

TransAccount

Een rekenmodel voor scenario's
van duurzame ontwikkeling

December 2013

Alain Henry, ah@plan.be
Dimi Jottier, dj@plan.be

Federaal Planbureau

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

Het FPB voert beleidsrelevant onderzoek uit op economisch, sociaal-economisch vlak en op het vlak van leefmilieu. Ook wordt de integratie van die beleidskwesties in een context van duurzame ontwikkeling bestudeerd. Hiertoe verzamelt en analyseert het FPB gegevens, onderzoekt het aanneembare toekomstscenario's, identificeert het alternatieven, beoordeelt het de gevolgen van beleidsbeslissingen en formuleert het voorstellen.

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

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

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

e-mail: sustdev@plan.be

Publicaties

Terugkerende publicaties:

Federale Rapport inzake Duurzame Ontwikkeling

Planning Papers (laatste nummer):

113 Langetermijnvisies inzake duurzame ontwikkeling. Begrippen, toepassingen en uitwerking
Task Force Duurzame Ontwikkeling - Mei 2013

Working Papers (laatste nummer):

13-13 A new version of the HERMES model - HERMES III
Delphine Bassilière, Francis Bossier, Igor Lebrun, Peter Willemé - November 2013

Overname wordt toegestaan, behalve voor handelsdoeleinden, mits bronvermelding.

Verantwoordelijke uitgever: Henri Bogaert

Wettelijk Depot: D/2013/7433/34

Cette publication est également disponible en français: *TransAccount, un modèle comptable pour des scénarios de développement durable.*

Federaal Planbureau

Kunstlaan 47-49, 1000 Brussel

tel.: +32-2-5077311

fax: +32-2-5077486

e-mail: sustdev@plan.be<http://www.plan.be>

TransAccount

Een rekenmodel voor scenario's van duurzame ontwikkeling

December 2013

Alain Henry, ah@plan.be

Dimi Jottier, dj@plan.be

Abstract - Deze working paper beschrijft *TransAccount*, een rekenmodel om duurzame-ontwikkelingsscenario's op te stellen, in het bijzonder hun onderdeel klimaat en energie. Het model is ontworpen om gebruikt te worden met een backcasting methode. Om een scenario met *TransAccount* op te stellen moeten lange-termijn doelstellingen en hypothesen van een globaal duurzaam-ontwikkelingsscenario (bij voorbeeld, Piramide of Mozaïek, scenario's gepubliceerd in het 4^{de} Federaal Rapport inzake duurzame ontwikkeling) vertaald worden in kwantitatieve doelstellingen en hypothesen over technologie en consumptie – en productiepatronen. De opgestelde scenario's tonen de noodzakelijke veranderingen, in technologie en consumptie – en productiepatronen, die nodig zijn om te voldoen aan de uitdagingen van een duurzame ontwikkeling.

Abstract - Ce working paper décrit *TransAccount*, un modèle comptable créé au Bureau fédéral du Plan pour construire, selon une approche de backcasting, des scénarios de développement durable, en particulier leur volet climat et énergie. Construire un scénario avec *TransAccount* consiste notamment à traduire les objectifs à long terme et les hypothèses d'un scénario global de développement durable (par exemple Pyramide ou Mosaïque, scénarios publiés dans le 4^{ème} Rapport fédéral sur le développement durable) en objectifs quantifiés et en hypothèses sur les technologies et les modes de consommation et de production. Les scénarios construits avec *TransAccount* mettent en évidence les changements de technologies et de modes de consommation et de production nécessaires pour faire face aux défis d'un développement durable.

Abstract - This working paper describes *TransAccount*, an accounting model created at the FPB to build sustainable development scenarios, in particular their climate and energy segment, using a backcasting approach. To construct a scenario with *TransAccount*, the long term objectives and hypotheses of a global sustainable development scenario (for example Pyramid or Mosaic, scenarios published in the

Belgian 4th Federal Report on Sustainable Development) have to be translated into quantitative objectives and hypotheses on technologies and on consumption and production patterns. The constructed scenarios highlight the changes needed in technology and in consumption and production patterns to meet the challenges of a sustainable development.

Keywords - duurzame ontwikkeling, TransAccount, rekenmodel, scenario's, backcasting, toekomst-verkenning, klimaatbeleid, energiebeleid

Inhoudstafel

| | |
|---|-----------|
| Synthese | 1 |
| Synthèse | 2 |
| Inleiding | 3 |
| 1. Beschrijving van <i>TransAccount</i> | 5 |
| 1.1. Rekenmodel <i>TransAccount</i> , backcasting methode en doelstellingen van duurzame ontwikkeling | 5 |
| 1.2. Reikwijdte van het model en gebruikte classificaties | 6 |
| 1.3. Macro-economisch luik en groei | 8 |
| 1.4. Structuur van het model | 9 |
| 1.4.1. Algemene structuur van het model | 9 |
| 1.4.2. Energie-industrie | 11 |
| 1.4.3. Productie-industrie en bouw | 15 |
| 1.4.4. Transportsector | 17 |
| 1.4.5. Residentiële sector | 20 |
| 1.4.6. Dienstensector | 24 |
| 1.4.7. Landbouw, bosbouw en visvangst - Landbouwactiviteiten | 25 |
| 1.4.8. Industriële processen | 27 |
| 1.4.9. Internationaal lucht- en zeetransport | 28 |
| 1.4.10. Diversen | 29 |
| 2. Gebruik van het model | 30 |
| 2.1. Scenario's van duurzame ontwikkeling | 30 |
| 2.2. Macro-economisch luik van de scenario's | 31 |
| 2.3. Sectoraal luik van de scenario's | 32 |
| 2.3.1. Energie-industrieën | 33 |
| 2.3.2. Productie-industrie en bouw | 34 |
| 2.3.3. Transportsector | 36 |
| 2.3.4. Residentiële sector | 38 |
| 2.3.5. Dienstensector | 39 |
| 2.3.6. Landbouw, bosbouw en visvangst - Landbouwactiviteiten | 39 |
| 2.3.7. Industriële processen | 41 |
| 2.3.8. Internationaal lucht- en zeetransport | 42 |
| 2.3.9. Diversen | 43 |
| 2.4. Conclusies | 45 |
| 3. Bibliografie | 47 |

Lijst van tabellen

| | | |
|----------|--|----|
| Tabel 1 | Classificatie van de activiteiten die bkg's uitstoten (<i>common reporting format</i> - CRF)..... | 7 |
| Tabel 2 | Hypothesen inzake rendement en CO ₂ -afvangpercentages - gas- en steenkoolcentrales..... | 14 |
| Tabel 3 | Voertuigen, motoren en energiebron | 20 |
| Tabel 4 | Hypothesen inzake rendement voor warmtekrachtkoppeling in de serre-teelt | 26 |
| Tabel 5 | Macro-economische hypothesen van de scenario's | 32 |
| Tabel 6 | Demografische hypothesen van de scenario's | 32 |
| Tabel 7 | Voornaamste resultaten - energie-industrieën..... | 33 |
| Tabel 8 | Voornaamste evoluties - energie-industrieën..... | 34 |
| Tabel 9 | Bkg-emissies van de energiesector | 34 |
| Tabel 10 | Voornaamste evoluties in de industriële productie en bouwnijverheid | 35 |
| Tabel 11 | Aandelen van de energiebronnen gebruikt in de sector van de industriële productie en bouwnijverheid..... | 35 |
| Tabel 12 | Bkg-emissies van de industriële productie en bouwnijverheid | 35 |
| Tabel 13 | Voornaamste evoluties in het personentransport..... | 36 |
| Tabel 14 | Voornaamste evoluties in het goederentransport | 37 |
| Tabel 15 | Bkg-emissies van de transportsector | 37 |
| Tabel 16 | Voornaamste evoluties in de residentiële sector | 38 |
| Tabel 17 | Bkg-emissies van de residentiële sector | 39 |
| Tabel 18 | Voornaamste evoluties in de dienstensector..... | 39 |
| Tabel 19 | Bkg-emissies van de dienstensector | 39 |
| Tabel 20 | Voornaamste evoluties voor de landbouwsector - kasteelt | 40 |
| Tabel 21 | Voornaamste evoluties voor de landbouwsector - zonder kasteelt | 40 |
| Tabel 22 | Voornaamste evoluties voor de landbouwactiviteiten | 40 |
| Tabel 23 | Bkg-emissies van de landbouwsector..... | 41 |
| Tabel 24 | Voornaamste evoluties voor de industriële processen | 41 |
| Tabel 25 | Bkg-emissies van de sector van de industriële processen | 41 |
| Tabel 26 | Belangrijkste evoluties van het internationaal lucht- en zeetransport..... | 42 |
| Tabel 27 | Bkg-emissies van het internationaal lucht- en zeetransport..... | 43 |
| Tabel 28 | Voornaamste evoluties voor de sector 'Varia' | 43 |
| Tabel 29 | Bkg-emissies van de sector 'Varia' | 43 |
| Tabel 30 | Bkg-emissies in België - scenario Piramide ₁₃ | 45 |
| Tabel 31 | Bkg-emissies in België - scenario Mozaiek ₁₃ | 45 |

Lijst van figuren

| | | |
|-----------|---------------------------------|----|
| Grafiek 1 | Beschrijving van het model..... | 10 |
|-----------|---------------------------------|----|

Synthese

TransAccount is een rekenmodel om duurzame-ontwikkelingsscenario's op te stellen, in het bijzonder voor hun onderdeel klimaat en energie. Het model is ontworpen om gebruikt te worden met een backcasting methode. De eerste stap van die methode is een gewenst toekomstig eindbeeld bepalen. In de benadering van de TFDO van het FPB komt dit eindbeeld overeen met een geheel van doelstellingen van duurzame ontwikkeling (DDO) die gebaseerd zijn op internationale overeenkomsten of verbintenissen van overheden. Die DDO's passen in de langetermijnvisie van een wereld in duurzame ontwikkeling in 2050. In de tweede stap worden de noodzakelijk veranderingen om het eindbeeld te halen, bestudeerd.

De scenario's opgesteld met een backcasting methode zijn dus geen vooruitzichten. Het zijn verkenningen van noodzakelijke veranderingen, zowel in termen van technologieën als in termen van consumptie- en productiepatronen, om een geheel van DDO's te bereiken. Andere scenario's zijn uiteraard mogelijk. Eén van de doelen van *TransAccount* is bijdragen aan de discussie over die veranderingen. Een eerste bijdrage werd geleverd door *TransAccount* te gebruiken om de scenario's Piramide en Mozaïek, uit het vierde Federaal rapport inzake duurzame ontwikkeling (TFDO, 2007) te kwantificeren.

Het eerste hoofdstuk van deze working paper beschrijft de structuur van het model. *TransAccount* berekent voor elk scenario het energieverbruik en de broeikasgasemissies (bkg-emissies) van alle activiteiten op het Belgisch grondgebied tot 2050. Die activiteiten zijn verdeeld over sectoren op basis van de classificatie uit de Nationale inventaris van broeikasgasemissies. De evolutie van die activiteiten is verenigbaar met een macro-economisch lange-termijn scenario ontwikkeld door het FPB voor het verslag van 2012 van de Studiecommissie voor de vergrijzing (Hoge Raad van Financiën, 2012).

