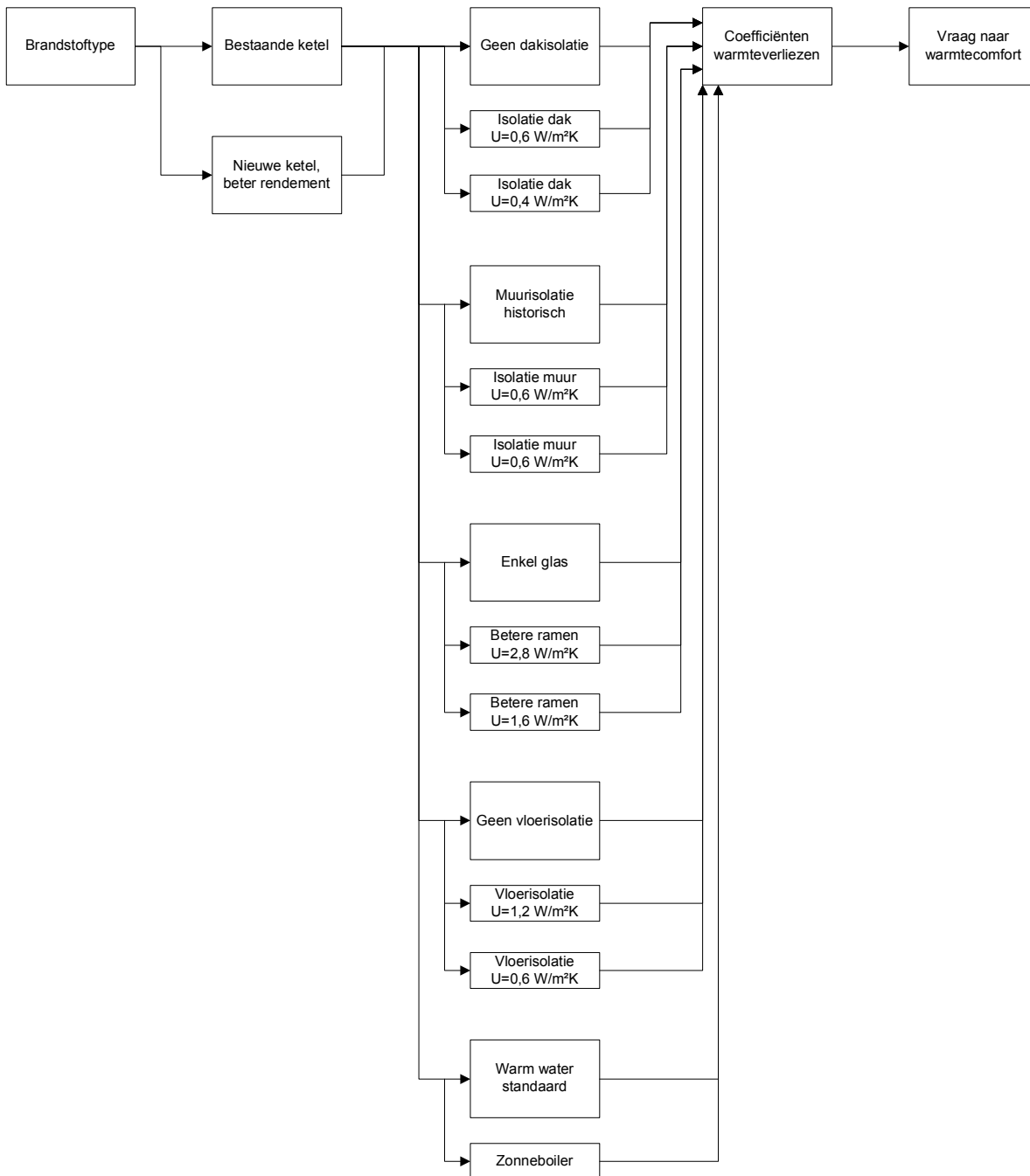
De residentiële sector kent enerzijds een brandstofverbruik voor verwarming en sanitair warm water (SWW) en anderzijds een elektriciteitsverbruik voor elektrische toestellen en verlichting. Voor de bepaling van het energieverbruik (vnl. brandstofverbruik) voor *verwarming en SWW* wordt de residentiële sector ingedeeld in twee categorieën, namelijk nieuwbouwwoningen en bestaande woningen. Voor beide categorieën worden andere maatregelen voorgesteld.

Het energieverbruik en CO₂-emissies van het *bestaande woningpark* kunnen gereduceerd worden met behulp van de volgende maatregelen:

- Brandstofomschakeling
- Dakisolatie $U_{\text{dak}} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ of $U_{\text{dak}} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Muurisolatie $U_{\text{muur}} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Vloerisolatie $U_{\text{vloer}} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ of $U_{\text{vloer}} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Beglazing $U_{\text{beglazing}} = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ of $U_{\text{beglazing}} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Ketel/kachelomschakeling naar meer energie-efficiënte ketel/kachel
- Zonneboiler

Voor genoemde U-waarden komen voor de verschillende isolatiemaatregelen respectievelijk overeen met de vroegere K55-norm en de huidige K45-norm (i.e. huidige Energieprestatieregelgeving).

In volgende figuur wordt geïllustreerd op welke manier deze energiebesparingsmaatregelen in het MKM in rekening gebracht worden. Zoals reeds aangegeven in paragraaf 7.5.1, wordt het model voor deze maatregelen gestuurd door de vraag naar warmtecomfort. De 'Coefficiënten warmteverliezen' splitsen deze eindvraag uit naar de verschillende onderdelen van de gebouwschil. i.e. warmte dat door de verschillende onderdelen van de gebouwschil (dak, muur, vloer, raam) verloren gaat.



Figuur 27: Modelstructuur MKM waarin de residentiële sector met gedetailleerde isolatieniveaus kan opgenomen worden en waarbij de eindvraag naar warmtecomfort behouden blijft.

BRON: VITO

In het *nieuwbouwpark* wordt enkel een verlaging van het E-peil beschouwd als een mogelijke energiebesparingsmaatregel. De niveaus van E-peilen die in het MKM worden meegenomen, komen overeen met deze uit de BAU+-studie, namelijk: E80, E70, E60, E50, E40 en E30.

In tegenstelling tot het elektriciteitsverbruik voor verwarming, wordt het *elektriciteitsverbruik voor elektrische toestellen en verlichting* voor gans het woningpark beschreven, zowel nieuwbouw als bestaande woningen. De maatregel 'efficiëntere apparatuur en verlichting' wordt gedefinieerd op basis van volgende aannames: voor de 7 belangrijkste elektrische installaties (ca. 65% van het elektriciteitsverbruik voor elektrische toestellen en verlichting) wordt een energiezuiniger toestel voorgesteld, namelijk een toestel met een goede energie-efficiëntie, maar geen te grote aankoopdrempel:

- Koelkast: A++ label
- Vriezer: A++ label
- Combinatie koelkast-vriezer: A++ label
- Wasmachine: AAA label
- Droogkast: A label
- Vaatwasmachine: A label
- Verlichting: A label

Het zijn tevens deze toestellen die in het huidige REG-actieplan premies ontvangen van de netbeheerders. De overige elektrische toestellen (bruingoedtoestellen e.d.) krijgen geen energiezuiniger alternatief toebedeeld aangezien de diversiteit van apparaten binnen deze groep te groot is. Op basis van bovenstaande energiezuinigere toestellen wordt de totale besparing op het elektriciteitsverbruik voor elektrische toestellen en verlichting ingeschat. Er wordt uitgegaan van dezelfde autonome efficiëntieverbetering als voor het elektriciteitsverbruik in paragraaf 8.3.2.

De kosten van voornoemde maatregelen, i.e. zowel investerings- als operationele kosten, worden bepaald op basis van literatuur. Belangrijke referenties voor de residentiële sector zijn:

- A., *Bouwen voor/aan de toekomst, 21 duurzame tips voor 21ste eeuw*, CeDuBo Centrum Duurzaam Bouwen, brochure.
- De Herde A. et al., *Comparaison de systèmes de chauffage de logements et de production d'eau chaude*, UCL, KUL & VITO, 2001.
- Desmedt J., Adwin M., *Energiegebruik en energiebesparingspotentieel in de woningen in Vlaanderen*, VITO, 2000.
- Knoop M., *Milieu- en economische effecten van passiefhuizen en energiezuinige woninge*, Thesis, Universiteit Hasselt, mei 2006.
- Mollen M., *Economische haalbaarheid van duurzaam wonen*, Thesis, Universiteit Hasselt, 2007.
- Nijs W., Renders N., Van Regemorter D., *Markal/Times, a model to supply greenhouse gas reduction policies*, CES Kuleuven & VITO, 2006.
- Siebens K., Wuyts H., De Vlieger I., Cornu K., Smekens K., *Analyse van de maatregelen voorzien in het Vlaamse CO2-REG-beleidsplan en van suggesties voor aanvullende acties*, VITO, 1999.
- Vanassche S., Meynaerts E., Lodewijks P., *Energie- en broeikasgasscenario's voor het Vlaams gewest – verkenning beleidsscenario's tot 2030, Kosten*, VITO, februari 2007.
- www.topten.be
- www.energievreeters.be
- www.livios.be

Naast de kosten en de energiebesparing, moet eveneens rekening gehouden met de toepasbaarheidsgraad van de maatregelen. Technische beperkingen beletten een volledige

toepassing van de maatregelen in een woning of een gebouw. Zo kan bv. niet elke woning vloerisolatie toepassen omdat het risico op koudebruggen te groot is. Daarnaast kan het zijn dat bepaalde woningen al een maatregel hebben toegepast. Op een geaggregeerd niveau heeft dit eveneens een impact op de toepasbaarheid van de maatregel. De toepasbaarheidsgraad wordt voor elke maatregel in het MKM opgenomen.

8.3.4 Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht

In het kader van de studie *'Opstellen en uitwerken van een methodologie voor een intersectorale afweging van de haalbaarheid van mogelijke maatregelen voor de reductie van diverse pollutemissies naar de lucht'* (Ecolas en VITO, juli 2005) werden in de databank van het MKM Lucht de verbrandingsemissies voor SO₂, NO_x en TSP voor gebouwenverwarming (huishoudens en tertiair) opgenomen. Deze emissies zijn gebaseerd op brandstofverbruik en emissiefactoren voor 2003, aangeleverd door LNE, Dienst Lucht en Klimaat (Dhr. Lauwereins), namelijk: 1.518 ton. Er werd een onderscheid gemaakt tussen:

- Aardgasverwarming
- Stookolie verwarming
- Vaste brandstoffen verwarming
- Zware stookolie verwarming
- Propaan, butaan, LPG verwarming
- Hernieuwbare (hout) verwarming

In het kader van de studie *'Prognoses en scenario's luchtverontreinigende stoffen'* werden de emissies geactualiseerd voor 2004. Hierbij werd gebruik gemaakt van het brandstofverbruik voor 2004 uit de Energiebalans Vlaanderen.

Wat de bronnen van energiegerelateerde broeikasgasemissies betreft, wordt een onderscheid gemaakt tussen energieverbruik (voornamelijk brandstofverbruik) voor verwarming en sanitair warm water enerzijds en elektriciteitsverbruik voor elektrische apparaten en verlichting anderzijds. Er wordt niet alleen een onderscheid gemaakt naar brandstoftype maar ook naar woningtype en leeftijd. Voor de overige emissiebronnen (lozing huishoudelijk afvalwater, septische putten etc. en HFK's) worden de broeikasgasemissies op geaggregeerd niveau in het MKM opgenomen onder de sector industrie.

8.4 Tertiaire sector

8.4.1 Algemene context

In de tertiaire sector kan een onderscheid gemaakt worden tussen energiegerelateerde en niet-energiegerelateerde broeikasgasemissies. Laatstgenoemde hebben betrekking op:

- N₂O-emissies van HWI's en medische toepassingen,
- CH₄-emissies van storten en composteren van afval,
- CO₂-emissies van verbranding van niet-biologische afvalfractie,
- bronnen van HFK-emissies.

In volgende tabel wordt uitgaande van de Kernset Milieudata MIRA-T 2006 een indicatie gegeven van het relatieve belang van de verschillende emissiebronnen. De broeikasgasemissies van de verschillende emissiebronnen worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten voor 2004 en 2005. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de cijfers voor 2005 voorlopige cijfers zijn. De broeikasgasemissies van de tertiaire sector vertegenwoordigen in 2004 en 2005 een aandeel van 5% in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen.

Tabel 15: Overzicht broeikasgasemissies tertiaire sector (in kton CO₂-equivalenten) in 2004 en 2005

<i>Emissiebron</i>	<i>Polluent</i>	<i>kton CO₂-equivalenten (2004)</i>	<i>kton CO₂-equivalenten (2005)</i>
<i>energiegebruik</i>	CO ₂	3.444	3.444
<i>gebouwenverwarming</i>	CH ₄	2	2
<i>gebouwenverwarming</i>	N ₂ O	83	83
<i>verbranding niet-biologische afvalfractie (zonder elektriciteitsproductie)</i>	CO ₂	41	41
<i>compostering</i>	CH ₄	38	38
<i>storten van afval</i>	CH ₄	637	559
<i>huisvuilverbranding</i>	N ₂ O	15	15
<i>medische toepassingen</i>	N ₂ O	130	129
<i>HFK's totaal</i>	HFK's	177	177
	CO ₂	3.485	3.485
	CH ₄	677	599
	N ₂ O	228	227
	HFK's	177	177
	Totaal	4.567	4.488

Op basis van: Kernset Milieudata MIRA-T 2006

8.4.2 Emissies

→ *Energiegerelateerde emissies*

De huidige en toekomstige energiegerelateerde broeikasgasemissies van de tertiaire sector worden in het MKM opgenomen, uitgaande van de basisgegevens uit het BAU- en BAU+-energiescenario uit Duerinck et al. (2006b, 2007) en IPCC-emissiefactoren.

In Duerinck et al. (2006, 2007) wordt een onderscheid gemaakt tussen volgende subsectoren:

- handel
- horeca
- kantoren & administratie
- onderwijs (kleuter-, lager en hoger onderwijs; overig onderwijs)
- ziekenhuizen
- maatschappelijke dienstverlening met onderdak
- maatschappelijke dienstverlening zonder onderdak
- andere gemeenschaps-, sociale en persoonlijke dienstverlening

In het kader van de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen, worden bepaalde subsectoren geaggregeerd. Op die manier blijft het aantal mogelijke combinaties in het MKM beperkt. Deze aggregatie leidt tot de volgende vier categorieën:

- Kantoren en administraties
- Ziekenhuizen en maatschappelijke dienstverlening met onderdak
- Onderwijs
- Overige subsectoren, nl. handel, horeca, maatschappelijke dienstverlening zonder onderdak en andere maatschappelijke dienstverlening.

De subsector 'kantoren' vormt de voornaamste energieverbruikende subsector, en wordt dan ook als aparte categorie beschouwd in het MKM. Tevens voeren de subsectoren 'onderwijs' en 'welzijn', gestuurd door het beleid, specifieke energiebesparende acties uit, zodat ze tevens elk afzonderlijk dienen te worden behandeld.

Wat het *brandstofverbruik* van de tertiaire sector betreft, wordt naar analogie met de BAU- en BAU+-energieprognoses, een onderscheid gemaakt tussen bestaande gebouwen, (grondige en gewone) vergunde renovaties en nieuwbouw.

Volgende tabel geeft aan op welke manier het brandstofverbruik van de tertiaire sector wordt ingepast in de databankstructuur van het MKM.

Tabel 16: Tertiaire sector (brandstofverbruik) en MKM-structuur

Bedrijf	Installatie	Apparaat	Brandstof
Kantoren	Bestaand park	Idem als Installatie	Aardgas
	Grondige vergunde renovatie		
	Gewone vergunde renovatie		
	Nieuwbouw		
Onderwijs	Bestaand park	Idem als Installatie	Lichte stookolie
	Vergunde renovatie		
	Nieuwbouw		
Ziekenhuizen en maatschappelijke dienstverlening met onderdak	Bestaand park	Idem als Installatie	Stookolie
	Vergunde renovatie		
	Nieuwbouw		
Overige	Bestaand park	Idem als Installatie	Zware stookolie
	Vergunde renovatie		
	Nieuwbouw		
			Gas- en dieselolie
			Overige

BRON: VITO

De brandstofcategorie 'overige' omvat alle weinig voorkomende brandstoffen binnen de tertiaire sector:

- Propaan/butaan/LPG
- Kolen
- Houtkrullen
- Lamppetroleum
- Recuperatie-/biogas

Het *elektriciteitsverbruik* van de tertiaire sector heeft enkel betrekking op het verbruik door elektrische apparaten en niet op het verbruik voor verwarming en sanitair warm water. De modelstructuur is echter analoog aan deze in 8.3.2.

→ *Niet-energiegerelateerde emissies (CH₄, N₂O, HFK's)*

(a) Storten, composteren, huisvuilverbrandingsinstallaties

Het *storten van afval* is een belangrijke bron van CH₄-emissies. Echter, de invoering van een stortverbod en de nuttige aanwending (energieproductie) van CH₄-emissies uit de bestaande afvalstorten deed de afgelopen jaren de CH₄-uitstoot van afvalstorten terugvallen.

Sinds 1995 moet op stortplaatsen waar biologisch afbreekbaar afval wordt gestort, het geproduceerde stortgas worden opgevangen en behandeld. Dit gas wordt bij voorkeur gevaloriseerd als energiebron (elektriciteit of warmte). Enkel wanneer aangetoond kan worden dat valorisatie economisch niet haalbaar is, is affakkelen toegelaten waarbij CH₄ wordt verbrand tot CO₂. De verplichting betreft zestien stortplaatsen (Anoniem, januari

2007b), waarvan er nog vijf in actieve exploitatie zijn. Op dertien stortplaatsen werd in 2005 elektriciteit geproduceerd. Op twee stortplaatsen is deze momenteel in aanbouw. Bij een andere is de gasproductie sedert 2004 onvoldoende voor valorisatie en wordt het gas afgefakkeld. Op oudere stortplaatsen, afgewerkt vóór 1995, geldt de verplichting niet en wordt het gevormde stortgas niet opgevangen.

