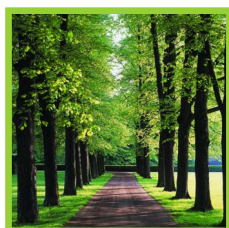
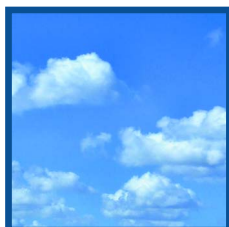




VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ



# Uitbreiding Milieukostenmodel voor Vlaanderen met vraag naar warmte en WKK-potentieel



Studie uitgevoerd in opdracht van  
MIRA, Milieurapport Vlaanderen

Onderzoeksrapport

MIRA/2008/03, mei 2008

# UITBREIDING MILIEUKOSTENMODEL VOOR VLAANDEREN MET VRAAG NAAR WARMTE EN WKK-POTENTIEEL

Pieter Lodewijks, Nele Renders, Daan Beheydt

Integrale Milieustudies  
VITO

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

MIRA/2008/03

Mei 2008



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

Contactadres:

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

Wijze van citeren:

Lodewijks, P., Renders, N., Beheydt, D. (2008), Uitbreiding MilieuKostenModel voor Vlaanderen met vraag naar warmte en WKK-potentieel, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2008/03, VITO.

## SAMENVATTING

In het kader van deze studie werd het MKM uitgebreid en aangepast om op een transparante manier om te gaan met efficiëntieverbeteringen en het WKK-potentieel voor de tijdshorizon 2010-2030 met 5-jaarlijkse zichtjaren. Efficiëntieverbeteringen van stookinstallaties zijn veelal kleinere aanpassingen aan de branders of de warmteoverdracht die het brandstofverbruik en de daarmee gepaard gaande emissies doen afnemen. In het MKM zat de efficiëntieverbetering vervat in de economische groeiscenario's, maar deze werkwijze is niet zeer transparant. Voor dit MIRA O&O project werden de installaties in het MKM voorzien van een thermisch rendement dat het mogelijk maakt om efficiëntieverbeteringen in de vorm van een rendementsverhoging uit te drukken. In Hoofdstuk 2 worden per sector de modelaanpassingen besproken die zijn doorgevoerd.

Het plaatsen van WKK's is zeker de laatste jaren een vaak voorkomend gegeven om gezamenlijk elektriciteit en warmte op te wekken. De brandstofbesparingen en emissiereducties van WKK's werden d.m.v. een 'soft' link aan het MKM doorgerekend. Met het MKM met 'soft' link kunnen WKK scenario's worden doorgerekend, maar kan niet geoptimaliseerd worden. We kunnen het model dus niet inzetten voor optimalisatie-oefeningen tussen het plaatsen van reductietechnieken voor NO<sub>x</sub> of SO<sub>2</sub> en het plaatsen van een WKK. Voor dit MIRA O&O project werd het MKM door middel van een hard link gekoppeld met het WKK-potentieel. In Hoofdstuk 2 worden de technische details weergegeven die de koppeling tussen het MKM en de WKK's mogelijk maken.

Hoofdstuk 2.3 is gewijd aan de aannames achter de modelruns. Deze aannames omvatten o.a. economische groei, emissiefactoren, elektriciteitsvraag, WKK certificaten, ... en geven een overzicht van parameters die in toekomstige scenarioberekeningen kunnen veranderd worden.

Door de hardlink met het WKK-potentieel kunnen we naast het effect op broeikasgasemissies en energiebesparing zoals dat voor de potentiële inschatting voor WKK's tot 2020 gebeurde [1], ook het effect op de conventionele luchtpolluenten inschatten. Daarnaast kan het model zelf beslissen welke ketels op welke brandstof worden vervangen door een WKK, afhankelijk van het gevoerde beleid.

Met dit MIRA-O&O zal het MKM kunnen worden ingezet voor de onderbouwing van het Vlaamse lucht- en klimaatbeleid post 2010/2012 met betrekking tot WKK. Deze onderbouwing kan zowel betrekking hebben op de doorrekening van het reductiepotentieel en de kosten van bepaalde beleidscenario's als de bepaling van de meest kostenefficiënte oplossing om een vooropgestelde doelstelling te realiseren.

De scenario's besproken in het Hoofdstuk 3, Resultaten geven aan dat optimalisatie-oefeningen met het MKM gekoppeld aan het WKK-potentieel interessante resultaten kunnen opleveren. In het kader van de operationalisering van het MKM Klimaat worden broeikasgasreductietechnieken in het MKM opgenomen, zodat de afweging kan gemaakt worden tussen het plaatsen van een WKK of het implementeren van een reductiemaatregel op de ketel.

Voor de optimalisatie over luchtpolluenten en broeikasgassen heen, zorgt voor een nieuwe invalshoek. De MBO voor de elektriciteitsproducenten en het verschil in NO<sub>x</sub> emissiefactor voor de WKK motoren die veel hoger ligt dan voor de WKK turbines zorgt ervoor dat het MKM bij een strenger wordende NO<sub>x</sub> plafond de voorkeur geeft aan turbines. In het BAU scenario met recente, hogere energieprijzen wordt het gebruik van WKK benadeeld en zien we een sterke afname.

In het kader van de internationale modelontwikkeling ontwikkelt IIASA het GAINS model [2; 3] en past dit toe om gezamenlijke optimalisatie-oefeningen voor luchtpolluenten en broeikasgasemissies te kunnen uitvoeren. Het MKM evolueert in dezelfde richting en zal voor Vlaanderen een belangrijke rol kunnen spelen om de GAINS modelruns op een correcte manier te interpreteren.

# INHOUD

<b>Hoofdstuk 1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>Hoofdstuk 2</b>	<b>Methodologie - modelaanpassingen</b>	<b>3</b>
2.1	<i>Vraag naar nuttige warmte: toekennen rendementen</i>	3
2.1.1	Software aanpassingen	3
2.1.2	Industrie	5
2.1.3	Energiesector	8
2.1.4	Residentiële sector	9
2.1.5	Tertiaire sector	12
2.1.6	Landbouw, glastuinbouw	14
2.2	<i>Koppeling MKM en WKK's</i>	15
2.2.1	Software-aanpassingen	18
2.2.2	Industrie	19
2.2.3	Tertiaire sector	20
2.2.4	Residentiële sector	21
2.2.5	Glastuinbouwsector	21
2.3	<i>Aannames modelruns</i>	21
2.3.1	Demografische evolutie	22
2.3.2	Aantal graaddagen	22
2.3.3	CO <sub>2</sub> -emissiefactoren	22
2.3.4	CH <sub>4</sub> en N <sub>2</sub> O emissies en GWP	23
2.3.5	Economische groei	23
2.3.6	Energieprijzen	24
2.3.7	Evolutie van de CO <sub>2</sub> prijzen	25
2.3.8	Elektriciteitsvraag	26
2.3.9	Import elektriciteit uit het buitenland	26
2.3.10	WKK certificaten	27
2.3.11	MBO elektriciteitssector	28
2.3.12	Carbon Capturing and Storage (CCS)	29
2.3.13	Andere maatregelen dan WKK bij industrie	29
<b>Hoofdstuk 3</b>	<b>Resultaten MKM modelruns</b>	<b>31</b>
3.1	<i>BASE</i>	31
3.1.1	Energieverbruik	31
3.1.2	CO <sub>2</sub> emissies	32
3.1.3	NO <sub>x</sub> emissies	32
3.2	<i>BAU</i>	33
3.2.1	Energieverbruik	33
3.2.2	CO <sub>2</sub> emissies	33
3.2.3	NO <sub>x</sub> emissies	34
3.3	<i>BAU+</i>	34
3.3.1	Energieverbruik	35
3.3.2	CO <sub>2</sub> emissies	35
3.3.3	NO <sub>x</sub> emissies	35

3.4	<i>BAU recente energieprijzen</i>	36
3.4.1	Energieverbruik	36
3.4.2	CO <sub>2</sub> emissies	37
3.4.3	NO <sub>x</sub> emissies	37
3.5	<i>Vergelijking tussen de scenario's</i>	38
3.5.1	Energieverbruik	38
3.5.2	CO <sub>2</sub> emissies	41
3.5.3	NO <sub>x</sub> emissies	44
<b>Hoofdstuk 4</b>	<b>Besluit</b>	<b>49</b>
	<b>Literatuurlijst</b>	<b>50</b>
	<b>Bijlage A</b>	<b>53</b>

## LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Sectorindeling industrie volgens de Vlaamse Energiebalans, overgenomen in het MKM.....	6
Tabel 2: Sectorindeling industrie volgens MIRA, geaggregeerd uit de sectorindeling in het MKM. ....	6
Tabel 3:Referentierendementen voor gescheiden opwekking van warmte gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde en standaard ISO omstandigheden (15°C omgevingstemperatuur, 1.013 bar, 60 % relatieve vochtigheid). Bron [13] .....	7
Tabel 4: Nettoerendementen belangrijkste installatietypes in het elektriciteitsmodel. ....	9
Tabel 5: Residentiële sector (verwarming en SWW) en MKM-structuur.....	10
Tabel 6: Implementatiegraad verwarmingsinstallaties in de residentiële sector anno 2000 .....	11
Tabel 7: Installatierendementen gemiddelde ketels en kachels anno 2000 .....	11
Tabel 8: Installatierendement efficiëntere ketels en kachels voor aardgas en stookolie .....	12
Tabel 9:Installatierendement efficiëntere ketels en kachels bij brandstofswitch naar aardgas .....	12
Tabel 10: Tertiaire sector (brandstofverbruik) en MKM-structuur .....	13
Tabel 11: Gemiddelde installatierendement van bestaande en efficiëntere installaties in de tertiaire sector .....	14
Tabel 12: Standaardopdeling van het MKM met aanduiding waar en hoe de glastuinbouw in deze structuur wordt ingepast. ....	15
Tabel 13: Keuzelijst in MKM om koppeling met WKK-potentieel uit te voeren. ....	19
Tabel 14: Klassen WKK gasturbines voor industrie in het MKM model .....	20
Tabel 15: Rendementen STEG > 100 MWe .....	20
Tabel 16: Klasse WKK motor voor industrie in het MKM model.....	20
Tabel 17: Klassen WKK motoren voor de tertiaire sector in het MKM model .....	20
Tabel 18: Openstaand WKK-potentieel tertiaire sector. ....	21
Tabel 19: Openstaand WKK-potentieel residentiële sector. ....	21
Tabel 20: Openstaand WKK-potentieel glastuinbouwsector. ....	21
Tabel 21: Prognose van de demografische ontwikkeling in Vlaanderen, bevolking op 31 december van het jaar. ....	22
Tabel 22: CO <sub>2</sub> -emissiefactoren .....	23
Tabel 23: GWP waarden voor CH <sub>4</sub> en N <sub>2</sub> O.....	23
Tabel 24: Aandeel van de energie-intensieve activiteiten in het totale brandstofverbruik voor elk van de industriële sectoren. ....	24
Tabel 25: Aannames omtrent brandstofprijzen in [€2005/GJ] cf. BAU tot 2020 en hoge prijsscenario BAU+ tot 2030. ....	25
Tabel 26: Aannames omtrent brandstofprijzen in [€2005/GJ] cf. POLES-model (juli 2007).....	25
Tabel 27: Procentuele jaarlijkse groei en relatieve stijging van de elektriciteitsvraag in België ten opzichte van 2000 in 2012 en 2020 volgens het BAU scenario. ....	26
Tabel 28: Ontwikkeling van de elektriciteitsvraag in België volgens het BAU scenario, doorgetrokken in het scenario A van BAU+ tot 2030. ....	26
Tabel 29: Aanname van de import naar België vanuit het buitenland in de periode 2010-2030 volgens BAU en scenario A BAU+. ....	27
Tabel 30: Emissieplafonds voor NO <sub>x</sub> en SO <sub>2</sub> volgens de MBO tussen de Vlaamse overheid en de Vlaamse elektriciteitssector. ....	28
Tabel 31: NO <sub>x</sub> emissiefactoren voor het elektriciteitsgedeelte van de WKK's. ....	29
Tabel 32: Energieverbruik [TJ] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BASE scenario .....	32
Tabel 33: Energiegerelateerde CO <sub>2</sub> emissies [kton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BASE scenario .....	32
Tabel 34: Energiegerelateerde NO <sub>x</sub> emissies [ton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BASE scenario .....	33
Tabel 35: Energieverbruik [TJ] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario .....	33

Tabel 36: Energiegerelateerde CO <sub>2</sub> emissies [kton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario .....	34
Tabel 37: Energiegerelateerde NO <sub>x</sub> emissies [ton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario .....	34
Tabel 38: Energieverbruik [TJ] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU+ scenario .....	35
Tabel 39: Energiegerelateerde CO <sub>2</sub> emissies [kton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU+ scenario .....	35
Tabel 40: Energiegerelateerde NO <sub>x</sub> emissies [ton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU+ scenario .....	36
Tabel 41: Energieverbruik [TJ] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario met recente energieprijzen .....	36
Tabel 42: Energiegerelateerde CO <sub>2</sub> emissies [kton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario met recente energieprijzen .....	37
Tabel 43: Energiegerelateerde NO <sub>x</sub> emissies [ton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario met recente energieprijzen .....	37
Tabel 44: Vermeden brandstofverbruiken [TJ] door toepassing van WKK en de brandstofverbruiken van de WKK's .....	38
Tabel 45: Verschil in brandstofverbruiken [TJ] tussen het BAU scenario met energieprijzen van de energieprognosestudies (BAU) en het BAU scenario met recente hogere energieprijzen (BAUHP) ..	40
Tabel 46: Vermeden CO <sub>2</sub> emissies [kton] door toepassing van WKK en de CO <sub>2</sub> emissies te wijten aan WKK's .....	41
Tabel 47: Verschil in CO <sub>2</sub> emissies [kton] tussen het BAU scenario met energieprijzen van de energieprognosestudies (BAU) en het BAU scenario met recente hogere energieprijzen (BAUHP) ..	43
Tabel 48: Vermeden NO <sub>x</sub> emissies [ton] door toepassing van WKK en de NO <sub>x</sub> emissies te wijten aan WKK's .....	44
Tabel 49: Verschil in NO <sub>x</sub> emissies [ton] tussen het BAU scenario met energieprijzen van de energieprognosestudies (BAU) en het BAU scenario met recente hogere energieprijzen (BAUHP) ..	46



**LIJST VAN FIGUREN**

Figuur 1: Formulier installaties en subformulier Apparaten waarin het veld Rendement kan ingevuld worden en via de knop WKK koppeling een hardlink met het WKK-potentieel kan gelegd worden. ....	4
Figuur 2: Schema van de ijking van het geaggregeerde MKM met de Vlaamse Energiebalans 2005 en de Collectieve bijschatting 2005.....	8
Figuur 3: Energieverbruik in de land- en tuinbouw en zeevisserij in Vlaanderen in 2005 (bron: Energiebalans Vlaanderen, 2005) .....	14
Figuur 4: Schema van de scenarioberekening van het effect van WKK op de emissies van een industriële sector door nacalculatie, soft link. De MKM oplossing moet voldoen aan de vraag naar energie in [TJ]. .....	17
Figuur 5: Schema van de hard link tussen de gemodelleerde WKK's en de stookinstallaties. Het model kan in deze situatie optimaliseren naar het gebruik van WKK. De MKM oplossing moet voldoen aan de vraag naar warmte in [TJ] en de vraag naar elektriciteit in [TJ].....	17
Figuur 6: Energiegebruik in [PJ] voor de jaren 2010-2020-2030 per sector in de drie scenario's. ....	39
Figuur 7: CO <sub>2</sub> emissies in [kton] voor de jaren 2010-2020-2030 per sector in de drie scenario's. ....	42
Figuur 8: NO <sub>x</sub> emissies in [ton] voor de jaren 2010-2020-2030 per sector in de drie scenario's. ....	45



## HOOFDSTUK 1      INLEIDING

---

Het MKM is een techno-economisch, bottom-up model dat via optimalisatie en simulatie bijdraagt tot een efficiënter milieubeleid. Het MKM brengt de kosten van het milieubeleid in kaart en draagt bij tot een efficiënter milieubeleid door aan te geven hoe milieudoelstellingen tegen de laagst mogelijke kost bereikt kunnen worden. Bij het optimaliseren staat kostenefficiëntie centraal. Daarnaast worden met het model ook verschillende varianten op de meest optimale oplossing doorgerekend en wordt het model gebruikt 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 het kader van de intersectorale studie [4] werd het MKM operationeel gemaakt voor de polluenten zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofoxides (NO<sub>x</sub>) en niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS), voor meerdere sectoren binnen de doelgroep industrie en energie. De reductiedoelstellingen die de Europese Richtlijn Nationale Emissieplafonds (2007/81/EG) aan België en dus ook aan Vlaanderen oplegt voor 2010 werden doorgerekend. Het MKM is in het kader van de emissieprognosestudie [5] uitgebreid met een tijdshorizon tot 2020 en fijn stof emissies (TSP, PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>)

Momenteel wordt het MKM uitgebreid met broeikasgasemissies voor de industrie, residentieel en tertiaire sector, energiesector, landbouw en transport.

In het kader van deze studie wordt het MKM uitgebreid en aangepast om op een transparante manier om te gaan met efficiëntieverbeteringen en het WKK-potentieel voor de tijdshorizon 2010-2030 met 5-jaarlijkse zichtjaren. Efficiëntieverbeteringen van stookinstallaties zijn veelal kleinere aanpassingen aan de branders of de warmteoverdracht die het brandstofverbruik en de daarmee gepaard gaande emissies doen afnemen. In het MKM zit de efficiëntieverbetering momenteel vervat in de economische groeiscenario's, maar deze werkwijze is niet zeer transparant. Voor dit MIRA O&O project worden de installaties in het MKM voorzien van een thermisch rendement dat het mogelijk maakt om efficiëntieverbeteringen in de vorm van een rendementsverhoging uit te drukken.

Het plaatsen van WKK's is zeker de laatste jaren een vaak voorkomend gegeven om gezamenlijk elektriciteit en warmte op te wekken. De brandstofbesparingen en emissiereducties van WKK's worden momenteel d.m.v. een 'soft' link aan het MKM doorgerekend. Met het huidige MKM met 'soft' link kunnen WKK scenario's worden doorgerekend, maar kan niet geoptimaliseerd worden. We kunnen het model dus niet inzetten voor optimalisatie-oefeningen tussen het plaatsen van reductietechnieken voor NO<sub>x</sub> of SO<sub>2</sub> en het plaatsen van een WKK. Voor dit MIRA O&O project wordt het MKM door middel van een hard link gekoppeld met het WKK-potentieel.