Dat hoofdstuk beschrijft de vergelijkingen van elke sector en geeft ook de kenmerken (energie-efficiëntie, emissiefactoren,...) van de in het model beschikbare technologieën. Het energieverbruik wordt berekend door het activiteitsniveau van een sector te vermenigvuldigen met de energie-intensiteit van de gebruikte technologieën. De bkg-emissies worden verkregen door het energieverbruik te vermenigvuldigen met de emissiefactoren van de gebruikte energiebronnen. De beschouwde bkg's zijn die uit het Kyoto-protocol: koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄), distikstofmonoxide (N₂O) en gefluoreerde gassen.

Het tweede hoofdstuk beschrijft een "mechanische" actualisering van de scenario's Piramide en Mozaïek. Die actualisering wordt slechts weergegeven ter illustratie van *TransAccount*. De hier gepubliceerde resultaten zijn dus niet bedoeld om te citeren of ernaar te verwijzen. In het volgende Federaal Rapport inzake duurzame ontwikkeling zullen de scenario's volledig herzien worden.

In deze working paper worden de technologieën en de consumptie- en productiepatronen van 2050 zo gekozen dat de DDO's bereikt worden, in het bijzonder een vermindering van de bkg-emissies met 80% tussen 1990 en 2050. *TransAccount* maakt het vervolgens mogelijk het pad tussen de huidige situatie en die in 2050 te berekenen.

Synthèse

TransAccount est un modèle comptable conçu pour établir des scénarios de développement durable, en particulier leur volet climat et énergie. Ce modèle est construit pour être utilisé avec une méthode de backcasting. La première étape de cette méthode est de définir une image finale de l'avenir souhaité. Dans l'approche proposée par la TFDD du BFP, cette image finale correspond à un ensemble d'objectifs de développement durable (ODD), basés sur des accords internationaux ou des engagements des pouvoirs publics. Ces ODD s'inscrivent dans la vision à long terme d'un monde en développement durable en 2050. Dans la seconde étape, les changements nécessaires pour réaliser cette image finale, c'est-à-dire cet ensemble d'ODD, sont étudiées.

Les scénarios construits avec cette méthodologie de backcasting ne sont donc pas des prévisions. Ce sont des explorations des changements nécessaires, tant en termes de technologies qu'en termes de modes de consommation et de production, pour atteindre un ensemble d'ODD. D'autres scénarios sont évidemment possibles. Un des enjeux de l'utilisation de *TransAccount* est de contribuer à la discussion sur ces changements. Une première contribution en ce sens a été fournie avec l'utilisation de *TransAccount* pour quantifier les scénarios Pyramide et Mosaïque du 4^{ème} Rapport fédéral sur le développement durable (2007).

Le premier chapitre de ce working paper décrit la structure de ce modèle. *TransAccount* calcule, pour chaque scénario, les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre (GES) de toutes les activités présentes sur le territoire belge jusqu'en 2050. Ces activités sont réparties en secteurs, sur la base de la classification utilisée dans les Inventaires nationaux d'émissions de GES. L'évolution de ces activités est compatible avec un scénario macroéconomique de long terme développé par le BFP pour le rapport 2012 du Comité d'études sur le vieillissement (Conseil supérieur de finances, 2012).

Ce chapitre explicite les équations de chaque secteur et décrit les caractéristiques (efficacité énergétique, facteurs d'émissions...) des technologies disponibles dans le modèle. Les consommations d'énergie sont calculées en multipliant le niveau de l'activité d'un secteur par l'intensité énergétique des technologies utilisées. Quant aux émissions, elles sont obtenues en multipliant ces consommations d'énergie par les facteurs d'émissions des sources d'énergie utilisées. Les GES considérés sont ceux repris dans le Protocole de Kyoto, soit le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et les gaz fluorés.

Le second chapitre décrit une mise à jour mécanique des scénarios Pyramide et Mosaïque publiés en 2007 (TFDD, 2007). Ces mises à jour ne sont présentées qu'à titre d'illustration. Les résultats publiés dans ce working paper ne doivent donc pas être cités ni utilisés comme référence. Une révision complète de ces scénarios sera publiée dans le prochain Rapport fédéral sur le développement durable.

Dans l'exercice présenté ici, les technologies et les modes de consommation et de production adoptés en 2050 sont choisis de façon à atteindre les ODD, notamment une réduction des émissions de GES de 80% entre 1990 et 2050. *TransAccount* permet ensuite de calculer la trajectoire entre la situation actuelle et 2050.

Inleiding

Deze working paper presenteert *TransAccount*, een rekenmodel om duurzame-ontwikkelingsscenario's op te stellen, in het bijzonder hun onderdeel klimaat (broeikasgasemissies) en energie. Deze working paper toont ook de verbanden tussen *TransAccount* en twee andere lange-termijn modellen van het Federaal Planbureau (MALTESE en S3BE) en hun scenario's.

Een eerste versie van *TransAccount* werd gebruikt om de duurzame-ontwikkelingsscenario's, Piramide en Mozaïek, voor te bereiden. Die scenario's werden in het 4^{de} Federaal rapport inzake duurzame ontwikkeling voorgesteld (TFDO, 2007). Voor deze working paper werd TA geactualiseerd en herzien. Ten eerste werden de gebruikte historische gegevens geactualiseerd. Het laatste waargenomen jaar is voortaan 2011 i.p.v. 2005.

Verder werd het model herzien en zijn er verschillende verbeteringen aangebracht.

- De landbouwsector in *TransAccount* werd meer gedetailleerd om de veeteelt en het bodembeheer afzonderlijk te kunnen analyseren. Hierdoor kunnen evoluties in voedingspatronen beter in rekening gebracht worden.
- Dankzij meer nauwkeurige gegevens uit de regionale energiebalansen kon de berekening van het energieverbruik van de serre-teelt worden herzien en vereenvoudigd.
- De berekening van het energieverbruik in de landbouw en van de uitstoot van huisafvalverbrandingsovens werd herzien.
- De berekening van het effect van de opwarming van de aarde op het residentiële energieverbruik werd verbeterd.
- Het gebruik van koolstofopvang en -opslag (Carbon Capture and Storage - CCS) is voortaan mogelijk in de industrie.
- De emissiefactoren van de industrie werden nauwkeuriger berekend.

Er werd ook rekening gehouden met recente studies om bepaalde technische hypothesen aan te passen. In het bijzonder werd informatie gebruikt uit de studie *Towards 100% renewable energy in Belgium by 2050* (FPB et al., 2012) om het potentieel van hernieuwbare energie in België te herzien.

Tot slot werd op basis van het 4^e en 5^e evaluatierapport van het IPCC (IPCC, 2007; IPCC, 2013) en de federale langetermijnvisie inzake duurzame ontwikkeling (Belgisch staatsblad, 2013) de reductiedoelstelling voor broeikasgasemissies (bkg-emissies) tussen 1990 en 2050 verhoogd naar 80%. Die reductiedoelstelling bedroeg 70% in de duurzame-ontwikkelingsscenario's Piramide en Mozaïek (TFDO, 2007).

Naast de inleiding bestaat deze working paper uit twee hoofdstukken. In het eerste hoofdstuk wordt het model gepresenteerd, beginnend bij het kader van duurzame ontwikkeling waarin het model werd opgebouwd (1.1). Verder wordt de reikwijdte van het model en de gebruikte classificaties getoond (1.2). Vervolgens wordt het macro-economisch kader gepresenteerd (1.3). Tot slot geeft het voor elke sector in het model de overeenkomstige vergelijkingen, de beschikbare technologieën en de bronnen van de historische gegevens (1.4).

Het tweede hoofdstuk beschrijft een mechanische actualisering van Piramide en Mozaïek. Deze actualisering werd uitgevoerd met de geactualiseerde en aangepaste versie van *TransAccount* (zie beschrijving hierboven). De overige hypothesen die gemaakt worden in de actualiseringen zijn dezelfde als deze in de scenario's van 2007 (TFDO, 2007). De scenario's in deze working paper dienen enkel als illustratie van de werking van het model en moeten dus niet geciteerd of gebruikt worden als referentie. Een volledige herziening van de scenario's zal verschijnen in het 7de Federaal Rapport inzake Duurzame Ontwikkeling. Dit hoofdstuk begint met een algemene voorstelling van de scenario's (2.1). Daarna worden de macro-economische hypothesen toegelicht (2.2) en worden de keuzes van de consumptie- en productiepatronen per sector beschreven voor elk scenario (2.3). Het hoofdstuk eindigt met een korte conclusie (2.4).

1. Beschrijving van *TransAccount*

Dit hoofdstuk beschrijft de structuur van *TransAccount*. Allereerst wordt de backcasting methode toegelicht (1.1). TA berekent voor elke scenario het energieverbruik en de broeikasgasemissies van alle activiteiten in België. Die activiteiten zijn verdeeld over sectoren op basis van de classificatie uit de Nationale inventaris van bkg-emissies (1.2). Verder wordt een belangrijke exogene variabele van het model, de economische groei, voorgesteld (1.3). Ten slotte wordt er een gedetailleerde toelichting gegeven bij de vergelijkingen van het model (1.4).

Dit hoofdstuk geeft ook een idee hoe TA gebruikt wordt in het prospectieve kader van de Task Force Duurzame Ontwikkeling (TFDO) van het Federaal Planbureau (FPB).

1.1. Rekenmodel *TransAccount*, backcasting methode en doelstellingen van duurzame ontwikkeling

TransAccount is een rekenmodel om duurzame-ontwikkelingsscenario's op te stellen, in het bijzonder voor hun onderdeel klimaat en energie. Het model is ontwikkeld om gebruikt te worden met een backcasting methode.

De eerste stap bij een dergelijke methode is een gewenst toekomstig eindbeeld definiëren. Volgens de TFDO van het FPB is het gewenste toekomstig eindbeeld een wereld in duurzame ontwikkeling in 2050 waarin voldaan is aan een geheel van doelstellingen van duurzame ontwikkeling (DDO's). Bijvoorbeeld die uit het 4^e Federaal rapport inzake duurzame ontwikkeling ofwel die uit de federale LTV inzake duurzame ontwikkeling (Belgisch staatsblad, 2013).

Voor scenario's die specifiek het energieverbruik en bkg-emissies behandelen, is vooral de DDO over de opwarming van de aarde en het daaruit voortvloeiende niveau van bkg-emissies in 2050 bijzonder belangrijk. Die DDO stelt voor de opwarming van de aarde te beperken tot 2°C boven de pre-industriële temperatuur. Volgens het 4^e Evaluatierapport van het IPCC is een dergelijke doelstelling slechts te bereiken indien de industrielanden hun bkg-emissies met 80 à 95% verlagen tussen 1990 en 2050 (IPCC, 2007).

In de met *TransAccount* ontwikkelde scenario's is het gekozen gewenste eindbeeld een vermindering van 80% van de bkg-emissies tussen 1990 en 2050 voor België. Ook de andere DDO's worden in aanmerking genomen in *TransAccount*, zij het op een meer kwalitatieve wijze.

In de tweede stap van een backcasting methode wordt een ontwikkelingspad beschreven dat het traject toont van de huidige situatie (de basis) naar het gewenste eindbeeld. In *TransAccount* wordt het ontwikkelingspad bepaald aan de hand van evoluties in het activiteitsniveau, de consumptie- en productiepatronen en de gebruikte technologieën en energiebronnen. Conform de backcasting methode worden de evoluties zo gekozen dat alle DDO's bereikt worden in 2050. De scenario's opgesteld met een backcasting methode zijn dus geen vooruitzichten. Het zijn eerder illustraties van noodzakelijke evoluties om een geheel van DDO's te bereiken (Ahlroth and Höjer, 2007, p723). Andere scenario's zijn uiteraard mogelijk.