Gezien de reeds bestaande VLAREM-verplichting voor het opvangen van de CH₄-emissies is het reductiepotentieel in Vlaanderen beperkt. Enkel de oude stortplaatsen kunnen nog bijkomend methaanemissies reduceren. In GAINS (Höglund-Isaksson, 2005) worden volgende maatregelen voorgesteld voor de reductie van CH₄ op storten van organisch materiaal:

- compostering op grote schaal,
- verbranding,
- biovergassing,
- stort overdekken,
- gasrecuperatie met gebruik als energiebron,
- gasrecuperatie met affakkelen,
- stort overdekken en gasrecuperatie met gebruik,
- stort overdekken en gasrecuperatie met affakkelen.

De meest recente CH₄-emissies worden op een geaggregeerd niveau opgenomen in de databank van het MKM. Wat de inschatting van de toekomstige CH₄-emissies betreft, wordt uitgegaan van Lodewijks et al. (2007).

In volgende tabel wordt voor 'storten' een overzicht gegeven van de huidige (2004) en toekomstige CH₄-emissies. De CH₄-emissies voor 2004 stemmen overeen met de gegevens in het rapport *'Lozingen in de lucht 1990 – 2005'* (VMM) en de Kernset Milieudata MIRA-T 2006.

De toekomstige CH₄-emissies worden ingeschat op basis van prognoses die door LNE, Cel Lucht & Klimaat (Dhr. Knight) in het kader van Lodewijks et al. (2007). Er wordt verondersteld dat de VLAREM-wetgeving wordt nageleefd i.e. op elke stortplaats gebeurt er minstens affakkeling. Deze informatiebron levert prognoses voor CH₄-emissies voor storten op tot en met 2025. Bij gebrek aan meer concrete cijfers wordt voor 2030 verondersteld dat de emissievracht gelijk is aan die van 2025³⁰.

³⁰ In het 'Ontwerp uitvoeringsplan milieuverantwoord beheer huishoudelijke afvalstoffen' (OVAM) wordt als één van de actiepunten opgenomen dat in 2015 geen brandbaar afval meer gestort zal worden. Daarnaast wordt vanaf 2015 een stortcapaciteit van 300 kton voor niet-brandbaar afval en voor de bodemassen van de roosterverbrandingsinstallaties voorzien. Hoewel er geen afval meer gestort wordt in 2015, is er in 2015 nog wel een milieu-impact tengevolge van afval dat vóór 2015 is gestort. Stortgas wordt geproduceerd tot 25 jaar nadat het afval gestort is.

Tabel 17: Huidige en toekomstige CH₄-emissies 'storten'

Jaar	CH ₄ -emissies (kton per jaar)
2004	30,351
2010	13,502
2015	6,915
2020	2,852
2025	0,573
2030	0,573

Op basis van: Lodewijks et al., 2007

De emissiebronnen 'composterer' (CH₄) en 'huisvuilverbrandingsinstallaties' (N₂O) vertegenwoordigen in 2004 een aandeel van respectievelijk 0,04% en 0,02% in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen (Kernset Milieudata MIRA-T 2006).

Gegeven het beperkte aandeel dat voornoemde emissiebronnen vertegenwoordigen in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen, worden deze emissiebronnen op een geaggregeerd niveau opgenomen in de databank van het MKM (~ CRF). De toekomstige emissies worden afgestemd op de prognoses van LNE (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid) zoals weergegeven in 'Report by Belgium for the assessment of projected progress' (15 maart 2007).

(b) HFK-emissies

In de Kernset Milieudata van MIRA-T 2006 worden voor 'handel & diensten' de totale HFK-emissies gegeven, uitgedrukt in CO₂-equivalenten: 177 kton of 0,20% van het totaal aan CO₂-equivalenten in Vlaanderen in 2004. De actuele situatie wordt jaarlijks weergegeven in de inventaris F-gassen. De meest recente referentie hieromtrent is de studie 'Update of the emission inventory of ozone depleting substances, HFCs, PFCs and SF₆ for 2005' (Altdorfer et al., 2005).

Gegeven het beperkte aandeel dat voornoemde emissiebronnen vertegenwoordigen in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen, worden deze emissiebronnen op een geaggregeerd niveau opgenomen in de databank van het MKM (~ CRF). De toekomstige emissies worden afgestemd op de prognoses van LNE.

(c) Overige emissiebronnen

De emissiebronnen 'medische toepassingen' (N₂O) en 'verbranding niet-biologische afvalfractie (zonder elektriciteitsproductie)' (CO₂) vertegenwoordigen in 2004 een aandeel van respectievelijk 0,14% en 0,05% in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen (Kernset Milieudata MIRA-T 2006).

Gegeven het beperkte aandeel dat voornoemde emissiebronnen vertegenwoordigen in de totale vracht CO₂-equivalenten, worden de meest recente emissiegegevens op een geaggregeerd niveau opgenomen in de databank van het MKM (~ CRF). De toekomstige emissies worden afgestemd op de prognoses van LNE.

8.4.3 Maatregelen

De maatregelen voor de tertiaire sector worden, in de mate van het mogelijke, zoveel mogelijk overgenomen uit de BAU- en de BAU+-studie. Vanassche et al. (maart 2007) geeft een overzicht van de maatregelen die in deze studies in rekening gebracht worden.

Zoals reeds werd aangehaald in paragraaf 8.4.2, worden de subsectoren van de tertiaire sector geaggregeerd in vier categorieën. Voor elke categorie worden maatregelen in het MKM opgenomen, i.e. zowel voor het brandstofverbruik voor verwarming (en SWW) als voor het elektriciteitsverbruik. De voorgestelde maatregelen verschillen van het bestaande park (en gewone vergunde renovatie in geval van kantoren en administraties) ten opzichte van deze voor nieuwbouw en grondige vergunde renovatie.

In volgende tabel worden de beschouwde maatregelen schematisch voorgesteld voor het *bestaande park (en gewone renovatie in geval van kantoren en administraties)*.

Tabel 18: Overzicht maatregelen tertiaire sector bestaande park

	Reductiemaatregel	Kantoren	Onderwijs	Ziekenhuizen en Rusthuizen	Overige
<i>Brandstof</i>	Ventilatie met WTW	X		X	
	Ketelomschakeling (HR/condensatieketels)	X	X	X	X
	Gebouwschilmaatregelen U-waarden EPB (dak-, muur-, vloerisolatie en betere beglazing)	X	X	X	X
	Nachtverlaging		X	X	X
<i>Elektriciteit</i>	Relighting	X	X	X	X
	Energy Star	X			
	Minder koeling (door meer zonnewering, relighting en Energy Star)	X			
	Fotovoltaïsche panelen	X	X	X	X

BRON: VITO

Het E-peil geeft aan welke reducties worden gerealiseerd in *nieuwe gebouwen of in gebouwen die een grondige renovatie* ondergaan. De niveaus van E-peilen die worden in rekening gebracht, komen overeen met deze uit de BAU+-studie, namelijk: E90, E75, E60 en E45.

De kosten voor voornoemde maatregelen, i.e. zowel investerings- als operationele kosten, worden bepaald op basis van literatuur. Wat betreft de tertiaire sector wordt onder andere beroep gedaan op:

- Groen Licht Vlaanderen (contact met C. Lootens)
- Hoes H., Martens A., *Energiebesparingspotentieel in 47 kantoorgebouwen in Vlaanderen*, VITO, 2001.
- ICarus 4-databank
- Nijs W., Renders N., Van Regemorter D., *Markal/Times, a model to supply greenhouse gas reduction policies*, CES Kuleuven & VITO, 2006.

- Vanassche S., Meynaerts E., Lodewijks P., *Energie- en broeikasgasscenario's voor het Vlaams gewest – verkenning beleidsscenario's tot 2030, Kosten*, VITO, februari 2007.

Naast de kosten en de energiebesparing wordt voor elke maatregel ook toepasbaarheidsgraad in het MKM opgenomen.

8.4.4 Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 8.3.4, is in de databank van het MKM Lucht het brandstofverbruik voor 2004 terug te vinden, uitgaande van de Energiebalans Vlaanderen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de verschillende brandstoftypes. In het kader van de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen, wordt voor de *energiegerelateerde emissiebronnen* niet alleen een onderscheid gemaakt naar brandstoftype. Er wordt ook een onderscheid gemaakt tussen subsectoren en tussen bestaande gebouwen, (grondige en gewone) vergunde renovaties en nieuwbouw.

In het MKM Lucht zijn de *'huisvuilverbrandingsinstallaties'* opgenomen uitgaande van de Emissie-Inventaris Lucht van de Vlaamse Milieumaatschappij voor het jaar 2000. In het kader van de studie *'Prognoses en scenario's voor luchtverontreinigende stoffen'* (Lodewijks et al., 2007), werd de databank voor een aantal emissiebronnen geactualiseerd waaronder de huisvuilverbrandingsinstallaties. Bij de actualisatie werd uitgegaan van de meest recente IMJV's en de studie *'Inventarisatie van de Vlaamse afvalverbrandingssector'* (Briffaerts et al., 2006). Gegeven dat er geen potentiële reductiemaatregelen voor broeikasgassen gedefinieerd worden voor HVVI's, wordt de reeds beschikbare informatie niet geaggregeerd. De inventarisatie van de CH₄ en N₂O-emissies gebeurt op een geaggregeerd niveau onder de sector industrie.

De *overige emissiebronnen* zijn niet (afzonderlijk) opgenomen in het MKM Lucht. In het kader van de uitbreiding met broeikasgassen, worden de broeikasgasemissies van deze emissiebronnen op geaggregeerd niveau in het MKM opgenomen onder de sector industrie.

8.5 Transport

8.5.1 Algemene context

De uitstoot van CO₂ vertegenwoordigt het grootste aandeel in de totale uitstoot van broeikasgassen door de transportsector. De uitstoot van N₂O is een bijproduct dat gevormd wordt in de katalysator van motorvoertuigen. De emissie van HFK's is voornamelijk te wijten aan de aanwezigheid van luchtconditioneringssystemen in voertuigen. CH₄-emissies zijn eigen aan het gebruik van benzinevoertuigen.

In volgende tabel wordt uitgaande van de Kernset Milieudata MIRA-T 2006 een indicatie gegeven van het relatieve belang van de verschillende broeikasgassen. De broeikasgasemissies worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten voor 2004 en 2005. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de cijfers voor 2005 voorlopige cijfers zijn. De broeikasgasemissies van de transportsector vertegenwoordigen in 2004 en 2005 een aandeel van 17% in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen.

Tabel 19: Overzicht broeikasgasemissies transport (in kton CO₂-equivalenten) in 2004 en 2005

<i>Polluent</i>	kton CO ₂ - equivalenten (2004)	kton CO ₂ - equivalenten (2005)
CO ₂	14.872	14.922
CH ₄	32	28
N ₂ O	484	488
HFK's	111	111
<i>alle gassen samen</i>	15.499	15.549

Op basis van: Kernset Milieudata MIRA-T 2006

8.5.2 Emissies

In paragraaf 6.3.2, werd reeds aangegeven dat uitgegaan wordt van bestaande scenarioberekeningen met TREMOVE (uitgevoerd in opdracht van Europese Commissie en FOD Mobiliteit en Vervoer). De huidige en toekomstige referentie-emissies zijn afkomstig uit TREMOVE.

Verder overleg met TMLeuven is nodig om de resultaten van de scenarioberekeningen te verduidelijken en aan te leveren in een formaat dat bruikbaar is voor het MKM. Dit overleg wordt gevoerd in het kader van de vervolgstudie "Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen".

8.5.3 Maatregelen

→ *TREMOVE*

In het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*' werden door TMLeuven de resultaten van volgende scenarioberekeningen aangeleverd:

- EC E1: heavy duty truck road infrastructure charging,
- EC A21-A25: new 'euro' emissions standards for light duty vehicles,
- EC D21 en D23: reduction of CO₂-emissions from light duty vehicles,
- FOD1: changes fuel prices,
- FOD2: mobility tax scenario,
- FOD3: differentiated road taxes.

Voor deze scenario's werd door TMLeuven de reductie van CO₂, N₂O, NO_x, SO₂ en PM (in ton) en de bijhorende (welvaarts)kosten³¹ gerapporteerd ten opzichte van het baselinescenario en dit voor de tijdshorizon 2005/2006 – 2020/2030.

In *TREMOVE* worden volgende veronderstellingen gemaakt met betrekking tot *biobrandstoffen* (i.e bio-ethanol en biodiesel, bijgemengd in respectievelijk benzine en diesel).

- Reductie van heffingen en/of subsidies zorgen ervoor dat de prijs aan de pomp van biobrandstoffen dezelfde is als die van conventionele benzine en diesel. Er wordt verondersteld dat de introductie van biobrandstoffen noch de vraag naar transport, noch het aankoopgedrag van wagens beïnvloedt. De overheidsuitgaven (en de welvaartskosten) worden wel beïnvloed.
- 'Tank-to-wheel' emissies, gerelateerd aan het gebruik van biobrandstoffen, worden niet in rekening gebracht. 'Well-to-tank' emissiefactoren geven een inschatting van de emissies van broeikasgassen die vrijkomen bij de productie van biobrandstoffen.
- Een 'resource cost' van 0,5 € per liter biobrandstof wordt verondersteld die constant blijft in de tijd, ongeacht de evolutie van de prijs van ruwe olie.

Verder overleg met TMLeuven is nodig om de resultaten van de scenarioberekeningen te verduidelijken en aan te leveren in een formaat dat bruikbaar is voor het MKM. Dit overleg wordt gevoerd in het kader van de vervolgstudie.

Ter vergelijking, wordt in wat volgt ook een overzicht gegeven van de 'maatregelen' die in Duerinck et al. (2006b, 2007) voor de transportsector beschreven worden. Zoals reeds aangegeven in paragraaf 6.3.2, impliceert de afstemming met *TREMOVE* dat deze BAU- en +-maatregelen/doelstellingen niet in rekening kunnen gebracht worden.

³¹ De verandering in consumentensurplus (CS), producentensurplus (PS) en overheidsontvangsten ('costs of public funds') wordt in rekening gebracht. Wat laatstgenoemde betreft, wordt uitgegaan van een 'shadow cost' van 'public funds' gelijk aan 1 (of $\lambda + 1 = 0$) dus geen extra kosten omwille van distortieve belastingen.

→ *BAU- en BAU+-studie*

In Vanassche et al. (2007) wordt een onderscheid gemaakt tussen volumemaatregelen en technische maatregelen voor de reductie van de broeikasgasemissies van de transportsector.

Volgende volumemaatregelen worden in het BAU- en/of BAU+-energiescenario beschreven:

- Modale shift (in BAU opgenomen): shift van wegtransport naar spoorvervoer of binnenvaart (energie-efficiënter door schaalvergroting) is een volumemaatregel.
- Slimme kilometerheffing (in BAU+ opgenomen voor personenwagens, zware vrachtwagens en lichte vrachtwagens): een volumemaatregel die voor een reductie van het totaal aantal voertuigkilometers kan zorgen. Dit betekent een daling van emissies, energieverbruiken, geluidshinder en verkeersslachtoffers.
- Liefkenshoek tunnel voor goederenvervoer per spoor (in BAU opgenomen)³²: 130 treinen met project t.o.v. 65 treinen zonder project met gemiddeld 250 km afstand en 313 dagen per jaar. Met project resulteert dit voor het spoorverkeer in 11,1 miljard tonkm/jaar, zonder project in 5,56 miljard tonkilometer per jaar. Voor vrachtwagens is dit 231,8 miljoen voertuigkilometers per jaar met project en 463,7 miljoen voertuigkilometers per jaar zonder project.
- Diaboloverbinding en GEN (in BAU opgenomen): voor het personenvervoer per spoor schat het VKP II het effect van de diabolo verbinding naar de luchthaven van Zaventem en het Gewestelijk Expressnet (GEN) op 720 miljoen minder voertuigkilometers (auto), 86,4 miljoen meer buskilometers.
- Bevorderen van het fietsverkeer (substitutie voor de auto) (in BAU opgenomen): resulteert in 607 miljoen minder autokilometers.
- Het verder stimuleren van telewerken (in BAU opgenomen): vermindert het aantal autokilometers met 260 miljoen.

Naast voornoemde volumemaatregelen worden nog een aantal technische maatregelen beschreven. Het betreft hier in eerste instantie de shift naar energiezuinigere technologieën (i.e. Advanced Motor Fuels: AMF) zoals:

- CNG (aardgas)
- Fuel cell H₂ (brandstofcellen op waterstof)
- H₂ ICE (verbrandingsmotor op waterstof)
- Elektrische voertuigen
- Hybride voertuigen (diesel, benzine, CNG, H₂)

Voor personenwagens, zware vrachtwagens, bussen en lichte vrachtwagens zijn deze energiezuinigere technologieën opgenomen in het BAU-energiescenario. In het BAU+-energiescenario wordt verondersteld dat de introductie van brandstofcellen op H₂ nagenoeg verwaarloosbaar is tot 2030. Enkele bijkomende shiften voor bussen zijn wel in het BAU+-energiescenario opgenomen.

Met betrekking tot voornoemde energiezuinige technologieën is volgende kosteninformatie beschikbaar:

³² De realisatie van de tunnel is voorzien tegen einde 2011. Dit project moet toelaten dat de spoorwegmaatschappijen over de nodige capaciteit beschikken om hun marktaandeel in het containervervoer per spoor van en naar Antwerpen uit te breiden.