Door de hardlink met het WKK-potentieel kunnen we naast het effect op broeikasgasemissies en energiebesparing zoals dat voor de potentiële inschatting voor WKK's tot 2020 gebeurde [1], ook

het effect op de conventionele luchtpolluenten inschatten. Daarnaast kan het model zelf beslissen welke ketels op welke brandstof worden vervangen door een WKK, afhankelijk van het gevoerde beleid.

Met dit MIRA-O&O zal het MKM kunnen worden ingezet voor de onderbouwing van het Vlaamse lucht- en klimaatbeleid post 2010/2012 met betrekking tot WKK. Deze onderbouwing kan zowel betrekking hebben op de doorrekening van het reductiepotentieel en de kosten van bepaalde beleidscenari'o's als de bepaling van de meest kostenefficiënte oplossing om een vooropgestelde doelstelling te realiseren.

## HOOFDSTUK 2                    METHODOLOGIE - MODELAAANPASSINGEN

---

In dit hoofdstuk beschrijven we de modelaanpassingen die zijn doorgevoerd om het MKM met efficiëntieverbeteringen te laten rekenen. Daarnaast beschrijven we de aanpassingen om het in dienst nemen van WKK correct te modelleren.

In het MKM, zoals gebruikt voor de intersectorale [4] en de emissieprognosestudie [5], worden de stookinstallaties beschreven aan de hand van het brandstofverbruik. Dit wil zeggen dat de berekeningen van het MKM gestuurd werden door een vraag naar brandstof en niet door een vraag naar nuttige warmte. In deze versie van het MKM kan een rendements- of efficiëntieverbetering worden opgevangen door een afname van de vraag naar warmte. Om deze afname van de vraag te kunnen doorrekenen is de efficiëntieverbetering momenteel inherent verbonden aan het economische groeiscenario. Dit betekent dat bij het uitwerken van een economisch groeiscenario 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.

In realiteit zal bij een efficiëntieverbetering de vraag naar nuttige warmte constant blijven, terwijl het brandstofverbruik afneemt. Voor deze studie worden de thermische rendementen van de stookinstallaties als eigenschap toegekend aan de stookinstallaties zelf. 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 'soft' link die op dit moment de WKK's en stookinstallaties koppelt, wordt vervangen door een 'hard' link, waarbij op basis van het rendement en de draaiuren van elke stookinstallatie een WKK-ervangingspotentieel wordt ingeschat. In optimalisatie-oefeningen kan het MKM zelf beslissen welke stookinstallaties vervangen zullen worden door een WKK en wanneer dit kan gebeuren.

### 2.1 Vraag naar nuttige warmte: toekennen rendementen

#### 2.1.1 Software aanpassingen

De Markal/Answer software laat toe om rendementen aan de gemodelleerde stookinstallaties toe te kennen. Aangezien het MKM bouwt op de Markal/Answer modelstructuur, kan in het MKM de mogelijkheid tot het ingeven van rendementen opgenomen worden.

Hiervoor werden de invulformulieren van de Acces databank aangepast, zodat de rendementen van de stookinstallaties in % kunnen ingevuld worden. Daarnaast werden de queries aangepast die de omrekening van brandstofverbruik naar warmtevraag op basis van de ingevulde rendementen

verzorgen. Tenslotte werd de VBA-code<sup>1</sup> aangepast zodat de ingevulde rendementen automatisch op de juiste manier naar Markal/Answer vertaald worden.

The image shows a software interface with two main sections. The top section, titled 'Installaties', contains various input fields: 'Jaartal weergegeven data' (2000), 'Install.nr.' (384), 'Bedrijfsnr.' (17), 'Installatie' (Chemie, ketels, >50 MW), 'INS code', '# installaties' (8), 'P geïnstall.', and 'P reëel'. A red circle highlights the 'WKK koppeling' button. Below this are buttons for 'Reductie Inst.niveau', 'Emissie-grenswaarden', and 'Scenario'. The bottom section, 'Subformulier Apparaten', includes fields for 'Apparaat' (Chemie, ketels, >50 MW), 'Rendement' (88.720, circled in red), 'Toepasbh.' (100%), 'Datum ingebruikname', 'Stof' (Zware stookolie), 'Eenheid stofverbruik' (TJ), 'Functie stof' (BRANDSTOF), 'SNAP code', '# app.' (8), 'App.nr.VMM', 'Limiet capac.', 'Reële capac.', 'Eenheid cap.', 'Tvw apparaat', 'Investering' (0 k€), 'Operationeel' (0 k€), 'Econ.levensduur' (0), and 'Jaar implement.'. It also features buttons for 'WKK koppeling', 'Reductie App.niveau', and 'Scenario resid capac.'. At the very bottom, the 'Subformulier Activiteit' shows 'Stof verbruik' (827.0229677) and a 'Formulier emissies' button.

Figuur 1: Formulier installaties en subformulier Apparaten waarin het veld Rendement kan ingevuld worden en via de knop WKK koppeling een hardlink met het WKK-potentieel kan gelegd worden.

<sup>1</sup> VBA-code: Visual Basic for Applications programmacode die vanuit de Access Databank automatisch een Markal/Answer importfile aanmaakt.

### 2.1.2 Industrie

#### → *Aggregatie bedrijven, installaties, apparaten*

In het kader van de studie 'Methodologieontwikkeling en modelaanpassingen voor uitbreiding MKM met broeikasgassen' [6] en de studie 'Operationeel maken van het MKM Klimaat' wordt getracht om voor de industrie de ontbrekende data betreffende reductiemogelijkheden voor broeikasgassen in kaart te brengen. Hiervoor werden literatuurbronnen en andere reeds bestaande techno-economische modellen geraadpleegd, o.a. het analysemodel Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) [7], het RAINS/GAINS model [2], [3], [8] en het MERLIN model [9], [10].

Deze modellen werken allen geaggregeerd en een extrapolatie van de voorgestelde broeikasgasmaatregelen op het gedetailleerde niveau van het MKM Lucht is niet uit te voeren. Vooral het gebrek aan informatie omtrent de reeds genomen maatregelen of procesaanpassingen en –optimalisaties maken het moeilijk om een correcte baseline op te stellen. Deze baseline is nodig om de inschattingen van het reductiepotentieel mogelijk te maken.

VITO heeft om dit gebrek aan informatie in te vullen samen met LNE op een info-namiddag georganiseerd door VOKA op 18/07/2007 een toelichting gegeven omtrent de MKM Klimaat studie. Op deze info-namiddag waren een groot aantal bedrijven aanwezig die een energieplan indienen in het kader van het benchmarkingconvenant. De huidige energieplannen geven in het beste geval aan welke reductiemaatregelen gaan genomen worden tussen 2008 en 2012. Omdat de plannen vertrouwelijk zijn kunnen ze niet opgevraagd worden. Een aantal bedrijven hebben na de toelichting toegezegd om de energieplannen te bespreken onder vertrouwelijkheidsclausule. Intussen werden bedrijfsbezoeken afgelegd bij:

- Total Raffinaderij Antwerpen
- Arcelor-Mittal Gent
- Borealis Beringen

Bedrijfsbezoeken zijn arbeidsintensief qua voorbereiding en verwerking van de bekomen informatie. De bekomen informatie is bruikbaar, maar in vele gevallen té specifiek om als potentiële maatregel bij gelijkaardige bedrijven voor te stellen.

Bij de uitwerking van de methodologie van het MKM Klimaat [6] werd beslist om aggregaties door te voeren op de bestaande databank van het MKM Lucht. Om deze aggregaties automatisch uit te voeren werd de databank aangepast. Het aggregatieniveau werd als volgt bepaald:

- Per sector
- Per vermogensklasse op installatieniveau
  - o 0 < 5 MW
  - o 5 < 20 MW
  - o 20 < 50 MW
  - o 50 MW
- Per brandstoftype
- Stoom- of warmwaterketels / Ovens en fornuizen
- Gewogen gemiddelde van de thermisch rendementen

De uitspitsing naar stoom- of warmwaterketels en ovens of fornuizen is noodzakelijk aangezien WKK's bijna uitsluitend gebruikt worden voor de productie van stoom, warm water of heet water onder druk [11]. Slechts zelden wordt de warme lucht gebruikt als warmtedrager, vooral dan bij de sector minerale niet-metaalproducten, waaronder de kleisector (steenbakkerijen) valt. In de WKK-

potentieelstudie [11] wordt aangegeven dat het plaatsen van een WKK enkel mogelijk is als de afvallucht van de bakovens niet voldoende is om de stenen te drogen in de droogovens. In het MKM is de optie om over te schakelen naar een WKK enkel voorzien voor de bestaande stoom- of warmwaterketels.

Om de koppeling van het MKM met het WKK-potentieel uit te kunnen voeren is het afstemmen op de Vlaamse Energiebalans [12] en de WKK-potentieelstudie [1] noodzakelijk (Tabel 1). De hierdoor bekomen sectorindeling is conform de MIRA sectorindeling.

Volgend sectorniveau kan voor de industrie onderscheiden worden in het MKM:

*Tabel 1: Sectorindeling industrie volgens de Vlaamse Energiebalans, overgenomen in het MKM.*

<b>Sector</b>	<b>Nace code (Rev.1)</b>
Ijzer- en staalnijverheid	27.1/27.2/27.3/27.51/27.52
Non-ferro	27.4/27.53/27.54
Chemie	24
Voeding, dranken en tabak	15/16
Papier en uitgeverijen	21/22
Minerale niet-metaalproducten	14/26
Metaalverwerkende nijverheid	28/29/30/31/32/33/34/35
Textiel, leder en kleding	17/18/19
Andere industrieën	20/25/36/37/45

Bovenstaande sectorindeling volgens de Vlaamse Energiebalans wordt voor deze studie geaggregeerd tot de MIRA sectorindeling (Tabel 2).

*Tabel 2: Sectorindeling industrie volgens MIRA, geaggregeerd uit de sectorindeling in het MKM.*

<b>Sector</b>	<b>Nace-BEL-code</b>
Chemie	24
Metaal (Ijzer- en staal + non-ferro + metaalverwerkende nijverheid)	27 t.e.m. 35
Voeding	15/16
Textiel	17/18/19
Papier	21/22
Andere industrieën	13/14/20/25/26/36/37/41/45

→ **Data thermische rendementen**

Het thermisch rendement van een stookinstallatie is afhankelijk van de gebruikte brandstof, de ouderdom, de overdracht van de warmte naar waar deze wordt aangewend. In het MKM zijn alle bedrijven die een EJV (of nu IMJV) indienen individueel opgenomen in de databank, met de afzonderlijke installaties en apparaten. Informatie omtrent de rendementen ontbreekt in de EJV's of IMJV's en dus ook in de MKM databank. Gezien de specificiteit van de stookinstallaties en de rendementen is het niet mogelijk om deze op dit gedetailleerde niveau te onderzoeken. Vandaar werd geopteerd om de referentierendementen voor gescheiden opwekking van warmte uit Bijlage I (versie 11/12/2006) van [13] te gebruiken. Deze referentierendementen maken een onderscheid naar brandstoftype en naar stoom-/warmwaterketel of fornuis waarbij de verbrandingsgassen direct gebruikt worden in het proces.



Tabel 3: Referentierendementen voor gescheiden opwekking van warmte gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde en standaard ISO omstandigheden (15°C omgevingstemperatuur, 1.013 bar, 60 % relatieve vochtigheid). Bron [13]

	<i>Brandstoftype</i>	<i>Stoom*/warm water</i>	<i>Direct gebruik van verbrandingsgassen**</i>
Vast	<i>Steenkool/Cokes</i>	88%	80%
	<i>Bruinkool/Bruinkoolbriketten</i>	86%	78%
	<i>Turf/turfbriketten</i>	86%	78%
	<i>Houtbrandstoffen en houtafval</i>	86%	78%
	<i>Landbouwbiomassa</i>	80%	72%
	<i>Bio-afbreekbaar (stads)afval</i>	80%	72%
	<i>Niet-hernieuwbaar (stads- en industrie-)afval</i>	80%	72%
Vloeibaar	<i>Steenolie</i>	86%	78%
	<i>Olie (gasolie + stookolie), LPG</i>	89%	81%
	<i>Biobrandstoffen</i>	89%	81%
	<i>Bio-afbreekbaar afval</i>	80%	72%
	<i>Niet-hernieuwbaar afval</i>	80%	72%
Gasvormig	<i>Aardgas</i>	90%	82%
	<i>Raffinaderijgas/waterstof</i>	89%	81%
	<i>Biogas</i>	70%	62%
	<i>Cokesovengas, hoogovengas + andere afvalgassen</i>	80%	72%

\* Stoom referentierendementen moeten met 5 % (absolute percentpunten) verlaagd worden.

\*\* De waarden voor direct gebruik van verbrandingsgassen worden gebruikt als de temperatuur 250 °C is of hoger.

In het MKM zijn de verschillende brandstoftypes reeds gelinkt aan de individuele apparaten. Uitgaande van de naamgeving van de installaties en de apparaten weten we of het om een stoomketel, warmwaterketel dan wel om een fornuis gaat.

Met behulp van bovenstaande Tabel 3 en de gedetailleerde informatie reeds aanwezig in het MKM werden de referentierendementen m.b.v. geautomatiseerde queries aan de apparaten toegekend.

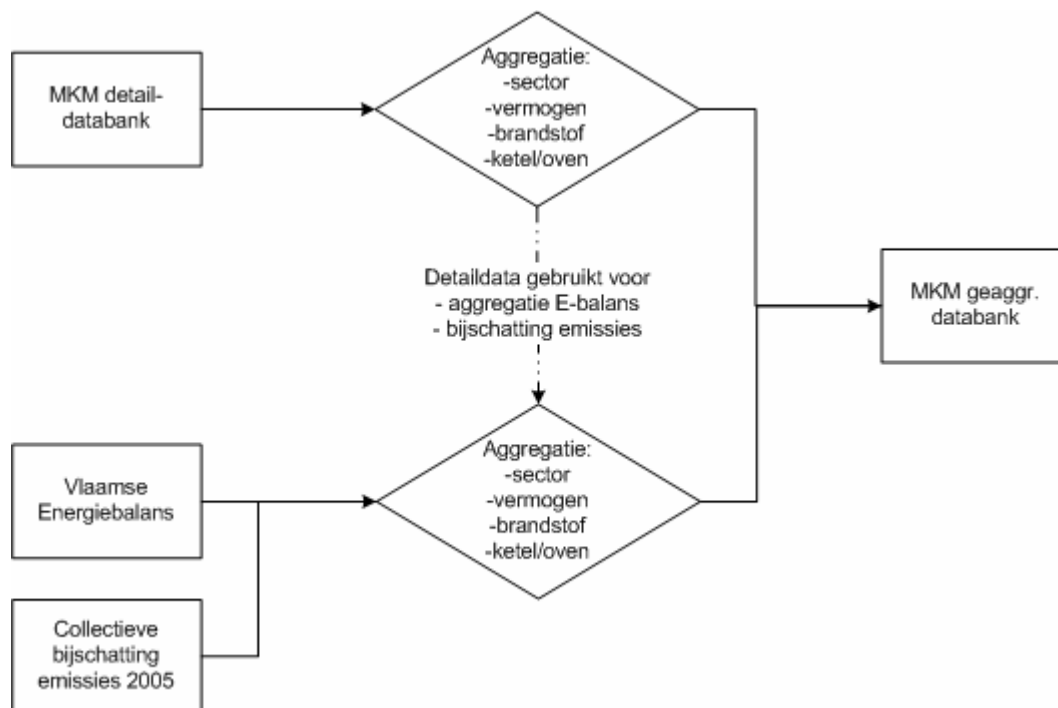
#### → *Ijking Vlaamse Energiebalans 2005, collectieve bijschatting 2005*

De aggregatie van de gedetailleerde MKM databank gebeurde voor de individuele bedrijven volgens de bovenstaande parameters. Aangezien niet alle bedrijven een EJV (of IMJV) indienen werd per sector een bijschatting gemaakt van de energieverbruiken per brandstof als ijking op de energiebalans 2005 [12].

De uitsplitsing naar ketels en ovens of fornuizen voor de koppeling met het WKK-potentieel is ook voor de bijgeschatte energieverbruiken vereist. Voor de Vlaamse Energiebalans worden jaarlijks een groot aantal bedrijven geënquêteerd. Voor deze bedrijven kennen we het verbruik van de

verschillende brandstoffen. Vervolgens voeren we een omrekening uit van de brandstofverbruiken (in TJ) naar het geschatte vermogen (in MW), waarbij we aannemen dat de installaties 8000 uur/jaar draaien. Dit levert vermogens op die zich situeren in de vermogensklassen  $0 < 5\text{ MW}$  en  $5 < 20\text{ MW}$ . Per sector werd vervolgens voor de individuele bedrijven in het MKM binnen deze vermogensklassen het aandeel bepaald van ketels/ovens. Met behulp van dit aandeel werd voor de geënquêteerde bedrijven uit de Energiebalans het brandstofverbruik verdeeld over het aandeel ketels/ovens.

Na deze ijking op de energiebalans werden de emissies van  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{\text{tot}}$ ,  $\text{PM}_{10}$  en  $\text{PM}_{2,5}$  toegekend. Op basis van de gedetailleerde info aanwezig in het MKM werden emissiefactoren ingeschat volgens de indeling ketels/ovens, brandstoftype en vermogensklasse. Met behulp van deze berekende emissiefactoren werden de emissie toegekend aan de ketels/ovens van de energiebalansijking. De emissies werden vervolgens herschaald op de collectieve emissiebijchatting 2005 zoals gebruikt voor 'Lozingen in de Lucht 1990-2006' [14].



Figuur 2: Schema van de ijking van het geaggregeerde MKM met de Vlaamse Energiebalans 2005 en de Collectieve bijchatting 2005

### 2.1.3 Energiesector

Onder de energiesector wordt in de MIRA sectorindeling de volgende deelsectoren ondergebracht: elektriciteitsbedrijven, de petroleumraffinaderijen, gasbedrijven en overige energiebedrijven. Onder deze laatste deelsector kan in Vlaanderen enkel de vervaardiging van cokesovenproducten teruggevonden worden.