Wanneer het ontwikkelingspad bepaald is, wordt voor de volledige periode het energieverbruik en de bkg-emissies berekend via het oplossen van de vergelijkingen in het model. *TransAccount* is opgebouwd als een geheel van vergelijkingen die ofwel definitievergelijkingen (d.w.z. identiteiten), ofwel *ad-hoc*relaties¹ zijn. Het bevat geen enkele econometrisch geraamde gedragsvergelijking.

Het opstellen van een duurzaam-ontwikkelingsscenario met *TransAccount* toont dus de gevolgen, in termen van energieverbruik en bkg-emissies, van keuzes in evoluties van het activiteitsniveau, de consumptie- en productiepatronen en de gebruikte technologieën en energiebronnen.

Piramide en Mozaïek zijn twee voorbeelden van dergelijke evoluties die de DDO's te bereiken, in het bijzonder de DDO die rechtstreeks verbonden is aan het klimaat.

1.2. Reikwijdte van het model en gebruikte classificaties

TransAccount omvat alle activiteiten die in België energie verbruiken of bkg's uitstoten. De beschouwde bkg's zijn die uit het Kyoto-protocol: koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄), distikstofmonoxide (N₂O) en gefluoreerde gassen (UNFCCC, 1997). De huidige versie van het model berekent het energieverbruik en de bkg-emissies over de periode 2012-2050.

De activiteiten die bkg's uitstoten zijn verdeeld over sectoren op basis van de classificatie uit de nationale inventaris van broeikasgasemissies (Nationale klimaatcommissie, 2010). Tabel 1 toont de verschillende sectoren en deelsectoren (omwille van vereenvoudiging ook sectoren genoemd). De inventaris is opgesteld door de Belgische overheden (Gewesten en federale overheid) krachtens de verbintenissen in het Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering (UNFCCC). De inventaris wordt jaarlijks door België neergelegd op het secretariaat van het UNFCCC. De gebruikte classificatie is het *common reporting format* (CRF).

De nationale inventaris van broeikasgasemissies geeft voor elke sector het energieverbruik en de bkg-emissies weer. De sectoren bevatten alle activiteiten die bkg's uitstoten. Een aantal activiteiten, die energie produceren zonder bkg's uit te stoten, zijn niet in deze classificatie opgenomen en verschijnen dus niet in de nationale inventaris. Het betreft voornamelijk de productie van warmte en elektriciteit door nucleaire, wind- of zonne-energie of het gebruik van biomassa. Deze activiteiten worden toegevoegd bij de sector 1.A.1. (energie-industrie) zodat een volledige energiebalans voor België opgesteld kan worden.

In het model is de evolutie van het bbp een van de verklarende factoren voor het energieverbruik en de bkg-emissies van de sectoren. Een andere gebruikte classificatie verdeelt de economische activiteit (gemeten door het bbp) in vijf bedrijfstakken: landbouw (NACE Rev. 2: sectie A), energie (sectie B en D en C19), industrie (sectie C uitgezonderd C19), bouw (sectie F) en diensten (sectie E en sectie G tot U)².

¹ Een *ad-hoc*relatie (concept gebruikt in WP6-03 van het FPB) is geen identiteit, noch een econometrisch geraamde gedragsvergelijking. Ze berekent een endogene variabele op basis van een of meerdere exogene variabelen, volgens een veronderstelde relatie. Bijvoorbeeld: de groeivoet van het energieverbruik van een sector wordt verondersteld gelijk te zijn aan de groeivoet van de toegevoegde waarde van die sector. Dit levert de volgende *ad-hoc*vergelijking oplevert: $E(t) = E(t-1) * (VA(t) / VA(t-1))$.

² Zie ook sectie 1.3 en 2.2.

Het is niet altijd mogelijk een direct verband te leggen tussen de sectoren en de bedrijfstakken. De sectoren worden gebruikt om de bkg-emissies en het energieverbruik te verdelen terwijl de bedrijfstakken gebruikt worden om de productie van goederen en diensten te verdelen. Bijvoorbeeld, de emissies veroorzaakt door het transport voor eigen gebruik in de bedrijfstak "industrie" en "bouw" worden toegekend aan de sector "transport" en niet aan de sector "productie-industrie en bouw".

Tabel 1 Classificatie van de activiteiten die bkg's uitstoten (common reporting format - CRF)

| Code | Sectoren CRF | Voornaamste activiteiten en emissies |
|---------|---|--|
| 1 | Energie | Onder deze sector en vertakkingen vallen alle bkg-emissies gelinkt aan het energieverbruik |
| 1.A | Gebruik als brandstof | Activiteiten die fossiele energiebronnen als brandstof gebruiken |
| 1.A.1 | Energie- industrie | Elektriciteitsproductie op basis van fossiele brandstoffen, raffinaderijen, cokesovens |
| 1.A.2 | Productie-industrie en bouw | Productie van de verwerkende industrie en van de bouwsector |
| 1.A.3 | Transportsector | Transport (uitgezonderd het internationaal maritiem en luchttransport) |
| 1.A.4 | Overige sectoren | |
| 1.A.4.a | Dienstensector | Diensten, kantoren, handelszaken, opslagplaatsen, etc. |
| 1.A.4.b | Residentiële sector | Emissies gelinkt aan het energieverbruik in woningen (verwarming, warm water, keuken) |
| 1.A.4.c | Landbouw, bosbouw en visserij | Emissies gelinkt aan het energieverbruik in deze sectoren (serre-teelt...) |
| 1.A.5 | Andere verbranding | Emissies verbonden aan militair gebruik |
| 1.B | Fugatieve emissies van brandstoffen | Verlies door verdamping bij transport en distributie van gas |
| 2 | Industriële processen | Emissies geproduceerd door industriële activiteiten, andere dan door energieverbruik (cement, kalk, staalindustrie, chemie...) |
| 3 | Gebruik van solventen en andere producten | Emissies verbonden aan het gebruik van bepaalde producten: solventen, verf, inkt, anesthesische producten... |
| 4 | Landbouwactiviteiten | Emissies verbonden aan landbouwactiviteiten, behalve energieverbruik |
| 5 | Veranderingen in landgebruik en bosbouw | Niet opgenomen in het model, dat de bruto-emissies evalueert, behalve absorptie door de bodem |
| 6 | Afval | Emissies verbonden aan het beheer van afvalstoffen, waterzuivering en afvalverbranding |
| 7 | Overige | Niet gebruikt in België |
| | Internationale bunkers | Buiten CRF, maar opgenomen in de nationale inventarissen als geheugensteun |
| | Luchtvaart | Emissies verbonden aan brandstofverbruik door het internationaal maritiem en luchttransport |
| | Maritiem | Emissies verbonden aan brandstof voor vliegtuigen |
| | | Emissies verbonden aan brandstof voor schepen |

Bron: Nationale Klimaatcommissie, 2010

1.3. Macro-economisch luik en groei

In de meeste backcasting scenario's wordt de macro-economische evolutie niet expliciet weergegeven of bediscussieerd (Ahlroth and Höjer, 2007). Het doel van een backcasting scenario is eerder om een ontwikkelingspad te beschrijven dat leidt naar een gewenst eindbeeld (Dreborg, 1996).

De economische groei is echter een belangrijke eigenschap van de huidige en toekomstige ontwikkeling van de maatschappij. In de duurzame-ontwikkelingsscenario's opgesteld door de TFDO en in *TransAccount* wordt de economische groei wel expliciet weergegeven.

Het bbp is een belangrijke exogene variabele in *TransAccount*. De berekening van het energieverbruik en van de bkg-emissies is namelijk specifiek gebaseerd op het activiteitsniveau van elke sector (zie 1.4.1.). Het activiteitsniveau wordt geraamd op basis van de evolutie van het bbp (verdeeld over 5 bedrijfstakken) over de periode 2011-2050 en de kenmerken van elk scenario. De methodologie die gebruikt wordt om het bbp te verdelen over vijf bedrijfstakken in de scenario's wordt toegelicht in deel 2.2.

De macro-economische evoluties van de duurzame-ontwikkelingsscenario's van de TFDO zijn gebaseerd op de scenario's ontwikkeld met de modellen S3BE en MALTESE van het FPB. Er wordt vooral gebruik gemaakt van het referentiescenario voorgesteld door de Studiecommissie voor de Vergrijzing (Hoge Raad van Financiën, 2012). In dat scenario bedraagt de gemiddelde jaarlijkse groei van het bbp 1,6% tussen 2011 en 2050.

Het referentiescenario gaat echter niet uit van structurele veranderingen die nodig zijn om de toekomstige maatschappelijke uitdagingen op te lossen. Bovendien ligt het huidige patroon van de economische groei, gekenmerkt door niet-duurzame consumptie- en productiepatronen, en de demografische evoluties aan de basis van deze maatschappelijke uitdagingen:

- de kosten van de vergrijzing (pensioenen, kosten van de gezondheidszorg),
- een verhoogd risico van armoede,
- de klimaatverandering (verlaging van de emissies en aanpassing);
- het verlies aan biologische diversiteit;
- de groeiende vraag naar voedselbronnen om een grotere en welvarendere bevolking te voeden.

Een economische groei, gekenmerkt door duurzame consumptie- en productiepatronen, kan oplossingen bieden voor deze maatschappelijke uitdagingen. En dit vooral door het genereren van financiële middelen om aan deze uitdagingen het hoofd te bieden. Dit maakt het mogelijk om het geheel van DDO's te bereiken in 2050.

In de duurzame-ontwikkelingsscenario's van de TFDO wordt verondersteld dat een economische groei, zoals beschreven in het hier boven vermelde referentiescenario, verenigbaar is met het bereiken van het geheel van DDO's. Hiervoor moeten wel beleidsmaatregelen genomen worden om de consumptie- en productiepatronen te wijzigen. Deze beleidsmaatregelen worden opgenomen in de duurzame-ontwikkelingsscenario's.

1.4. Structuur van het model

Dit deel licht de structuur van *TransAccount* toe en verduidelijkt de vergelijkingen die gebruikt worden om de bkg-emissies en het energieverbruik van elke sector te berekenen. De opbouw van de vergelijkingen volgt grotendeels de algemene structuur die beschreven wordt in sectie 1.4.1.

De structuur van het model wordt beschreven per sector in de punten 1.4.2 tot 1.4.10. Allereerst worden per sector de vergelijkingen weergegeven. Hoewel er per sector specifieke wijzigingen worden aangebracht, volgen ze grotendeels de algemene structuur die beschreven wordt in sectie 1.4.1.

Vervolgens worden de gemodelleerde technologieën toegelicht. In het bijzonder worden de hypothesen inzake hun energieprestatie en emissiefactoren beschreven. Deze hypothesen zijn afkomstig uit de wetenschappelijke literatuur en uit studies van erkende instellingen (Internationaal Energieagentschap, OESO, Europese Commissie, Federaal Wetenschapsbeleid, etc.). Een geheel van technologieën is dus gemodelleerd in *TransAccount*. Bij het opstellen van een scenario moet men dus specificeren welke technologieën er gebruikt worden (zie hoofdstuk 2).

Ten slotte worden voor elke sector de bronnen van de historische gegevens vermeld. In de huidige versie van *TransAccount* hebben de historische gegevens betrekking op de periode van 1990 (het referentiejaar van het Kyoto-protocol) - tot 2011 (het meest recente jaar waarvoor de meeste gegevens beschikbaar waren).