- De meerkost voor de aanschaf van een hybride diesel bus in 2010 is 15% hoger dan een gewone dieselbus. Daarna constante kost voor hybride. De kostprijs van dieselbussen zal wel nog toenemen omwille van technologische vernieuwingen om aan de steeds strengere Europese normen te voldoen. Voor CNG bedroeg de meerkost in 2000 een 20% t.o.v. een dieselbus (daarna constante kost).
- In MARKAL/TIMES België zijn investeringskosten opgenomen voor voornoemde technologieën.
- SUSATRANS geeft een overzicht van de kostprijzen van brandstoffen en van voertuigtypes voor 2010 en 2020 in vergelijking met bestaande technologie in 2000. In Tabel 20 geven we kostprijzen per voertuig voor verschillende motortechnologieën.

 Tabel 20: Brandstofverbruik, CO₂-emissies en kostprijs per voertuig

	BRON	TEMAT			SUSATRANS		
		Verbruik [MJ/km]	Verbruik [liter/100 km]	CO ₂ -emissies [g/km]	Kostprijzen [€ 2000, excl. BTW]		
					2000	2010	2020
euro 4 (2005)							
diesel	klein	1,73	4,66	127	15.880		
diesel	medium	2,19	5,89	160			
diesel	groot	2,88	7,75	211			
hybride benzine	klein	1,59	4,81	109	19.050	16.550	
hybride benzine	medium	2,00	6,02	137			
hybride benzine	groot	2,36	7,11	162			
LPG	klein	2,54	10,04	158	15.800	18.380	
LPG	medium	2,52	9,97	157			
LPG	groot	2,50	9,88	156			
benzine	klein	2,28	6,86	156	14.050		
benzine	medium	2,85	8,60	196			
benzine	groot	3,37	10,15	231			
euro 4 (2015)							
hybride CNG	klein	1,38	3.777	77	22.050	21.550	
hybride CNG	medium	1,73	4.722	97			
hybride CNG	groot	2,04	5.565	114			
hybride diesel	klein	1,29	3,46	94	20.880		
hybride diesel	medium	1,62	4,37	119			
hybride diesel	groot	2,14	5,75	157			
geen CO₂-emissies							
elektrisch	klein			0	29.050	24.050	21.550
elektrisch	medium			0			
elektrisch	groot			0			
fuel cell H ₂	klein			0	40.650	22.950	
fuel cell H ₂	medium			0			
fuel cell H ₂	groot			0			
H ₂ ICE	klein			0	19.050	18.050	
H ₂ ICE	medium			0			
H ₂ ICE	groot			0			
hybride H ₂	klein			0	24.050	22.050	
hybride H ₂	medium			0			
hybride H ₂	groot			0			

BRON: Vanassche et al., 2007

Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor de bovenstaande gegevens inzake brandstofverbruik en CO₂-emissies geen rekening gehouden wordt met een verandering in rijgedrag, doorstroming of het gebruik van biobrandstoffen.

De belangrijkste pijler van de Europese strategie COM(95)689 ter reductie van de CO₂-emissie door personenwagens is het *convenant met de automobielsector*. In het ACEA-convenant verbinden de motorconstructeurs zich om door technologische verbeteringen de gemiddelde CO₂-emissie van nieuwe personenwagens tegen 2008/2009 met 25 % te verlagen ten opzichte van 1995, van gemiddeld 185 g/km in 1995 naar gemiddeld 140 g/km in 2008 en 120 g/km in 2012. Het ACEA-convenant wordt gerealiseerd als een autonome energie-efficiëntieverbetering van de motorconstructeurs. Extra beleid op vlak van energie-efficiëntieverbetering brengt wel extra kosten met zich mee via een shift naar kleinere voertuigen en AMF (cf. supra).

Voor de CO₂-emissies die bespaard worden bij het produceren en transporteren van *biobrandstoffen* moet voor het CO₂-reductiepotentieel een onderscheid gemaakt worden tussen 1ste- en 2de-generatie-biobrandstoffen. In het BAU-energiescenario wordt verondersteld dat tegen 2020 een niveau van 10% biobrandstoffen gehaald wordt. In het BAU+-energiescenario wordt dit 20% tegen 2030.

- 1^{ste}-generatie-biobrandstoffen zijn vooral biodiesel, pure plantaardige olie (PPO) en bio-ethanol. De grondstoffen beperken zich veelal tot oliehoudende gewassen, suiker- en zetmeelhoudende gewassen. Voor de globale keten resulteren zij in een CO₂ reductiepotentieel van 30 tot 50%.
- 2^{de}-generatie-biobrandstoffen onderscheiden zich van de 1^{ste}-generatie door de gebruikte omzettingstechniek die het mogelijk maakt om meer biomassastromen en residuen die voorheen onbruikbaar waren, om te zetten. Zo is het mogelijk om cellulosehoudende reststromen om te zetten en zo gewassen met hoge percentages cellulose te gebruiken voor conversie. Voor de globale keten resulteren zij in een CO₂ reductiepotentieel tot 90%. Een voorbeeld van zo'n 2^{de}-generatie-biobrandstoffen is Fischer Tropsch (FT) diesel.

Kosteninformatie met betrekking tot biobrandstoffen kan teruggevonden worden in Govaerts et al. (2006). In Nederland raamt men de gemiddelde meerkost voor biobrandstof t.o.v. fossiele brandstof in het jaar 2020 op 16€/GJ (aan de pomp, zonder accijns en BTW). De kosteneffectiviteit bedraagt nationaal gezien 195 € per ton CO₂ gereduceerd. Voor de eindgebruiker is de kosteneffectiviteit 194 € per ton CO₂ gereduceerd.

Het *vervangen van zwaardere vrachtwagens gebruikt op grote corridors door langere voertuigen* draagt bij tot een vermindering van de CO₂-broeikasgasuitstoot (in BAU+-studie opgenomen). Voor eenzelfde hoeveelheid vracht zouden dan slechts twee vrachtwagens in plaats van drie nodig zijn. Een bijkomend voordeel is de vermindering van congestie aangezien deze vrachtwagens minder plaats innemen dan drie vrachtwagens.

Voor het voertuigenpark dat vervangen wordt door de grotere vrachtwagens zou per voertuigkilometer een brandstofbesparing van 10% mogelijk zijn, Volvo maakt zelfs melding van 15 tot 20%. In volgende tabel wordt een overzicht gegeven van het brandstofverbruik en CO₂-emissies van vrachtwagens zoals opgenomen in TEMAT. Tevens wordt op basis van SUSATRANS een indicatie gegeven van de kostprijs.

Tabel 21: Brandstofverbruik en kostprijs van vrachtwagens uit TEMAT en SUSATRANS

Categorie	TEMAT			SUSATRANS
	Verbruik [MJ/km]	Verbruik [liter/100km]	CO ₂ -emissies [g/km]	Kostprijs [€ 2000, excl. BTW]
100% autosnelweg				
32-40 ton	17,05	45,91	1.250	200.000
40-60 ton	23,05	62,06	1.690	

BRON: Vanassche et al., 2007

In het BAU-energiescenario wordt de verandering van ritparameters meegenomen. Er wordt verondersteld dat tegen 2010 door een verandering in rijgedrag voor personenwagens een reductie van 2% in brandstofverbruik en CO₂-emissies wordt gerealiseerd, voor vrachtwagens en bussen wordt een reductie van 5% gerealiseerd. Doorstroming geeft een reductie van 1,5% in brandstofverbruik en CO₂-emissies.

8.5.4 HFK-emissies

Eind 1994 zijn alle *auto*constructeurs overgeschakeld van CFK-12 naar HFK-134a, dat algemeen geaccepteerd wordt als het mobiele *airco* koelmiddel. Bestaande voertuigen met een CFK-12 systeem, zullen naar verwachting uitgefaseerd zijn tegen 2008. HCFK's worden niet gebruikt voor nieuwe mobiele aircosystemen.

Het traditionele koelmiddel voor *airconditioning* op *schepen* was het ozonafbrekende CFK-114, voor gebruik in ijswatermachines met centrifugaalcompressoren. Een alternatieve stof voor nieuwe centrifugale koelmachines op schepen is HFK-134a. Oude koelmachines op schepen worden aangepast aan HFK-236fa. Daarnaast wordt ook HCFK-124 voorgesteld als alternatief.

Gekoeld transport omvat de koeling in schepen, koelschepen, gekoelde containers, gekoelde spoorwagens (slechts klein in aantal), wegtransport met onder andere opleggers, grote en kleine vrachtwagens. Bijna alle koelsystemen voor gekoeld transport opereren onder de dampcompressiecyclus. Naar alle waarschijnlijkheid zullen de eerstkomende jaren geen andere technologieën de voorkeur krijgen. Over het algemeen worden HFK's verkozen als toekomstige koelmiddelen voor het gekoeld transport. Er gebeurt evenwel ook beperkt onderzoek naar alternatieven als (koolwaterstoffen) KWS, NH₃ en de luchtcyclus. Daarnaast lijkt de potentiële herwaardering van CO₂, dat in 1960 in de helft van alle gekoelde schepen gebruikt werd, een veelbelovende optie.

Voor meer (gedetailleerde) informatie wordt verwezen naar de databank ozonafbrekende stoffen: <http://www.emis.vito.be/ozon/>.

In de Kernset Milieudata MIRA-T 2006 wordt voor de transportsector een overzicht gegeven van de totale *HFK*-emissies, uitgedrukt in CO₂-equivalenten: 111 kton of 0,12% van het totaal aan CO₂-equivalenten in Vlaanderen in 2004 en 2005. De actuele situatie wordt jaarlijks weergegeven in de inventaris F-gassen. De meest recente referentie hieromtrent is de studie *'Update of the emission inventory of ozone depleting substances, HFCs, PFCs and SF₆ for 2005'* (Altdorfer et al., 2005).

Gegeven het beperkte aandeel dat voornoemde emissiebronnen vertegenwoordigen in de totale vracht CO₂-equivalenten in Vlaanderen, worden deze emissiebronnen op een geaggregeerd niveau opgenomen in de databank van het MKM (~ CRF). De toekomstige emissies worden afgestemd op de prognoses van LNE (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid) zoals weergegeven in '*Report by Belgium for the assessment of projected progress*' (15 maart 2007).

8.5.5 Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht

Tot nu toe richtte het MKM zich op stationaire emissiebronnen binnen de doelgroep industrie en energie (incl. glastuinbouw, intensieve veeteelt, gebouwenverwarming) en geen mobiele bronnen.

Wat de emissiebronnen van CO₂, N₂O en CH₄ betreft, wordt uitgegaan van bestaande scenarioberekeningen met TREMOVE. De HFK-emissies van de transportsector worden op een geaggregeerd niveau opgenomen in de databank van het MKM onder de sector industrie.

8.6 Landbouw

8.6.1 Algemene context

In de landbouwsector kan een onderscheid gemaakt worden tussen volgende emissiebronnen van broeikasgassen:

- CO₂- en N₂O-emissies door gebruik van fossiele brandstoffen,
- CH₄-emissies door methaanvergisting in de dierlijke spijsvertering,
- CH₄- en N₂O-emissies uit mestopslag en mestaanwending.

Het aandeel van de verschillende broeikasgassen is binnen de sector landbouw relatief evenredig verdeeld. Ter illustratie, wordt in volgende tabel op basis van de Kernset Milieudata MIRA-T 2006 een overzicht gegeven van de broeikasgasemissies in CO₂-equivalenten voor 2004.

Tabel 22: Overzicht broeikasgasemissies landbouw (kton CO₂-equivalenten) in 2004

<i>Subsector</i>	Emissiebron	Polluent	kon CO₂- equivalenten (2004)
<i>veeteelt</i>	energiegebruik	CO ₂	219
<i>glastuinbouw</i>	energiegebruik	CO ₂	1.315
<i>open lucht tuinbouw</i>	energiegebruik vollegrondstuinbouw	CO ₂	65
<i>open lucht tuinbouw</i>	energiegebruik blijvende teelten	CO ₂	14
<i>veeteelt</i>	brandstofgebruik	N ₂ O	13
<i>glastuinbouw</i>	brandstofgebruik	N ₂ O	60
<i>open lucht tuinbouw</i>	brandstofgebruik	N ₂ O	10
<i>veeteelt</i>	spijsvertering	CH ₄	2.169
<i>veeteelt</i>	mestopslag	CH ₄	2.244
<i>akker- en weiland</i>	kunstmestgebruik	N ₂ O	422
<i>akker- en weiland</i>	gebruik dierlijke mest	N ₂ O	1.183
<i>veeteelt</i>	mestopslag in en rond stallen	N ₂ O	454
<i>indirecte emissies landbouw</i>	ter hoogte van oppervlaktewater t.g.v. N-verliezen uit landbouw	N ₂ O	417
		CO ₂	3.293
		CH ₄	4.394
		N ₂ O	2.591
		Totaal	10.279

Op basis van: Kernset Milieudata MIRA-T 2006

→ *CO₂-emissies*

De glastuinbouw, als grootste energiegebruiker, is verantwoordelijk voor het grootste deel van de verbrandingsgerelateerde CO₂-emissies. Bijgevolg zal in de volgende paragrafen dan ook de focus liggen op de energetische CO₂-emissies van de glastuinbouw.

Het Departement Landbouw en Visserij van de Vlaamse Overheid organiseerde in 2006 een enquête over de productie-infrastructuur en het energiegebruik in de glastuinbouw³³. Aan de FOD economie werd gevraagd om aanvullend aan de 15-mei landbouwtelling van 2006 éénmalig een aantal bijkomende vragen te stellen aan de bedrijfsleiders actief in de glastuinbouw. De laatste grootschalige enquête met betrekking tot de productie-infrastructuur in de glastuinbouw dateert van 1996. De vragen in de glastuinbouwenquête betreffen het productiejaar 2005 en hadden betrekking op het bouwjaar van de glasopstand, het areaal glas, energiebesparende maatregelen, het soort brandstof dat voor de verwarming gebruikt werd, het verbruik, het soort kasbedekking, het type serre, de geproduceerde teelten in de serre, aanwezigheid van een energiescherm, gebruik van kunstbelichting of niet. De meeste van deze kenmerken hebben te maken met energie en energieverbruik. Zowel bedrijven met beroepsmatig karakter als gelegenheidsbedrijven werden opgenomen. Het areaal glasopstand bedraagt volgens de 15-mei telling van 2005 totaal 2.170 hectare. Het totale areaal van de deelnemende bedrijven aan de enquête bedraagt daarentegen 760 ha. Er werden in totaal 983 enquêtes ingebracht voor 971 verschillende bedrijven. Tuinbouwers met een hoger (vruchtgroenten) en beredeneerd (groenten in teeltafwisseling) energieverbruik hebben zich extra betrokken gevoelen bij het invullen van de enquête. Bij de extrapolatie naar de gehele tuinbouwpopulatie moet gewerkt worden met gegevens per teeltcategorie en niet met de globale cijfers over alle gewascategorieën heen omdat tuinders met een lager energieverbruik minder vertegenwoordigd zijn.

→ *CH₄ en N₂O-emissies*

Het belangrijkste broeikasgas uit de landbouwsector in Vlaanderen is methaan of CH₄. De landbouwsector is tevens de belangrijkste CH₄-producent in Vlaanderen.

De belangrijkste emissieplaats van N₂O is de landbouwbodem. De directe emissies uit de bodem volgen voor een groot deel uit het N-mestgebruik. Overige N₂O-emissiebronnen zijn brandstofgebruik, mestopslagplaatsen, indirecte emissies door NH₃- en NO-emissies en depositie en door stikstofverlies naar het oppervlaktewater.

³³ De enquête kadert in het actieplan 'Naar een duurzamere glastuinbouw in Vlaanderen' goedgekeurd door de Vlaamse regering in 2003 en de ontwikkelingen in het klimaatbeleid (Vlaams Klimaatplan 2006-2012) en de daarbij voorziene daling van de uitstoot van broeikasgassen. De voornaamste doelstelling van het actieplan is het realiseren van een modern, economisch gezond en milieuvriendelijk glasareaal. Op het vlak van energiegebruik en de daaraan gerelateerde uitstoot van broeikasgassen wordt in het Vlaams Klimaatplan 2006-2012 beoogd om tegen 2012 75% van het energiegebruik te voorzien in het gebruik van aardgas en andere duurzame energiebronnen waarbij op korte termijn gedacht wordt aan de uitbreiding van WKK-installaties op aardgas en het gebruik van biomassa (verbranding van hout) en op langere termijn het gebruik van restwarmte en CO₂ vanuit de industrie.

8.6.2 Emissies

→ *Energiegerelateerde emissies (CO₂, N₂O)*

De verbrandingsgerelateerde emissies van de land- en tuinbouwsector worden door de VMM ingeschat op basis van de brandstofverbruiken uit de Energiebalans Vlaanderen (VITO) en emissiefactoren per brandstoftype. Per brandstoftype wordt een onderscheid gemaakt tussen volgende deel- of subsectoren: akkerbouw, blijvende teelten, graasdierhouderij, intensieve veehouderij, vollegrondstuinbouw, glastuinbouw, WKK-installaties. Deze benadering wordt tevens gevolgd in Duerinck et al. (2006) en in het MKM voor de pollutanten SO₂, NO_x en fijn stof.

Voor de inventarisatie van de energiegerelateerde broeikasgasemissies van de landbouwsector wordt een onderscheid gemaakt tussen voornoemde subsectoren en brandstoftypes. Voor de glastuinbouw wordt getracht om eveneens een onderscheid te maken tussen teelttypes. Laatstgenoemde is afhankelijk van de mogelijkheid om de informatie uit de glastuinbouwenquête op te schalen naar de verschillende teelttypes (en naar Vlaanderen).