Het *elektriciteitsmodel* is een bottom-up optimalisatiemodel in Markal/Answer 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. Daarnaast wordt een aanname gemaakt van de import van elektriciteit uit het buitenland. Het aanbod aan elektriciteit bestaat bijgevolg uit de hoeveelheid in België geproduceerd en de hoeveelheid geïmporteerd.

De voor deze studie gebruikte versie van het elektriciteitsmodel wordt in meer detail beschreven in de energieprognosestudies [15] en [16] en omvat de volgende bestaande installaties in inschattingen voor het potentieel:

- Elektriciteitscentrales: gas-, steenkool-, nucleaire centrales
- WKK-installaties (motoren en gasturbines)
- Hernieuwbare energie: groene WKK-turbines en –motoren, overige biomassa, windenergie (on- en offshore), zonne-energie. Groene WKK omvat installaties werkende op biogas uit stortplaatsen, GFT-vergisting, (R)WZI-slib vergisting
- Afvalverbrandingsovens met energierecuperatie

Elk van bovenstaande installaties wordt gekenmerkt door een netto-rendement en specifieke emissies en kostprijzen voor de nieuwe installaties. Het model kiest bijgevolg endogeen voor een bepaalde technologie om te voldoen aan de vraag naar elektriciteit op basis van de modelparameters zoals kostprijs, brandstofprijs, rendement, emissies.

In onderstaande Tabel 4 worden de netto rendementen van de belangrijkste types centrales in het model weergegeven. Deze netto rendementen werden bepaald na aftrek van het eigenverbruik van de centrales.

Tabel 4: *Nettorendementen belangrijkste installatietypes in het elektriciteitsmodel.*

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

BRON: [15]

#### 2.1.4 Residentiële sector

##### → *Aggregatieniveau*

Om de prognoses van het energieverbruik voor *verwarming en sanitair warm water* op te stellen, deelden we het Vlaamse woningpark in de REF-, BAU- en BAU+-studie zeer gedetailleerd in 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/kacheltype (keteltype 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 studie 'Methodologieontwikkeling en modelaanpassingen voor uitbreiding MKM met broeikasgassen' [6] voerden we een aggregatie van deze woningkenmerken uit. Er wordt een onderscheid gemaakt naar woningtype, woningleeftijd, ketel/kacheltype en brandstoftype. In volgende tabel geven we aan op welke manier de residentiële sector werd ingepast 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 oliecrisis rond deze periode ertoe hebben geleid dat de woningen gebouwd na 1970 over meer isolatie beschikken. Met 'gemiddelde ketel/kachel' bedoelen we: de gemiddelde ketel/kachel van gans het woningpark in het basisjaar.

Tabel 5: Residentiële sector (verwarming en SWW) en MKM-structuur

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

BRON: VITO

→ **Data thermische rendementen**

Om de gemiddelde ketel – en kachelrendementen voor het jaar 2000 in kaart te brengen, hebben we ons gebaseerd op de aannames van de REF-studie.

In deze studies namen we de aannames over de toepassing van centrale verwarmingssystemen over uit de studie voor Electrabel 'Classificatiemethode van de maatregelen ter beheersing van de CO<sub>2</sub> uitstoot' uit 2001 [17] en aannames over de toepassing van decentrale systemen uit de studie 'Energieverbruik en energiebesparingspotentieel in de woningen in Vlaanderen' [18] uit 2000. Tabel 6 geeft deze aannames omtrent de implementatiegraden die in deze studie worden gebruikt. Een installatie wordt verondersteld oud te zijn na 10 jaar.

Tabel 6: Implementatiegraad verwarmingsinstallaties in de residentiële sector anno 2000

Brandstof	Implementatiegraad				
	Oud	Nieuw			
<b>Decentrale verwarming</b>					
<i>Woningen &lt; 1990</i>					
Stookolie	36%	64%			
Aardgas	42%	58%			
Hout	50%	50%			
Steenkool	50%	50%			
LPG	42%	58%			
Elektriciteit	50%	50%			
<i>Woningen &gt; 1991</i>					
Alle	0%	100%			
<b>Centrale verwarming</b>					
<i>Woningen &lt; 1990</i>					
Stookolie	39%	28%	33%		
Aardgas	17%	40%	43%	0,5%	0,5%
<i>Woningen &gt; 1991</i>					
Stookolie			100%		
Aardgas			99%	0,5%	0,5%

In de REF-studie kenden we bovenstaande ketels en kachels op basis van bovenstaande tabel toe aan de diverse woningcategoriën, met hun bijhorende installatierendement. De REF-studie kende een zeer gedetailleerde indeling van het Vlaamse woningpark. In het kader van de studie 'Methodologieontwikkeling en modelaanpassingen voor uitbreiding MKM met broeikasgassen' [4] voerden we een aggregatie van deze woningcategoriën uit. In deze aggregatie maken we geen onderscheid tussen de verschillende ketel- en kacheltypes, maar middelden we deze types uit tot gemiddelde ketels/kachels op basis van hun voorkomen in een geaggregeerde woningcategorie. Onderstaande tabel geeft de installatierendementen weer van deze gemiddelde ketels en kachels voor het basisjaar 2000.

Tabel 7: Installatierendementen gemiddelde ketels en kachels anno 2000

%	Stookolie	Hout	Steenkool	Aardgas	LPG	Elektriciteit
<b>Appartement</b>						
≤1970	63%	47%	46%	67%	68%	90%
>1970	64%	47%	47%	69%	65%	90%
<b>Eéngezinswoning</b>						
≤1970	62%	46%	46%	68%	70%	90%
>1970	65%	47%	46%	69%	67%	90%

De bestaande ketels en kachels kunnen vervangen worden door energiezuinigere alternatieven. Deze ketels en kachels met hogere rendementen komen overeen met deze uit de BAU+-studie. We namen in deze studie aan dat bestaande stookolieketels kunnen omschakelen naar een condenserende ketel of een hoogrendementsketel, aardgasketels naar modulerende of condenserende ketels en aardgaskachels naar zeer efficiënte kachels (installatierendement 80%). Voor de overige brandstoffen zijn geen energiezuinigere alternatieven opgenomen in de BAU+-studie. Voor het MKM model nemen we echter bijkomend aan dat de overige brandstoffen kunnen omschakelen naar aardgas en bijgevolg een modulerende/condenserende ketel of een efficiëntere kachel bij deze brandstofswitch krijgen toegewezen. We nemen, zoals bij de bestaande ketels en kachels, geen afzonderlijke ketel- en kacheltypes op in het MKM model, maar middelen we de verschillende types uit voor elke woningcategorie. Het resultaat van deze aggregatie kan je in de onderstaande tabellen terugvinden.

Tabel 8: Installatierendement efficiëntere ketels en kachels voor aardgas en stookolie

	Stookolie	Aardgas
<b>Appartement</b>		
≤1970	78%	86%
>1970	78%	88%
<b>Eéngeswoning</b>		
≤1970	78%	85%
>1970	78%	88%

Tabel 9: Installatierendement efficiëntere ketels en kachels bij brandstofswitch naar aardgas

	Stookolie	Hout	Steenkool	LPG	Elektriciteit
<b>Appartement</b>					
≤1970	88%	82%	81%	84%	84%
>1970	88%	83%	83%	86%	84%
<b>Eéngeswoning</b>					
≤1970	87%	81%	80%	82%	82%
>1970	88%	82%	81%	85%	82%

### 2.1.5 Tertiaire sector

#### → *Aggregatieniveau*

In het BAU- en BAU+-energiescenario uit Duerinck et al (2006, 2007) wordt voor de tertiaire sector 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 studie 'Methodologieontwikkeling en modelaanpassingen voor uitbreiding MKM met broeikasgassen' [6] aggregaerden we bepaalde subsectoren. 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.

Voor het brandstofverbruik van de tertiaire sector maken we naar analogie met de BAU- en BAU+-energieprognoses, een onderscheid 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 10: Tertiaire sector (brandstofverbruik) en MKM-structuur

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

BRON: VITO

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

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

→ **Data thermische rendementen**

Het gemiddelde installatierendement van de ketels in het basisjaar nemen we over uit de BAU-studie voor alle subsectoren, uitgezonderd voor de subsector kantoren. Voor de kantoren baseren we ons op de BAU+-studie (Tabel 11). De aggregatie van subsectoren voor het MKM model vraagt om een weging van de installatierendementen op basis van kengetallen van de betrokken subsectoren (bv. aantal leerlingen, aantal bedden,...).

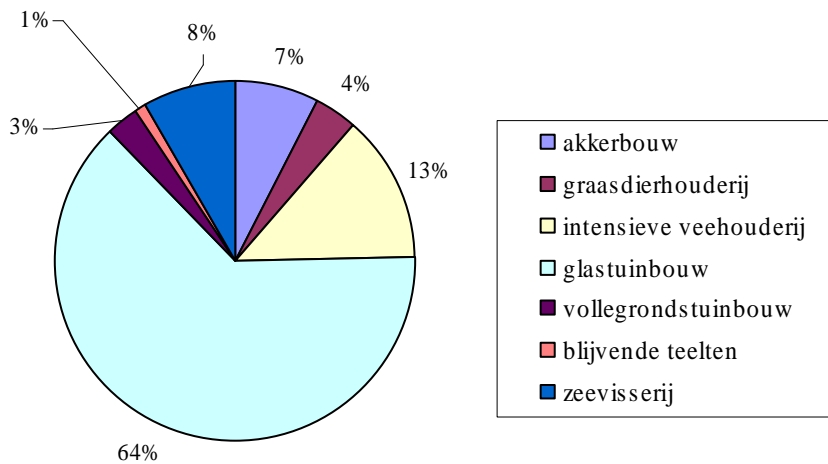
Als reductiemaatregel beschouwt men in de BAU-studie de plaatsing van een hoogrendements- of een condensatieketel. Het gemiddelde installatierendement na omschakeling geven we eveneens in onderstaande tabel weer voor de verschillende subsectoren.

Tabel 11: Gemiddelde installatierendement van bestaande en efficiëntere installaties in de tertiaire sector

	<i>Bestaande installaties</i>	<i>Efficiëntere installaties</i>
Kantoren	70%	80%
Onderwijs	70%	84%
Ziekenhuizen en maatschappelijke dienstverlening met onderdak	70%	83%
Overige subsectoren	72%	82%

### 2.1.6 Landbouw, glastuinbouw

Binnen de landbouwsector onderscheidt de Energiebalans verschillende deelsectoren (figuur 1). De glastuinbouw is met 64% de belangrijkste energieconsumerende deelsector. Bovendien wordt ook aangenomen dat alle geïnstalleerde (en potentiële) WKK in deze subsector kunnen worden teruggevonden. De verdere bespreking beperkt zich dus tot deze subsector.



Figuur 3: Energieverbruik in de land- en tuinbouw en zeevisserij in Vlaanderen in 2005 (bron: Energiebalans Vlaanderen, 2005)

In de BAU- en BAU+-studie [15], [16] werd de evolutie van het energieverbruik van de glastuinbouw in zijn geheel beschouwd waarna een verdere opsplitsing over de verschillende brandstoftypes gebeurde. De Administratie Monitoring en Studie voerde echter recentelijk een enquête uit naar het energiegebruik en reductietechnieken in de glastuinbouw in Vlaanderen in 2005 [19]. In het kader van de studie 'Methodologieontwikkeling en modelaanpassingen voor uitbreiding MKM met broeikasgassen' [6] werden deze gegevens gebruikt om een beter detailniveau toe te kennen aan de glastuinbouw in het MKM. De landbouwenquête was echter niet verplicht en dekte zodoende niet de volledige glastuinbouw in Vlaanderen. Een opschaling (via NIS-statistieken) van deze cijfers was dus noodzakelijk.



→ **Aggregatieniveau**

Op basis van de beschikbare gegevens werd de glastuinbouw in Vlaanderen opgedeeld volgens de belangrijkste gewassen (Tabel 12) waarbij per gewas 6 brandstoftypes worden onderscheiden. Naar totaal energieverbruik leveren vruchtgroenten (tomaten, paprika en komkommer) en kasplanten de grootste bijdrage (80% van het totaal).

Tabel 12: Standaardopdeling van het MKM met aanduiding waar en hoe de glastuinbouw in deze structuur wordt ingepast.

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

→ **Ijking Vlaamse Energiebalans 2005**

Om tot deze cijfers te komen, werd gebruik gemaakt van het gerapporteerde procentuele ruimtelijke aandeel van elke brandstof per gewas in de enquête. Samen met de gewasspecifieke energieverbruiken (GJ/m<sup>2</sup>) uit de enquête en de NIS-statistieken over het aanwezige glastuinbouwoppervlak per gewas resulteerde in een inschatting van het energiegebruik per gewas en per brandstoftype. Het verbruik per brandstoftype over alle gewassen heen werd gelijkgesteld aan de energieverbruiken zoals weergegeven in de Energiebalans. Daardoor werd bv. lamppetroleum (voornamelijk gebruikt voor CO<sub>2</sub>-bemesting en niet gerapporteerd in de Energiebalans) niet meegenomen in de verdere analyse.

In navolging van het BAU- en BAU+-scenario [15], [16] wordt verondersteld dat het aantal ha en het relatieve oppervlak van de verschillende teelten constant blijven. Gebruikmakend van de informatie in de enquête over de ouderdomsklassen van de stookinstallaties van de serres, worden alle stookinstallaties die ouder zijn dan 30 jaar vervangen. Het model kan momenteel kiezen om deze nieuwe stookinstallaties te laten draaien op lichte stookolie, zware stookolie of aardgas.

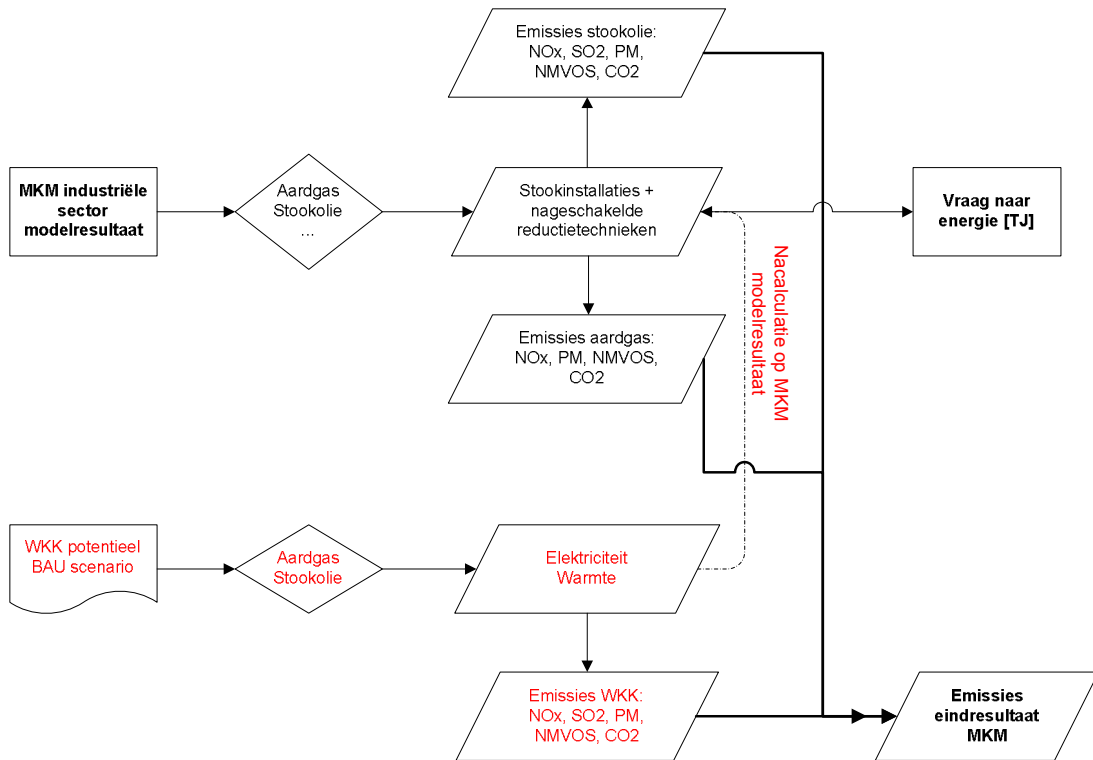
## 2.2 Koppeling MKM en WKK's

In het MKM worden de WKK's gemodelleerd binnen de elektriciteitssector. 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 MilieuBeleidsOvereenkomst, MBO) een gedeelte van de bijhorende

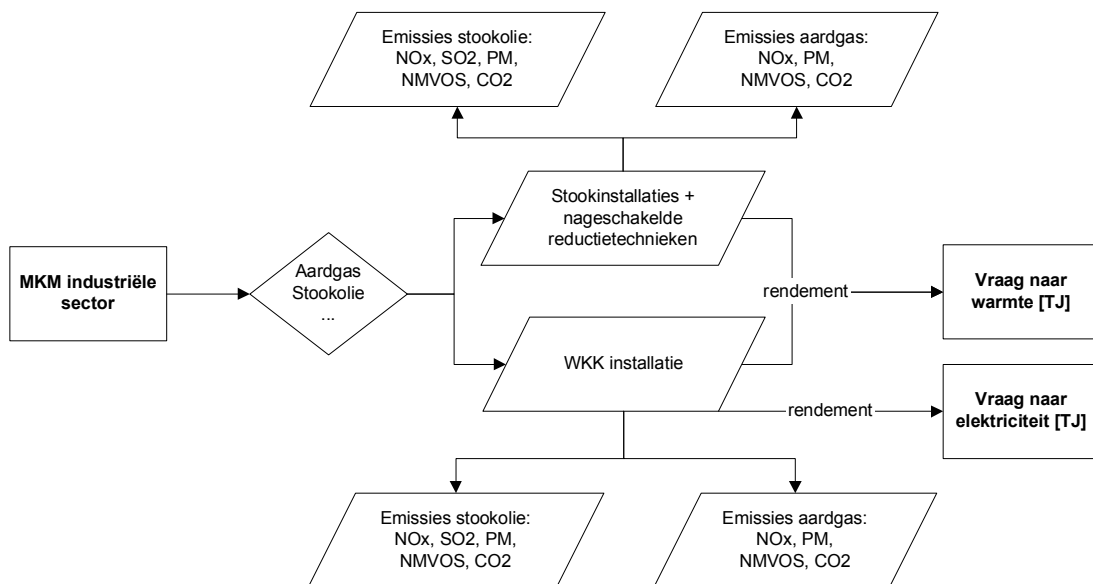
emissies in de richting van de elektriciteitssector. Bovendien wordt globaal genomen een besparing op het energieverbruik gerealiseerd omdat het rendement van gezamenlijke opwekking hoger is dan dat van gescheiden opwekking.