Voor bepaalde variabelen zijn er geen historische gegevens beschikbaar tot 2011. Voor deze variabelen werden schattingen gemaakt. Voor het woningpark, bijvoorbeeld, hebben de gegevens van de laatste telling betrekking op het jaar 2001. De vergelijkingen van het model werden daarom gebruikt om het woningpark tussen 2001 en 2011 te schatten.

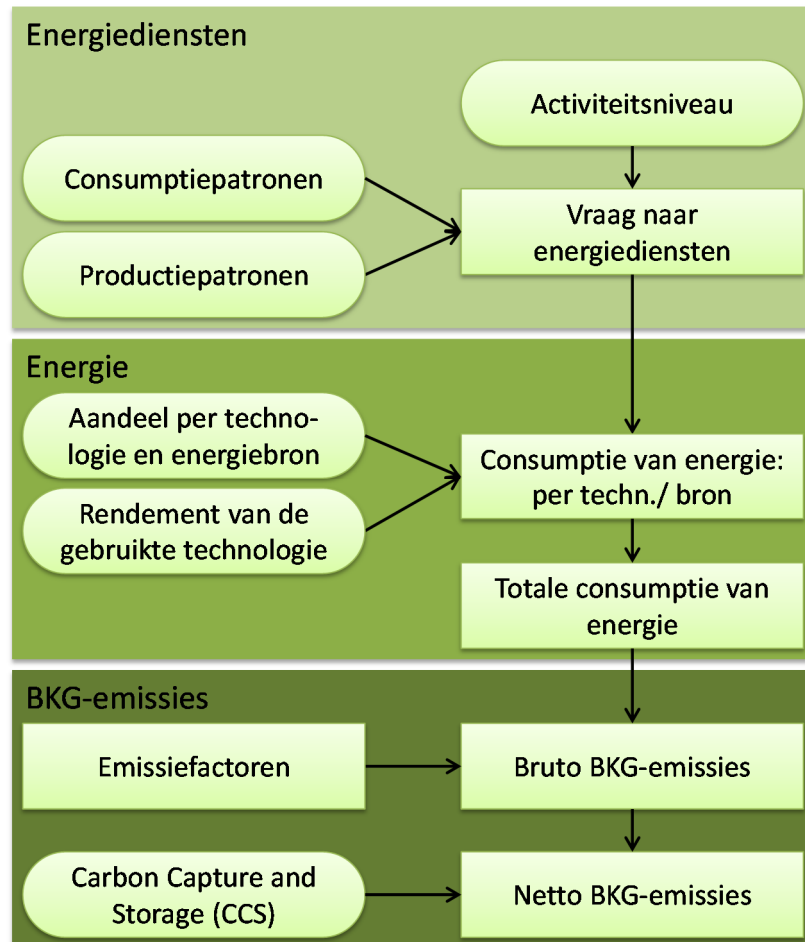
1.4.1. Algemene structuur van het model

Figuur 1 geeft de algemene structuur van *TransAccount* weer. Voor elke sector (zie tabel 1), gebeurt de berekening van het energieverbruik en de bkg-emissies in drie stappen.

In de eerste stap, weergegeven bovenaan de figuur, wordt de vraag naar energiediensten berekend. Energiediensten zijn diensten die mogelijk worden gemaakt door energieverbruik. Enkele voorbeelden van energiediensten zijn: afgelegde kilometers in een voertuig, een aangename omgevingstemperatuur in een gebouw of een zeer hoge temperatuur die ervoor zorgt dat tijdens een productieproces een mineraal wordt omgezet in een metaal. De vraag naar energiediensten hangt af van de evoluties in de consumptie- en productiepatronen (bijvoorbeeld het aandeel van elke transportmodus in de totale transportvraag of de materialen die gebruikt worden in een productieproces). De consumptie- en productiepatronen bevatten ook de hoeveelheid geproduceerde of geconsumeerde goederen en diensten. Dit wordt het activiteitsniveau genoemd. Het gaat, bijvoorbeeld, over het aantal afgelegde kilometer (transportconsumptie) of het aanmaken van cement of staal (industriële productie). Het activiteitsniveau wordt echter als een aparte variabele weergegeven omdat deze variabele systematisch voorkomt in de vergelijkingen. In de tweede stap, weergegeven in het midden van figuur 1, wordt de energieconsumptie berekend. Deze consumptie wordt berekend op basis van de

vraag naar energiediensten (berekend in de eerste stap) en de gebruikte technologie om deze dienst te leveren. Voor elke technologie moet dus de gebruikte energiebron (gas, olie, biomassa,...) en het rendement gespecificeerd worden. Het rendement geeft de hoeveelheid goederen of diensten weer die geproduceerd worden met een eenheid energie.

Grafiek 1 Beschrijving van het model



Noot: De rechthoekige kaders geven berekeningen van Transaccount weer of fysieke wetmatigheden, terwijl de ellipsvormige kaders hypothesen zijn of veranderingen in technologie of gedrag.

In de derde stap, weergegeven onderaan de figuur, worden de bkg-emissies berekend. De bruto emissies worden berekend aan de hand van de consumptie van energiebronnen en hun emissiefactoren (geeft weer hoeveel emissies er geproduceerd worden per eenheid energieconsumptie). In sommige gevallen (in Transaccount gaat dit over de industrie en de productie van elektriciteit) is het mogelijk om bkg-emissies op te vangen en op te slaan (Carbon Capture and Storage - CCS). Deze moeten dan worden afgetrokken van de bruto emissies om de netto emissies te berekenen.

1.4.2. Energie-industrie

a. Algemene benadering

Deze module berekent het elektriciteits- en waterstofverbruik en bepaalt de aangewende middelen voor de productie ervan (CRF 1.A.1). Ze berekent de primaire energieconsumptie die hiervoor nodig is en de daarmee verbonden bkg-emissies. Daarnaast berekent zij het energieverbruik en de bkg-emissies van de raffinaderijen en cokesovens.

Elektriciteitsverbruik

Het elektriciteitsverbruik wordt berekend als de som van het elektriciteitsverbruik (ELD) van de volgende sectoren: productie-industrie en bouw, transportsector, residentiële sector, dienstensector en landbouw, bossen en visvangst. Hierbij moet nog de elektriciteitsconsumptie voor de waterstofproductie worden opgeteld. De groeivoet van het elektriciteitsverbruik van een sector wordt bepaald door de groei van de activiteit van de sector en de groei van het gemiddeld rendement van de elektrische toestellen die in de sector worden gebruikt (het is de inverse van het rendement, namelijk de elektrische energie-intensiteit, die voorkomt in de vergelijkingen).

Voor de productie-industrie en bouw:

$$ELD_{ind}(t) = ELD_{ind}(t-1) * (1 + r_{gdp_ind}(t)) * (1 + r_{elec_ind}(t)) \quad (1)$$

Waarbij r_{gdp_ind} de groeivoet is van de productie-industrie en bouw en r_{elec_ind} de groeivoet van de elektrische energie-intensiteit in de productie-industrie en bouw (deze worden per scenario bepaald, zie 2.3.1).

Voor de transportsector:

$$ELD_{tra}(t) = ELD_{tra}(t-1) * (1 + r_{tra_rail}(t)) * (1 + r_{elec_tra}(t)) \quad (2)$$

Waarbij r_{tra_rail} de groeivoet is van het spoortransport (in voertuigkilometers) en r_{elec_tra} de groeivoet van de elektrische energie-intensiteit van deze transportmodus (zie 2.3.1).

Voor de residentiële sector:

$$ELD_{HH}(t) = ELD_{HH}(t-1) * (1 + r_{HH}(t)) * (1 + r_{elec_HH}(t)) + ELD_{BUJ}(t) \quad (3)$$

Waarbij r_{HH} de groeivoet is van het aantal huishoudens en r_{elec_HH} de groeivoet van elektriciteitsvraag per huishouden. ELD_{BUJ} is de vraag naar elektriciteit voor de verwarming van gebouwen (de warmtepompen - zie deel 1.4.5).

Voor de dienstensector:

$$ELD_{ser}(t) = ELD_{ser}(t-1) * (1 + r_{gdp_ser}(t)) * (1 + r_{elec_ser}(t)) \quad (4)$$

Waarbij r_{gdp_ser} de groeivoet is van de productie in de dienstensector en r_{elec_ser} de groeivoet van de elektrische energie-intensiteit in de dienstensector (zie 2.3.1.).

Voor de landbouw, bossen en visvangst:

$$ELD_{agr}(t) = ELD_{agr}(t-1) * (1 + r_{gdp_agr}(t)) * (1 + r_{elec_agr}(t)) \quad (5)$$

Waarbij r_{gdp_agr} de groeivoet is van de landbouwproductie en r_{elec_agr} de groeivoet van de elektrische energie-intensiteit in de landbouwproductie (zie 2.3.1.).

Het elektriciteitsverbruik bevat ook de elektriciteit die gebruikt wordt voor waterstofproductie door elektrolyse. Met $D_{H_2}(t)$, als het waterstofverbruik (waarvan de raming hieronder wordt beschreven) en $D_{H_2_import}(t)$ als netto-invoer, is het elektriciteitsverbruik dat nodig is voor die productie:

$$ELD_{H_2}(t) = (D_{H_2}(t) - D_{H_2_IMPORT}(t)) / EFF_{ELECTROLYSIS}(t) \quad (6)$$

Het elektriciteitsverbruik is dan:

$$ELD = ELD_{IND} + ELD_{TRA} + ELD_{SER} + ELD_{HH} + ELD_{AGR} + ELD_{H_2} \quad (7)$$

Het waterstofverbruik wordt berekend als de som van het verbruik in de verschillende sectoren (productie-industrie en bouw, transportsector, residentiële sector, dienstensector en de landbouw, bosbouw en visvangst). Een deel van de verbruikte waterstof wordt ingevoerd. Dat deel (in procent) is $TX_{import_H_2}(t)$.

Om te komen tot de totale elektriciteitsvraag moet ELD vermeerderd worden met het eigen verbruik van de elektriciteitssector (met inbegrip van de transportverliezen), de elektriciteitsvraag van de pompcentrales en de elektriciteitsvraag van de raffinaderijen en cokesovens. Die worden berekend als volgt:

- Het eigen verbruik van de elektriciteitssector wordt verondersteld gelijk te zijn aan 9,59% van de vraag ELD , of het gemiddelde over de periode 2000-2011 van het eigen verbruik in de finale elektriciteitsvraag;
- De elektriciteitsvraag van de pompcentrales wordt constant gehouden op het niveau van 2011;
- De elektriciteitsvraag van de raffinaderijen en cokesovens evolueert volgens hun productietempo.

Elektriciteitsproductie

De elektriciteitsproductie $ELP_i(t)$ voor elke technologie i wordt exogeen bepaald. Die productie wordt berekend op basis van het bestaande productiepark, de evolutie van technologieën en de veronderstelde bouw van centrales in elk scenario. Het verschil tussen ELP en ELD ligt in de netto-invoer van elektriciteit. De CO₂-emissies afkomstig van elektriciteitsproductie worden berekend op basis van de emissiefactoren van de gebruikte energie. De CH₄- en N₂O-emissies worden verondersteld even snel te stijgen als de CO₂-emissies.