(a) Glastuinbouw

In navolging van de publicatie van de resultaten van de glastuinbouwenquête van het Departement Landbouw en Visserij, vond op 26/10/2007 een overleg plaats tussen VITO en het Departement om na te gaan op welke manier de resultaten van de enquête kunnen gebruikt worden voor een actualisering van de energieverbruiken in de Energiebalans Vlaanderen enerzijds en de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen anderzijds.

In de *Energiebalans Vlaanderen* wordt voor de energieverbruiken een onderscheid gemaakt tussen voornoemde subsectoren en brandstoftypes. Voornamelijk met betrekking tot petroleumproducten is er nood aan meer actuele gegevens aangezien op dit moment de energieverbruiken voor de glastuinbouw gebaseerd zijn op de energieboekhouding van het CLE voor het jaar 2001 en voor de andere deelsectoren gebaseerd zijn op kengetallen die vatbaar zijn voor herziening (studie jaren '90). Wat elektriciteit en aardgas betreft, worden jaarlijks via de netbeheerders gegevens voor de landbouwsector aangeleverd (rapporteringsplicht elektriciteit sinds 2002 en aardgas sinds 2004). De verbruiken van aardgas worden toegekend aan de glastuinbouw als grootste energieverbruiker. De bedrijven met WKK-installaties (zelfproducenten) zijn in principe allemaal gekend binnen de Energiebalans Vlaanderen.

Door het Departement Landbouw en Visserij wordt voorgesteld om voor de Energiebalans Vlaanderen uit te gaan van de meetresultaten van het Vlaams Landbouwmonitoringsnetwerk (700-tal representatieve land- en tuinbouwbedrijven, waarvan 200-tal tuinbouwers en 40 à 50-tal glastuinbouwers). Deze meetgegevens worden jaarlijks geactualiseerd, wat niet gegarandeerd kan worden voor de glastuinbouwenquête. In het kader van de huidige MIRA-rapportering voert het Departement Landbouw en Visserij een opschaling uit van de cijfers van het netwerk op basis van economische parameters (ligging i.e. landbouwstreek, economische grootte, sector).

Het Departement Landbouw en Visserij levert tegen eind januari 2008 de energieverbruiken voor de land- en tuinbouw in Vlaanderen (2005) aan (per subsector en brandstoftype), uitgaande van de resultaten van het Vlaams Landbouwmonitoringsnetwerk. De cijfers zullen vergeleken worden met de informatie die door de netbeheerders aan VITO worden bezorgd. De energieverbruiken voor de glastuinbouw zullen vergeleken worden met de resultaten van de glastuinbouwenquête.

Wat de uitbreiding van het *MKM* met broeikasgassen betreft, wordt voor de glastuinbouw uitgegaan van de resultaten van de glastuinbouwenquête. De informatie uit het Vlaamse Landbouwmonitoringsnetwerk volstaat niet, aangezien naast die totale energieverbruiken (en emissies) uit de glastuinbouw ook energiebesparingsmaatregelen in het MKM moeten meegenomen worden. De glastuinbouwenquête bevat informatie die relevant is zowel voor de inschatting van energieverbruiken als van het energiebesparingspotentieel. Idealiter, wordt een onderscheid gemaakt tussen teeltypes en brandstoftypes omdat op dat niveau informatie beschikbaar is met betrekking tot het reductiepotentieel en (grotendeels) kan afgestemd worden met de teeltypes uit de NIS-landbouwteiling.

Het Departement Landbouw en Visserij gaat na of energieverbruiken voor de glastuinbouw in Vlaanderen (2005) per teelt- en brandstoftype kunnen aangeleverd worden, uitgaande van de resultaten van de glastuinbouwenquête.

De resultaten van de glastuinbouwenquête moeten opgeschaald worden naar Vlaanderen. Indien de teeltypes in overeenstemming kunnen gebracht worden met de NIS-teeltypes kan met behulp van de NIS-oppervlaktes opgeschaald worden. Knelpunt hierbij is bijvoorbeeld de verdeling van de groenten in teeltwisseling over de categorieën. Deze gegevens kunnen gecombineerd worden met informatie over het procentuele type brandstofverbruik per gewas (bv. 20% aardgas, 30% stookolie) en de energieverbruiken per oppervlakte-eenheid uit de glastuinbouwenquête. Indien de opschaling van de energieverbruiken uit de enquête afwijkt van de Energiebalans Vlaanderen, moet een correctie uitgevoerd worden.

In volgende figuur wordt aangegeven op welke manier de glastuinbouw (idealiter) ingepast wordt in de databankstructuur van het MKM. Indien opschaling op basis van de NIS-oppervlaktes niet haalbaar is, volstaat in principe een onderscheid tussen warme en koude teelten.

Figuur 28: Glastuinbouw en MKM-structuur

<i>→ Bedrijf</i>	Teelt <i>→ Installatie = Apparaat</i>	Brandstof/teelttype <i>→ Brandstof</i>
Glastuinbouw	Vruchtgroenten	Aardgas
	Sla	Kolen
	Aardbeien	Lamppetroleum
	Kasplanten	Lichte stook
	Azalea	Propaan/butaan
	Snijbloemen	Zware stook
	Andere bol- en knol	
	Fruit	
	Andere	

Wat de inschatting van de toekomstige emissies betreft, wordt in navolging van het BAU- en BAU+-energiescenario verondersteld dat het aantal ha en het relatieve oppervlak van de verschillende teelten constant blijven. De wijziging van het type brandstofverbruik (Gavilan et al., 2007) met de ouderdom van de serre wordt opgevangen door na 30 jaar dienst, de serres te vervangen door nieuwe serres met een brandstofmix gelijk aan de serres jonger dan 2 jaar uit de landbouwenquête. De opdeling van de serres naar ouderdom wordt gegeven in tabel 2.

Tabel 23: Herschaling ouderdom serres

Ouderdom enquête (jaar)	Ouderdom MKM (jaar)
>20	25
10-20	15
5-10	10

Zoals eerder gesteld geeft glastuinbouwenquête de mogelijkheid voor een belangrijke update van de cijfers die tot op dit moment gebruikt werden (Energiebalans Vlaanderen, MKM, BAU- en BAU+-studie). Het gebruik van deze nieuwe, gedetailleerdere data brengt echter met zich mee dat de vergelijking met voorgaande studies met uiterste voorzichtigheid moet gebeuren.

(b) Overige subsectoren

In het kader van de studie *'Opstellen en uitwerken van een methodologie voor een intersectorale afweging van de haalbaarheid van mogelijke maatregelen voor de reductie van diverse pollutiemissies naar de lucht'* (Ecolas en VITO, 2005) werden in de databank van het MKM de verbrandingsemissies voor SO₂ en NO_x opgenomen. Deze emissies zijn gebaseerd op het brandstofverbruik en emissiefactoren voor 2003, aangeleverd door LNE, Dienst Lucht en Klimaat (Dhr. Lauwereins). In het kader van de studie *'Prognoses en scenario's luchtverontreinigende stoffen'* werden de emissies geactualiseerd voor 2004. Hierbij werd gebruik gemaakt van het brandstofverbruik voor 2004 uit de Energiebalans Vlaanderen.

Op basis van de Energiebalans Vlaanderen (2005), worden per (overige) subsector (i.e. akkerbouw, blijvende teelten, graasdierhouderij, intensieve veehouderij, vollegroentuinbouw) de energieverbruiken opgenomen in de databank van het MKM. De CO₂-emissies kunnen berekend worden op basis van de overeenkomstige CO₂-emissiefactor van de brandstoftypes en het energieverbruik.

→ *Niet-energiegerelateerde emissies (CH₄, N₂O)*

Wat de niet-energiegerelateerde broeikasgasemissies betreft, wordt afgestemd met het economisch landbouwmodel SELES.

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 5.2.1 is SELES een comparatief-statisch model dat gebruikt wordt om de effecten van landbouw- en milieubeleid voor de landbouwsector in Vlaanderen te analyseren. Het model geeft inzicht in de ontwikkeling van economische variabelen (schaduwrijzen en brutosaldo), grondgebruik, omvang en samenstelling van de

veestapel en milieuvariabelen. Wat de milieuvariabelen betreft, is SELES in eerste instantie gericht op het beleid ter verwijdering van stikstof (N) en fosfor (P). De hoeveelheid mest geproduceerd, de hoeveelheid dierlijk mest aangewend op het land, kunstmestgebruik, mestverwerking en mesttransport zijn resultaten van het model dat streeft naar winstmaximalisatie van de producent, gegeven de randvoorwaarden vanuit de markt en het (milieu)beleid.

In het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*', werden CH₄- en N₂O-coëfficiënten door de Vlaamse Milieumaatschappij aangeleverd en door het Departement Landbouw en Visserij gekoppeld aan het SELES-model.

In paragraaf 5.2.2 werd reeds aangegeven dat voor de niet-energiegerelateerde emissiebronnen van CH₄ en N₂O wordt uitgegaan van bestaande scenario-berekeningen met SELES, namelijk Toekomstverkenning landbouw en milieu (Gavilan et al., 2006). In deze toekomstverkenning wordt rekening gehouden met de onzekerheid met betrekking tot de liberalisering van de markt en de productievoorwaarden enerzijds en het mestbeleid anderzijds. Op die manier zijn er vier mogelijke combinaties/scenario's:

- sterk milieubeleid en weinig liberalisering (Europese en Milieu),
- zwak milieubeleid en weinig liberalisering (Regionale Markt),
- sterk milieubeleid en veel liberalisering (Welvaart en Milieu),
- zwak milieubeleid en veel liberalisering (Economie en Globalisering).

Het scenario dat het dichtste aanleunt bij beslist beleid (MAP3) en de toekomstige economische evolutie wordt als basisscenario in het MKM meegenomen. De emissies van CH₄ en N₂O worden in het MKM opgenomen op het geaggregeerde niveau van de landbouwsector in Vlaanderen.

Het startjaar van de Toekomstverkenning landbouw en milieu is 2000 – 2001 en de tijdshorizon van de toekomstverkenning is 2020. Aangezien SELES een comparatief-statisch model is, wordt de toekomstverkenning berekend uitgaande van de referentiesituatie in 2020. Bijgevolg kunnen uit Gavilan et al. (2006) geen resultaten afgeleid worden voor 2010, 2015, 2025 en 2030.

Verder overleg is nodig met het Departement Landbouw en Visserij om gegevens aan te leveren in een formaat dat bruikbaar is voor het MKM. Dit overleg wordt gevoerd in het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*'.

Wat de toekomstige emissies van niet-energiegerelateerde broeikasgasemissies betreft, wordt afgestemd met de prognoses van LNE (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid) zoals weergegeven in '*Report by Belgium for the assessment of projected progress*' (15 maart 2007).

In onderstaande tabel wordt aangegeven welke acties nog moeten ondernomen worden om de databank van het MKM uit te breiden met emissies van broeikasgassen voor de landbouwsector. Deze acties maken deel uit van het studiedomein van de vervolgstudie 'Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'.

Polluenten	Emissies	Acties
CO ₂ glastuinbouw	Energieverbruik x EF	Energieverbruik enquête opschalen en corrigeren obv Energiebalans Vlaanderen (2005)
CO ₂ overige subsectoren	Energieverbruik x EF	Energieverbruik actualiseren obv Energiebalans Vlaanderen (2005)
N ₂ O energiegegeraleerd	Energieverbruik x EF	EF toevoegen (NIR, 2007) en energieverbruik actualiseren obv Energiebalans Vlaanderen (2005)
N ₂ O niet-energiegerelateerd	EIL VMM/Toekomstverkenning	Emissies toevoegen
CH ₄ niet-energiegerelateerd	EIL VMM/Toekomstverkenning	Emissies toevoegen

Voor de inschatting van de toekomstige broeikasgasemissies wordt verwezen naar paragraaf 7.3.

8.6.3 Maatregelen

→ *Energiegerelateerde emissies*

(a) Brandstofomschakeling en WKK (cf. 8.1)

In de BAU+-studie (Duerinck et al., 2007) wordt een extra 'brandstofomschakeling' ten opzichte van de BAU-studie (Duerinck et al., 2006b) in rekening gebracht voor de glastuinbouw.

In deze 'brandstofomschakeling' wordt tevens rekening gehouden met de verbranding van biomassa. Het Vlaams Klimaatplan 2006-2012 beoogt om tegen 2012 75% van het energiegebruik te voorzien in het gebruik van aardgas en andere duurzame energiebronnen. Op korte termijn wordt gedacht aan de uitbreiding van WKK-installaties op aardgas en het gebruik van biomassa (i.e. verbranding van hout) en op langere termijn het gebruik van restwarmte en -CO₂ vanuit de industrie. In het kader van de BAU+-studie werd beslist om deze doelstelling verder aan te houden tot 2030 maar de verhouding aardgas/biomassa wordt hierbij verschoven naar een hoger biomassaverbruik: in 2012 is de verhouding aardgas/biomassa gelijk aan 65/10 en in 2030 is deze verhouding 50/25. Deze doelstelling wordt in de BAU+-studie doorgerekend voordat het vermeden brandstofverbruik door inzet van WKK-installaties in de land- en tuinbouwsector in rekening wordt gebracht.

(b) Warmteproductie uit biomassa

Devriendt et al. (2005) geeft aan dat voor de glastuinbouw en de intensieve veehouderij er twee mogelijke technieken zijn voor warmteproductie uit hernieuwbare bronnen: hout- en pelletverbrandingsinstallatie en de omschakeling van (fossiele) stookolie naar PPO (pure plantaardige oliën).

Voor het vermogen van 5.000 kWth (glastuinbouw) en 100 kWth (intensieve veehouderij) wordt in Devriendt et al. (2005) een overzicht gegeven van de technisch-economische parameters voor zowel conventionele (aardgas- en stookolieketel) als hernieuwbare warmteproductie (pelletverbranding, hout/pelletverbranding en PPO-brander + voorverwarming). Er wordt verondersteld dat jaarlijks 5% van het maximum potentieel (i.e. bestaande stookinstallaties op stookolie of 17.730 TJ in de glastuinbouw en 2.662 TJ in de intensieve veehouderij) vervangen wordt. Bij de glastuinbouw wordt bij de herinvesteringsbeslissing niet alleen hout/pelletsverbrandingsinstallatie maar ook WKK (aardgas) in overweging genomen.

In het BAU-scenario wordt verondersteld dat er geen groei zal zijn in biomassa/pellet-installaties en dat er geen omschakeling zal gebeuren van stookolieketels naar oliën en vetten. In het PRO-scenario wordt verondersteld dat groene warmte op hetzelfde niveau komt als stookolieverbranding.

(c) Energiebesparingsmaatregelen

In Vanassche et al. (2007) wordt aangegeven dat in de BBT-studie voor de glastuinbouw een overzicht gegeven wordt van mogelijke energiebesparingstechnieken. Van de 13 vermelde opties is kosteninformatie aanwezig voor een zevental mogelijkheden (cf. Tabel 24). Echter, de toepasbaarheid (economische haalbaarheid) van deze maatregelen wordt weergegeven per type teelt (bv. verwarmd/niet verwarmd) zodat extra informatie nodig is om deze gegevens bruikbaar te maken voor het MKM. De belangrijkste benodigde informatie is: huidige implementatiegraad van de verschillende reductietechnieken per teelttype in Vlaanderen, het brandstoftype gebruik per teelttype en het kasoppervlak per teelttype (zowel grond- als glasoppervlak).

Eventueel kan voornoemde informatie gehaald worden uit de glastuinbouwenquête. Door VITO werd op basis van de resultaten van de enquête (Gavilan et al., 2007) enerzijds en een beperkte literatuurstudie anderzijds een nota opgesteld waarin een inschatting gegeven wordt van het energiebesparingspotentieel en de kostprijs van volgende maatregelen: beweegbare schermen, warmtebuffer, rookgascondensator.

Het Departement Landbouw en Visserij gaat na of de inschatting die door VITO gemaakt wordt van het energiebesparingspotentieel en de kostprijs van de maatregelen voldoende betrouwbaar is om op te nemen in het MKM.

Tabel 24: Overzicht toepasbaarheid en kosteninformatie energiebesparingsmaatregelen

Reductietechnieken	Toepasbaarheid	Kosteninfo
Energie-audit/energiebalans		X
Optimalisatie vormgeving en oriëntatie serre		
Optimaal gebruik teeltruimte		
Klimaatcomputer	Warme teelten (reeds bijna overal aanwezig: enkel van toepassing voor nieuwe en grote bestaande bedrijven)	
Geïsoleerde zijwanden (enkel glas= referentie) - dubbel glas - gecoat glas - dubbelwandige folie - zijwandscherm	Slecht voor lichtgevoelige teelten (niet voor bv. tomaat)	X X
Goed geïsoleerde dakbedekking	Warme teelten	
Beperken/vermijden ongewenste ventilatie		
Optimalisatie warmteproductie en -verdeling		
WKK		
Warmteopslagbuffer	Gebruik bij centraal CO ₂ -dosering en WKK; technisch haalbaar bij warme teelten; bestaande als nieuwe installatie zowel op aardgas als lamppetroleum	X
Rookgascondensor	Aardgasverwarmingsketels; toepassing voor laagwaardige condensorwarmte	X
Beweegbare energieschermen	Niet lichtgevoelige teelten	X
Vaste schermen	Warme teelten	X

BRON: Vanassche et al., 2007

→ *Niet-energiegerelateerde emissies*

Ten opzichte van het basisscenario (cf. paragraaf 8.6.2) worden de kosten en effecten op CH₄ en N₂O berekend van een bijkomende afbouw van de veestapel. Deze afbouw van de veestapel wordt als individuele maatregel meegenomen in het MKM en wordt in rekening gebracht in een afweging van reductie-inspanningen tussen de sectoren.

In het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*' is verder overleg nodig met het Departement Landbouw en Visserij om gegevens aan te leveren in een formaat dat bruikbaar is voor het MKM. De eerste resultaten kunnen ten vroegste tegen eind januari 2008 aangeleverd worden.