Omdat de warmtevraag en warmteproductie op dit moment niet meegenomen wordt in het MKM, is in het kader van de studie 'Prognoses en scenario's voor luchtverontreinigende stoffen' [5] 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' [1]. Deze prognose is eveneens het uitgangspunt van het BAU-energiescenario in de studie 'Energie- en broeikasgasscenario's voor het Vlaamse gewest – Business as usual scenario 2000-2020' [15]. In deze studie wordt per sector bepaald wat de implementatiegraad van WKK's is voor de jaren 2004, 2006, 2008, 2010, 2015 en 2020. Tevens worden de overeenkomstige emissies van de WKK's berekend. Uitgaande van de implementatiegraad van de WKK's wordt voor de eindgebruikers per sector de afname van het brandstofverbruik (in TJ) berekend. Door middel van interpolatie wordt de afname van het brandstofverbruik voor het jaar 2005 berekend. De achterliggende gegevens van het BAU-energiescenario geven, uitgaande van voornoemde aannames met betrekking tot de afname van het brandstofverbruik, de opsplitsing per brandstoftype. Door middel van deze opsplitsing werden voor de emissieprognosestudie [5] de vermeden emissies voor de sectoren berekend.

Met het huidige MKM met 'soft' link (zie Figuur 4) kunnen WKK scenario's worden doorgerekend, maar kan niet geoptimaliseerd worden. We kunnen het model dus niet inzetten voor optimalisatieoefeningen tussen het plaatsen van reductietechnieken voor NOx of SO2 en het plaatsen van een WKK. Daarom wordt in het kader van deze studie de 'soft' link vervangen door een 'hard' link (zie Figuur 5). 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.



Figuur 4: Schema van de scenarioberekening van het effect van WKK op de emissies van een industriële sector door nacalculatie, soft link. De MKM oplossing moet voldoen aan de vraag naar energie in [TJ].



Figuur 5: Schema van de hard link tussen de gemodelleerde WKK's en de stookinstallaties. Het model kan in deze situatie optimaliseren naar het gebruik van WKK. De MKM oplossing moet voldoen aan de vraag naar warmte in [TJ] en de vraag naar elektriciteit in [TJ].

### 2.2.1 Software-aanpassingen

Aangezien de WKK's in het Markal/Answer elektriciteitsmodel zijn opgenomen moet er een hardlink worden opgebouwd tussen de databank van het MKM en dit model. In het elektriciteitsmodel is de warmte-output van de WKK's gekoppeld aan een vraag naar warmte voor de verschillende industriële sectoren. Deze warmtevraag in het elektriciteitsmodel kan worden ingevuld door ofwel het gebruik van een gewone ketel, ofwel door het plaatsen van een WKK. De gewone ketels in het elektriciteitsmodel gebruiken 1 generieke brandstofinput waarbij een gemiddelde genomen werd van aardgas en stookolie voor de CO<sub>2</sub> emissiefactor en de warmte-inhoud.

Bij de koppeling van het MKM met het WKK-potentieel worden de gewone ketels en de generieke brandstofinput in het elektriciteitsmodel verwijderd en vervangen door een warmtevraag per sector en uitgesplitst volgens vermogen, brandstoftype en ketels zoals beschreven in 2.1.2. Het model kan bijgevolg optimaliseren naar welk brandstoftype in gewone ketels wordt vervangen door een WKK. Daarnaast worden de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM (tot, 10, 2,5) en NMVOS meegenomen en kunnen optimalisatie-oefeningen voor deze pollutanten in combinatie met CO<sub>2</sub> worden uitgevoerd.

In Figuur 1 werd aangegeven hoe in de databank van het MKM de koppeling met het WKK-potentieel kan worden ingevuld. De volgende keuzelijst wordt gebruikt om de koppeling uit te voeren (Tabel 13). Afhankelijk van de sector en het vermogen van de bestaande ketels wordt in het MKM aangegeven met welke WKK de koppeling moet worden opgebouwd.

Tabel 13: Keuzelijst in MKM om koppeling met WKK-potentieel uit te voeren.

Keuzelijst WKK in MKM
WKK Motor 1 Residentieel <200 kWe
WKK Motor 1 Tertiair <200 kWe
WKK Motor 1 Tuinbouw <200 kWe
WKK Motor 2 Residentieel 200-500 kWe
WKK Motor 2 Tertiair 200-500 kWe
WKK Motor 2 Tuinbouw 200-500 kWe
WKK Motor 3 Tertiair 500-1000 kWe
WKK Motor 3 Tuinbouw 500-1000 kWe
WKK Motor 4 Chemie >1000 kWe
WKK Motor 4 Metaal >1000 kWe
WKK Motor 4 Minerale NM >1000 kWe
WKK Motor 4 Overig >1000 kWe
WKK Motor 4 Papier en Karton >1000 kWe
WKK Motor 4 Staal >1000 kWe
WKK Motor 4 Tertiair >1000 kWe
WKK Motor 4 Textiel >1000 kWe
WKK Motor 4 Tuinbouw >1000 kWe
WKK Motor 4 Voeding >1000 kWe
WKK Turbine 1 Chemie 1-15 Mwe
WKK Turbine 1 Metaal 1-15 Mwe
WKK Turbine 1 Minerale NM 1-15 Mwe
WKK Turbine 1 Non Ferro 1-15 Mwe
WKK Turbine 1 Overig 1-15 Mwe
WKK Turbine 1 Papier en Karton 1-15 Mwe
WKK Turbine 1 Staal 1-15 Mwe
WKK Turbine 1 Textiel 1-15 Mwe
WKK Turbine 1 Voeding 1-15 Mwe
WKK Turbine 2 Chemie 15-35 Mwe
WKK Turbine 2 Minerale NM 15-35 Mwe
WKK Turbine 2 Overig 15-35 Mwe
WKK Turbine 2 Raffinad 15-35 Mwe
WKK Turbine 2 Voeding 15-35 Mwe
WKK Turbine 3 Chemie 35-50 Mwe
WKK Turbine 3 Non Ferro 35-50 Mwe
WKK Turbine 3 Overig 35-50 Mwe
WKK Turbine 3 Papier en Karton 35-50 Mwe
WKK Turbine 3 Raffinad 35-50 Mwe
WKK Turbine 3 Voeding 35-50 Mwe
WKK Turbine 4 Chemie 50-100 Mwe
WKK Turbine 4 Raffinad 50-100 Mwe
Groene WKK Motor 4 >1000 kWe
Groene WKK Turbine 1 <200 kWe
Groene WKK Turbine 2 200-500 kWe
BASF → 385 MWe
BRC → 237 MWe
Ineos → 120 MWe

### 2.2.2 Industrie

De onderhoudskosten en rendementen van de WKK's worden overgenomen uit de studie 'Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020' [1]. De investeringskosten werden in het kader van de BAU energieprognosestudie [15] gewijzigd (Tabel 14 en Tabel 16). Voor de gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit zijn de kostprijzen van de reductietechnieken reeds aanwezig in het MKM of worden deze in het kader van de uitbreiding van het MKM met broeikasgassen verzameld.

Tabel 14: Klassen WKK gasturbines voor industrie in het MKM model

Gasturbines [MWe]	Representatief vermogen [MWe]	Eenheidskost [k€/repr.verm]	Onderhouds-kost [€/MWhe]	Elektrisch rendement [%]	Thermisch rendement [%]
1-15	5	4600	12	25	59
15-35	22	18400	8	28	54
35-50	40	31680	7	40	40
50-100	80	57960	6	40	40
> 100	Ad hoc	Ad hoc	5	40	40

Voor de vermogensklasse >100 MWe werden enkele installaties geplaatst waarvan geweten is dat ze gebouwd (zullen) worden. Voor deze installaties heeft het geen zin een economische afweging te maken aangezien ze toch operationeel worden. In de WKK studie [1] werden de volgende aannames gemaakt qua rendementen:

Tabel 15: Rendementen STEG > 100 MWe

		Elektrisch rendement [%]	Thermisch rendement [%]
BASF	385 MWe	50	13
BRC	237 MWe	42	29
Ineos	120 MWe	36	45

Tabel 16: Klasse WKK motor voor industrie in het MKM model

WKK motor [kWe]	Representatief vermogen [kWe]	Eenheidskost [k€/repr.verm]	Onderhouds-kost [€/MWhe]	Elektrisch rendement [%]	Thermisch rendement [%]
> 1000	1500	736	7	38	47

### 2.2.3 Tertiaire sector

Voor de tertiaire sector worden in de WKK studie [1] volgende WKK's op basis van motoren voorgesteld. De investeringskosten werden ook hier in het kader van de BAU energieprognosestudie [15] gewijzigd. De draaiuren voor de tertiaire sector worden op 3500 h/j verondersteld.

Tabel 17: Klassen WKK motoren voor de tertiaire sector in het MKM model

WKK motor [kWe]	Representatief vermogen [kWe]	Eenheidskost [k€/repr.verm]	Onderhouds-kost [€/MWhe]	Elektrisch rendement [%]	Thermisch rendement [%]
< 200	100	92	14	32	53
200-500	300	184	11	33	52
500-1000	750	368	9	36	49
> 1000	1500	736	7	38	47

Het openstaande potentieel werd ingeschat in de WKK-potentieelstudie [11] (Tabel 18).

Tabel 18: Openstaand WKK-potentieel tertiaire sector.

Motoren [kWe]	Representatief [kWe]	vermogen	Openstaand potentieel [MWe]
< 200	100		97
200-500	300		52
500-1000	750		67
> 1000	1500		23

#### 2.2.4 Residentiële sector

Conform de aannames van de studie naar het WKK-potentieel [11], [1] worden installaties vanaf 85 kWe in rekening gebracht. Dit betekent dat WKK in de residentiële sector mogelijk wordt voor appartementen van minstens 50 wooneenheden. De motoren worden op dezelfde basis ingedeeld als in de tertiaire sector. Volgens de potentieelstudie kunnen deze motoren een vollastdraaitijd van 300 h/j maken. Er wordt uitgegaan van een valorisatie van de elektriciteit aan gemiddeld 45 €/MWe in de residentiële sector.

Tabel 19: Openstaand WKK-potentieel residentiële sector.

Motoren [kWe]	Representatief [kWe]	vermogen	Openstaand potentieel [MWe]
< 200	100		41
200-500	300		7

#### 2.2.5 Glastuinbouwsector

Het potentieel aan WKK in de glastuinbouwsector werd herbekeken in de WKK prognosestudie [1]. Het openstaande potentieel werd als volgt ingeschat (Tabel 20).

Tabel 20: Openstaand WKK-potentieel glastuinbouwsector.

Motoren [kWe]	Representatief [kWe]	vermogen	Openstaand potentieel [MWe]
< 200	100		119
200-500	300		218
500-1000	750		6
> 1000	1500		14

### 2.3 Aannames modelruns

In dit hoofdstuk vatten we de aannames samen die voor de modelruns gebruikt werden. Deze aannames zijn overgenomen uit de energieprognosestudies [15] en [16] en worden daar in meer detail besproken.

### 2.3.1 Demografische evolutie

De demografische evolutie in Vlaanderen zal in de toekomstige jaren een significante invloed hebben op het energieverbruik in Vlaanderen, met name in de residentiële, de tertiaire en de transportsector. De belangrijke tendensen in de demografische evolutie zijn een lichte toename van de globale bevolking en de vergrijzing van de bevolking. Terwijl de globale bevolking nog met 4% stijgt tussen 2000 en 2030, zal de leeftijdscategorie onder de 60 jaar met 10% inkrimpen. Het aandeel van de 60+-ers zal toenemen van 22% tot 32%. Deze vooruitzichten zijn gebaseerd op de bevolkingsvooruitzichten 2000-2050 van het Federaal Planbureau [20] (Tabel 21).

Tabel 21: Prognose van de demografische ontwikkeling in Vlaanderen, bevolking op 31 december van het jaar.

Leeftijdsgroep	2009	2015	2020	2030
0-19	1 309 387	1 256 249	1 238 137	1 225 585
20-39	1 508 318	1 493 678	1 472 633	1 414 435
40-59	1 770 575	1 738 859	1 664 568	1 520 099
60-79	1 180 634	1 271 404	1 391 583	1 562 088
80+	302 437	352 442	374 500	453 023
<b>TOTAAL</b>	<b>6 071 351</b>	<b>6 112 632</b>	<b>6 141 421</b>	<b>6 175 230</b>

### 2.3.2 Aantal graaddagen

Het energieverbruik voor verwarming in de residentiële sector en de tertiaire sector, alsook het brandstofverbruik in de glastuinbouw, zijn sterk temperatuursafhankelijk.

Voor de prognosejaren werd in de energieprognosestudies aangenomen dat het jaarlijkse aantal graaddagen over de periode 2000-2030 gelijk is aan het gemiddeld aantal graaddagen over de periode 1993-2003, dit wil zeggen 1900 graaddagen. Daarbij werd uitgegaan van een grenswaarde van 15°C voor het aanslaan van de verwarming [21].

### 2.3.3 CO<sub>2</sub>-emissiefactoren

De in het MKM gebruikte CO<sub>2</sub>-emissiefactoren voor de fossiele brandstoffen zijn deze die gebruikt worden voor de Vlaamse Energiebalans. De Vlaamse Energiebalans maakt hoofdzakelijk gebruik van de IPCC emissiefactoren [22].



Tabel 22: CO<sub>2</sub>-emissiefactoren

<b>Reële emissiefactor CO<sub>2</sub> (kton/PJ)</b>	
Koolteer	92,708
Kolen	92,708
Cokes	106,003
Aardolie	72,600
Raffinaderijgas.	55,728
LPG	62,436
Benzine	68,607
Kerosine	70,785
Gas – en dieselolie	73,326
Lamppetroleum	71,148
Zware stookolie	76,593
Nafta	72,600
Petroleumcokes	99,825
Andere petroleumproducten	72,600
Aardgas	55,820
Cokesgas	47,428
Hoogovengas	258,000
Niet-hernieuwbare fractie huishoudelijk afval	104,89
Industrieel afval	83,000

### 2.3.4 CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O emissies en GWP

Het verbruik van fossiele brandstoffen geeft voornamelijk aanleiding tot CO<sub>2</sub>-emissies, maar ook tot CH<sub>4</sub>- en N<sub>2</sub>O-emissies. De gebruikte emissiefactoren voor CH<sub>4</sub>-emissies zijn deze uit de VITO-studie NMVOS-emissies door verbrandingsprocessen [23]. Voor de N<sub>2</sub>O emissies van verbrandingsprocessen werden de emissiefactoren gebruikt die toegepast werden voor 'Belgium's greenhouse gas inventory (1990-2006)' van maart 2008 [24].

De emissies worden omgerekend naar CO<sub>2</sub>-equivalenten door toepassing van omzettingfactoren. De IPCC (1996) GWP waarden vormen hiervoor de basis [25]. We gebruiken de GWP-waarden die van toepassing zijn in het kader van het Kyoto Protocol.

Tabel 23: GWP waarden voor CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O

<b>Ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per ton emissies</b>	
CH <sub>4</sub>	21
<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>310</b>

### 2.3.5 Economische groei

Naar analogie met het BAU energiescenario en scenario A uit de BAU+ energieprognoses gaan we voor de modelruns met het MKM uit van een 'lage economische groei'.

In het BAU rapport [15] wordt voor het toekennen van de economische groei een onderscheid gemaakt tussen de energie-intensieve en de minder energie-intensieve industrie. Het onderscheid is gebaseerd op de ratio tussen energieverbruik en tewerkstelling.

Tabel 24: Aandeel van de energie-intensieve activiteiten in het totale brandstofverbruik voor elk van de industriële sectoren.

	<i>Aandeel brandstofverbruik</i>
IJzer en staal	95%
Non ferro	66%
Chemie	85%
Minerale niet metaal	46%
Voeding	72%
Textiel	67%
Papier	93%
Metaalverwerking	95%
Andere	96%

In het BAU energiescenario is vertrokken van de aanname dat de activiteit in de energie-intensieve industrie na 2012 zal stabiliseren. Voor de minder energie-intensieve activiteiten binnen elke sector werd aangenomen dat deze nog een significante groei zullen kennen van 2013 tot 2020. Deze groei bedraagt 3% in de chemische nijverheid en 2% in de anderen sectoren. Deze groei werd doorgetrokken tot 2030 in het kader van de BAU+ energieprognoses in het lage groeiscenario.

### 2.3.6 Energieprijzen

Voor de BASE, BAU en BAU+ modelruns gaan we uit van de evolutie van de energieprijzen bepaald in het BAU energiescenario dat hetzelfde is als het hoge energieprijzen scenario van de BAU+ energieprognoses. De aannames zijn dezelfde als de hoge energieprijzen uit het Primes model 2005.

Naast de modelruns met de BAU+ 'hoge energieprijzen', voeren we de modelruns opnieuw uit met meer recente energieprijzen. We baseren ons op de prijzen uit het POLES-model (juli 2007) die zeer sterk de prijzen uit het PRIMES-model (november 2007) benaderen [26]. Daarnaast werden de distributiekosten voor de verschillende brandstoffen opgenomen in het model. Deze zijn gebaseerd op de inschattingen voor het Markal/Times project [27].