Raffinaderijen en cokesovens

In dit model evolueren het energieverbruik (aardolie en -gas) en de bkg-emissies van de raffinaderijen in hetzelfde tempo als het verbruik van vloeibare fossiele brandstoffen EC_{oil} door de verschillende sectoren. EC_{oil} wordt berekend als de som van het verbruik van vloeibare brandstoffen door de sectoren

productie-industrie en bouw, transportsector, residentiële sector, dienstensector, landbouw, industriële processen en bunkers. De aardolie die gebruikt wordt de voor elektriciteitsproductie maakt daar geen deel van uit. Dat is om de structuur van het model te vereenvoudigen en omdat de hoeveelheid beperkt is (slechts 2% van het totaal verbruik van de hier vermelde overige vloeibare brandstoffen).

$$EC_{ref}(t) = EC_{ref}(t-1) * EC_{oil}(t) / EC_{oil}(t-1) \quad (8)$$

$$E_{ref}(g,t) = E_{ref}(g,t-1) * EC_{oil}(t) / EC_{oil}(t-1) \quad (9)$$

De bkg-emissies van de cokesovens worden verondersteld evenredig te zijn met de cokesproductie. Die productie evolueert volgens een exogene groeivoet $r_{coke}(t)$.

$$E_{coke}(g,t) = E_{coke}(g,t-1) * (1 + r_{coke}(t)) \quad (10)$$

b. Hypothesen over de gebruikte technologieën

Productie van waterstof

Voor de waterstofproductie wordt in dit model enkel elektrolyse in aanmerking genomen. De rendementen worden berekend op basis van de gegevens van het IEA (2005, p44-48). Het rendement in 2050 (70,4%) wordt berekend als het gemiddelde van het theoretisch maximumrendement voor grote testeenheden die waterstof produceren onder een druk van 400 bar en het huidige maximumrendement in de testeenheden. Het rendement in 2005 bedraagt 50% en kent een constante groeivoet tussen 2005 en 2050.

Elektriciteitsverbruik

Voor het elektriciteitsverbruik worden de technologieën niet expliciet beschreven. De evolutie van de technologieën wordt abstract voorgesteld door een groeivoet van het elektriciteitsverbruik per eenheid van activiteit. Op basis van WBCSD (2005) en Boardman et al. (2005) wordt verondersteld dat de technologische vooruitgang het elektrisch rendement voor motoren en andere apparaten met 50% kan verbeteren tussen 2005 en 2050, of een gemiddelde groei van de rendementen van 1,53% per jaar.

Elektriciteitsproductie

De volgende technologieën worden in dit model beschouwd voor de elektriciteitsproductie.

- Stoom- en gasturbines (STEG - gecombineerde cyclus);
- Gasturbines (single-cyclus);
- Gasturbines op basis van biomassa (single-cyclus);
- Ultrasuperkritische steenkoolcentrale (USC);
- PWR kerncentrales;
- Onshore en offshore windmolens;
- Fotovoltaïsche zonnepanelen;
- geothermische energie

- Brandstofcellen aangedreven door waterstof;
- Warmtekrachtkoppeling en micro-warmtekrachtkoppeling;
- Waterkrachtcentrales;
- Pompcentrales;
- Afvalverbranding met elektriciteitsproductie.

In Transaccount maken we de hypothese dat USC's en STEG's vanaf 2020 uitgerust kunnen worden met koolstofopvang en -opslag (CCS). Het aantal technologieën werd bewust beperkt gehouden om met een eenvoudig model te kunnen werken dat de lange-termijn trends van de elektriciteitsproductie kan beschrijven. Andere technologieën kunnen daaraan worden toegevoegd (bijvoorbeeld centrales met geïntegreerde steenkoolvergassingsinstallatie IGCC). Wat kernenergie betreft, volgt *Transaccount* de wet houdende de kernuitstap van 2003. Die wet bepaalt dat geen enkele nieuwe kerncentrale gebouwd of geëxploiteerd mag worden. Het was dus niet nuttig om nog andere nucleaire technologieën te overwegen dan degene die nu reeds gebruikt worden in de bestaande centrales in België.

Onderstaande tabel geeft de hypothesen inzake rendement en CO₂-afvangpercentage voor gas- en steenkoolcentrales.

Tabel 2 Hypothesen inzake rendement en CO₂-afvangpercentages - gas- en steenkoolcentrales

| | Rendement zonder CCS (2005-2050) | Rendement met CCS (2005-2050) | CO ₂ -afvangpercentage |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Stoom- en gasturbines | 56% - 70% | 53% - 66% | 100% |
| Gasturbine | 40% - 44% | - | - |
| Ultrasuperkritische steenkoolcentrales (USC) | 30% - 50% | 25% - 42% | 100% |

Bron: IEA (2004) pp 56-57

De gasturbines (single-cyclus) die werken op gas uit biomassa hebben hetzelfde rendement als de gasturbines in de bovenstaande tabel.

Er werden hypothesen opgesteld over het maximumpotentieel van bepaalde energiebronnen in België. Zij komen uit de studie *Towards 100% renewable energy in Belgium in 2050* (FPB, IECDD, VITO, 2012).

- Waterkracht- en pompcentrales: het maximumpotentieel wordt reeds gebruikt in België.
- Offshore windmolens: maximumcapaciteit van 8 GW.
- Onshore windmolens: een maximumcapaciteit van 9 GW kan geïnstalleerd worden.
- Fotovoltaïsche zonnepanelen: er werd uitgegaan van een installeerbare oppervlakte van 250 km² (of ongeveer 50 GW).
- Geothermische energie: een potentieel van 4 GW.

c. Bronnen van de historische gegevens

De gegevens over het energieverbruik (totaal verbruik en per brandstof) en de bkg-emissies komen uit de nationale bkg-inventarissen. De gegevens over elektriciteitsproductie komen van Eurostat.

1.4.3. Productie-industrie en bouw

a. Algemene benadering

Deze module heeft tot doel het energieverbruik en de bkg-emissies van de productie-industrie en de bouwsector (CRF 1.A.2.) te berekenen. Het elektriciteitsverbruik wordt niet in aanmerking genomen maar wordt met het overige elektriciteitsverbruik behandeld in de module over de productie en het verbruik van elektriciteit (1.4.2). De bkg-emissies afkomstig van industriële processen komen aan bod in punt 1.4.8.

De industriële activiteiten zijn talrijk en elke industrie gebruikt eigen technologieën en processen. Het is onmogelijk om alle industriële bedrijven individueel te modeleren. In TA wordt voor een globale benadering gekozen. Het energieverbruik van deze sector wordt berekend op basis van het activiteitsniveau van de geaggregeerde productie-industrie en de bouw en de gemiddelde energie-efficiëntie van de volledige sector.

Aangezien het erom gaat scenario's van duurzame ontwikkeling te ontwikkelen, volstaat het niet om alleen rekening te houden met de verbetering van de energie-intensiteit van de fabricatieprocessen. Ook de impact van de gewijzigde consumptie- en productiepatronen moet in het model verrekend worden.

Structurele wijzingen in de productie- en consumptiepatronen met het oog op goederen en diensten die minder energie verbruiken en gedurende hun volledige levenscyclus, en vooral tijdens hun productie, minder bkg's uitstoten kunnen inderdaad niet alleen gemodelleerd worden via de verbetering van de energie-intensiteit van de industriële productie. Het betreft bijvoorbeeld een evolutie naar meer recycleerbare goederen, met een langere levensduur, die herstelbaar zijn of waarvoor regelmatige actualiseringen voorzien zijn, of een grotere verschuiving naar de diensten. Die evoluties worden op abstracte wijze weergegeven door groeivoet $r_{map}(t)$.

De groei van het energieverbruik in de productie-industrie en de bouw wordt berekend aan de hand van de groeivoeten van de industriële activiteit $r_{gdp_ind}(t)$, de energie-intensiteit $r_{int}(t)$ en van de impact van de gewijzigde consumptie- en productiepatronen (weergegeven door groeivoet $r_{cpp}(t)$).

Energieverbruik

$$E(t) = E(t-1) * (1 + r_{gdp_ind}(t)) * (1 + r_{int}(t) + r_{cpp}(t)) \quad (11)$$

De opsplitsing van het energieverbruik over de verschillende energiebronnen (f) gebeurt op basis van het respectieve aandeel van die energiebronnen $sh(f,t)$.

Energieverbruik per energiebron

$$EC(f,t) = sh(f,t) * E(t) \quad (12)$$

Met

$$\sum_f sh(f,t) = 1$$

De CO₂-emissies worden berekend op basis van het gemiddelde koolstofgehalte van elke energiebron $CC(f)$, terwijl de CH₄- en N₂O-emissies verondersteld worden in hetzelfde tempo te stijgen als de CO₂-emissies.

CO₂-emissies

$$E(\text{CO}_2, t) = \sum_f [EC(f, t) * CC(f, t)] \quad (13)$$

CH₄- en N₂O-emissies

$$E(g, t) = E(g, t-1) * E(\text{CO}_2, t) / E(\text{CO}_2, t-1) \quad (14)$$

Een deel van de industriële warmte wordt samen met elektriciteit geproduceerd in warmtekrachtkoppeling-centrales (WKK-centrales). De energieconsumptie in deze sector wordt opgedeeld in twee categorieën: energie gebruikt met WKK en energie gebruikt zonder WKK. In *Transaccount* is de elektriciteitsopwekking via warmtekrachtkoppeling exogeen. De energieproductie en bkg-emissies van de WKK-centrales worden in deze sector ingedeeld en niet in de elektriciteitssector.

b. Hypothesen over de gebruikte technologieën

In deze module is er geen individuele modellering van de technologieën. De evolutie van de energie-efficiëntie omvat de evoluties van alle gebruikte technologieën in de productie-industrie en de bouw. De studie VLEEM (Enerdata et al., 2005) werd gebruikt om een realistische waarde voor de verbetering van de energie-intensiteit in de industrie te schatten.

In deze sector schommelen de emissiefactoren aanzienlijk van jaar tot jaar. De sector bestaat uit tal van industrieën, waarvan de individuele emissiefactoren, het aantal bkg-emissies per eenheid verbruikte energie, verschillen. Op basis van het activiteitsniveau van elke industrie, voor een gegeven jaar, kan de totale emissiefactor van de productie-industrie dus sterk verschillen. In de projectie werden de emissiefactoren op het niveau gehouden van het laatst waargenomen jaar, namelijk 2011.

c. Bronnen van de historische gegevens

De gegevens over het energieverbruik (totaal verbruik en per energiebron), de bkg-emissies en de emissiefactoren komen uit de nationale bkg-inventarissen. De gegevens over elektriciteitsopwekking via warmtekrachtkoppeling (WKK-centrales) komen van Eurostat. De gegevens over het activiteitsniveau van de productie-industrie en de bouw komen uit de HERMES-databank (Bassilière et al., 2013).

1.4.4. Transportsector

a. Algemene benadering

Deze module heeft tot doel het energieverbruik en de bkg-emissies van de transportsector (CRF 1.A.3.) te berekenen.

Het gaat hier om het weg-, spoor- en binnenvaarttransport. Het internationaal lucht- en zeetransport, dat overeenstemt met de bunkers in de energiebalansen en de emissie inventarissen, wordt behandeld in een andere module (punt 1.4.9.). Het niet-gemotoriseerd transport komt niet expliciet aan bod in dit model, aangezien het geen energie verbruikt en geen bkg's uitstoot. Er wordt wel impliciet mee rekening gehouden. Wanneer de evoluties in de transportmodi worden opgesteld wordt er vaak gekeken naar studies of maatregelen die wel rekening houden met dit niet-gemotoriseerd transport.