8.6.4 Wijzigingen ten opzichte van MKM Lucht

Wat de energiegerelateerde emissiebronnen van de landbouwsector betreft, wordt minstens het detail- of aggregatieniveau van het MKM Lucht behouden. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de subsectoren en brandstoftypes. Idealiter, wordt voor de glastuinbouw ook een onderscheid gemaakt naar teeltype. Dit onderscheid werd niet gemaakt in het MKM Lucht omdat dit niet relevant was.

Voor de niet-energiegerelateerde emissiebronnen van CH₄ en N₂O wordt uitgegaan van bestaande scenario-berekeningen met SELES (Toekomstverkenning landbouw en milieu). De SELES-resulaten worden in het MKM opgenomen op het geaggregeerde niveau van de landbouwsector in Vlaanderen.

HOOFDSTUK 9 BESLUIT

De uitbreiding van het MKM met broeikasgassen heeft als doel om na te gaan hoe vooropgestelde klimaatdoelstellingen tegen de laagste kosten kunnen gerealiseerd worden. Hierbij wordt niet alleen de optimale oplossing berekend maar kunnen eveneens bijkomende beperkingen in rekening gebracht worden ('first best' versus 'second best'). Tevens kan de impact van de keuze van exogene parameters op de resultaten worden nagegaan. Naast optimalisatie kunnen met het MKM ook de gerelateerde kosten berekend worden, i.e. simulatie, van vooraf bepaalde scenario's zoals bv. de BAU+-energiescenario's uit Duerinck et al. (2007).

Opdat het MKM zou kunnen optimaliseren en simuleren voor broeikasgassen moet de huidige databank niet alleen uitgebreid worden met emissies en reductietechnieken voor broeikasgassen maar moeten er ook een aantal methodologische afwegingen en keuzes gemaakt worden. De praktische uitbreiding van de databank maakt deel uit van de vervolgstudie *'Berekenen van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'*. De methodologische afwegingen en keuzes zijn onderwerp van voorliggende studie.

9.1 Methodologische afwegingen en keuzes

De beknopte literatuurstudie van technisch-economische modellen (GAINS, analysemodel ECN, MARKAL/TIMES België) bevestigt de methodologie die tot nu toe met het MKM Lucht gevolgd werd bv. 'multipolluenten'-benadering, definiëring maatregelen, opbouw objectieffunctie, geen macro-economische en verdelingseffecten. Daarnaast biedt de analyse van deze modellen inspiratie met betrekking tot de methodologische aanpak voor de uitbreiding van het MKM Lucht met broeikasgassen bv. aggregatieniveau, definiëring maatregelen, kostprijsberekening, link met economisch transport- of landbouwmodel.

De technisch-economische informatie in deze modellen met betrekking tot reductie- en energiebesparingsmaatregelen kan voornamelijk van toegevoegde waarde zijn voor de sector 'industrie', gegeven het feit dat informatie met betrekking tot de Vlaamse situatie schaars is. Echter, deze informatie is nagenoeg niet rechtstreeks bruikbaar voor de Vlaamse situatie omdat bv. het schaalniveau te hoog is waardoor landspecifieke en/of sectorspecifieke eigenschappen uit het oog verloren worden, of de informatie die publiek beschikbaar is, te beperkt is om de bruikbaarheid ervan te evalueren. Niettemin kan de technisch-economische informatie nuttig zijn om bv. het overleg met de industrie in Vlaanderen op gang te brengen.

9.1.1 Milieubeleidskosten en milieubaten

Voor de typologie en berekeningsmethode van milieubeleidskosten wordt uitgegaan van *'Milieubeleidskosten – Begrippen en berekeningsmethodes'* (LNE, 2007). Er wordt uitgegaan van de directe kosten voor de doelgroepen excl. belastingen en subsidies. Tevens wordt het welvaartsverlies in rekening gebracht omwille van prijs- en hoeveelheidsaanpassingen in de rechtstreeks betrokken sector. Omwille van een gebrek aan informatie worden indirecte kosten (afgeleide markten) niet in rekening gebracht.

In MARKAL/Answer of TIMES kan het effect van maatregelen met negatieve kosten worden meegenomen in het basis- of referentiescenario. Met het MKM kan ervoor geopteerd worden om deze kosten wel of niet in mindering te brengen van de totale kosten die resulteren uit de optimalisatie- of simulatieoefening.

Het neveneffect op de pollutanten waarvoor niet geoptimaliseerd of gesimuleerd wordt, wordt niet gemonetariseerd maar enkel als fysische eenheden in rekening gebracht. Externe milieukosten of -baten worden met het MKM niet in rekening gebracht bij optimalisatie of simulatie van broeikasgassen. De niet-milieugerelateerde effecten voor transport, zoals bv. toename congestie of tijdswinst, worden wel gemonetariseerd en meegenomen in de optimalisatie en simulatie met het MKM Lucht&Klimaat.

9.1.2 Exogene parameters

Bij de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen wordt uitgegaan van de groeiscenario's voor 2010 – 2015 – 2020 uit de studie *'Prognoses en scenario's voor luchtverontreinigende stoffen'* (Lodewijks et al., 2007). De economische groei voor het jaar 2010 werd per sector afgestemd op de groei uit de Vlaamse Sectorstudies Lucht. Voor de jaren 2015 en 2020 werd de informatie uit het BAU-energiescenario (Duerinck et al., 2006b) als uitgangspunt gebruikt. Indien meer gedetailleerde informatie met betrekking tot de economische activiteit op bedrijfs- of installatieniveau aanwezig was, werd ervoor geopteerd om deze toe te passen. De brandstofprijzen die gehanteerd worden, zijn deze uit het BAU-energiescenario. De emissieprognosestudie heeft enkel betrekking op de tijdshorizon 2010, 2015 en 2020. Wat de zichtjaren 2025 en 2030 betreft, wordt voor de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen uitgegaan van het A-scenario uit de BAU+-studie (Duerinck et al., 2007). De toekomstige niet-energiegerelateerde broeikasgasemissies worden afgestemd op prognoses van het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid) zoals weergegeven in *'Report by Belgium for the assessment of projected progress'* (15 maart 2007).

In het kader van de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen worden de ontbrekende energieverbruiken op basis van de Energiebalans Vlaanderen (2005) bijgeschat. De emissiefactoren voor CO₂, CH₄ en N₂O worden opgenomen in het MKM en/of afgestemd op de methodologie die gevolgd wordt bij de opmaak van de Belgische inventaris van broeikasgassen in het kader van het klimaatverdrag.

De omzetting naar CO₂-equivalenten wordt eveneens door het MKM zelf gedaan op basis van de niet-CO₂ broeikasgasemissies die in de databank zijn opgenomen en de GWP-waarden (CH₄= 21 en N₂O= 310 CO₂-eq).

9.1.3 Vraag en aanbod

De kosteneffectiviteitsanalyses die voor broeikasgassen zullen uitgevoerd worden, zullen betrekking hebben op een langere tijdshorizon (> 20 jaar). Bovendien zullen technische maatregelen niet voldoende zijn om de vereiste reducties te realiseren en zullen ook volumemaatregelen moeten in rekening gebracht worden. Bijgevolg moet de finale vraag elastisch worden. Gegeven het gebrek aan betrouwbare informatie omtrent prijselasticiteiten, worden bij voorkeur een aantal scenario's berekend waarbij telkens uitgegaan wordt van een andere prijselasticiteit bv. 0, -0,3 (MARKAL/TIMES) en -0,5. Het effect van een stijging van het inkomen op de vraag kan enkel exogeen in rekening gebracht worden.

Voor de meest sectoren wordt het aanbod in het MKM (MARKAL/Answer) als perfect elastisch beschouwd. Voor de elektriciteitssector wordt de aanbodscurve trapsgewijs opgebouwd in het MKM omwille van de beperking op de hoeveelheid elektriciteit die geproduceerd kan worden door de verschillende centrales.

9.1.4 Aggregatie

Voor de uitbreiding met broeikasgassen wordt uitgegaan van de databank van het MKM Lucht. Deze uitbreiding impliceert dat het bestaande niveau waarop emissiebronnen en reductiemaatregelen beschreven worden, moet geaggregeerd worden. De vraag naar aggregatie stelt zich voor de (industriële) bronnen van energiegerelateerde CO₂-, CH₄- en N₂O-emissies. De installaties waarvoor voldoende informatie beschikbaar is, blijven op een gedetailleerd niveau in de databank opgenomen. De overige installaties worden geaggregeerd zodat een set van (generieke) maatregelen gedefinieerd kan worden.

De aggregatie wordt automatisch vanuit de gedetailleerde databank van het MKM aangemaakt zodat bij actualisatie op het gedetailleerde niveau, de wijzigingen ook kunnen meegenomen worden naar de geaggregeerde niveaus. De aggregatie van installaties heeft een aantal modeltechnische implicaties en trade-offs tot gevolg ten opzichte van de modelversie die tot nu toe gebruikt werd.

Criteria die bij de aggregatie in acht genomen worden zijn: sector, vermogensklasse op installatieniveau (0 < 5 M, 5 < 20 MW, 20 < 50 MW, 50 MW), brandstoftype, groeiscenario moet ± gelijk zijn, thermisch rendement van de branders moet ± gelijk zijn.

9.1.5 WKK-potentieel en vraag naar warmte

In het MKM worden de WKK's gemodelleerd binnen het elektriciteitsmodel in MARKAL/Answer. Omdat in het MKM Lucht de warmtevraag en warmteproductie niet meegenomen werden, werd een 'soft' link opgezet tussen de stookinstallaties en WKK's om terugkoppeling mogelijk te maken. Binnen het ondersteunend onderzoek 2007 van MIRA wordt het rendement van stookinstallaties meegenomen in de beschrijving van de stookinstallaties zodat een vraag naar warmte kan gedefinieerd worden. Er wordt verondersteld dat het rendement van een stookinstallatie gekoppeld kan worden aan de 'leeftijd' van de installatie. Wat de koppeling van deze datum aan een rendement betreft, wordt een beroep gedaan op de expertise binnen de afdeling energietechnologie (ETE) van VITO. Indien geen 'datum van ingebruikname' gekend is, wordt uitgegaan van een

gemiddeld rendement. Op basis van het rendement en de draaiuren van elke stookinstallatie wordt een WKK-vervangingspotentieel ingeschat. Het MKM kan in deze situatie optimaliseren naar het gebruik van WKK's. Het effect van wetgeving, zoals de WKK-certificaten kan eveneens meegenomen worden in de afweging.

Voor de residentiële en tertiaire sector wordt het MKM gestuurd door een vraag naar warmtecomfort (naar analogie met een vraag naar warmte voor industrie en landbouw) en een vraag naar elektriciteit. Enkel voor de residentiële en tertiaire sector wordt de vraag naar elektriciteit in de databank van het MKM gespecificeerd en gekoppeld aan het elektriciteitsmodel. Voor de overige sectoren wordt het elektriciteitsverbruik niet meegenomen in de databank van het MKM, gegeven het gebrek aan informatie met betrekking tot het potentieel aan elektriciteitsbesparing. De vraag naar elektriciteit zit voor alle sectoren op sectorniveau in het elektriciteitsmodel.

9.2 Toepassing methodologie per sector

9.2.1 Elektriciteitsproductie incl. WKK en hernieuwbare energie

Net zoals voor de onderbouwing van het NEC-beleid, wordt voor de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen uitgegaan van het elektriciteitsmodel in MARKAL/Answer. Dit betekent dat er een volledige integratie is met de meest recente versie van het elektriciteitsmodel (emissies, potentieel, kosten).

Wat de beschrijving van de CO₂-reductiemaatregelen betreft, wordt in eerste instantie uitgegaan van de informatie die verzameld werd in het kader van de BAU- en BAU+-studie: STEG met CO₂-sequestratie, brandstofcel (gas, H₂), superkritische stoomgeneratie (al dan niet met CO₂-sequestratie), wervelbedverbranding (al dan niet met CO₂-sequestratie), geïntegreerde vergassing (al dan niet met CO₂-sequestratie), hoge temperatuur biomassa, wind offshore (dichtbij, gemiddelde en grote afstand). In het kader van de vervolgstudie *'Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'* wordt een overleg met de elektriciteitssector gepland. Tijdens dit overleg wordt getracht om, op basis van het Besluit Energieplanning, meer recente informatie met betrekking tot de sector te verkrijgen.

Gegeven dat er geen potentiële reductiemaatregelen voor broeikasgassen gedefinieerd worden voor de emissiebron 'opslag, distributie en transport van aardgas', wordt de reeds beschikbare informatie in het MKM Lucht niet geaggregeerd. De inventarisatie van de CH₄-emissies gebeurt op een geaggregeerd niveau.

9.2.2 Industriële sector

De bronnen van verbrandingsgerelateerde CO₂-, N₂O- en CH₄-emissies waarvoor voldoende informatie beschikbaar is, blijven op een gedetailleerd niveau in de databank opgenomen. De overige installaties worden geaggregeerd zodat een set van (generieke) maatregelen gedefinieerd kan worden. De verbrandingsgerelateerde emissies worden door het MKM berekend uitgaande van het energieverbruik en IPCC-emissiefactoren (NIR, 2007).

Gegeven de beperkte informatie die beschikbaar is in de BAU- en BAU+-studie met betrekking tot kostprijzen en energiebesparingspotentieel van specifieke maatregelen, werden/worden bijkomende informatiebronnen geconsulteerd. Tevens vindt overleg plaats met de energie-experten binnen VITO en de energieverbruikers uit het benchmarking/auditconvenant.

Warmteproductie uit biomassa (i.e. biomassaverbrandingsinstallatie met roosteroven en overschakeling stookolie naar pure plantaardige oliën) wordt voor de sector industrie niet meegenomen in het MKM noch als potentiële energiebesparingsmaatregel noch als scenario.

De bronnen van niet-energiegerelateerde N₂O-emissies (BASF Antwerpen en Lanxess Rechteroever) blijven op installatieniveau opgenomen in de databank van het MKM. De beschrijving van deze emissiebronnen wordt afgestemd op het meest recente milieujaarverslag. 3M blijft op installatieniveau opgenomen in de databank maar de overige industriële bronnen van F-gassen worden op een geaggregeerd niveau in de databank opgenomen. De meest actuele situatie van deze bronnen wordt beschreven in de inventaris F-gassen. De toekomstige niet-energiegerelateerde broeikasgasemissies wordt afgestemd op de prognoses van het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid) zoals weergegeven in *'Report by Belgium for the assessment of projected progress'* (15 maart 2007).

Een aantal emissiebronnen van niet-energiegerelateerde broeikasgassen worden in de databank van MKM geaggregeerd opgenomen onder de sector industrie. Hierbij wordt afgestemd op het rapporteringsformaat (CRF) en de prognoses uit *'Report by Belgium for the assessment of projected progress'* (15 maart 2007). Het betreft volgende emissiebronnen: 'productie, distributie en transport elektriciteit' (SF₆), 'lozing huishoudelijk afvalwater, septische putten, etc.' (CH₄ en N₂O), 'storten' (CH₄), 'composteren' (CH₄), 'huisvuilverbrandingsinstallaties' (N₂O), 'verbranding niet-biologische afvalfractie' (CO₂), industriële bronnen van F-gassen (HFK's, SF₆), HFK-emissies van huishoudens, handel & diensten en transport.

9.2.3 Residentiële sector

Wat de bronnen van energiegerelateerde broeikasgasemissies betreft, wordt een onderscheid gemaakt tussen energieverbruik (voornamelijk brandstofverbruik) voor verwarming en sanitair warm water enerzijds en elektriciteitsverbruik voor elektrische apparaten en verlichting anderzijds. Wat het energieverbruik van verwarming en sanitair water betreft, wordt niet alleen een onderscheid gemaakt naar brandstoftype maar ook naar woningtype en leeftijd.

De maatregelen voor de residentiële sector worden in de mate van het mogelijke overgenomen uit de BAU- en BAU+-studie: brandstofomschakeling, isolatie, efficiëntieverbetering ketel/kachel, zonneboiler, meer energiezuinige elektrische apparaten en verlichting. Wat het energieverbruik van nieuwbouw betreft, wordt een verlaging van het E-peil als energiebesparingsmaatregel in rekening gebracht.

9.2.4 Tertiaire sector

Wat de bronnen van energiegerelateerde broeikasgasemissies betreft, wordt een onderscheid gemaakt tussen brandstofverbruik enerzijds en elektriciteitsverbruik voor elektrische apparaten anderzijds. Wat het brandstofverbruik betreft, wordt niet alleen een onderscheid gemaakt naar brandstoftype maar ook tussen vier subsectoren (kantoren, onderwijs, ziekenhuizen en maatschappelijke dienstverlening met onderdak, overige) en tussen bestaande gebouwen, (grondige en gewone) vergunde renovaties en nieuwbouw.

De maatregelen voor de residentiële sector worden in de mate van het mogelijke overgenomen uit de BAU- en BAU+-studie. Voor bestaande gebouwen en gewone renovatie worden volgende maatregelen in de databank opgenomen: ventilatie met warmterecuperatie, ketelomschakeling, gebouwenschilmaatregelen, U-waarden Energieprestatie Regelgeving, nachtverlaging, relighting, energy star, minder koeling, fotovoltaïsche panelen. Voor nieuwbouw en grondige renovatie wordt een verlaging van het E-peil in rekening gebracht.