Tabel 25: Aannames omtrent brandstofprijzen in [€2005/GJ] cf. BAU tot 2020 en hoge prijsscenario BAU+ tot 2030.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Elektriciteitssector</b>						
Aardgas	5,17	5,64	5,64	6,10	7,04	7,20
Steenkool 0,5%S	2,66	2,50	2,66	2,82	2,82	2,87
Steenkool 1,5%S	2,35	2,35	2,35	2,50	2,66	2,72
Zware stookolie	8,14	6,73	6,73	7,20	8,45	8,77
Houtafval Belgisch	1,06	2,20	4,40	4,40	4,40	4,40
Houtafval import	1,27	2,64	5,28	5,28	5,28	5,28
<b>Industrie</b>						
Aardgas	6,10	6,73	6,73	7,20	7,98	8,30
Zware stookolie	8,30	6,89	7,04	7,51	8,77	8,92
Lichte stookolie	9,39	7,98	7,98	8,45	9,71	9,86
<b>Tertiair</b>						
Aardgas	6,67	7,14	7,14	7,60	8,54	8,70
Lichte stookolie	9,69	8,28	8,28	8,75	10,01	10,16
<b>Residentieel</b>						
Aardgas	7,97	8,44	8,44	8,90	9,84	10,00
Lichte stookolie	9,69	8,28	8,28	8,75	10,01	10,16
<b>Transport (€2005/l)</b>						
Benzine	1,27	1,21	1,21	1,23	1,29	1,30
Diesel	1,04	0,96	0,96	0,99	1,05	1,07

Tabel 26: Aannames omtrent brandstofprijzen in [€2005/GJ] cf. POLES-model (juli 2007).

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Elektriciteitssector</b>						
Aardgas	5,62	6,15	7,08	8,78	10,58	10,67
Steenkool 0,5%S	2,08	2,39	2,59	2,81	3,00	3,21
Steenkool 1,5%S	2,08	2,39	2,59	2,81	3,00	3,21
Zware stookolie	8,25	8,07	8,90	9,34	9,85	10,73
Houtafval Belgisch	3,62	3,96	4,33	4,73	5,17	5,66
Houtafval import	4,78	5,23	5,71	6,24	6,83	7,46
<b>Industrie</b>						
Aardgas	5,99	6,52	7,45	9,15	10,95	11,04
Zware stookolie	8,08	7,89	8,73	9,17	9,68	10,56
Lichte stookolie	13,85	13,55	14,89	15,60	16,42	17,82
<b>Tertiair</b>						
Aardgas	8,27	8,80	9,73	11,43	13,24	13,32
Lichte stookolie	13,15	12,85	14,20	14,91	15,72	17,13
<b>Residentieel</b>						
Aardgas	11,60	12,13	13,06	14,76	16,56	16,65
Lichte stookolie	13,85	13,55	14,89	15,60	16,42	17,82

### 2.3.7 Evolutie van de CO<sub>2</sub> prijzen

De CO<sub>2</sub> prijs is relevant voor de sectoren die vallen onder de Europese richtlijn emissiehandel (energiesector en industrie). Voor de BAU en BAU+ modelruns nemen we de 'hoge CO<sub>2</sub> prijzen' aan zoals in het BAU+ energiescenario.

€/ton CO <sub>2</sub>	2007	2010	2015	2020	2025	2030
Handelsprijs	40,00	42,35	48,24	54,12	60,00	80,00

### 2.3.8 Elektriciteitsvraag

De consumptie van elektriciteit in Vlaanderen werd bepaald door de activiteiten in de verschillende sectoren in het BAU en BAU+ A scenario tot 2030. Voor Wallonië en Brussel werden in de energieprognosestudies [15] en [16] cijfers gehanteerd die gerapporteerd zijn in het kader van het CAFE programma<sup>2</sup>.

In het MKM is geen directe vraag naar elektriciteit gedefinieerd. Voor de industriële sectoren werd uitgegaan van de EJV (nu IMJV) waarin geen elektriciteitsvraag is opgenomen. In het kader van de BAU en BAU+ energieprognoses werd een vraag naar elektriciteit gedefinieerd conform de Vlaamse Energiebalans.

Tabel 27: Procentuele jaarlijkse groei en relatieve stijging van de elektriciteitsvraag in België ten opzichte van 2000 in 2012 en 2020 volgens het BAU scenario.

	jaarlijkse groei 2012/2000	totale toename 2012/2000	jaarlijkse groei 2020/2012	totale toename 2020/2012
<b>Vlaanderen</b>	<b>1,1%</b>	<b>14%</b>	<b>0,6%</b>	<b>5%</b>
Residentieel	1,6%	21%	1,1%	9%
Tertiair	2,1%	29%	0,7%	5%
Landbouw	0,4%	4%	0,0%	0%
Transport	1,9%	26%	0,4%	3%
Industrie*	-0,5%	7%	0,5%	4%
<b>Wallonië</b>	<b>1,0%</b>	<b>13%</b>	<b>1,5%</b>	<b>12%</b>
<b>Brussel</b>	<b>2,4%</b>	<b>33%</b>	<b>2,3%</b>	<b>20%</b>
<b>Totaal België</b>	<b>1,2%</b>	<b>15%</b>	<b>1,0%</b>	<b>8%</b>

Tabel 28: Ontwikkeling van de elektriciteitsvraag in België volgens het BAU scenario, doorgetrokken in het scenario A van BAU+ tot 2030.

TJ	2010	2015	2020	2025	2030
Vlaanderen	202861	211118	217091	223486	228971
Residentieel	43717	45941	47633	49561	50325
Tertiair	41858	43104	44477	45752	47168
Landbouw	3844	3844	3844	3844	3844
Transport	3185	3248	3312	3560	3868
Industrie	110257	114981	117825	120769	123766
Wallonië + Brussel	116514	126199	136851	148668	161321
<b>België</b>	<b>319375</b>	<b>337317</b>	<b>353942</b>	<b>372154</b>	<b>390292</b>

### 2.3.9 Import elektriciteit uit het buitenland

In 2000 bedroeg de import ongeveer 15 600 TJ en in 2002 was dit opgelopen tot 27 300 TJ of bijna 10% van de Belgische consumptie [15]. Voor het BAU energiescenario werd aangenomen dat de import tussen 2006 en 2012 geleidelijk stijgt, om dan weer af te nemen tot 2020. In scenario A van BAU+ [16] stijgt de import opnieuw tussen 2020 en 2030 (Tabel 29).

<sup>2</sup> Clean Air For Europe, het Europees reductieprogramma voor emissies van verzurende stoffen en ozonprecursoren.

Tabel 29: Aannname van de import naar België vanuit het buitenland in de periode 2010-2030 volgens BAU en scenario A BAU+.

[TJ]	2010	2015	2020	2025	2030
Import elektr	26665	24936	20423	22100	23595

### 2.3.10 WKK certificaten

Een WKK-certificaat wordt afgeleverd per MWh primaire energiebesparing ten opzichte van gescheiden opwekking van elektriciteit in een STEG-centrale en warmte in een ketel. De berekening van het aantal certificaten is daardoor afhankelijk van het rendement van de WKK en van de referentierendementen voor gescheiden opwekking. De waarde van het certificaat wordt bepaald door de certificatenmarkt. Deze certificatenmarkt ontstaat doordat aan de elektriciteitsleveranciers de verplichting werd opgelegd om jaarlijks voor een stijgend percentage van hun leveringen warmtekrachtcertificaten voor te leggen. Indien de waarde van de WKK-certificaten dicht aanleunt bij de boetes voor ontbrekende certificaten, zoals op de groenestroomcertificatenmarkt, dan ligt de waarde in de buurt van de 45 euro per certificaat (de boete bedraagt 45 euro per ontbrekend certificaat) [28].

In het MKM is het systeem van groenestroomcertificaten en warmtekrachtcertificaten vereenvoudigd opgenomen. Voor de warmtekrachtcertificaten is er voor elke technologie een ontvangst toegekend aan de producenten. Voor elke klasse technologie werden de rendementen immers op voorhand vastgelegd. Deze leiden tot een bepaalde primaire energiebesparing per hoeveelheid elektriciteit geproduceerd volgens

$$PEB = E \cdot \left( \frac{1}{\eta_E} + \frac{\alpha_Q}{\alpha_E \cdot \eta_Q} - \frac{1}{\alpha_E} \right)$$

met hierin  $\alpha_E$  het elektrisch rendement van de WKK,  $\alpha_Q$  het thermisch rendement van de WKK,  $\eta_E$  het elektrisch rendement van de referentie-installatie en  $\eta_Q$  het thermisch rendement van de referentie-installatie. In realiteit dalen deze ontvangsten in de loop van de tijd omwille van het degressief karakter van deze certificatenregeling. In het MKM is dit systeem vereenvoudigd en zijn alle ontvangsten als constante geldstromen gemodelleerd over de gehele levensduur van de installatie<sup>3</sup>. We hebben er voor gezorgd dat deze geldstromen, teruggerekend naar het referentiejaar, volledig overeenkomen met de situatie van het degressieve patroon [1].

Voor het BAU scenario wordt gerekend met een doelstelling van 5,23% tegen 2013 en de boeteprijs van 45€/MWh primair bespaarde energie. Certificaten toegekend voor WKK-installaties aangesloten op het distributienet kunnen steeds bij de distributienetbeheerder ingeleverd worden voor een gegarandeerde minimumwaarde van 27€ (60% van 45€), en dit gedurende de eerste 10 productiejaar. Voor installaties aangesloten op het transmissienet is de Vlaamse overheid een schadevergoeding verschuldigd indien de waarde van de certificaten door een overheidsbeslissing daalt onder 60% van deze 45€ [28].

<sup>3</sup> De prijsvorming in de markt van certificaten wordt in de realiteit bepaald door het quotum en de boeteprijs. De boeteprijs vormt altijd een maximum van de prijs van een certificaat. Het quotum kan ook bepalend zijn indien de prijs door marktevenwicht lager is dan deze boete. Andere factoren die een rol spelen in de prijsvorming zijn competitiviteit van de markt, fiscaliteit, mogelijkheid tot banking van certificaten enz... Voor het model is het belangrijkste dat de ontvangsten van de investeerders correct ingeschat worden. Verdere uitdieping van de prijsvorming is niet nodig omdat de ontvangsten zich met grote zekerheid situeren tussen het niveau van minimumgaranties en de boeteprijs.

In het BAU scenario rekenen we met het MKM met 27€ voor een certificaat. In het BAU+ (PRO) scenario leggen we de waarde van een certificaat hoger, namelijk 90% van de boeteprijs.

### 2.3.11 MBO elektriciteitssector

De Europese NEC Richtlijn heeft voor de elektriciteitssector geleid tot het afsluiten van een MBO (MilieuBeleidsOvereenkomst) voor de reductie van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>. De emissieplafonds zoals weergegeven in houden geen rekening met de autoproducenten en ook niet met de warmteproductie van de WKK installaties. Met deze randvoorwaarden werd rekening gehouden in deze studie.

*Tabel 30: Emissieplafonds voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> volgens de MBO tussen de Vlaamse overheid en de Vlaamse elektriciteitssector.*

Kton/jaar	2008	2010	Vanaf 2014
NO <sub>x</sub>	14	12,5	11
SO <sub>2</sub>	7,5	7,5	7,5

De MBO zal geen invloed hebben op het elektriciteitsverbruik, maar wel op de wijze waarop de elektriciteit geproduceerd wordt en dus ook op het primaire energieverbruik. Daarom worden in het Markal model de operationele kolengroepen in de centrale van Ruien uitgerust met DeNO<sub>x</sub> en DeSO<sub>x</sub> installaties. Bovendien worden de grenswaarden voor de emissievrachten expliciet opgelegd in het model. Als bovengenoemde maatregel niet voldoende is, dan kan het model beslissen over bijkomende maatregelen. Zo kunnen bijvoorbeeld de resterende kolencentrales, die niet worden uitgerust met DeNO<sub>x</sub> en DeSO<sub>x</sub>, uit dienst genomen worden en vervangen worden door moderne STEG centrales met betere milieuprestaties, zowel voor NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> als voor CO<sub>2</sub>. Op deze wijze kan de NEC richtlijn het primaire energiegebruik van de sector beïnvloeden [15].

In het kader van de MBO werden emissiefactoren voor NO<sub>x</sub> voor WKK's bepaald, die voor het gedeelte elektriciteitsproductie van de WKK's aangeven hoeveel emissies bij de elektriciteitssector geteld worden. Emissies van WKK's van zelfproducenten of autonome producenten worden volledig bij de desbetreffende sector en niet bij de elektriciteitssector geteld. Voor de verhouding zelfproducenten vs WKK in samenwerking met de elektriciteitssector baseren we ons op de WKK-inventaris Vlaanderen [29] en de Energiebalans Vlaanderen [12]. Deze verhouding wordt aangehouden voor alle zichtjaren. We nemen aan dat 0% van de gasturbines autonoom in gebruik wordt genomen, 25% van de gasmotoren, 80% van de dieselmotoren en 50% van de motoren op biomassa.

Tabel 31: NO<sub>x</sub> emissiefactoren voor het elektriciteitsgedeelte van de WKK's.

<b>NO<sub>x</sub> emissiefactoren MBO (voor elektriciteitsgedeelte)</b>	<b>g/MWhe</b>	<b>g/GJe</b>	<b>g/GJ (prim. brst)</b>	<b>mg/Nm<sup>3</sup></b>
WKK gasturbine bestaand (rendement = 40%)	280	78	31	36
WKK gasturbine nieuw (rendement = 40%)	100	28	11	13
WKK gasmotor bestaand (rendement = 35%)	1400	389	136	430
WKK gasmotor nieuw (rendement = 35%)	1000	278	97	307
WKK dieselmotor bestaand (rendement = 40%)	5000	1389	556	1814
WKK dieselmotor nieuw (rendement = 40%)	1500	417	167	545

BRON: Milieubeleidsvereenkomst betreffende de vermindering van de SO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies afkomstig van installaties van elektriciteitsproducenten (BS, 01.07.2004). P. Meulepas voor berekening van emissiefactoren in g/GJ prim. brst. en mg/Nm<sup>3</sup>.

### 2.3.12 Carbon Capturing and Storage (CCS)

Voor de in deze studie uitgevoerde BAU en BAU+ scenario-berekeningen werd de optie CCS voor de energiesector niet meegenomen. Momenteel is CCS nog volop in ontwikkeling. Er lopen verschillende onderzoeksprojecten naar de bruikbaarheid, milieu-impact, kosten, .. van deze techniek [30].

Voor de BAU+ energiescenario's [16] werden twee varianten berekend waarbij de optie CCS werd toegelaten vanaf 2022 op nieuwe kolencentrales van het IGCC type (Integrated Gasification Combined Cycle) en op nieuwe hoogrendements STEG-centrales. De optie CCS werd ook voorzien op bestaande STEG-centrales en voor de Knippegroen centrale op hoogovengas bij Sidmar, Arcelor Gent. Bij retrofit werd een meerprijs van 30% op de investeringskost aangerekend.

### 2.3.13 Andere maatregelen dan WKK bij industrie

In het kader van de MKM Klimaat studie worden reductiemaatregelen voor broeikasgassen opgenomen in het geaggregeerde MKM. Voor deze studie zullen modelruns worden uitgevoerd waarbij het MKM de afweging zal maken tussen het plaatsen van een WKK vs andere reductie-opties voor broeikasgassen. Aangezien het MKM Klimaat nog in ontwikkeling is, worden voor deze MIRA studie voor de industrie geen andere maatregelen dan WKK meegenomen. Dit betekent dat het effect van WKK op het energieverbruik en de emissies eenduidig is af te lezen uit de modelresultaten. Daarnaast betekent dit echter dat de weergegeven energieverbruiken en emissies van de industrie hoger zullen liggen dan wat voor het BAU energiescenario [15] werd berekend. In het BAU energiescenario werd immers het effect van het benchmark- en auditconvenant ingeschat op het energieverbruik.

De raffinaderijen zijn gemodelleerd in het MKM. Naar aanleiding van de lopende MKM Klimaatstudie heeft LNE gevraagd naar een actualisatie van de raffinaderijsector. Deze actualisatie is nog niet uitgevoerd en zal voor deze MIRA studie bijgevolg nog niet meegenomen worden. De resultaten voor deze sector moeten dus als voorlopig beschouwd. De gerapporteerde resultaten omvatten de energieverbruiken en emissies van de naftakraker NC3 van Fina Antwerp Olefins (FAO) aangezien deze op de terreinen van de Fina Raffinaderij is gevestigd.





## HOOFDSTUK 3 RESULTATEN MKM MODELRUNS

---

Voor deze studie voeren we met het MKM vier modelruns uit die in dit hoofdstuk worden besproken. De algemene aannames gebruikt voor de modelruns werden in Hoofdstuk 2.3 besproken.

In het BASE scenario berekenen we de brandstofverbruiken en bijhorende emissies als de optie WKK niet beschikbaar is. Dit betekent dat de sectoren gebruik moeten maken van conventionele ketels om te voldoen aan de warmtevraag.

In het BAU scenario gaan we uit van het WKK-potentieel zoals dat werd ingeschat voor de studie 'Prognoses HEB en WKK tot 2020' [1] in het BAU scenario en aangepast in de studie 'BAU energieprognose 2000-2020' [15], uitgebreid tot 2030.

In het BAU+ scenario gaan we uit van het WKK-potentieel zoals dat werd ingeschat voor de studie 'Prognoses HEB en WKK tot 2020' [1] in het PRO scenario en aangepast in de studie 'BAU+ energieprognose 2000-2030' [15].

In Bijlage A kunnen de gedetailleerde resultaten van de modelruns teruggevonden worden.

### 3.1 BASE

Voor de BASE modelrun wordt het MKM gedraaid zonder koppeling met het WKK-potentieel. Als resultaat bekomen we de brandstofverbruiken en bijhorende emissies indien vanaf 2005 niet meer in bijkomende WKK's zou geïnvesteerd zijn.

#### 3.1.1 Energieverbruik

In onderstaande tabel worden de energieverbruiken volgens de MIRA sectorindeling weergegeven. Deze energieverbruiken zijn de som van de verbruiken van de verschillende brandstoftypen. Voor de huishoudens werd het scenario A uit de BAU+ energieprognosestudie [16] reeds meegenomen, exclusief de implementatie van WKK in appartementsgebouwen. Voor de industriële sectoren werden geen maatregelen in rekening gebracht die in het scenario A zorgen voor de daling van het energiegebruik.

Tabel 32: Energieverbruik [TJ] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BASE scenario

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		193,413	194,342	196,380	195,081	198,460
Industrie	Chemie	151,211	159,678	164,517	170,566	176,614
	Metaal	108,497	109,231	109,625	109,455	104,687
	Voeding	24,083	25,937	27,466	29,528	31,741
	Textiel	7,154	7,541	7,884	8,245	8,620
	Papier	5,615	6,243	6,464	6,697	6,940
	Andere	24,932	25,962	27,071	28,224	29,424
	Energie	WKK	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	Raffinaderij	77,943	77,943	77,943	77,943	77,943
Landbouw	Glastuinbouw	19,601	19,601	19,601	19,601	19,601
Handel&diensten						

### 3.1.2 CO<sub>2</sub> emissies

In onderstaande tabel worden de energiegerelateerde CO<sub>2</sub>-emissies weergegeven.