Het energieverbruik van de transportsector wordt berekend op basis van het aantal afgelegde voertuigkilometer (vkm) per transportmodus vermenigvuldigd met het energieverbruik (benzine, diesel, elektriciteit, enz.) dat nodig is voor een verplaatsing van één km met dat transportmodus. Die berekening wordt als volgt opgedeeld.

De vraag naar personenvervoer $TP(t)$ wordt berekend door de vraag naar transport per persoon $TIP(t)$, gemeten in reizigerskilometer te vermenigvuldigen met de bevolkingsgrootte. De vraag naar transport per persoon verhoogt met een exogene groeivoet $r_{tip}(t)$.

De vraag naar goederenvervoer $TG(t)$ wordt berekend aan de hand van de transportintensiteit van de toegevoegde waarde $VA(t)$ van de volgende bedrijfstakken: landbouw, energie, productie-industrie en de bouw (er wordt geen rekening gehouden met de diensten aangezien deze relatief weinig goederenvervoer veroorzaakt). De transportintensiteit meet het aantal ton-kilometer dat nodig is voor het creëren van één euro toegevoegde waarde. De transportintensiteit verhoogt met een exogene groeivoet $r_{tig}(t)$. De vraag naar goederenvervoer wordt berekend door de transportintensiteit te vermenigvuldigen met de toegevoegde waarde van de verschillende bedrijfstakken.

Transportvraag

$$TIP(t) = TIP(t-1) * (1 + r_{tip}(t)) \quad (15)$$

$$TIG(t) = TIG(t-1) * (1 + r_{tig}(t)) \quad (16)$$

$$TP(t) = TIP(t) * POPULATION(t) \quad (17)$$

$$TG(t) = TIG(t) * VA(t) \quad (18)$$

Deze transportvraag wordt verdeeld over de verschillende transportmodus i op basis van de exogene variabele $shp_i(t)$ voor het personenvervoer en de exogene variabele $shg_i(t)$ voor het goederenvervoer. Elke transportmodus wordt ook gekenmerkt door een bezettingsgraad $lp_i(t)$ (voor personen) of een beladingsgraad $lg_i(t)$ (voor goederen). Voor elke transportmodus i (de verschillende transportmodi worden gedefinieerd in punt b) wordt het aantal voertuigkilometer, VP_i voor het personenvervoer en VG_i voor het goederenvervoer berekend met de vergelijkingen 19 en 20. Om de schrijfwijze te vereenvoudigen, wordt de variabele tijd t niet expliciet weergegeven in de onderstaande vergelijkingen, waar enkel de emissiefactoren $EF(f,g)$ en de functie $\delta(j,f)$ constant zijn in de tijd.

Gebruik van voertuigen

$$VP_i = shp_i / lp_i * Tp_i \quad (19)$$

$$VG_i = shg_i / lg_i * TG_i \quad (20)$$

Het energieverbruik wordt berekend per energiebron. De functie $\delta(j,f)$ is gelijk aan 1 indien technologie j energiebron f gebruikt en nul in de andere gevallen. Het energieverbruik per kilometer van transportmodus i die gebruik maakt van technologie j wordt weergegeven door ε_{ij} . Het aandeel van de voertuigen van transportmodus i die gebruik maken van technologie j wordt weergegeven door st_{ij} . Het verbruik van energiebron f wordt dus berekend als:

Energieverbruik per energiebron

$$EC(f) = \sum_j [\delta(j,f) * \sum_i [\varepsilon_{ij} * st_{ij} * VP_i]] + \sum_j [\delta(j,f) * \sum_i [\varepsilon_{ij} * st_{ij} * VG_i]] \quad (21)$$

Het totale energieverbruik in de transportsector is de som van het verbruik van elke energiebron.

Totale energieverbruik

$$EC = \sum_f EC(f) \quad (22)$$

De emissies van elk broeikasgas g worden berekend op basis van dat energieverbruik en de emissiefactoren $EF(f,g)$ per gebruikte energie-eenheid.

bkg-emissies

$$E(g) = \sum_f [EC(f) * EF(f,g)] \quad (23)$$

b. Hypothesen over de gebruikte technologieën

In de transportsector worden de technologieën beschreven aan de hand van combinaties van voertuigtypes (of transportmodi) en types van motoren en energiebronnen.

Voertuigen of transportmodi

De beschouwde transportmodi voor personen zijn de auto, de bus en de autocar, en de trein (inclusief tram en metro). Voor goederen zijn dat lichte bestelwagens (minder dan 3,5 ton), zware vrachtwagens (meer dan 3,5 ton), de trein en het waterwegtransport.

Het niet-gemotoriseerd transport (te voet en per fiets) wordt niet weergegeven in dit model, aangezien het geen energievector gebruikt en geen bkg's uitstoot.

Motoren en energiebronnen

De in dit model beschouwde motortypes zijn:

- elektromotoren aangedreven door brandstofcellen op waterstof;
- interne verbrandingsmotoren die werken op fossiele brandstoffen;
- interne verbrandingsmotoren die werken op agrobrandstoffen;
- elektromotoren die rechtstreeks door het net gevoed worden (treinen).

De huidige kenmerken (energie-efficiëntie, of hoeveelheid verbruikte energie per km) van die technologieën zijn gebaseerd op verschillende bronnen:

- Concawe (2005) en de eigenschappen van de gecommmercialiseerd voertuigen in 2013 voor voertuigen op brandstofcellen,
- Het project SUSATRANS (De Vlieger et al., 2005) voor de emissiefactoren en het verbruik van de wegvoertuigen.
- Het verbruik van treinen en binnenvaartschepen wordt gereconstrueerd op basis van de globale gegevens over de afgelegde kilometers (gegevensbank transport FPB) en het verbruik van de sector (NKC, 2013 voor de waterwegen, gegevensbank transport FPB)

Voor de efficiëntie van de voertuigen op elektromotoren aangedreven door brandstofcellen op waterstof stelt Concawe (2005) een waarde voor van 0,94 MJ/km vanaf 2010. De twee huidige gecommmercialiseerde voertuigen op brandstofcellen (Mercedes B-class et Hyundai ix35) hebben een waarde van ongeveer 1,1 MJ/km. Om rekening te houden met het feit dat deze waarde gebaseerd is op tests en niet op het actueel verbruik (het actueel verbruik is vaak hoger dan deze in test) weerhouden we een waarde van 1,3 MJ/km voor 2010. Voor 2050 stelt de IEA (2005) een waarde voor van 0,7 MJ/km (gebaseerd op cijfers van het departement van energie van de Verenigde Staten). Deze waarde wordt gebruikt in *TransAccount*. Er wordt uitgegaan van een evenredige verbetering voor alle voertuigtypes (wagens, bestelwagens, vrachtwagens, bussen...).

De hypothesen over de evolutie van de energie-efficiëntie van de interne verbrandingsmotoren zijn afkomstig van Bristow et al. (2004). Zij veronderstellen dat de interne verbrandingsmotoren in 2050 een uitstoot van 71g CO₂/km (0,98MJ/km of ongeveer 3 liter/100km) kunnen halen dankzij de technologische vooruitgang, de algemene introductie van hybride wagens en de vermindering van de massa en de cilinderinhoud van de wagens. Deze hypothese is sterker dan het voorstel van de 4l/100km van de *Global Fuel Economy Initiative* (GFEI, 2009). De hypothese afkomstig van Bristow et al. (2004) kan echter verantwoord worden door te stellen dat het gewicht en de cilinderinhoud van auto's sterker daalt dan verondersteld wordt door de GFEI. Er wordt uitgegaan van een evenredige verbetering voor alle voertuigtypes (wagens, bestelwagens, vrachtwagens, bussen...).

Voor personenwagens die rijden op fossiele brandstoffen werden gemiddelde waarden tussen benzinewagens en dieselwagens gebruikt, gewogen via het respectieve aandeel van die twee types. De "verdiepseling" van het wagenpark zou constant blijven na 2008.

Voor CO₂ worden de emissiefactoren berekend op basis van het koolstofgehalte van de brandstoffen en voor methaan en distikstofmonoxide op basis van de emissies uit de nationale bkg-inventarissen (NKC 2010).

Overzicht van de gebruikte technologieën

Tabel 3 geeft aan welke combinaties van voertuigen en motoren/energiebronnen in aanmerking genomen worden in het model.

Tabel 3 Voertuigen, motoren en energiebron

| | Interne verbranding, fossiele brandstoffen | Interne verbranding, agrobrandstoffen | Elektrisch, brandstofcellen (waterstof) | Elektrisch, directe voeding |
|---------------------|--|---------------------------------------|---|-----------------------------|
| Reizigers | | | | |
| Wagens | X | X | X | |
| Bussen en autocars | X | X | X | |
| Treinen, tram metro | | | | X |
| Goederen | | | | |
| Lichte vrachtwagens | X | X | X | |
| Zware vrachtwagens | X | X | X | |
| Treinen | | | | X |
| Binnenvaartschepen | X | X | X | |

c. Bronnen van de historische gegevens

De gegevens over het energieverbruik (totaal en per brandstof) en de bkg-emissies komen uit de nationale bkg-inventarissen. De specifieke gegevens over de transportsector, in het bijzonder het aantal afgelegde kilometers voor elke transportmodus, gemeten in reizigerskilometer enerzijds en in tonkilometer anderzijds, zijn afkomstig van de Transportdatabank van het Federaal Planbureau (2013).

1.4.5. Residentiële sector

a. Algemene benadering

Deze module heeft tot doel het energieverbruik en de bkg-emissies van de residentiële sector (CRF 1.A.4.b) te berekenen volgens een benadering gebaseerd op Hens et al. (2001) en De Herde et al. (2000). Het elektriciteitsverbruik wordt niet in aanmerking genomen (behalve voor waterpompen) maar wordt met het overige elektriciteitsverbruik behandeld in de module over de productie en het verbruik van elektriciteit (1.4.2).

Het energieverbruik van de residentiële sector omvat in hoofdzaak de verwarming van woningen (ongeveer 80% van dat verbruik; ICEDD, 2012) en de productie van warm water voor sanitair gebruik en het energieverbruik in de keuken. In dit model worden enkel de verwarmingsbehoeften in detail geëvalueerd. Er wordt verondersteld dat het niet-elektrische energieverbruik voor de productie van warm water voor sanitair gebruik en de keuken evolueert zoals dat voor verwarming.

Het totale energieverbruik wordt berekend als de som van het individuele verbruik van elke woningcategorie $C(d,k,s)$, vermenigvuldigd met het aantal woningen in die categorie $N(d,k,s)$, waarbij de parameter d staat voor het woningtype, k voor het isolatieniveau en s voor het verwarmingssysteem. Hieronder worden de waarden beschreven die deze parameters in dit model kunnen aannemen. Om de schrijfwijze te vereenvoudigen, wordt de variabele tijd t niet expliciet weergegeven in de

onderstaande vergelijkingen, waar enkel het koolstofgehalte $CC(f)$ en de functie $\delta(j,f)$ constant zijn in de tijd.

Voor elke woning wordt het energieverbruik berekend op basis van drie parameters d , k en s . De Herde et al. (2000) geven een schatting van het energieverbruik van een groot aantal woningcategorieën.

Energieverbruik per woning

$$C = C(d,k,s) \quad (24)$$

Aan elk verwarmingssysteem beantwoordt slechts één energiebron f . De functie $\delta(j,f)$ is gelijk aan 1 indien het verwarmingssysteem s de energiebron f gebruikt en 0 in de andere gevallen.