9.2.5 Transport

Aangezien de transportsector nog niet vertegenwoordigd is in het MKM, biedt een economisch transportmodel zoals TREMOVE het voordeel dat de transportmarkt reeds in detail gemodelleerd is. Wat de emissiebronnen van CO₂, CH₄ en N₂O betreft, wordt uitgegaan van bestaande scenarioberekeningen die uitgevoerd werden in opdracht van de Europese Commissie en FOD Mobiliteit en Vervoer. Door TREMOVE wordt de meest kosteneffectieve combinatie van transportmaatregelen gekozen als reactie op het vooropgestelde beleid (bv. verhoging verkeersbelasting, brandstofprijzen of transportkosten, verstrenging emissienormen). De huidige en toekomstige referentie-emissies, de (welvaarts)kost en het rendement van deze 'pakketten van maatregelen' worden als input gebruikt voor het MKM. Aangezien geen nieuwe berekeningen uitgevoerd worden, is het niet mogelijk om de parameters van TREMOVE en MKM op elkaar af te stemmen (bv. energieprijzen, groei, discontovoet) of om de BAU+-doelstellingen/maatregelen door te rekenen. Verder overleg met TMLLeuven is nodig om de resultaten van de scenarioberekeningen te verduidelijken en aan te leveren in een formaat dat bruikbaar is voor het MKM wordt gevoerd in het kader van de vervolgstudie '*Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen*'.

9.2.6 Landbouw

Wat de energiegerelateerde emissiebronnen betreft, wordt minstens het detail- of aggregatieniveau van het MKM Lucht behouden. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de subsectoren en brandstoftypes. Idealiter wordt voor de glastuinbouw ook een onderscheid gemaakt naar teelttype. Volgende maatregelen worden in de databank opgenomen: beweegbare schermen, warmtebuffer, rookgascondensor, brandstofomschakeling, WKK, warmteproductie uit biomassa (i.e. biomassaverbrandingsinstallatie met roosteroven en overschakeling stookolie naar pure plantaardige oliën).

Voor de niet-energiegerelateerde emissiebronnen van CH₄ en N₂O wordt uitgegaan van bestaande scenarioberekeningen met het economisch landbouwmodel SELES, namelijk

Toekomstverkenning landbouw en milieu (Gavilan et al., 2006). In vier mogelijke scenario's wordt rekening gehouden met de onzekerheid met betrekking tot de liberalisering van de markt en de productievoorwaarden enerzijds en het mestbeleid anderzijds. Het scenario dat het dichtste aanleunt bij beslist beleid (MAP3) en de toekomstige economische evolutie wordt als basisscenario in het MKM meegenomen. Ten opzichte van dit basisscenario worden de kosten en effecten op CH₄ en N₂O berekend van een bijkomende afbouw van de veestapel. Deze afbouw van de veestapel wordt als individuele maatregel meegenomen in het MKM en wordt in rekening gebracht in een afweging van reductie-inspanningen tussen de sectoren. In het kader van de vervolgstudie *'Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgas reductiemaatregelen'* is verder overleg nodig met het Departement Landbouw en Visserij om gegevens aan te leveren in een formaat dat bruikbaar is voor het MKM. De eerste resultaten kunnen ten vroegste tegen eind januari 2008 aangeleverd worden.

BIJLAGE A: OVERZICHT REDUCTIEMAATREGELEN BROEIKASGASSEN PER SECTOR ENERGIEONDERZOEK CENTRUM NEDERLAND

Industrie

Wat de reductie van CO₂-emissies van de sector industrie betreft, worden volgende reductiemaatregelen in de technische fiches van het ECN besproken:

- *Productie ruwijzer met de 'Cyclone Converter Furnace' (CCF) in plaats van met de hoogoven:* Door het ontbreken van energie-intensieve voorbewerking van kolen (cokesproductie) en erts (sintering) is productie van ruwijzer met de CCF energetisch efficiënter dan met de hoogoven. Ook zijn door het ontbreken van met name de cokesoven en in mindere mate het sintering proces allerlei andere emissies lager. Doordat de CCF zuivere zuurstof nodig heeft biedt het proces potentieel belangrijke voordelen bij toepassing van CO₂-afvang door een hoger koolstofgehalte van de restgassen. Op basis van de beschikbare kostenschattingen lijkt productie van ruwijzer met CCF op termijn goedkoper dan met de hoogoven, ook zonder CO₂- en overig milieubeleid. Dit komt, bijvoorbeeld, door het lagere energiegebruik en de goedkopere kolen die gebruikt kunnen worden (cokeskolen zijn namelijk schaarser en duurder).
- *Combinatie 'Circored' en elektrostaaloven vervangt de huidige combinatie van cokesoven, sinterfabriek, hoogoven en oxystaaloven:* omdat 'Circored' aardgas gebruikt in plaats van kolen en cokes, zijn de CO₂-emissies lager dan bij de hoogovengebaseerde staalproductie.
- *CO₂-afvang en -opvang procesemissies energie-intensieve industrie (bv. kunstmestindustrie, etheenproductie, grootschalige WKK bestaand/nieuw, primaire ijzer- en staalproductie):* er zijn (onzekere) kosten verbonden aan afvang, transport en opslag.
- *Elektriciteitsvraagvermindering industrie (handelend en niet-handelend):* verzameling van diverse besparingsopties (met elk een veelal beperkt effect) die het elektriciteitsverbruik verminderen (niet door verandering van activiteiten of capaciteitsvermindering). De inschatting van de effecten is gebaseerd op berekeningen met het SAVE-industriemodel, waarin besparingsopties uit Icarus-4 zijn opgenomen.
- *Warmtevraagvermindering industrie (handelend en niet-handelend):* verzameling van diverse besparingsopties (met elk een veelal beperkt effect) die het finaal energetisch brandstofverbruik verminderen (niet door verandering van activiteiten of capaciteitsvermindering). Ook verhoging van omzettingsrendementen, met uitzondering van WKK valt onder deze optie. De inschatting van de effecten is gebaseerd op berekeningen met het SAVE-industriemodel, waarin besparingsopties uit Icarus-4 zijn opgenomen.
- *Inkrimpscenario anorganische chemie, kunstmestindustrie, primaire aluminiumproductie, primaire ijzer en staalindustrie:* inkrimping van activiteiten die veel bijdragen aan de emissies in verhouding tot hun bijdrage aan het Bruto Nationaal Product. De nettoschade voor de totale economie is moeilijk te kwantificeren aangezien deze afhangt van de benutting van de vrijgekomen productiefactoren (ruimte, arbeid, kapitaal). Er wordt verondersteld dat de

activiteiten grotendeels verdwijnen door niet te herinvesteren als dat nodig is, waardoor investeringskosten beperkt blijven. De toegevoegde waarde die wegvalt, wordt niet opgevangen door alternatieve activiteiten. Wel wordt verondersteld dat de toeleverende bedrijven en de afnemers er in slagen om alternatieve markten aan te boren, respectievelijk andere leveranciers te vinden.

- *Nieuwe concepten grootschalige WKK (al dan niet met CO₂-afvang) zoals hoge temperatuur brandstofcel.*
- *Potentieelbenutting grootschalige WKK (al dan niet met CO₂-afvang):* deze optie beoogt bestaand WKK-potentieel (referentie is ketel met 90% rendement) beter te benutten, o.a. door middel van zogenaamde 'utility clusters' (in situaties waar twee of meer bedrijven samen wel voor een WKK zouden kiezen, maar individueel niet), toepassing van WKK te stimuleren bij vervanging van de oude stoomketel en het vervangen van oude WKK's door nieuwe, die beter gedimensioneerd zijn op de actuele stoomvraag, hogere rendementen hebben en lagere emissies.
- *Procesgeïntegreerde WKK petrochemie:* in de petrochemie bestaat een aanzienlijk deel van de warmtevraag uit proceswarmte. Het potentieel om deze proceswarmte met WKK te produceren kan benut worden door toepassing van zogenaamde repowering WKK.
- *Recycling van aluminium, kunststoffen, staal:* productie van aluminium op basis van gerecycled schroot (secundaire productie) vergt veel minder energie dan productie op basis van ertsen (primaire productie). Omdat op basis van schroot geproduceerde aluminium vaak niet of minder goed aan bepaalde kwaliteitseisen voldoen, moet de sector geheel of gedeeltelijk andere afzetmarkten zoeken. Door de recyclage van industrieel en huishoudelijk plastic afval dat gescheiden aangeleverd wordt, kan op het gebruik van grondstoffen bespaard worden. dat gescheiden aangeleverd wordt. De plastics in huishoudelijk restafval zouden ook gerecycled kunnen worden. Bijgevolg zal het aanbod van afval voor afvalverbrandingsinstallaties kleiner worden en zal minder grondstof nodig zijn voor de productie van kunststofproducten.
- *Substitutie bouwmaterialen woningen:* bij de bouw van nieuwe huizen, of bij vervanging na afbraak, kan gebruik gemaakt worden van meer duurzame bouwgrondstoffen. Zo kan door toepassing van houtskeletbouw, beton worden gesubstitueerd door hout. Door het verminderde gebruik van beton wordt tevens een procesemissie van broeikasgassen vermeden bij de cementproductie (levenscyclus benadering).

Wat de reductie van niet-CO₂ broeikasgassen van de industrie betreft, worden volgende maatregelen in de technische fiches beschreven:

- *Katalysator in 6 salpeterzuurfabrieken (3 bedrijven):* deze katalysator kan een N₂O-reductie van minstens 75% bewerkstelligen.
- *Alternatieven voor het gebruik van HFK's als koelmiddel en isolatieschuimen en het gebruik van PFK's in de halfgeleiderindustrie:* omdat de F-gassen niet goed onderverdeeld kunnen worden naar sectoren en de industrie de grootste vervuiler is, worden alle bronnen bij de sector industrie ingedeeld.

Elektriciteitsproductie en gasvoorziening

Wat de reductie van CO₂-emissies betreft, worden volgende reductiemaatregelen voor elektriciteitsproductie en gasvoorziening in de technische fiches besproken:

- Afvalverbrandingsinstallaties
- Bijstook gascentrales, nieuwe kolencentrales, oude kolencentrales
- Biomassa centrales,
- Biomassa meestoken in gascentrales, kolencentrales
- Bouw nieuwe kerncentrale(s)
- CO₂-afvang bij bestaande gascentrales, kolencentrales, nieuwe gascentrales, nieuwe kolencentrales
- Gascentrales in plaats van nieuwe kolencentrales
- Groen gas uit (co)vergisting van mest (en biomassa)
- Groen gas uit stortgas, RWZI's
- Groen gas uit vergassing van biomassa
- Hoger aantal draaiuren gascentrales in plaats van draaiuren bestaande kolencentrales/nieuwe kolencentrales
- Kolencentrales overschakelen naar aardgas
- Nieuwe kolencentrales met hoger rendement
- Verbeteren rendement via veranderen operationele inzet
- Vergisting
- Vervroegde vervanging gascentrales/kolencentrales met laag rendement
- Windenergie op land/zee

Huishoudens en tertiaire sector

- *Elektriciteitsbesparing door verandering consumentengedrag (besparing- en structureffecten):* besparingseffecten worden gerealiseerd omdat apparaten met een hogere efficiëntie worden gekocht. Voor het vervangen van gloeilampen door spaarlampen zijn geen meerkosten opgenomen, vanwege de langere levensduur. Ook voor energiezuinige koelkasten en vriezers is verondersteld dat voor dezelfde prijs een zuiniger alternatief kan worden aangeschaft. In geval van structureffecten verandert de efficiëntie van de apparaten niet, er worden minder apparaten aangeschaft of apparaten met een lager vermogen (bijvoorbeeld een tafelmodel koelkast in plaats van een kastmodel koelkast) of apparaten worden gedurende minder uren gebruikt.
- *Elektriciteitsbesparing door verhoging efficiëntie elektrische apparaten*
- *Elektrische warmtepompen in nieuwbouw:* reductie van CO₂-emissies die samenhangen met de vraag naar ruimteverwarming en de verwarming van tapwater is onder andere mogelijk door toepassing van elektrische warmtepompen en elektrische warmtepompboilers. Indien warmtepompen worden ingezet voor verwarming is er zowel sprake van efficiëntere omzetting als van brandstofsubstitutie (er wordt elektriciteit omgezet in warmte in plaats van aardgas in warmte).
- *Fotovoltaïsche zonne-energie:* in een fotovoltaïsche cel wordt energie uit licht (zonnestraling, zowel direct als diffuus) direct omgezet in elektriciteit, zonder tussenkomst van thermische of mechanische processen. De zonnecellen worden samengevoegd tot modules en geplaatst op beschikbare daken en gevels van gebouwen, op infrastructuurobjecten als geluidswallen, of eventueel als centrale op 'wasteland'. De beschikbaarheid van oppervlakte is geen beperkende factor.
- *HR-ketels met een hoger rendement*
- *Microwarmtekrachtkoppeling:* bij de woningen die zijn aangesloten op het aardgasnet is energiebesparing mogelijk door toepassing van microwarmtekrachtkoppeling. Een micro-WKK installatie produceert zowel warmte als elektriciteit. De besparing wordt gerealiseerd door het nuttig aanwenden van restwarmte. Hierdoor is er voor de

levering van een gelijke hoeveelheid warmte en elektriciteit minder aardgas nodig dan bij gescheiden opwekking. Er wordt verondersteld dat de installatie alleen draait als er warmtevraag is.

- *Restwarmtebenutting*: de restwarmte die vrijkomt bij industriële processen, zoals bijvoorbeeld bij chemische industrie en elektriciteitsopwekking, wordt benut door huishoudens.
- *Vraagbeperking bestaande woningen en nieuwbouw*: beperking warmtevraag door isolatie van dak, gevel en vloer en door toepassing van ramen met een hogere warmteweerstand kan het aardgasverbruik van bestaande woningen worden teruggedrongen. De vraag naar warmte in nieuwbouw kan beperkt worden door het (verder) verhogen van de warmteweerstand van de gebouwschil en door toepassing van efficiëntere systemen voor warmteterugwinning uit ventilatielucht.
- *Zonneboilers bestaande woningen (i.e. gebouwd vóór 2005)*.
- *Zuinig stookgedrag*: er kan een energiebesparing van gemiddeld 10 % gerealiseerd worden door het onzuinig stookgedrag (bv. stoken op 22°C of meer, kamers verwarmen waar niemand aanwezig is of die niet gebruikt worden) met acties aan te pakken.

Transport

In de factsheets worden volgende CO₂-reductietechnieken voor de transportsector beschreven:

- Aanscherping ACEA-convenant: verlenging van het lopende convenant met de automobielnijverheid tot 120 g/km in 2012/2013. De gemiddelde in de EU verkochte auto is in 2020 ongeveer 10% zuiniger dan zonder het verlengde convenant. Het effect op de CO₂-emissies is geringer omdat zuiniger auto's ceteris paribus leiden tot meer autogebruik. Voor de brandstofkostenelasticiteit van het autogebruik is de bandbreedte -0,2 tot -0,4 gehanteerd uit (Schipper et al., 2002).
- Accijns-, MRB- en BPM-cocktail³⁴: een combinatie van (1) de invoering van twee accijnstarieven voor diesel wegverkeer; (2) de verhoging van de LPG-accijns, schrappen huidige lage accijnstarief rode diesel; (3) het schrappen van de brandstoftoeslagen in de MRB voor diesel en LPG en van de dieseltoeslag in BPM; (4) het verlagen van de hoofdsom MRB met € 100 en (5) de generieke verlaging BPM met € 4000, en een CO₂-heffing in de BPM van € 100 per ton CO₂. De kosteneffectiviteit (volgens nationale kostenbenadering) van deze optie wordt arbitrair gelijk gesteld aan 0 € per ton CO₂.
- Verlaging van de BPM-dieseltoeslag: de kosteneffectiviteit (volgens nationale kostenbenadering) van deze optie wordt arbitrair gelijk gesteld aan 0 € per ton CO₂.
- Afschaffing van de BPM-dieseltoeslag: de kosteneffectiviteit (volgens nationale kostenbenadering) van deze optie wordt arbitrair gelijk gesteld aan 0 € per ton CO₂.
- Alleen zuinige personenauto's: (1) alle autokopers gaan vanaf 2006 een A- of B-label auto kopen of (2) alle kopers schakelen binnen één groottesegment over naar het meest zuinige alternatief. Het verlies aan nut (i.e. consument 'moet' een andere auto kopen dan gewenst) is kwantitatief niet in te schatten. De kosteneffectiviteit (volgens nationale kostenbenadering) van deze optie wordt arbitrair gelijk gesteld aan 0 € per ton CO₂.
- CO₂-differentiatie BPM: (1) BPM-differentiatie tussen A-auto (zuinigste binnen een

34 MRB: Nederlandse 'Wet motorrijtuigenbelasting' en BPM: Nederlandse 'Belasting van personenauto's en motorrijwielen'.

- autoklasse) en G-auto (onzuinigste binnen een autoklasse) door deze maatregel 2006 bedraagt ongeveer 10 - 15 € per g/km in 2006 of (2) vanaf 01/01/2007 energiepremie van € 1000 voor nieuwe personenauto's met een A-label en € 500 voor auto's met een B-label. Het verlies aan nut (i.e. consument 'moet' auto kopen die ze zonder maatregel niet zouden aanschaffen) wordt niet gewaardeerd. De kosteneffectiviteit van deze optie wordt arbitrair gelijk gesteld aan 0 € per ton CO₂.
- Emissiehandelsysteem brandstoffen: in 2012 wordt in EU-verband een systeem van CO₂-emissiehandel ingevoerd voor brandstoffen voor het wegverkeer. Als doelstelling wordt voor 2020 een absoluut plafond afgesproken voor de CO₂-uitstoot door het wegverkeer dat 25% onder het niveau van 2012 ligt. Het emissiehandelsysteem staat toe dat door oliemaatschappijen CO₂-emissierechten uit landen binnen of buiten de EU kunnen worden ingekocht om het EU-plafond te halen. De kosten als gevolg van verminderde mobiliteit worden niet gewaardeerd. De kosteneffectiviteit wordt gelijk gesteld aan 11 € per ton CO₂ (marktprijs emissierechten).
 - EU convenant CO₂-uitstoot bestelauto's: de lopende convenanten met ACEA, JAMA en KAMA voor personenauto's worden in 2004 verbreed naar bestelauto's. Hierbij wordt voor 2012/2013 een doel voor bestelauto's vastgesteld dat gelijkwaardig is aan het doel van 120 g/km voor de gemiddelde CO₂-uitstoot van nieuwe personenauto's in 2012. Dit komt neer op een reductie van 15% van de gemiddelde CO₂-uitstoot.
 - Het Nieuwe Rijden III: richt zich vooral op verdere bekendheid van de zuinige rijstijl en de mate waarin deze rijstijl wordt toegepast. Het potentieel van deze maatregel wordt ingeschat op 0,3 Mton CO₂.
 - Kilometerheffing personenauto's, bestelauto's en motorfietsen.
 - Snelheidsbegrenzer bestelauto's.
 - Snelheidsverlaging op snelwegen.
 - Toepassing biobrandstoffen in transportsector.