Tabel 33: Energiegerelateerde CO<sub>2</sub> emissies [kton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BASE scenario

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		12,034	12,101	12,180	12,053	12,248
Industrie	Chemie	8,750	9,240	9,520	9,870	10,220
	Metaal	10,496	10,544	10,570	10,672	10,077
	Voeding	1,454	1,566	1,659	1,783	1,917
	Textiel	407	429	449	469	490
	Papier	383	426	441	457	473
	Andere	1,353	1,410	1,473	1,538	1,607
	Energie	WKK	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	Raffinaderij	5,984	5,984	5,984	5,984	5,984
Landbouw	Glastuinbouw	1,184	1,043	945	929	924
Handel&diensten						

### 3.1.3 NO<sub>x</sub> emissies

In onderstaande tabel worden de energiegerelateerde NO<sub>x</sub>-emissies weergegeven.

Tabel 34: Energiegerelateerde NO<sub>x</sub> emissies [ton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BASE scenario

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		8,630	7,959	7,484	7,124	7,027
Industrie	Chemie	15,363	16,223	16,714	17,329	17,943
	Metaal	8,427	8,491	8,531	8,573	8,144
	Voeding	1,105	1,190	1,260	1,355	1,456
	Textiel	647	682	713	746	780
	Papier	448	497	515	533	553
	Andere	3,438	3,590	3,779	3,978	4,188
Energie	WKK	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
	Raffinaderij	7,353	7,353	7,353	7,353	7,353
Landbouw	Glastuinbouw	1,797	1,625	1,463	1,429	1,418
Handel&diensten						

## 3.2 BAU

In het BAU scenario wordt de MKM modelrun uitgevoerd met de koppeling tussen de MKM sectoren en het WKK-potentieel. Dit betekent dat het MKM optimaliseert naar de laagste totale kost om te voldoen aan de warmte-/elektriciteitsvraag onder de voorwaarden besproken onder hoofdstuk 2.3. Het MKM kan, waar de optie WKK werd voorgesteld, bijgevolg autonoom beslissen of een bestaand potentieel aan stoomketels wordt vervangen door WKK.

In het BAU scenario wordt gerekend met WKK-certificaten aan 60% van de boeteprijs (zie 2.3.10).

### 3.2.1 Energieverbruik

Tabel 35: Energieverbruik [TJ] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		193,299	194,106	196,136	194,626	198,089
Industrie	Chemie	128,718	132,208	132,221	138,305	138,835
	Metaal	102,609	103,347	103,434	103,671	104,120
	Voeding	20,016	20,362	22,226	24,322	26,145
	Textiel	7,053	7,438	7,777	7,905	8,264
	Papier	4,416	5,913	6,123	6,343	6,575
	Andere	24,325	25,313	26,399	27,529	28,706
Energie	WKK	83,354	103,601	116,859	118,165	121,567
	Raffinaderij	69,611	69,465	69,608	70,376	71,096
Landbouw	Glastuinbouw	16,551	13,630	12,019	11,827	12,522
Handel&diensten						

### 3.2.2 CO<sub>2</sub> emissies

In onderstaande tabel worden de energiegerelateerde CO<sub>2</sub>-emissies weergegeven.

Tabel 36: Energiegerelateerde CO<sub>2</sub> emissies [kton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		12,028	12,086	12,164	12,021	12,221
Industrie	Chemie	7,393	7,600	7,621	7,975	8,066
	Metaal	9,940	9,988	9,991	10,077	10,034
	Voeding	1,143	1,117	1,126	1,261	1,370
	Textiel	387	400	419	444	464
	Papier	315	401	416	431	398
	Andere	1,308	1,362	1,423	1,487	1,554
Energie	WKK	4,158	4,905	5,476	5,639	5,870
	Raffinaderij	5,350	5,339	5,350	5,405	5,460
Landbouw	Glastuinbouw	1,115	890	737	711	745
Handel&diensten						

### 3.2.3 NO<sub>x</sub> emissies

In onderstaande tabel worden de energiegerelateerde NO<sub>x</sub>-emissies weergegeven. Voor de NO<sub>x</sub> emissies van de WKK installaties maken we een onderscheid tussen de emissies die bij de elektriciteitssector gerekend worden conform de MBO (WKK ELE, zie 2.3.11) en de emissies die bij de sector gerekend worden waar de WKK in dienst wordt genomen (WKK sector).

Tabel 37: Energiegerelateerde NO<sub>x</sub> emissies [ton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		8,625	7,940	7,465	7,094	7,001
Industrie	Chemie	12,413	13,194	12,433	12,653	12,176
	Metaal	7,942	8,008	7,986	8,016	8,062
	Voeding	578	504	660	709	762
	Textiel	633	629	660	701	733
	Papier	395	480	497	515	496
	Andere	3,412	3,562	3,750	3,948	4,156
Energie	WKK ELE	4,045	5,509	5,797	4,153	3,961
	WKK sector	4,285	5,411	5,857	5,650	5,046
	Raffinaderij	6,183	6,159	6,177	6,275	6,248
Landbouw	Glastuinbouw	1,627	1,288	1,032	986	1,019
Handel&diensten						

Terwijl het gebruik van WKK toeneemt en de CO<sub>2</sub> emissies van WKK stijgen nemen de NO<sub>x</sub> emissies af. Dit is te wijten aan de MBO voor de elektriciteitssector die een NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> plafond oplegt (zie 2.3.11). Aangezien WKK motoren een hogere NO<sub>x</sub> uitstoot veroorzaken dan WKK turbines, kiest het MKM voor een grotere inzet van WKK turbines en worden de WKK motoren minder ingezet.

## 3.3 BAU+

In het BAU+ scenario wordt gerekend met WKK-certificaten aan 90% van de boeteprijs (zie 2.3.10).

### 3.3.1 Energieverbruik

Tabel 38: Energieverbruik [TJ] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU+ scenario

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		193,302	194,106	196,136	194,755	198,217
Industrie	Chemie	126,129	123,603	125,542	130,158	134,773
	Metaal	102,589	103,347	103,209	100,150	102,729
	Voeding	17,403	17,122	18,997	11,127	11,960
	Textiel	6,754	7,055	7,326	2,922	3,061
	Papier	4,337	4,881	3,176	3,291	3,412
	Andere	24,307	25,313	22,467	24,108	25,093
Energie	WKK	92,788	127,194	143,552	199,195	199,570
	Raffinaderij	69,611	69,465	70,364	59,736	59,736
Landbouw	Glastuinbouw	16,551	13,630	12,019	12,169	12,522
Handel&diensten						

### 3.3.2 CO<sub>2</sub> emissies

In onderstaande tabel worden de energiegerelateerde CO<sub>2</sub>-emissies weergegeven.

Tabel 39: Energiegerelateerde CO<sub>2</sub> emissies [kton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU+ scenario

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		12,028	12,086	12,164	12,031	12,231
Industrie	Chemie	7,279	7,155	7,271	7,538	7,805
	Metaal	9,938	9,988	9,975	9,983	9,963
	Voeding	999	998	1,105	655	704
	Textiel	379	396	411	168	176
	Papier	309	344	251	260	270
	Andere	1,307	1,362	1,204	1,296	1,352
Energie	WKK	4,667	6,114	6,951	10,085	10,476
	Raffinaderij	5,350	5,339	5,404	4,590	4,590
Landbouw	Glastuinbouw	1,115	890	737	730	745
Handel&diensten						

### 3.3.3 NO<sub>x</sub> emissies

In onderstaande tabel worden de energiegerelateerde NO<sub>x</sub>-emissies weergegeven.

Tabel 40: Energiegerelateerde NO<sub>x</sub> emissies [ton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU+ scenario

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		8,625	7,940	7,465	7,100	7,007
Industrie	Chemie	12,171	10,971	10,968	11,372	11,775
	Metaal	7,938	8,008	7,974	7,953	8,056
	Voeding	468	503	532	574	617
	Textiel	597	622	644	221	231
	Papier	391	438	381	394	409
	Andere	3,411	3,562	3,481	3,667	3,859
Energie	WKK ELE	4,249	6,707	7,130	5,718	5,544
	WKK sector	4,672	7,412	7,863	6,242	5,795
	Raffinaderij	6,183	6,159	6,275	4,418	4,418
Landbouw	Glastuinbouw	1,627	1,288	1,032	1,008	1,019
Handel&diensten						

### 3.4 BAU recente energieprijzen

De BAU modelrun wordt met identieke aannames, maar met het recente energieprijzen scenario (zie 2.3.6) opnieuw gedraaid.

#### 3.4.1 Energieverbruik

Tabel 41: Energieverbruik [TJ] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario met recente energieprijzen.

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		183,530	191,011	192,682	193,473	197,362
Industrie	Chemie	129,138	133,902	142,453	155,764	171,637
	Metaal	102,348	102,868	103,216	103,840	104,663
	Voeding	19,581	19,658	19,188	21,299	28,500
	Textiel	6,777	7,123	7,454	7,991	8,502
	Papier	4,416	4,881	3,176	4,937	6,672
	Andere	24,389	24,830	25,695	27,884	29,237
Energie	WKK	82,617	100,626	102,558	77,428	34,256
	Raffinaderij	69,611	70,376	70,376	72,386	77,801
Landbouw	Glastuinbouw	16,495	13,556	11,927	12,305	12,642
Handel&diensten						

Bij stijgende gasprijzen wordt de implementatie van WKK minder aantrekkelijk. Terwijl in het BAU scenario het plaatsen van WKK's in stijgende lijn ging tot 2030, kiest het MKM nu veel minder voor WKK tot 2020 en vindt daarna zelfs een terugval plaats. Dit weerspiegelt zich ook in de emissies.

### 3.4.2 CO<sub>2</sub> emissies

Tabel 42: Energiegerelateerde CO<sub>2</sub> emissies [kton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario met recente energieprijzen.

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		11,417	11,905	11,963	11,952	12,172
Industrie	Chemie	7,447	7,730	8,215	8,980	9,942
	Metaal	9,920	9,952	9,975	10,018	10,075
	Voeding	1,140	1,127	1,103	1,224	1,723
	Textiel	381	400	419	451	482
	Papier	315	344	251	352	454
	Andere	1,313	1,335	1,384	1,515	1,593
Energie	WKK	4,121	4,739	4,678	3,354	982
	Raffinaderij	5,350	5,405	5,405	5,559	5,974
Landbouw	Glastuinbouw	1,150	961	872	930	948
Handel&diensten						

### 3.4.3 NO<sub>x</sub> emissies

Tabel 43: Energiegerelateerde NO<sub>x</sub> emissies [ton] volgens MIRA sectorindeling voor de periode 2010-2030 in het BAU scenario met recente energieprijzen.

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
Huishoudens		8,115	7,773	7,287	7,013	6,953
Industrie	Chemie	12,678	13,510	14,381	15,803	17,632
	Metaal	7,889	7,940	7,974	8,024	8,139
	Voeding	572	504	534	588	1,347
	Textiel	599	629	659	707	739
	Papier	395	438	381	457	539
	Andere	3,413	3,533	3,703	3,957	4,172
Energie	WKK ELE	3,949	5,129	5,377	2,778	1,316
	WKK sector	4,121	5,305	5,601	4,340	2,949
	Raffinaderij	6,183	6,275	6,275	6,540	7,344
Landbouw	Glastuinbouw	1,713	1,481	1,413	1,581	1,603
Handel&diensten						

### 3.5 Vergelijking tussen de scenario's

#### 3.5.1 Energieverbruik

In de onderstaande tabel geven we de vermeden brandstofverbruiken weer tussen het BASE scenario en het BAU en BAU+ scenario door toepassing van WKK. De brandstofverbruiken door gewone stookinstallaties nemen af terwijl de brandstofverbruiken van de WKK's toenemen..

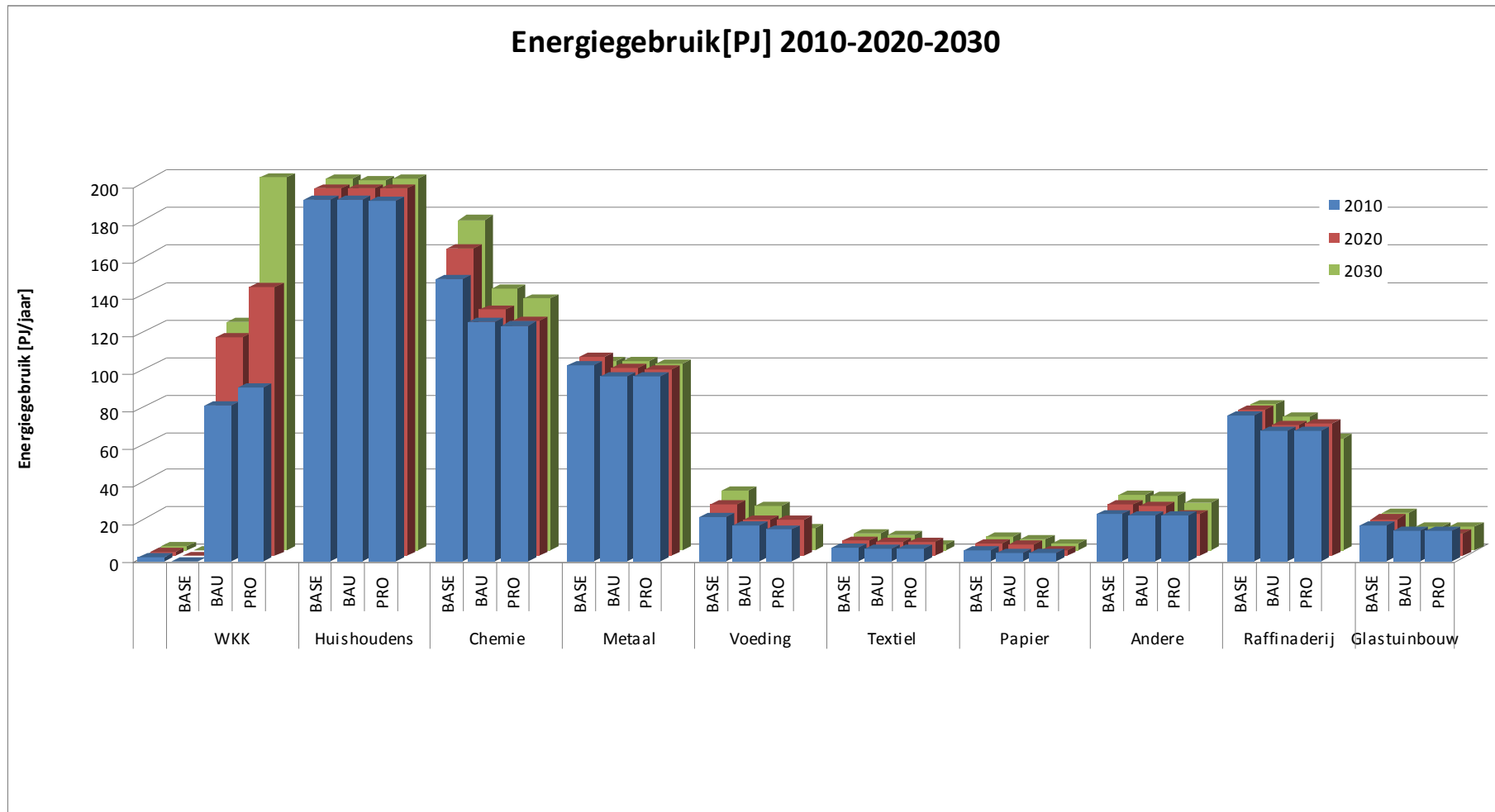
Tabel 44: Vermeden brandstofverbruiken [TJ] door toepassing van WKK en de brandstofverbruiken van de WKK's.

Sector	Deelsector		2010	2015	2020	2025	2030
<b>Vermeden brandstofverbruiken door toepassing van WKK [TJ]</b>							
Huishoudens		BAU	114	237	244	455	371
		BAU+	332	237	244	327	243
Industrie	Chemie	BAU	23,029	28,098	32,696	32,583	37,166
		BAU+	25,082	36,076	38,975	40,408	41,841
	Metaal	BAU	5,888	5,884	6,191	5,784	568
		BAU+	5,908	5,883	6,416	9,305	1,958
	Voeding	BAU	4,461	6,456	7,919	7,603	7,930
		BAU+	6,680	8,815	8,469	18,402	19,781
	Textiel	BAU	283	417	422	340	355
		BAU+	400	486	558	5,322	5,558
	Papier	BAU	1,199	330	341	353	1,225
		BAU+	1,278	1,362	3,288	3,406	3,528
Andere	BAU	607	650	672	695	718	
	BAU+	626	650	4,604	4,116	4,331	
Energie	Raffinaderij	BAU	8,332	8,478	8,335	7,567	6,847
		BAU+	8,332	8,478	7,579	18,207	18,207
Landbouw	Glastuinbouw	BAU	3,050	5,972	7,583	7,774	7,080
		BAU+	3,050	5,972	7,583	7,432	7,080
Handel&diensten		BAU					
		BAU+					
<b>TOTAAL</b>		BAU	46,965	56,521	64,403	63,154	62,259
		BAU+	51,687	67,958	77,716	106,924	102,526
<b>Brandstofverbruiken door toepassing van WKK [TJ]</b>							
Energie	WKK	BAU	83,354	103,601	116,859	118,165	121,567
		BAU+	92,788	127,194	143,552	199,195	199,570

Vooraf bij de chemiesector vindt een sterke omschakeling naar WKK plaats, zowel in het BAU als in het BAU+ scenario. Relatief gezien wordt WKK door het MKM het meest ingezet in de voedingssector, waar het gebruik van zware stookolie ketels bijna volledig verdwijnt ten voor dele van WKK. Ook de papiersector realiseert in het BAU+ scenario een relatief grote inzet van WKK. Aangezien in deze sector voornamelijk aardgasketels staan, worden deze vervangen door WKK.

In onderstaande grafiek worden voor de jaren 2010-2020 en 2030 de energieverbruiken per MIRA sector weergegeven in de drie scenario's (Figuur 6).