Het totale energieverbruik van de residentiële sector en de bkg-emissies kunnen dus worden berekend per energiebron.

Energieverbruik per energiebron

$$EC(f) = \text{climate_factor} * \sum_{m,k,s} [N(d,k,s) * C(d,k,s) * \delta(d,f)] \quad (25)$$

Totale energieverbruik

$$EC = \sum_f [EC(f)] \quad (26)$$

CO₂-emissies

$$E = \sum_f [EC(f) * CC(f)] \quad (27)$$

Waarbij $CC(f)$ het koolstofgehalte (in t CO₂ per GJ) is van energiebron f .

De variabele $\text{climat_factor}(t)$ is ingevoerd om rekening te houden met de daling van de vraag naar verwarming naar aanleiding van de klimaatopwarming. De raming van die parameter wordt hieronder toegelicht (zie punt c).

In de residentiële sector evolueren de overige bkg-emissies evenredig met de CO₂-emissies (die 99% van de emissies van de sector uitmaken).

b. Hypothesen over de gebruikte technologieën

Elke woning bezit een reeks kenmerken die bepalend zijn voor haar jaarlijks gemiddeld energieverbruik en de gebruikte energiebron. De verschillende combinatiemogelijkheden van die kenmerken vormen het geheel van de beschikbare technologieën.

Die kenmerken zijn:

- Woningtype (huis, appartement... - parameter d);
- Isolatie niveau (K-peil - parameter k);
- Verwarmingssysteem (type verwarmingsketel... - parameter s).

Op basis van de studie van De Herde et al. (2000) wordt het energieverbruik geraamd voor elke woningcategorie, voor elke combinatie van woningtype, isolatieniveau en verwarmingssysteem. In het geval van de lokale netwerken wordt de studie van Abu-Sharkh et al. (2006) gebruikt.

Woningtype

Er bestaan verschillende types woningen: individuele woning met 2, 3 of 4 gevels, appartement, enz. In het kader van dit model worden die types gegroepeerd in drie categorieën: tweegevelwoningen (M2), viergevelwoningen (M4) en appartementen (AP).

Woningtypes m: M2, M4, AP

Om het model eenvoudig te houden, worden elementen zoals de oppervlakte, het volume of het aantal woonvertrekken niet in aanmerking genomen.

Isolatieniveau

Elke woning wordt gekenmerkt door een isolatieniveau. Volgens de in 2000 in België geldende normen wordt in dit model het isolatieniveau gekenmerkt door parameter K. Een beschrijving van die parameter wordt gegeven in Federaal Planbureau (2006). In dit model gaan de beschouwde isolatieniveaus van K100 (zwakke warmte-isolatie) tot K20 (hoge isolatie).

Isolatieniveaus van woningen k: K20 ... K100

Verwarmingssysteem

Elke woning wordt gekenmerkt door een verwarmingssysteem. Aan een verwarmingssysteem beantwoordt één enkele energiebron en eventueel een capaciteit van elektriciteitsproductie als de warmte wordt opgewekt met warmtekrachtkoppeling. Op basis van de simulaties van De Herde et al. (2000) worden de volgende verwarmingssystemen beschouwd.

Verwarmingssystemen s: Centrale verwarming op stookolie (conventionele en hoogrendementsketel)
Centrale verwarming op gas (conventionele en hoogrendementsketel)
Centrale verwarming op hout (alleen voor huizen)
Centrale verwarming op steenkool (alleen voor huizen)
Warmtepompen, elektriciteit
Stadsverwarming, gas in warmtekrachtkoppeling (alleen appartementen)
Lokale netwerken, gas met warmtekrachtkoppeling
Lokale netwerken, waterstof met warmtekrachtkoppeling

De moderne verwarmingsketels die vandaag in de handel beschikbaar zijn, hebben reeds een zeer hoog rendement. De beschikbare marge voor verbetering is dus zeer gering. In dit model wordt dan ook verondersteld dat het rendement van een verwarmingssysteem constant is in de tijd. Het rendement kan echter verschillen van systeem tot systeem (bijvoorbeeld conventionele centrale verwarming op stookolie en een hoogrendementssysteem) Het gemiddelde rendement van alle bestaande verwarmingssystemen kan dus evolueren naarmate laagrendementssystemen vervangen worden door hoogrendementssystemen.

Voor verwarmingssystemen met warmtekrachtkoppeling wordt, naast het berekende energieverbruik zoals toegelicht in dit deel, een capaciteit van elektriciteitsproductie verondersteld.

In dit model wordt het gebruik van bepaalde verwarmingssystemen beperkt tot bepaalde woningtypes. Die beperking wordt hierboven aangegeven in de lijst van verwarmingssystemen die beschouwd worden in dit model.

De klassieke elektrische verwarming (convectoren en accumulatieverwarming als hoofdverwarmingssysteem) wordt niet opgenomen in die lijst. De elektriciteitsvraag afkomstig van die verwarmingssystemen wordt opgenomen in de elektriciteitsvraag van de residentiële sector (zie 1.4.2.). Elektrische verwarming vertegenwoordigt echter maar 7% van de verwarmingssystemen (gegevens van 2001). In de praktijk zou de invloed ervan heel gering zijn aangezien verondersteld wordt dat elektrische verwarmingssystemen zouden afnemen in de scenario's van duurzame ontwikkeling die in dit model bestudeerd worden.

Airconditioning gebruikt elektriciteit als energiebron en wordt daarom behandeld in de module die het verbruik en de productie van elektriciteit modelleert (1.4.2.). Aangezien dit model gecreëerd werd om duurzame-ontwikkelingsscenario's te ontwikkelen, wordt verondersteld dat de toenemende thermische isolatie van gebouwen en het gebruik van passieve zonnebescherming (luiken, vegetatie, enz.) het gebruik van koeling systemen in België in ruime mate kunnen verminderen.

c. Hypothese over het effect van de klimaatverandering

De globale opwarming leidt tot een temperatuurstijging in België. Op basis van Marbaix en van Ypersele (2004) wordt verondersteld dat die temperatuurstijging tussen de periode 1999-2003 en het jaar 2050 1°C zou bedragen voor België. Die beperkte stijging van 1°C stemt overeen met de scenario's van duurzame ontwikkeling waarin de DDO om de globale opwarming tot 2°C te beperken, wordt bereikt. De periode 1999-2003 wordt gekozen als referentieperiode omdat ze toegespitst is op het jaar 2001, het laatste jaar waarvoor gedetailleerde gegevens over het woningenpark beschikbaar zijn.

Die opwarming van de aarde heeft een invloed op het aantal graaddagen en bijgevolg op de verwarmingsvraag. Om dat effect te evalueren, werd een lineaire vergelijking geschat die de energievraag van huishoudens (exclusief de vraag naar elektriciteit) koppelt aan de gemiddelde jaarlijkse temperatuur die tussen 1990 en 2011 in Ukkel werd opgetekend. Een opwarming van 1°C tussen de periode 1999-2003 en het jaar 2050 stemt overeen met een daling van de energievraag van huishoudens met 9,1%.

Het energieverbruik voor verwarming wordt gecorrigeerd om rekening te houden met die verwachte klimaatontwikkeling, door de energievraag te vermenigvuldigen met de correctiefactor *climat_factor(t)* die exponentieel verminderd van 1 naar 0,909 tussen 2001 en 2050.

d. Bronnen van de historische gegevens

De gegevens over het energieverbruik en de bkg-emissies zijn afkomstig van de nationale bkg-inventarissen. De gegevens van de sociaaleconomische enquête van 2001 werden gebruikt om het

huidige woningenpark te beschrijven in termen van woningtype en opsplitsing van de verwarmingssystemen. Voor het isolatieniveau van de gebouwen daarentegen bestaat er, voor zover ons bekend, geen databank met die gegevens. Er wordt dus verondersteld dat het gemiddelde isolatieniveau, dat de Herde et al. (2000) raamden op K100, gelijk was voor alle gebouwen in 2001.

1.4.6. Dienstensector

a. Algemene benadering

Deze module heeft tot doel het energieverbruik en de bkg-emissies van de dienstensector (CRF 1.A.4.a) te berekenen. Het elektriciteitsverbruik wordt niet in aanmerking genomen maar wordt met het overig elektriciteitsverbruik behandeld in de module over de productie en het verbruik van elektriciteit (1.4.2).

In dit model wordt de groei van het energieverbruik en van de emissies van de sector berekend op basis van de groei van de productie van sector $r_{ser}(t)$ en van de energie-efficiëntie van sector $r_{eff}(t)$. Buiten elektriciteit is de voornaamste energievraag van de dienstensector de verwarming van gebouwen. De gekozen benadering gaat ervan uit dat de verbetering van de energie-efficiëntie van de sector gelijk is aan die van de residentiële sector (zie punt 1.4.5).

Energieverbruik:

$$EC(t) = EC(t-1) * (1 + r_{ser}(t)) * (1 + r_{int}(t)) \quad (28)$$

Met

$$r_{int}(t) = (EC_{dwellings}(t) / N_{dwellings}(t)) / (EC_{dwellings}(t-1) / N_{dwellings}(t-1)) - 1 \quad (29)$$

Waarbij $N_{dwellings}$ staat voor het aantal woningen en $EC_{dwellings}$ voor het energieverbruik van alle woningen.

De opsplitsing van het energieverbruik over de verschillende energiebronnen gebeurt op basis van respectieve aandeel van die energiebronnen $sh(f,t)$.

Energieverbruik per energiebron

$$EC(f,t) = sh(f,t) * E(t) \quad (30)$$

Met

$$\sum_f sh(f,t) = 1$$

b. Hypothesen over de gebruikte technologieën

De gebruikte technologieën in die sector worden slechts abstract weergegeven in het model. Het is de toename van de energie-efficiëntie, die dezelfde evolutie kent als in de residentiële sector, die de evolutie van die technologieën weergeeft.

c. Bronnen van de historische gegevens

De gegevens over het energieverbruik en de bkg-emissies zijn afkomstig van de nationale bkg-inventarissen (NKC, 2013). De productiegegevens van de dienstensector komen uit de HERMES-databank (Bassilière et al., 2013).

1.4.7. Landbouw, bosbouw en visvangst - Landbouwactiviteiten

a. Algemene benadering

Deze module heeft tot doel het energieverbruik en de bkg-emissies in de landbouw te berekenen. Dit omvat, enerzijds, het energieverbruik van de landbouw, bosbouw en visvangst en de bkg-emissies die eruit voortvloeien (CRF 1.A.4.c). Anderzijds omvat dit de bkg-emissies die rechtstreeks worden veroorzaakt door landbouwactiviteiten, vooral de veeteelt (darmgisting...) en het bodembeheer (mest...) (CRF 4). Het elektriciteitsverbruik wordt niet in aanmerking genomen maar met het overig elektriciteitsverbruik behandeld in de module over de productie en het verbruik van elektriciteit (1.4.2).

Het energieverbruik in de landbouw, bosbouw en visvangst wordt opgesplitst in twee categorieën: het energieverbruik van de serre-teelt en het overige energieverbruik. De bkg-emissies die rechtstreeks door landbouwactiviteiten worden veroorzaakt worden eveneens opgedeeld in twee categorieën: emissies veroorzaakt door de veeteelt en de emissies veroorzaakt door bodembeheer.