Landbouw

In de factsheets zijn volgende optiebeschrijvingen voor de reductie van CO₂ terug te vinden:

- Beperking groei intensieve glastuinbouw (i.e. volumemaatregel)
- Nieuwe concepten kleinschalige WKK landbouw (brandstofcellen)
- Potentieelbenutting kleinschalige WKK landbouw: WKK in plaats van op 30% van de thermisch piekvraag te dimensioneren, dit te verhogen tot 60%. Door toepassing van grotere warmtebuffers dan nu gebruikelijk zou op deze manier 90% van de totale warmtevraag door de WKK gedekt kunnen worden.
- Warmtevraagvermindering glastuinbouw door gerichte besparingsmaatregelen
- Warmtevraagvermindering overige landbouw

Wat de niet-CO₂ broeikasgassen betreft, worden volgende reductiemaatregelen in de factsheets beschreven:

- Aanpassing veevoer pensfermentatie (CH₄): aanpassingen samenstelling veevoer en rantsoen van rundvee door (1) verhogen van het aandeel zetmeel in het rantsoen, (2) toevoegen van onverzadigde vetzuren, bijv. via lijnzaad (3) toevoegen van zeer uiteenlopende additieven. Omdat er vele maatregelen denkbaar zijn, en tegelijkertijd effecten en kosten onzeker zijn, wordt alleen een middenschatting over alle mogelijke maatregelen gegeven. De eerste variant betreft melkkoeien, de tweede

- variant alle rundvee. Arbitraire aanname nettokosten van 10 € per koe per jaar.
- Minder stikstofkunstmest (N_2O): kosten zijn gebaseerd op derving gewasopbrengst en besparing kunstmest
- Vergisting mest en co-substraat melkveebedrijven (CH_4 en CO_2): door mest meteen na uitscheiding te vergisten, is de opslagemissie te verwaarlozen. Met het biogas wordt elektriciteit en warmte opgewekt in een WKK-eenheid. Omdat het biogas fossiele energiedragers vervangt brengt dit bovendien een CO_2 -emissiereductie met zich.
- Vergisting mest en co-substraat varkensbedrijven (CH_4 en CO_2)
- Vergisting mest melkveebedrijven (CH_4 en CO_2)
- Vergisting mest varkensbedrijven (CH_4 en CO_2)

BIJLAGE B: OVERZICHT REDUCTIEMAATREGELEN BROEIKASGASSEN PER SECTOR GAINS

Energie

In wat volgt, wordt voor de pollutanten CO₂ en CH₄ een overzicht (en beknopte beschrijving) gegeven van reductiemaatregelen die in GAINS (versie 1.0) aan bod komen.

In Klaassen et al. (2005) worden volgende maatregelen voor de reductie van CO₂-emissies van de energiesector beschreven:

- *'Brandstof switch'*: elke mogelijke substitutie wordt als afzonderlijke maatregel gedefinieerd met landspecifieke kosten en toepasbaarheid (uitgaande van een exogeen basisscenario voor energieconsumptie). Er wordt een onderscheid gemaakt tussen bestaande en nieuwe capaciteit. De kosten van de 'brandstof switch' worden berekend als het verschil tussen de energieproductiekosten uitgaande van de originele brandstof ten opzichte van de energieproductiekosten uitgaande van de substitutie brandstof. Bij de overschakeling van steenkool of zware stookolie naar aardgas speelt enkel het verschil in brandstofprijs. Bij de overschakeling van fossiele brandstof naar nucleaire of hernieuwbare energie worden ook de 'sunk costs' in rekening gebracht.
- *Efficiëntieverbetering*: dezelfde hoeveelheid energieproductie met minder brandstof en bijgevolg met minder emissies. Een deel van deze (autonome) efficiëntieverbetering wordt reeds meegenomen in het basisscenario. Reductiemaatregelen die expliciet opgenomen zijn in GAINS (versie 1.0) en die kunnen bijdragen tot verbetering van de energie-efficiëntie zijn WKK en kolenvergassing-STEG.
- *'Carbon capture and storage'*

De energiegerelateerde vluchtige emissies van CO₂ (i.e. door productie, verwerking, transport, opslag, gebruik brandstof) worden op dit moment niet in rekening gebracht in GAINS.

In Isaksson et al. (2005) wordt aangegeven dat CH₄-emissies vrijkomen ten gevolge van biomassaverbranding voor energetische doeleinden door petroleumraffinaderijen, industrie, elektriciteitscentrales en residentiële/commerciële sector (incl. landbouw). Er worden geen reductiemaatregelen vermeld.

Industrie

In Klaassen et al. (2005) wordt aangegeven dat de CO₂-reductiemaatregelen die voor de industriële emissiebronnen in rekening gebracht worden, zich beperken tot energie-efficiëntieverbetering (i.e. brandstof en elektriciteit) en 'brandstof switch'. Voor volgende industriële sectoren worden opties gedefinieerd om brandstof te besparen: ijzer- en staal, chemische nijverheid (kunstmeststoffen, petrochemie, andere), glasnijverheid, keramische nijverheid, bouwnijverheid, pulp- en papiernijverheid, cementindustrie, voedingsnijverheid, raffinaderijen. Wat de besparing van elektriciteit betreft, worden voornoemde sectoren bekeken (excl. raffinaderijen) en non-ferro (aluminium).

In Isaksson et al. (2005) wordt enkel 'affakkelen' als maatregel beschouwd om de CH_4 -emissies te reduceren die ontstaan bij productie van gas en olie en olieraffinage. Tevens wordt gewezen op de interactie-effecten met VOS en CO_2 . De kosten voor 'affakkelen' zijn gebaseerd op een Nederlandse offshore installatie. In GAINS (versie 1.0) wordt verondersteld dat de kosten voor onshore installaties 40% bedragen van deze van de Nederlandse offshore installatie. In Isaksson et al. (2005) wordt aangegeven dat de CH_4 -emissies ten gevolge van gaslekkages gedurende transport en distributie van gas in West-Europa marginaal zijn (voornamelijk oude distributienetwerken in gietijzer). Deze lekkages kunnen opgelost worden door de frequentie op te drijven van inspecties, onderhoud en vervanging van oude distributienetwerken. In het BAU energienscenario wordt ingeschat wat de lekverliezen van de aardgasdistributie zijn en hoe deze kunnen gereduceerd worden in drie scenario's door vervanging van de oude leidingen.

In Winiwarter (2005) wordt salpeterzuurproductie als bron van N_2O -emissies gedefinieerd. Deze emissies kunnen gereduceerd worden via katalytische reductie van N_2O (neveneffect op NO_x). Daarnaast kunnen de N_2O -emissies toenemen door aanwezigheid van NO_x -reductietechnieken zoals wervelbedverbranding en SNCR (met NH_3 of ureum). Een nieuwe FBC kan uitgerust worden met naverbrander of omgekeerde airstaging om de N_2O -emissies te reduceren.

In Tokha (oktober 2005) wordt aangegeven dat de productie van HCFK-22 (chloordifluormethaan) HFK-23 als bijproduct genereert. De consumptie van HCFK-22 is door het Protocol van Montreal in de meeste landen wel in uitfasering (uitzondering: input chemische nijverheid). Naast de productie van HCFK-22 wordt een onderscheid gemaakt naar vijf subcategorieën van koeling namelijk huishoudelijk, commercieel, industrieel, transport en stationaire airconditioning. Door de uitfasering van ozonafbrekende stoffen (Protocol van Montreal) worden CFK's en HCFK's vervangen, voornamelijk door de overeenkomstige HFK's. HFK's worden ook gebruikt in mobiele airconditioning systemen (auto's) waarbij emissies vrijkomen door lekkage en verliezen tijdens vervanging van het koelmiddel. HFK-emissies komen ook vrij als drijfgas (bv. spuitbussen), bij het gebruik van PU één-componenten schuim en 10 andere types van PU-schuim. De GAINS-sector 'andere HFK-emissiebronnen' omvat de HFK-emissies van bijvoorbeeld brandblusapparaten en solventen. HFK-emissies kunnen gereduceerd worden via thermische oxidatie, 'good practice'-maatregelen (i.e. pakket van maatregelen), procesaanpassingen, alternatief koelmiddel (ammoniak, HFK's, CO_2 onder druk) of alternatief blaasmiddel schuim.

In Tokha (oktober 2005) wordt gesteld dat PFK-emissies voornamelijk vrijkomen tijdens de productie van primair aluminium en door gebruik van HFK-23, CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , $c-C_4F_8$, SF_6 en NF_3 in de halfgeleiderindustrie. Bij de productie van primair aluminium kunnen de PFK-emissies gereduceerd worden door een reductie van de frequentie en duur van de anode-effecten. Het gebruik van het solvent NF_3 in plaats van PFK is de enige reductiemaatregel die voorgesteld wordt voor de semi-conductor industrie.

SF_6 -gas wordt gebruikt in elektrische systemen (isolatie) (Tokha, oktober 2005). Daarnaast komen SF_6 -emissies vrij tijdens het gieten en de productie van primair en secundair magnesium. In GAINS (versie 1.0) zijn vier opties voor de reductie van SF_6 -emissies opgenomen: 'good practice'-maatregelen, gebruik van SO_2 voor het gieten en de productie van magnesium, uitfasering gebruik SF_6 in geluidsdichte ramen en banden.

In GAINS (versie 1.0) worden enkel maatregelen meegenomen waarvan de technische haalbaarheid bewezen is voor de reductie van F-gassen (Tokha, oktober 2005). Aangezien

de meeste opties om F-gassen te reduceren aanpassingen van het productieproces vereisen, wordt verondersteld dat deze maatregelen enkel op nieuwe installaties toegepast kunnen worden (dus geen retrofit van bestaande installaties). De toepasbaarheid van een milieumaatregel in een bepaald jaar geeft dan ook de natuurlijke turnover van het bestaande park weer.

Huishoudens en tertiair

In GAINS omvat de residentiële en tertiaire sector niet alleen de 'subsectoren' huishoudens en diensten maar ook landbouw. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen volgende CO₂-reductiemaatregelen:

- *Energie-efficiëntieverbetering (elektriciteit)*: er worden vijf pakketten van maatregelen gedefinieerd waarmee huishoudens elektriciteit kunnen besparen (er wordt verondersteld dat alle maatregelen met negatieve kosten reeds deel uitmaken van het basis energiewaarscenario).
- *Brandstof switch en isolatie*: 22 varianten en opties die de residentiële en tertiaire sector kunnen inzetten om het brandstofverbruik (gebouwenverwarming) te reduceren zoals het gebruik van brandstoffen met lager C-gehalte (aardgas, biomassa, zonne-energie) en verbeterde isolatie van gebouwen.

GAINS tracht de residentiële en tertiaire sector op Europees niveau in kaart te brengen maar verliest hierbij regelmatig de landspecifieke en sectorspecifieke eigenschappen uit het oog. Enerzijds is er een te sterke gelijkschakeling tussen de residentiële en de tertiaire sector en anderzijds is er een te grote vereenvoudiging van het huizenpark en de besparingsmaatregelen op het niveau van de brandstofbesparende maatregelen.

In Winiwarter (2005) wordt het gebruik van N₂O vermeld als bv. een verdovend gas in de geneeskunde. In GAINS wordt uitgegaan van een 'ongecontroleerde' emissiefactor van 76 g N₂O per inwoner en een reductiepotentieel van 34% dankzij moderne geneeskunde. Daarnaast wordt de vervanging van N₂O door Xenon meegenomen als (heel dure!) reductiemaatregel in GAINS.

Transport

GAINS bekijkt enkel de technische maatregelen namelijk energie-efficiëntieverbetering en brandstof switch. In GAINS wordt een onderscheid gemaakt tussen volgende voertuigcategorieën: 'cars' en 'light duty vehicles', 'heavy duty vehicles' ('trucks' en 'buses').

- *Energie-efficiëntieverbetering (brandstof)*: in GAINS worden de technische maatregelen die ingezet kunnen worden om de efficiëntie te verbeteren gegroepeerd in een beperkt aantal technologiepakketten waarvan de kosteneffectiviteit en milieuefficiëntie wordt vergeleken met potentiële maatregelen in andere sectoren. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen 'improved' of verbeterde motortechnologie en 'advanced' of hybride technologie met verbeterde motortechnologie.
- *Brandstof switch*: biodiesel, vervanging benzine door diesel, gecombineerd aardgas (CNG), ethanol en H₂-brandstofcellen. De milieu-impact van dergelijke brandstofsubstitutie wordt bekeken van 'well-to-wheel'.

In Winiwarter (2005) wordt aangegeven dat de N_2O -emissies licht kunnen toenemen door de aanwezigheid van een NO_x -katalysator.

Landbouw

Versie 1.0 van GAINS richt zich op CO_2 -emissies ten gevolge van brandstofverbruik, industriële processen en fugatieve emissies (Klaassen et al., 2005). Er is geen informatie aanwezig over CO_2 -emissies uit afvalproducten van de landbouw, biomassaverbranding voor niet energiegebruik en de optie landgebruikwijzigingen en bosbouw. De sector 'landbouw' wordt naast de sectoren 'huishoudens' en 'diensten' meegenomen onder de residentiële en commerciële sector.

Volgens Klaassen et al. (2005) is er voldoende informatie beschikbaar over de kosten en efficiëntie van deze maatregelen maar is er een gebrek aan kennis over de huidige en toekomstige implementatiemogelijkheden. Dit werd ook aangegeven bij de consultatieronde voor reductietechnieken voor de landbouwsector in het kader van Duerinck et al. (april 2007).

Er worden in Klaassen et al. (2005) geen concrete cijfers teruggevonden voor de landbouwsector met betrekking tot de besparing op het energieverbruik (efficiëntieverbetering). Mogelijks zit de landbouwsector wel verweven in het deel brandstofsubstitutie maar dit wordt niet duidelijk aangegeven in Klaassen et al. (2005). Het wordt zelfs tegengesproken door het feit dat de limieten gehanteerd voor de brandstofsubstitutie afgeleid zijn van de potentiële warmtetoepassing voor de grootste energiebronnen in de sector 'huishoudens'.

GAINS onderscheid verschillende bronnen van CH_4 -emissies binnen de landbouwsector waarvan er een aantal niet toepasbaar zijn voor België (Vlaanderen). Voor rijstcultiva wordt aangegeven dat dit niet toegepast wordt in België. Voor de verbranding van restproducten op het veld of biomassa voor energiedoeleinden daarentegen wordt verwezen naar de betreffende databank op de RAINS-website maar deze is niet toegankelijk.

Wat de reductie van CH_4 -emissies betreft, worden in Isaksson et al. (2005) voor de landbouwsector volgende maatregelen gedefinieerd:

- *CH_4 -emissies fermentatieprocessen (vergisting)*: toename productiviteit door toename voedselopname, verandering naar meer vet en niet-structureel carbohydraten in de voeding, veranderingen in de samenstelling van de voeding. De kostenbesparing die gerealiseerd wordt door de toename in productiviteit wordt gelijkgesteld aan de marginale productiekost x reductie veestapel. Uitgaand van perfect competitieve markt voor melk en vlees, wordt de marginale productiekost benaderd door de marktprijs.
- *CH_4 -emissies mestverwerking (interactie-effecten met NH_3 en N_2O)*: anaerobe vergisting (biogas) van vloeibaar mest in boerderij met minstens 100 stuks melkvee, 200 stuks vleesvee of 100 varkens. De kost voor dergelijke mestverwerkingsinstallatie is gebaseerd op een Italiaans voorbeeld. Aanpassing varkensstallen (bv. mestopvang- en opslagsysteem) voor reductie NH_3 -emissies reduceert eveneens CH_4 .
- *CH_4 -emissies rijstcultiva*: variant teelten die minder CH_4 -emissies genereert.

In Winiwarter (2005) wordt gesteld dat *N₂O-emissies* uit landbouwgronden, dierlijk mest en emissies uit andere bodems door GAINS in rekening gebracht worden. Deze emissies zijn vooral microbiëel van aard (4% van de totale broeikasgasemissies). Voor deze microbiële interactie werd een vereenvoudigd conceptueel model opgesteld.

Op dit moment wordt in GAINS uitgegaan van de IPCC-methodologie om de directe (door N-input via toediening minerale meststoffen, mest, oogstresten) en indirecte (door evaporatie, herdepositie, lekkage) N₂O-emissies uit de bodem in rekening te brengen. Hoewel in Winiwarter (2005) wordt aangehaald dat voor deze complexe materie het inbrengen van een procesgebaseerd model (zoals het Denitrification-Decomposition of DNDC-model) zeker een meerwaarde zou bieden. Echter, op dit moment worden onvoldoende betrouwbare resultaten met dergelijk model bekomen.