Figuur 6: Energiegebruik in [PJ] voor de jaren 2010-2020-2030 per sector in de drie scenario's.

In de volgende Tabel 45 geven we het verschil tussen het BAU scenario met energieprijzen zoals gebruikt in de energieprognosestudies [15] en [16] en het BAU scenario met de recente hogere energieprijzen.

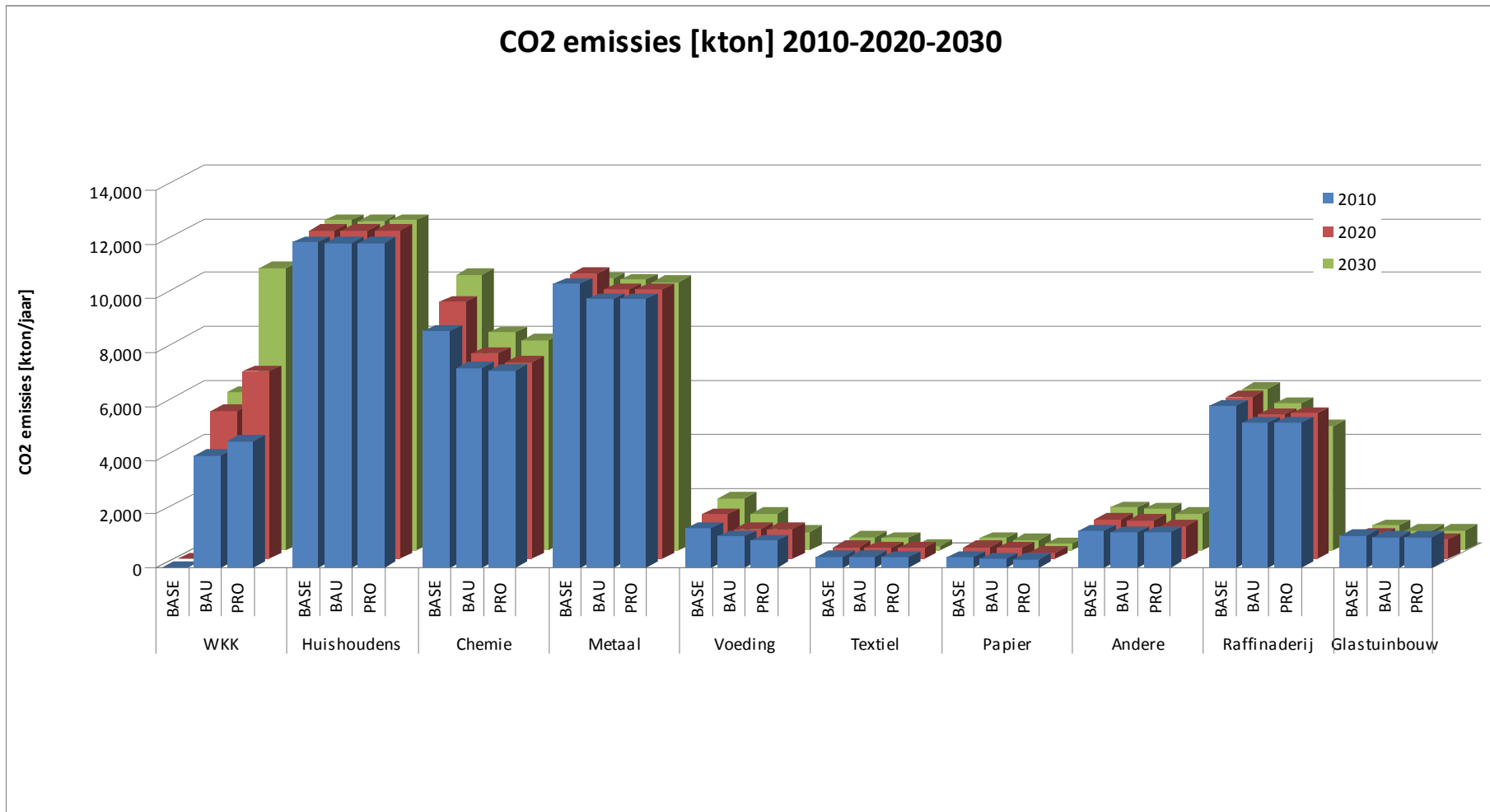
Tabel 45: Verschil in brandstofverbruiken [TJ] tussen het BAU scenario met energieprijzen van de energieprognosestudies (BAU) en het BAU scenario met recente hogere energieprijzen (BAUHP).

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Verschil brandstofverbruiken door toepassing van WKK [TJ] BAU - BAUHP</b>						
Huishoudens		9,769	3,095	3,454	1,153	727
Industrie	Chemie	-957	-2,322	-10,632	-17,782	-32,189
	Metaal	261	479	219	-170	-543
	Voeding	41	-177	359	626	-4,689
	Textiel	94	0	8	-87	-238
	Papier	0	1,032	2,947	1,407	-957
	Andere	-64	482	704	-355	-531
Energie	Raffinaderij	0	-911	-768	-2,010	-6,705
Landbouw	Glastuinbouw	56	74	91	-478	-120
Handel&diensten						
<b>TOTAAL</b>		<b>9,200</b>	<b>1,752</b>	<b>-3,618</b>	<b>-17,696</b>	<b>-45,245</b>
<b>Verschil brandstofverbruiken door toepassing van WKK [TJ] BAU - BAUHP</b>						
Energie	WKK	737	2,974	14,301	40,736	87,310

Voor alle zichtjaren wordt WKK minder ingezet door het MKM, maar vooral vanaf 2020 wordt het verschil zeer groot. Voor de jaren 2010 tot 2020 vinden we bij huishoudens reeds een sterke vermindering in het brandstofverbruik terug. Het MKM voor huishoudens is reeds voltooid voor de doorrekening die in het kader van MKM Klimaat zullen gebeuren. Dit betekent dat het MKM voor deze sector reeds voor andere reductietechnieken dan WKK kan kiezen, wat bij de hogere energieprijzen dan ook gebeurt. Isolatiemaatregelen (dak, muur, vloer, ramen) worden in de oudere woningen van vóór 1970 sterker ingezet, zodat de energiebesparing in dit scenario groter is.

3.5.2 CO<sub>2</sub> emissiesTabel 46: Vermeden CO<sub>2</sub> emissies [kton] door toepassing van WKK en de CO<sub>2</sub> emissies te wijten aan WKK's.

Sector	Deelsector		2010	2015	2020	2025	2030
<b>Vermeden CO<sub>2</sub> emissies door toepassing van WKK [kton]</b>							
Huishoudens		BAU	6	15	16	31	26
		BAU+	18	15	16	22	17
Industrie	Chemie	BAU	1,357	1,640	1,899	1,895	2,154
		BAU+	1,471	2,085	2,249	2,332	2,415
	Metaal	BAU	556	556	579	595	42
		BAU+	558	556	595	689	113
	Voeding	BAU	311	449	533	522	547
		BAU+	455	569	554	1,128	1,212
	Textiel	BAU	20	29	30	25	26
		BAU+	28	33	37	302	315
	Papier	BAU	68	24	25	26	75
		BAU+	74	82	190	197	204
	Andere	BAU	45	48	49	51	53
		BAU+	46	48	269	242	254
Energie	Raffinaderij	BAU	634	645	634	579	524
		BAU+	634	645	580	1,394	1,394
Landbouw	Glastuinbouw	BAU	70	153	207	218	179
		BAU+	70	153	207	199	179
Handel&diensten		BAU					
		BAU+					
<b>TOTAAL</b>		BAU	3,066	3,560	3,972	3,943	3,627
		BAU+	3,354	4,187	4,697	6,504	6,103
<b>Uitgestoten CO<sub>2</sub> emissies van WKK [kton]</b>							
Energie	WKK	BAU	4,158	4,905	5,476	5,639	5,870
		BAU+	4,667	6,114	6,951	10,085	10,476



Figuur 7: CO<sub>2</sub> emissies in [kton] voor de jaren 2010-2020-2030 per sector in de drie scenario's.

In de volgende Tabel 47 geven we het verschil tussen het BAU scenario met energieprijzen zoals gebruikt in de energieprognosestudies [15] en [16] en het BAU scenario met de recente hogere energieprijzen.

Tabel 47: Verschil in CO<sub>2</sub> emissies [kton] tussen het BAU scenario met energieprijzen van de energieprognosestudies (BAU) en het BAU scenario met recente hogere energieprijzen (BAUHP).

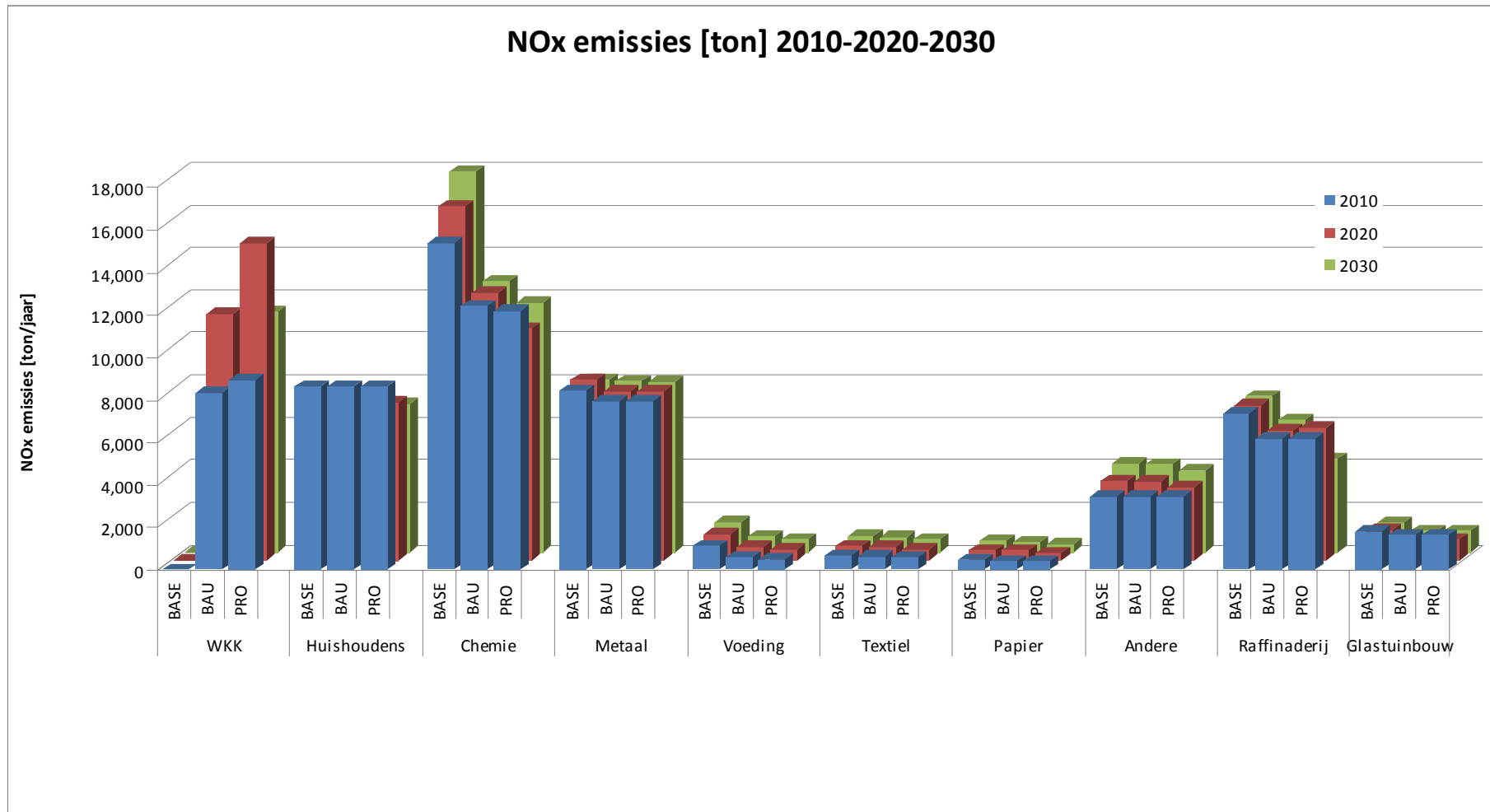
Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Verschil CO<sub>2</sub> emissies door toepassing van WKK [kton] BAU - BAUHP</b>						
Huishoudens		612	181	201	70	49
Industrie	Chemie	-53	-130	-593	-1,005	-1,876
	Metaal	20	36	17	59	-41
	Voeding	3	-10	23	38	-353
	Textiel	7	0	0	-7	-18
	Papier	0	58	165	79	-55
	Andere	-5	27	39	-27	-39
Energie	Raffinaderij	0	-66	-55	-154	-514
Landbouw	Glastuinbouw	-35	-71	-135	-219	-203
Handel&diensten						
<b>TOTAAL</b>		548	25	-338	-1,167	-3,049
<b>Verschil CO<sub>2</sub> emissies door toepassing van WKK [kton] BAU - BAUHP</b>						
Energie	WKK	37	166	798	2,285	4,888

3.5.3 NO<sub>x</sub> emissies

 Tabel 48: Vermeden NO<sub>x</sub> emissies [ton] door toepassing van WKK en de NO<sub>x</sub> emissies te wijten aan WKK's.

Sector	Deelsector		2010	2015	2020	2025	2030
<b>Vermeden NO<sub>x</sub> emissies door toepassing van WKK [ton]</b>							
Huishoudens		BAU	5	19	20	30	26
		BAU+	15	19	20	24	20
Industrie	Chemie	BAU	2,950	3,029	4,079	4,676	5,167
		BAU+	3,192	4,915	5,746	5,957	6,169
	Metaal	BAU	485	484	545	558	82
		BAU+	489	484	556	620	88
	Voeding	BAU	527	686	601	646	694
		BAU+	637	688	728	781	840
	Textiel	BAU	14	53	54	45	47
		BAU+	51	61	69	525	549
	Papier	BAU	53	17	18	18	57
		BAU+	57	59	134	139	144
	Andere	BAU	26	28	29	31	32
		BAU+	27	28	299	311	329
Energie	Raffinaderij	BAU	1,170	1,194	1,176	1,078	1,105
		BAU+	1,170	1,194	1,078	2,935	2,935
Landbouw	Glastuinbouw	BAU	170	337	431	443	399
		BAU+	170	337	431	421	399
Handel&diensten		BAU					
		BAU+					
<b>TOTAAL</b>		BAU	5,400	5,848	6,952	7,525	7,608
		BAU+	5,808	7,784	9,062	11,714	11,472
<b>Uitgestoten NO<sub>x</sub> emissies van WKK [ton]</b>							
Energie	WKK ELE	BAU	4,045	5,509	5,797	4,153	3,961
		BAU	4,285	5,411	5,857	5,650	5,046
	WKK sector	BAU+	4,249	6,707	7,130	5,718	5,544
		BAU+	4,672	7,412	7,863	6,242	5,795

Aangezien de MBO het emissieplafond voor de elektriciteitssector voor NO<sub>x</sub> op 11 kton vastprijkt vanaf 2014, wordt het voor de sector na het sluiten van de kerncentrales moeilijker om te voldoen. Vanaf 2025 neemt het verbruik van kolen in superkritische kolencentrales sterk toe en zet het MKM in op WKK gasturbines en minder op WKK motoren. Door de MBO en de inzet van gasturbines worden de NO<sub>x</sub> emissies van de sectoren gereduceerd.



Figuur 8: NO<sub>x</sub> emissies in [ton] voor de jaren 2010-2020-2030 per sector in de drie scenario's.

In de volgende Tabel 49 geven we het verschil tussen het BAU scenario met energieprijzen zoals gebruikt in de energieprognosestudies [15] en [16] en het BAU scenario met de recente hogere energieprijzen.

Tabel 49: Verschil in NO<sub>x</sub> emissies [ton] tussen het BAU scenario met energieprijzen van de energieprognosestudies (BAU) en het BAU scenario met recente hogere energieprijzen (BAUHP).

Sector	Deelsector	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Verschil NO<sub>x</sub> emissies door toepassing van WKK [ton] BAU - BAUHP</b>						
Huishoudens		510	167	178	81	48
Industrie	Chemie	-266	-317	-1,745	-3,150	-4,855
	Metaal	54	68	11	-8	-77
	Voeding	6	0	126	121	-584
	Textiel	34	0	1	-5	-6
	Papier	0	42	117	58	-43
	Andere	-1	29	47	-9	-16
Energie	Raffinaderij	0	-116	-99	-265	-1,096
Landbouw	Glastuinbouw	-86	-193	-381	-595	-585
Handel&diensten						
<b>TOTAAL</b>		251	-320	-1,745	-3,773	-7,213
<b>Verschil NO<sub>x</sub> emissies door toepassing van WKK [ton] BAU - BAUHP</b>						
Energie	WKK	261	486	677	2,685	4,742







---

## HOOFDSTUK 4      BESLUIT

---

In het kader van deze studie werd het MKM uitgebreid en aangepast om op een transparante manier om te gaan met efficiëntieverbeteringen en het WKK-potentieel voor de tijdshorizon 2010-2030 met 5-jaarlijkse zichtjaren. Efficiëntieverbeteringen van stookinstallaties zijn veelal kleinere aanpassingen aan de branders of de warmteoverdracht die het brandstofverbruik en de daarmee gepaard gaande emissies doen afnemen. In het MKM zat de efficiëntieverbetering vervat in de economische groeiscenario's, maar deze werkwijze is niet zeer transparant. Voor dit MIRA O&O project werden de installaties in het MKM voorzien van een thermisch rendement dat het mogelijk maakt om efficiëntieverbeteringen in de vorm van een rendementsverhoging uit te drukken. Het plaatsen van WKK's is zeker de laatste jaren een vaak voorkomend gegeven om gezamenlijk elektriciteit en warmte op te wekken. De brandstofbesparingen en emissiereducties van WKK's werden d.m.v. een 'soft' link aan het MKM doorgerekend. Met het MKM met 'soft' link kunnen WKK scenario's worden doorgerekend, maar kan niet geoptimaliseerd worden. We kunnen het model dus niet inzetten voor optimalisatie-oefeningen tussen het plaatsen van reductietechnieken voor NO<sub>x</sub> of SO<sub>2</sub> en het plaatsen van een WKK. Voor dit MIRA O&O project werd het MKM door middel van een hard link gekoppeld met het WKK-potentieel.