In Winiwarter (2005) wordt aangegeven dat zelfs voor de technieken die specifiek voorgesteld worden voor N₂O-reductie, de reductie van N₂O eerder een positief neveneffect is dan dat het een drijvende kracht is om deze opties te kiezen. Dit wordt ook aangetoond door het geringe aantal maatregelen die voorgesteld worden:

- reductie gebruik meststoffen (i.e. pakket van 'good practice' maatregelen),
- optimalisatie timing gebruik meststoffen (i.e. pakket van maatregelen),
- verhinderen conversie van ammonium naar nitraat,
- precisie landbouw (i.e. benadering voor pakket van verdergaande maatregelen),
- stopzetting cultivatie op organische bodems (reductiekosten worden gelijkgesteld aan verlies aan inkomsten).

N₂O-emissies ten gevolge van mestopslag worden eveneens meegenomen in GAINS. De verwijdering van stikstof naar de lucht gedurende mestopslag wordt idealiter in mindering gebracht bij de berekening van N-input naar de bodem. In GAINS (versie 1.0) wordt hiervan abstractie gemaakt omdat verondersteld wordt dat het verschil niet relevant is. Bijgevolg blijft de N-input van mest naar de bodem onveranderd door de berekeningen die gedaan worden in het kader van N₂O-emissies ten gevolge van mestopslag.

BIJLAGE C: VERTROUWELIJKHEIDSCLAUSULE IN KADER VAN ENERGIEPLANNEN

De Vertrouwelijkheidsovereenkomst (hierna "de Overeenkomst" genoemd) is afgesloten tussen de ondergetekenden:

Naam van bedrijf, te *Straat en Straatnummer* te *B-Postcode Gemeente*, hier vertegenwoordigd door *de heer / mevrouw Naam en Voornaam, Functie*, verder "*Naam van bedrijf*" genoemd, enerzijds

en

de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV, Boeretang 200 te BE-2400 Mol (RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916) en hier vertegenwoordigd door de heer Dirk Fransaer, afgevaardigd bestuurder, verder steeds "VITO" genoemd, anderzijds.

- Overwegende dat VITO in uitvoering van de opdracht 'Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgasreductiemaatregelen' dient te beschikken over het 'volledige verslag' en de bijhorende 'excelfiles' van het energieplan opgesteld in het kader van het Benchmarkconvenant;
- Overwegende dat "*Naam van bedrijf*" bereid is om het 'volledige verslag' en de bijhorende 'excelfiles' van het energieplan aan VITO te geven mits deze informatie vertrouwelijk wordt behandeld in overeenstemming met de voorwaarden en modaliteiten hieronder opgenomen;

WELNU, OM DEZE REDENEN, wordt tussen "*Naam van bedrijf*" en VITO overeengekomen wat volgt.

Art. 1. In het kader van de studie die door VITO wordt uitgevoerd in opdracht van LNE, Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid, handelend over 'Berekening van Vlaamse kostencurves voor broeikasgasreductiemaatregelen' (hierna de "Studie" genoemd), is het noodzakelijk informatie op te vragen die door *Naam van bedrijf* als vertrouwelijk kan beschouwd worden.

Art. 2. VITO verbindt zich ertoe de informatie die zij in de loop van de uitvoering van de onder artikel 1 vermelde opdracht van *Naam van bedrijf* ontvangt slechts te zullen gebruiken voor wetenschappelijke doeleinden in het kader van de Studie. In dit verband verbindt VITO er zich toe de informatie uitsluitend op niet-herkenbare wijze te rapporteren in documenten die al dan niet ter beschikking moeten worden gesteld van de opdrachtgever en/of derden.

Art. 3. Voor de toepassing van deze Overeenkomst wordt onder "informatie" verstaan: Alle informatie die door *Naam van bedrijf* wordt megedeeld aan of op een andere wijze ter beschikking wordt gesteld van VITO in het kader van de Overeenkomst met inbegrip van, maar niet beperkt tot:

- Financiële gegevens, zoals maar niet beperkt tot prijzen en klantenlijsten;

- Technische informatie, zoals maar niet beperkt tot informatie omtrent onderzoek en ontwikkelingen, algoritmes, procedures en knowhow;
- Zaken- en fabrieksgeheimen zoals maar niet beperkt tot operationele gegevens, planning, marketing gegevens en productinformatie.

Deze informatie kan mondeling, schriftelijk (inclusief maar niet beperkt tot fax, e-mail, tekstbericht (SMS)), in machine leesbaar formaat of in andere tastbare (inclusief maar niet beperkt tot grondstoffen, componenten, modellen, prototypes of om het even welk gereedschap of uitrusting) of niet-tastbare vorm worden meegedeeld of ter beschikking worden gesteld.

Indien de informatie schriftelijk of in een andere tastbare vorm wordt meegedeeld of ter beschikking wordt gesteld, wordt door *Naam van bedrijf* duidelijk schriftelijk vermeld dat het informatie betreft die vertrouwelijk moet worden behandeld door VITO conform de voorwaarden van de Overeenkomst.

Indien de informatie mondeling of in een andere niet tastbare vorm wordt meegedeeld of ter beschikking wordt gesteld moet door *Naam van bedrijf* binnen de dertig (30) dagen na de mededeling en/of terbeschikkingstelling ervan bevestigd worden dat het informatie betreft die vertrouwelijke moet worden behandeld door VITO conform de voorwaarden van de Overeenkomst.

Alle informatie die aan VITO is meegedeeld of ter beschikking gesteld zonder naleving van de bovenstaande formaliteiten, mag door VITO vrij gebruikt worden.

Art. 4. VITO is niet (langer) gehouden tot geheimhouding van de informatie van *Naam van bedrijf* wanneer VITO kan aantonen dat:

- (i) zij reeds in het bezit was van of kennis had van de informatie voor de mededeling ervan door *Naam van bedrijf*,
- (ii) de informatie reeds deel uitmaakt van het publiek domein of vervolgens publiek is geworden zonder enige inbreuk door VITO van haar geheimhoudingsverplichtingen omschreven in de Overeenkomst;
- (iii) de informatie in haar bezit is gekomen via een derde die deze informatie mag bekend maken;
- (iv) zij de informatie onafhankelijk heeft ontwikkeld of heeft laten ontwikkelen zonder gebruik te maken van de informatie van *Naam van bedrijf*.

VITO heeft het recht om de informatie aan derden te verstrekken indien dit uit hoofde van een wettelijke regeling van haar wordt gevorderd. Dit zal echter maar geschieden mits VITO *Naam van bedrijf* hiervan onmiddellijk schriftelijk op de hoogte brengt teneinde *Naam van bedrijf* de mogelijkheid te geven de nodige maatregelen te ondernemen om de geheimhouding van de informatie te verzekeren.

Art. 5. VITO verbindt zich ertoe om bij de uitvoering van de "Studie" enkel deze *VITO werknemers* die noodzakelijk zijn inzage te geven in de informatie en hen ten minste even strikte geheimhoudingsplichten op te leggen als vermeld in deze Overeenkomst.

Art. 6. Deze Overeenkomst treedt in werking op _____ en blijft van kracht voor een periode van _____ om te eindigen op _____.

De geheimhoudingsplicht die uit deze Overeenkomst voortvloeit verbindt de Partijen tijdens en na de beëindiging van de Overeenkomst. Behoudens andersluidende overeenkomst tussen de "*Naam van bedrijf*" en VITO is VITO niet meer tot

geheimhouding verplicht conform de voorwaarden van de Overeenkomst (anonieme verwerking is toegelaten) betreffende die delen van de door *Naam van bedrijf* verstrekte informatie waarvan VITO kan aantonen dat één van de uitzonderingen opgesomd in artikel 4 van de Overeenkomst van toepassing is.

Overeengekomen te Mol op *xx xx 2007* in twee (2) originele exemplaren, waarvan elke partij erkent één (1) origineel exemplaar te hebben ontvangen,

Voor VITO

De heer Dirk Fransaer
Afgevaardigd bestuurder

Voor *Naam van Bedrijf*

LITERATUURLIJST

A., Milieurapport Vlaanderen MIRA - *Achtergronddocument landbouw & visserij*, VMM, 2005a.

A., *Lozingen in de lucht 1990 – 2005*, VMM, 2005b.

A., Milieurapport Vlaanderen MIRA – *Achtergronddocument Sector Huishoudens*, VMM, 13 november 2006.

A., Milieurapport Vlaanderen MIRA – *Achtergronddocument Sector Industrie*, VMM, december 2006a.

A., Milieurapport Vlaanderen MIRA – *Achtergronddocument Sector Transport*, VMM, december 2006b.

A., Milieurapport Vlaanderen MIRA – *Achtergronddocument Klimaatverandering*, VMM, januari 2007a.

A., Milieurapport Vlaanderen MIRA – *Achtergronddocument Beheer afvalstoffen*, VMM, januari 2007b.

A., *Belgium's Greenhouse Gas Inventory (1990 – 2005)*, National Inventory Report submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, april 2007.

Alsema E.A., Nieuwlaar E., *ICARUS-4 A Database of Energy-Efficiency Measures for the Netherlands, 1995 – 2020*, final report and user manual, UCE, september 2001.

Amman M., Cofala J., Heyes C., Klimont Z., Mechler R., Posch M., Schöpp W., *The RAINS model, Documentation of the model approach prepared for the RAINS peer review 2004*, IIASA, februari 2004.

Bogaert S., De Smet L., Verdonck F., Van Biervliet K., Logghe S., Franckx L., Eyckmans J., De Jaeger S., *Verkennde studie naar prijs- en inkomenselasticiteiten van milieugerelateerde goederen en diensten in Vlaanderen*, studieopdracht uitgevoerd in opdracht van VMM/MIRA, november 2006.

Capros P., *The Primes Energy System Model Summary Description*, National Technical University of Athens.

Daniëls B.W., Farla J.C.M., *Potentieelverkenning klimaatdoelstellingen en energiebesparing tot 2020*, ECN en MNP, februari 2006.

Daniëls B.W., Farla J.C.M., *Optiedocument energie en emissies 2010/2020*, ECN en MNP, maart 2006.

De Ceuster G., van Herbruggen B., Logghe S., Ivanova O., Carlier K., *TREMOVE 2: Service Contract for further development and application of the TREMOVE transport model – Lot 3, Part 1: Description of model version 2.44*, Europese Commissie, 5 november 2006.

Delhaye E., Proost S., Saveyn B., Van Regemorter D., *Haalbaarheidsstudie voor de inzet van GEM-E3 Vlaanderen voor het Vlaamse lucht- en klimaatbeleid en bij uitbreiding het volledige Vlaamse milieubeleid*, KULeuven, 17 juli 2007.

Dessers R., D' Hooghe J., Claeys D., Wustenberghs H., *Reductiepotentieel en kosten van beleidsmaatregelen met betrekking tot diffuse en puntbronnen. Maatregelen en instrumenten die verontreiniging door de landbouw kunnen voorkomen*, ontwerp eindrapport, ILVO in opdracht van de VMM, juli 2007.

Devriendt N., Dooms G., Liekens J., Nijs W., Pelkmans L., *Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020*, VITO, oktober 2005.

Duerinck J., Cornelis E., Van Rompaey H., *Evaluatie van het reductiepotentieel voor diverse pollutanten naar het compartiment lucht voor elektriciteitsproductie in Vlaanderen*, VITO, mei 2002.

Duerinck J., Briffaerts K., Vercalsteren A., Nijs W., De Vlieger I., Schrooten L., Huybrechts D., *Energie- en broeikasgasscenario's voor het Vlaamse Gewest – Referentiescenario tot en met 2012*, VITO, juni 2006a.

Duerinck J., Briffaerts K., Vercalsteren A., Nijs W., De Vlieger I., Schrooten L., Huybrechts D., *Energie- en broeikasgasscenario's voor het Vlaamse Gewest – business as usual scenario 2000 - 2020*, VITO, juni 2006b.

Duerinck J., Aernouts K., Beheydt D., Briffaerts K., De Vlieger I., Renders N., Schoeters K., Schrooten L., Van Rompaey H., *Energie- en broeikasgasscenario's voor het Vlaamse Gewest – Verkenning beleidsscenario's tot 2003*, VITO, april 2007.

Gavilán J., Overloop S., Carels K., D'Heygere T., Van Hoof K., Helming J., Van Gijsegem D., *Toekomstverkenning landbouw en milieu – het SELES-model*, Departement Landbouw & Visserij, Afdeling Monitoring en Studie en VMM, 2006.

Gavilán J., Homstock K., *Resultaten in de glastuinbouwenquête 2006. Karakteristieken en energiegebruik*, Vlaamse Overheid (Beleidsdomein Landbouw en Visserij, Afdeling Monitoring en Studie), juni 2007.

Goovaerts L., Luyckx W., Vercaemst P., De Meyer G., Dijkmans R., *Beste Beschikbare Technieken voor stookinstallaties en stationaire motoren*, VITO, mei 2002.

Govaerts L., Pelkmans L., Dooms G., Hamelinck C., Geurds M., De Vlieger I., Schrooten L., Ooms K., Timmermans V., *Potentieelstudie biobrandstoffen in Vlaanderen*, VITO-rapport 2006/ETE/R/104, studie in opdracht van ANRE en ALT, 2006.

Höglund-Isaksson L., Mechler R., *The GAINS Model for Greenhouse Gases – Version 1.0: Methane (CH₄)*, Interim Report IR-05-54, IIASA, oktober 2005.

Kelly A., *An Overview of the RAINS Model*, Environmental Protection Agency, 2006.

Klaassen G., Berglund C., Wagner F., *The GAINS Model for Greenhouse Gases – Version 1.0: Carbon Dioxide (CO₂)*, IIASA Interim Report IR-05-53, oktober 2005.

- Lodewijks P., Polders C., Van Rompaey H., *Evaluatie van de inschatting van NMVOS-emissies door verbrandingsprocessen in Vlaanderen*, VITO; november 2005.
- Lodewijks P., Meynaerts E., Beheydt D., *Prognoses en scenario's voor luchtverontreinigende stoffen 2010 – 2015 -2020*, VITO, augustus 2007.
- Maes et al., *Summarizing an abundance of factors into one: Practical implementation of energy labelling for existing buildings in Belgium*, VITO, ECEEE 2005 Summer Study, 2005.
- Nijs W., Renders N., Van Regemorter D., *Markal/Times, a model to support greenhouse gas reduction policies*, CES KULeuven, VITO, 2006.
- Reis S., Nitter S., Friedrich R., *Application of Genetic Algorithms for the Optimisation of Multi-Pollutant Multi-Effect Problems*, Proceedings of IMES 2004 Osnabrueck, 2004.
- Reis S., Nitter S., Friedrich R., *Innovative Approaches in Integrated Assessment Modelling of European Air Pollution Control Strategies – Implications of Dealing with Multi-pollutant Multi-effect Problems*, EMS, 2005.
- Saveyn B., Van Regemorter D., *Environmental Policy in a Federal State - A Regional CGE Analysis of the NEC Directive in Belgium*, CES-KULeuven, januari 2007.
- Tokha A., *The GAINS Model for Greenhouse Gases – Version 1.0: HFC, PFC and SF6*, Interim Report IR-05-56, IIASA, oktober 2005.
- Vanassche S., Meynaerts E., Lodewijks P., *Energie- en broeikasgasscenario's voor het Vlaams gewest – verkenning beleidsscenario's tot 2030, Kosten*, VITO, februari 2007.
- van Dril, A.W.N., Elzenga, H.E., *Referentieramingen energie en emissies 2005 – 2020*, ECN en MNP, mei 2005.
- Van Regemorter, D., Nijs, W., Renders, N., *Markal/Times, a model to support greenhouse gas reduction policies – CP-22*, KULeuven & VITO, september 2006.
- Van Rompaey H., Hooyberghs E., Polders C., *Opstellen van emissieprognoses voor ozonafbrekende stoffen en gehalogeneerde broeikasgassen*, VITO, oktober 2002.
- Van Regemorter D., *Implications of the Integration of Environmental Damage in Energy/Environmental Policy Evaluation. An analysis with the energy optimisation model MARKAL/TIMES*, Paper presented at the Workshop 'Environment: Risk and Modelling', Montreal, 6-7 mei 2004.
- VITO and Econotec, *Characteristics of models for the calculation of GHG scenarios in Belgium, document prepared in the framework of a study carried out for the Federal Public Service of Public Health, Food Chain Safety and Environment (DG Environment)*, mei 2005.
- VITO en Ecolas, *Opstellen en uitwerken van een methodologie voor een intersectorale afweging van de haalbaarheid van mogelijke maatregelen voor de reductie van diverse pollutantemissies naar de lucht*, studie in opdracht van LNE, juli 2005.

Wagner F., Amman M., Schöpp W., *The GAINS Optimization Module as of 1 February 2007*, Interim Report IR-07-004, IIASA, februari 2007.

Wagner F., Amman M., Schöpp W., *Comparison of the RAINS emission control cost curves for air pollutants with emission control costs computed by the GAINS model*, Interim Report IR-07-008, IIASA, februari 2007.

Winiwarter W., *The GAINS Model for Greenhouse Gases – Version 1.0: Nitrous Oxide (N₂O)*, Interim Report IR-05-55, IIASA, oktober 2005.

Altdorfer F., Polders C., Beheydt D., *Update of the emission inventory of ozone depleting substances, HFCs, PFCs and SF₆ for 2005*, december 2006.

Weblinks:

<http://www.ecn.nl/nl/ps/onderzoeksprogramma/nationaal-klimaatbeleid/optiedocument-20102020/factsheets/>

<http://www.econ.kuleuven.ac.be/ew/academic/energmil/research/geme3.htm>

<http://www.gem-e3.net/>

<http://www.tremove.org>

<http://www.plan.be>

<http://www.iiasa.ac.at/rains/>

<http://www.merlin-project.info>

<http://www.uce-uu.nl/?action=12&menuId=5>

<http://www.emis.vito.be/ozon/>

<http://www.belspo.be/belspo/fedra/proj.asp?l=nl&COD=CP/22>