Door de hardlink met het WKK-potentieel kunnen we naast het effect op broeikasgasemissies en energiebesparing zoals dat voor de potentiële inschatting voor WKK's tot 2020 gebeurde [1], ook het effect op de conventionele luchtpolluenten inschatten. Daarnaast kan het model zelf beslissen welke ketels op welke brandstof worden vervangen door een WKK, afhankelijk van het gevoerde beleid.

Met dit MIRA-O&O zal het MKM kunnen worden ingezet voor de onderbouwing van het Vlaamse lucht- en klimaatbeleid post 2010/2012 met betrekking tot WKK. Deze onderbouwing kan zowel betrekking hebben op de doorrekening van het reductiepotentieel en de kosten van bepaalde beleidscenario's als de bepaling van de meest kostenefficiënte oplossing om een vooropgestelde doelstelling te realiseren.

De scenario's besproken in het Hoofdstuk 3, Resultaten geven aan dat optimalisatie-oefeningen met het MKM gekoppeld aan het WKK-potentieel interessante resultaten kunnen opleveren. In het kader van de operationalisering van het MKM Klimaat worden broeikasgasreductietechnieken in het MKM opgenomen, zodat de afweging kan gemaakt worden tussen het plaatsen van een WKK of het implementeren van een reductiemaatregel op de ketel.

Vooraf de optimalisatie over luchtpolluenten en broeikasgassen heen, zorgt voor een nieuwe invalshoek. Er kan gedacht worden aan modelruns met verstrengde of versoepelde MBO, andere CO<sub>2</sub> prijzen, lagere of hogere energieprijzen, ...

In het kader van de internationale modelontwikkeling zien we dat IIASA het GAINS model ontwikkelt [2; 3] en toepast om gezamenlijke optimalisatie-oefeningen voor luchtpolluenten en broeikasgasemissies te kunnen uitvoeren. Het MKM evolueert in dezelfde richting en zal voor Vlaanderen een belangrijke rol kunnen spelen om de GAINS modelruns op een correcte manier te interpreteren.

## LITERATUURLIJST

Voorstel via EndNote.

1. Devriendt N., Dooms G., Liekens J., Nijs W., Pelkmans L. (2005). *Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020*, i.o.v. VEA, VITO, 168 pp.: <http://www.emis.vito.be/index.cfm?PageID=459>.
2. Klaassen G., Berglund C., Wagner F. (2005). *The GAINS Model for Greenhouse Gases – Version 1.0: Carbon Dioxide (CO2)*, IIASA.
3. Wagner F., Amman M., Schöpp W. (2007). *The GAINS Optimization Module as of 1 February 2007*, IIASA.
4. Anonymous (2005). *Opstellen en uitwerken van een methodologie voor een intersectorale afweging van de haalbaarheid en kostenefficiëntie van mogelijke maatregelen voor de reductie van diverse pollutantemissies naar de lucht*, i.o.v. AMINAL - Cel Lucht, Ecolas & VITO, 141 pp.: [http://www.emis.vito.be/EMIS/Media/mkm\\_intersectorale\\_afweging.pdf](http://www.emis.vito.be/EMIS/Media/mkm_intersectorale_afweging.pdf).
5. Lodewijks P., Meynaerts E., Beheydt D. (2007). *Prognoses en scenario's voor luchtverontreinigende stoffen, 2010-2015-2020*, VITO, 90 pp.
6. Meynaerts E., Lodewijks P., Renders N., Beheydt D., Nijs W. (2007). *Methodologieontwikkeling en modelaanpassingen voor uitbreiding MKM met broeikasgassen*, VITO, 161 pp.
7. Farla J.C.M., Daniëls B.W. (2006). *Optiedocument energie en emissies 2010/2020*, Nederland, ECN-MNP.
8. Wagner F., Amman M., Schöpp W. (2007). *Comparison of the RAINS emission control cost curves for air pollutants with emission control costs computed by the GAINS model*, IIASA.
9. Reis S., Nitter S., Friedrich R. (2004). *Application of Genetic Algorithms for the Optimisation of Multi-Pollutant Multi-Effect Problems*, IER, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart.
10. Reis S., Nitter S., Friedrich R. (2005). *Innovative Approaches in Integrated Assessment Modelling of European Air Pollution Control Strategies – Implications of Dealing with Multi-pollutant Multi-effect Problems*, IER, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart.
11. Martens A., Dufait N. (1997). *Energetisch potentieel warmtekrachtkoppeling in België*, Studie uitgevoerd door VITO in opdracht van Electrabel en in samenwerking met Institut Wallon, 222 pp.

12. Aernouts K., Jespers K. (2007). *Energiebalans Vlaanderen 2005: onafhankelijke methode*.
13. Anonymous (2006). *Ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties*,  
<http://212.123.19.141/ALLESNL/wet/detailframe.vwp?SID=0&WetID=1015220>.
14. Anoniem (2007). *Lozingen in de lucht 1990-2006*, Aalst, 250 pp. + bijlagen pp.
15. Duerinck J., Briffaerts K., Vercalsteren A., Nijs W., De Vlieger I., Schrooten L., Huybrechts D. (2006). *Energie- en broeikasgasscenario's voor het Vlaamse gewest, Business as usual scenario 2000-2020*, i.o.v. AMINAL, VITO, 169 pp.:  
[http://www.mina.be/uploads/vkc\\_bibstrat\\_alg\\_4\\_Eindrapport\\_BAU.pdf](http://www.mina.be/uploads/vkc_bibstrat_alg_4_Eindrapport_BAU.pdf).
16. Duerinck J., Aernouts K., Beheydt D., Briffaerts K., De Vlieger I., Renders N., Schoeters K., Schrooten L., Van Rompaey H. (2007). *Energie- en broeikasgasscenario's voor het Vlaams gewest - verkenning beleidsscenario's tot 2030*, VITO, 178 pp.
17. Theys G. en Wouters, G. (2001). *Classificatiemethode van de maatregelen ter beheersing van de CO2-uitstoot-project "kennis van de CO2-emissies", fase 3*, VITO.
18. Desmedt J., Martens A. (2000). *Energiegebruik en energiebesparingspotentieel in de woningen in Vlaanderen*, VITO.
19. Gavilan J., Holmstock K. (2007). *Resultaten in de glastuinbouwenquête 2006: karakteristieken en energiegebruik*, Afdeling Monitoring en Studie, 39 pp.:  
<http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/landbouw/downloads/volt/66.pdf>.
20. N.I.S., Federaal Planbureau *Bevolkingsvooruitzichten 2000-2050 (Mathematische demografie)*,  
<http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/demografie/bevolkingsprognoses/Prognose001.xls>.
21. Koninklijk Meteorologisch Instituut van België <http://www.meteo.be>.
22. IPCC (1997). *Greenhouse gas inventory reference manual (IPPC 1996 Revised Guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 3)*.
23. Lodewijks P., Polders C., Van Rompaey H. (2005). *Evaluatie van de inschatting van NMVOS-emissies door verbrandingsprocessen in vlaanderen*, 129 pp.

24. Anonymous (2008). *Belgium's Greenhouse Gas Inventory (1990-2006) - National Inventory Report submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change*, 148 pp.
25. IPPC <http://www.ipcc.ch>.
26. Anonymous (2008). *Joint impact assessment on the package of implementation measures for the EU's objectives on climate change and renewable energy for 2020*, EU, [http://ec.europa.eu/environment/climat/climate\\_action.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/climate_action.htm).
27. Nijs W., Renders N., Van Regemorter D. (2006). *Markal/Times, a model to support greenhouse gas reduction policies*, CES KULeuven, VITO, <http://www.belspo.be/belspo/fedra/proj.asp?l=nl&COD=CP/22>
28. Energiesparen [http://www.energiesparen.be/duurzame\\_energie/wkk.php](http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/wkk.php).
29. Peeters E., Aernouts K., Daems T. (2007). *WKK-inventaris Vlaanderen*, VITO, in opdracht van VEA, 49 pp.
30. IPPC (2006). *Carbon dioxide capture and storage*, WMO, UNEP.

## **BIJLAGE A**

Gedetailleerde modelresultaten: energieverbruiken in het BAU en BAU+ scenario en in het BAU scenario met recente hogere brandstofprijzen.

## Brandstofverbruiken in het BAU scenario

<i>Sector</i>	<i>Brandstoftype</i>	<i>2010</i>	<i>2015</i>	<i>2020</i>	<i>2025</i>	<i>2030</i>
Ijzer & staal	AG	10,045	10,045	10,045	10,045	10,045
	SO	0	0	0	1,832	0
	ZSO	0	0	0	0	0
	cokes	45,171	45,171	45,171	45,171	45,171
	steenkool	70,696	70,696	70,696	70,696	70,696
	cokesovengas	5,773	5,773	5,773	5,773	5,773
	hoogovengas	-14,153	-14,153	-14,153	-14,153	-14,153
Non-ferro	antraciet	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900
	AG	4,361	4,550	4,687	4,830	4,978
	SO	141	147	152	156	161
	ZSO	917	957	985	1,015	1,047
Chemie	Cokes	862	899	926	954	984
	AG	23,861	20,516	17,391	19,346	16,605
	SO	135	143	148	152	158
	ZSO	3,196	3,375	3,477	3,605	3,732
MNMetaal	Andere	100,989	107,546	110,805	114,879	118,953
	AG	10,047	10,512	11,132	11,788	12,482
	SO	355	372	394	417	441
	ZSO	1,440	1,507	1,596	1,690	1,790
Voeding	steenkool	46	48	51	54	57
	Petroleumcokes	392	410	434	460	487
	LPG	10	11	11	12	13
	Andere brandstoffen	7	7	8	8	9
	AG	15,528	16,123	15,839	17,939	19,526
	SO	658	708	750	806	867
	ZSO	1,228	271	440	473	508
Textiel en kleding	steenkool	1,395	1,503	1,591	1,711	1,839
	Biogas	728	784	831	893	960
	LPG	85	91	96	104	111
	AG	6,644	6,983	7,316	7,751	8,104
	SO	135	43	45	47	49
Papier en uitgev.	ZSO	72	76	80	83	87
	LPG	20	21	22	23	24
	AG	2,524	3,832	3,966	4,109	3,398
	SO	0	0	0	0	0
	ZSO	79	0	0	0	0
	Biogas	0	60	62	64	67
Metaalverwerking	steenkool	1,813	2,022	2,094	2,170	2,250
	AG	9,104	9,468	9,602	9,784	9,975
	SO	988	1,063	801	834	868
	ZSO	295	316	327	139	143
Andere industrie	Cokes	110	118	123	128	133
	AG	4,468	4,631	4,753	4,875	4,996
	SO	1,442	1,487	1,526	1,565	1,604
	ZSO	1,072	1,099	1,128	1,157	1,186
	LPG	2,036	2,110	2,166	2,221	2,277
Landbouw	Hernieuwbaar	3,009	3,118	3,200	3,282	3,365
	AG	7,431	7,629	9,144	9,754	10,680
	SO	1,402	875	349	133	103
	ZSO	6,339	3,687	1,026	426	223
	steenkool	892	953	1,014	1,028	1,030
	Propaan	481	481	481	481	481
Raffinaderijen	Biofuel	5	5	5	5	5
	AG	2,202	2,202	2,202	2,202	2,202
	SO	121	121	121	121	121
	ZSO	11,025	10,879	11,022	10,879	11,599
	Raffinaderijgas	47,506	47,506	47,506	48,417	48,417
	Nafta	99	99	99	99	99
Cokes	8,659	8,659	8,659	8,659	8,659	



## Brandstofverbruiken in het BAU+ scenario

Sector	Brandstoftype	2010	2015	2020	2025	2030	
Ijzer & staal	AG	10,045	10,045	10,045	8,835	10,045	
	SO	0	0	0	1,832	0	
	ZSO	0	0	0	0	0	
	cokes	45,171	45,171	45,171	45,171	45,171	
	steenkool	70,696	70,696	70,696	70,696	70,696	
	cokesovengas	5,773	5,773	5,773	5,773	5,773	
	hoogovengas	-14,153	-14,153	-14,153	-14,153	-14,153	
Non-ferro	antraciet	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	
	AG	4,361	4,550	4,655	4,797	4,943	
	SO	141	147	152	156	161	
	ZSO	917	957	985	1,015	1,047	
	Cokes	862	899	926	954	984	
	Chemie	AG	21,809	12,539	11,112	11,521	11,930
		SO	135	143	148	152	158
ZSO		3,196	3,375	3,477	3,605	3,732	
Andere		100,989	107,546	110,805	114,879	118,953	
MNMetaal	AG	10,047	10,512	8,170	8,651	9,160	
	SO	355	372	394	417	441	
	ZSO	1,440	1,507	1,596	1,690	1,790	
	steenkool	46	48	51	54	57	
	Petroleumcokes	392	410	434	460	487	
	LPG	10	11	11	12	13	
	Andere brandstoffen	7	7	8	8	9	
Voeding	AG	14,285	13,978	15,668	7,304	7,851	
	SO	658	708	750	806	867	
	ZSO	252	271	287	309	332	
	steenkool	1,395	1,503	1,591	1,711	1,839	
	Biogas	728	570	604	893	960	
	LPG	85	91	96	104	111	
Textiel en kleding	AG	6,622	6,915	7,179	2,682	2,804	
	SO	41	43	45	47	56	
	ZSO	72	76	80	170	178	
	LPG	20	21	22	23	24	
Papier en uitgev.	AG	2,524	2,799	1,019	1,056	1,095	
	SO	0	0	0	0	0	
	ZSO	0	0	0	0	0	
	Biogas	0	60	62	64	67	
	steenkool	1,813	2,022	2,094	2,170	2,250	
Metaalverwerking	AG	9,104	9,468	9,602	8,128	8,249	
	SO	968	1,063	801	834	1,128	
	ZSO	295	316	134	139	253	
	Cokes	110	118	123	128	133	
Andere industrie	AG	4,468	4,631	3,784	4,591	4,706	
	SO	1,435	1,487	1,526	1,565	1,604	
	ZSO	1,061	1,099	1,128	1,157	1,186	
	LPG	2,036	2,110	2,166	2,221	2,277	
	Hernieuwbaar	3,009	3,118	3,200	3,282	3,365	
Landbouw	AG	7,431	7,629	9,144	10,096	10,680	
	SO	1,402	875	349	133	103	
	ZSO	6,339	3,687	1,026	426	223	
	steenkool	892	953	1,014	1,028	1,030	
	Propaan	481	481	481	481	481	
	Biofuel	5	5	5	5	5	
Raffinaderijen	AG	2,202	2,202	2,190	2,202	2,202	
	SO	121	121	121	121	121	
	ZSO	11,025	10,879	10,879	239	239	
	Raffinaderijgas	47,506	47,506	48,417	48,417	48,417	
	Nafta	99	99	99	99	99	
	Cokes	8,659	8,659	8,659	8,659	8,659	

## Brandstofverbruiken in het BAU scenario met recente energieprijzen

<i>Sector</i>	<i>Brandstoftype</i>	<i>2010</i>	<i>2015</i>	<i>2020</i>	<i>2025</i>	<i>2030</i>	
Ijzer & staal	AG	10,045	10,045	10,045	10,045	10,045	
	SO	0	0	0	0	0	
	ZSO	0	0	0	0	0	
	cokes	45,171	45,171	45,171	45,171	45,171	
	steenkool	70,696	70,696	70,696	70,696	70,696	
	cokesovengas	5,773	5,773	5,773	5,773	5,773	
	hoogovengas	-14,153	-14,153	-14,153	-14,153	-14,153	
Non-ferro	antraciet	7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	
	AG	4,361	4,550	4,655	4,797	4,978	
	SO	141	147	152	156	161	
	ZSO	917	957	985	1,015	1,047	
Chemie	Cokes	862	899	926	954	984	
	AG	24,818	22,839	28,023	36,518	44,985	
	SO	135	143	148	152	178	
	ZSO	3,196	3,375	3,477	4,215	7,522	
MNMetaal	Andere	100,989	107,546	110,805	114,879	118,953	
	AG	8,404	8,456	8,545	9,842	10,414	
	SO	355	372	394	417	441	
	ZSO	1,440	1,507	1,596	1,690	1,790	
	steenkool	46	48	51	54	57	
	Petroleumcokes	392	410	434	460	487	
	LPG	10	11	11	12	13	
	Andere brandstoffen	7	7	8	8	9	
	Voeding	AG	15,528	16,300	15,632	17,459	19,743
		SO	658	708	750	806	1,368
		ZSO	1,186	271	287	326	4,479
steenkool		1,395	1,503	1,591	1,711	1,839	
Biogas		728	784	831	893	960	
LPG		85	91	96	104	111	
Textiel en kleding	AG	6,644	6,983	7,308	7,751	8,104	
	SO	41	43	45	47	197	
	ZSO	72	76	80	170	178	
	LPG	20	21	22	23	24	
Papier en uitgev.	AG	2,524	2,799	1,019	2,702	4,257	
	SO	0	0	0	0	0	
	ZSO	79	0	0	0	98	
	Biogas	0	60	62	64	67	
	steenkool	1,813	2,022	2,094	2,170	2,250	
	AG	9,104	9,468	9,602	9,784	9,975	
Metaalverwerking	SO	720	770	801	834	1,201	
	ZSO	295	130	134	334	354	
	Cokes	110	118	123	128	133	
	AG	4,468	4,631	4,753	4,875	4,996	
Andere industrie	SO	1,506	1,487	1,526	1,967	2,107	
	ZSO	1,072	1,099	1,128	1,185	1,214	
	LPG	2,036	2,110	2,166	2,221	2,277	
	Hernieuwbaar	3,009	3,118	3,200	3,282	3,365	
	Landbouw	AG	5,320	3,645	1,970	979	1,344
		SO	1,402	875	349	133	103
ZSO		8,676	7,967	8,565	9,679	9,679	
steenkool		610	583	557	1,028	1,030	
Propaan		481	481	481	481	481	
Biofuel		5	5	5	5	5	
Raffinaderijen	AG	2,202	2,202	2,202	2,202	2,202	
	SO	121	121	121	121	121	
	ZSO	11,025	10,879	10,879	12,889	18,304	
	Raffinaderijgas	47,506	48,417	48,417	48,417	48,417	
	Nafta	99	99	99	99	99	
	Cokes	8,659	8,659	8,659	8,659	8,659	