Wat de serre-teelt betreft, hangt het energieverbruik enerzijds af van het activiteitsniveau, gemeten door de oppervlakte van de serres (die verhoogt met de groeivoet $r_{agr_gh}(t)$) en anderzijds van de gebruikte technologieën om de serres te verwarmen. Iedere technologie wordt gekenmerkt door de gebruikte energiebron, het thermisch rendement $\alpha_q(t)$ en het elektrisch rendement $\alpha_e(t)$. Dit energieverbruik wordt in de praktijk berekend op basis van de effectief voor de serreverwarming geproduceerde warmte (Useful Heat - UH), en gedeeld door het gemiddeld thermisch rendement van de gebruikte technologieën.

Energieverbruik voor de serre-teelt

$$UH_{gh}(t) = UH_{gh}(t-1) * (1 + r_{agr_gh}(t)) \quad (31)$$

$$EC_{gh}(t) = UH_{gh}(t) * \sum_{tech} [sh(tech,t) / \alpha_q(tech,t)] \quad (32)$$

met $sh(tech,t)$ als de aandelen van elke technologie tot het jaar t , waarbij de som van die aandelen gelijk is aan 1.

Elke technologie gebruikt één energiebron. De bkg-emissies van de serre-teelt worden dus berekend door het energieverbruik te vermenigvuldigen met de respectieve emissiefactoren en dit voor elk bkg.

Wanneer de warmte wordt opgewekt met warmtekrachtkoppeling, is de elektriciteitsproductie gelijk aan:

Elektriciteitsproductie voor de serre-teelt

$$ELP_{gh}(t) = EC_{gh}(t) * \sum_{tech} [sh(tech,t) * \alpha_e(tech,t)] \quad (33)$$

Het overige energieverbruik evolueert, enerzijds, naargelang de groei van die activiteit die in dit model in dezelfde mate evolueert als de gehele landbouwactiviteit $r_{gdp_agr}(t)$ en, anderzijds, naargelang de evolutie van de energie-efficiëntie van die activiteit $r_{ngh}(t)$.

Overige energieverbruik

$$EC_{ngh}(t) = EC_{ngh}(t-1) * (1 + r_{gdp_agr}(t)) * (1 + r_{ngh}(t)) \quad (34)$$

De bkg-emissies veroorzaakt door het overige energieverbruik worden berekend door het verbruik van elke energiebron te vermenigvuldigen met de respectievelijke emissiefactoren.

De bkg-emissies die verband houden met de landbouwactiviteiten worden opgesplitst in emissies als gevolg van veeteelt (darmgisting, mest) en die als gevolg van andere activiteiten, hoofdzakelijk het bodembeheer. De emissies veroorzaakt door de veeteelt evolueren jaarlijks met $r_{meat}(t)$. De emissies van het bodembeheer evolueren door de combinatie van de groei van de landbouw $r_{gdp_agr}(t)$ en de groei van de emissiefactoren van die activiteiten $r_{aa}(t)$.

Emissies van de landbouwactiviteiten

$$\text{Veeteelt: } E_{meat}(g,t) = E_{meat}(g,t-1) * (1 + r_{meat}(t)) \quad (35)$$

$$\text{Bodembeheer: } E_{cult}(g,t) = E_{cult}(g,t-1) * (1 + r_{gdp_agr}(t)) * (1 + r_{aa}(t)) \quad (36)$$

b. Hypothese over de gebruikte technologieën

Voor de serre-teelt worden de volgende technologieën voorgesteld:

- warmteopwekking enkel op basis van koolstof, stookolie, gas of biomassa
- de opwekking van warmte en elektriciteit via warmtekrachtkoppeling op basis van stookolie, gas, biomassa of waterstof.

Elk van deze technologieën wordt gekenmerkt door een thermisch rendement $\alpha_q(t)$ en een elektrisch rendement $\alpha_e(t)$, die exogeen bepaald zijn. Het aandeel van elk van die technologieën kan evolueren in de tijd en moet in elk scenario worden bepaald. De technologische vooruitgang in die sector wordt voorgesteld door de evolutie van de rendementen en de mogelijkheid om een technologie te gebruiken die momenteel opgang maakt: warmtekrachtkoppeling op basis van waterstof.

De gebruikte waarden zijn de volgende (tabel 4).

Tabel 4 Hypothesen inzake rendement voor warmtekrachtkoppeling in de serre-teelt

| Productiepatronen en brandstof | Thermisch rendement | Elektrisch rendement |
|--|---------------------|----------------------|
| Enkel warmteopwekking | $\alpha_q = 0,90$ | $\alpha_e = 0,00$ |
| Warmtekrachtkoppeling op basis van stookolie | $\alpha_e = 0,517$ | $\alpha_e = 0,39$ |
| Warmtekrachtkoppeling op basis van gas | $\alpha_e = 0,517$ | $\alpha_e = 0,39$ |
| Warmtekrachtkoppeling op basis van biomassa | $\alpha_e = 0,517$ | $\alpha_e = 0,39$ |
| Warmtekrachtkoppeling op basis van waterstof | $\alpha_e = 0,35$ | $\alpha_e = 0,55$ |

In deze versie van *TransAccount* wordt verondersteld dat deze rendementen constant blijven in de tijd.

Voor het overige energieverbruik wordt de technologische vooruitgang voorgesteld door de evolutie van de energie-efficiëntie $r_{ngh}(t)$.

Wat de landbouwactiviteiten betreft, is de technologische vooruitgang geïntegreerd in de groeivoeten van de emissiefactoren $r_{meat}(t)$ en $r_{aa}(t)$. Hij staat tegelijk voor de technologische verbeteringen, bijvoorbeeld het beheer van de stallen en de bodem, en activiteitswijzigingen, bijvoorbeeld de samenstelling van de veestapel.

c. Bronnen van de historische gegevens

De gegevens inzake energieverbruik, bkg-emissies en emissiefactoren van deze sector zijn afkomstig van de nationale bkg-inventarissen. De gegevens over het energieverbruik worden aangevuld met gegevens uit de regionale energiebalansen. De gegevens over het dagelijks verbruik van dierlijke eiwitten per persoon zijn afkomstig van het 4^{de} Federaal rapport inzake duurzame ontwikkeling (pagina 50).

1.4.8. Industriële processen

a. Algemene benadering

Deze module heeft tot doel de bkg-emissies van de industriële processen (CRF 2) te berekenen, uitgezonderd de emissies als gevolg van het energieverbruik in de industrie, die behandeld worden in punt 1.4.3. De industriële activiteiten stoten broeikasgassen uit, niet enkel via hun energieverbruik maar in een aantal gevallen ook door de gebruikte processen. Het gaat bijvoorbeeld om de productie van staal, cement en salpeterzuur. Deze module berekent eveneens de emissies van gefluoreerde gassen.

Voor de emissies van CO₂, CH₄ en N₂O wordt de toename van de emissies berekend als de combinatie van de groeivoeten van de industriële activiteit $r_{gdp_ind}(t)$ en de emissiefactoren $r_{fe}(t)$, en van de impact van de gewijzigde consumptie- en productiepatronen, voorgesteld door de groeivoet $r_{mcp}(t)$, die dezelfde is als deze uit de module over de industriële productie.

CO₂-, CH₄- en N₂O-emissies

$$E(g,t) = E(g,t-1) * (1 + r_{gdp_ind}(t)) * (1 + r_{fe}(t)) * (1 + r_{mcp}(t)) \quad (37)$$

Wat de gefluoreerde gassen betreft, hanteert dit model de vereenvoudigde hypothese van een constante daling van die emissies, r_f , tussen 2011 en 2050.

Emissies van gefluoreerde gassen

$$E(g,t) = E(g,t-1) * (1 + r_f) \quad (38)$$

b. Hypothesen over de gebruikte technologieën

Er bestaat geen expliciete beschrijving van de voorgestelde technologieën. De verbetering van de technologieën is impliciet vervat in de evolutie van de emissiefactoren $r_{fe}(t)$ en de vermindering van de emissies van gefluoreerde gassen r_f .

c. Bronnen van de historische gegevens

De gegevens over het energieverbruik, de bkg-emissies en de emissiefactoren van deze sector zijn afkomstig van de nationale bkg-inventarissen (NKC, 2013).

1.4.9. Internationaal lucht- en zeetransport

a. Algemene benadering

Deze module heeft tot doel het energieverbruik en de bkg-emissies te berekenen die het gevolg zijn van de in België geïnventariseerde internationale bunkers (geen CRF-classificatie). Het gaat om brandstoffen voor zeeschepen en vliegtuigen die ingezet worden voor internationaal transport.

De bkg-emissies van deze sector zijn niet opgenomen in de totale nationale emissies die werden geraamd in het kader van het Kyoto-protocol, maar ze moeten toch apart worden vermeld in de emissie-inventarissen. Aangezien de klimaatverandering een globale aangelegenheid is, moet op lange termijn rekening worden gehouden met alle bkg-emissies. Het is dus normaal in dit model rekening te houden met de emissies van bunkers. Dit doet geen afbreuk aan de manier waarop die emissies zullen worden verrekend in toekomstige internationale overeenkomsten betreffende een vermindering van bkg-emissies.

Het energieverbruik en de emissies van die sector worden geraamd op basis van hun niveaus tijdens het laatste observatiejaar, in dit geval 2011, en een evaluatie van hun groei tussen 2011 en 2050. De groei wordt verondersteld dezelfde te zijn dan voor het energieverbruik en de bkg-emissies, wat veronderstelt dat het koolstofgehalte van de gebruikte brandstoffen niet verandert, noch de emissies van methaan en stikstofmonoxide per eenheid gebruikte brandstof.

Energieverbruik

$$EC_{air}(t) = EC_{air}(t-1) * (1 + r_{air}(t)) \quad (39)$$

$$EC_{sea}(t) = EC_{sea}(t-1) * (1 + r_{sea}(t)) \quad (40)$$

bkg-emissies

$$E_{air}(g,t) = E_{air}(g,t-1) * (1 + r_{air}(t)) \quad (41)$$

$$E_{sea}(g,t) = E_{sea}(g,t-1) * (1 + r_{sea}(t)) \quad (42)$$

De groeivoeten $r_{air}(t)$ en $r_{sea}(t)$ worden berekend als de combinatie van de groeivoet van het verkeer en die van de energie-intensiteit gemeten in ton brandstof per tonkilometer of per reizigerskilometer.

Groeivoeten

$$r_{air}(t) = (1 + r_{air,traffic}(t)) * (1 + r_{air,int}(t)) - 1 \quad (43)$$

$$r_{sea}(t) = (1 + r_{sea,traffic}(t)) * (1 + r_{sea,int}(t)) - 1 \quad (44)$$

b. Hypothesen over de gebruikte technologieën

De in het lucht- en zeetransport gebruikte technologieën worden in dit model niet expliciet beschreven. De evolutiegraad van de energie-intensiteit $r_{air,int}(t)$ en $r_{sea,int}(t)$ groepeerd in één enkele variabele de

effecten van verbeterde motoren, wijzigingen in bezettingsgraden en in lading van voertuigen. Zij worden besproken in elk scenario.

c. Bronnen van de historische gegevens

De gegevens over het energieverbruik, de bkg-emissies en de emissiefactoren van deze sector zijn afkomstig van de nationale bkg-inventarissen (NKC, 2013).

1.4.10. Diversen

a. Algemene benadering

Deze module heeft tot doel het energieverbruik en de bkg-emissies te berekenen van vier sectoren met lage bkg-emissies in vergelijking met de totale emissies.

- Overige brandstoffen (CRF 1.A.5 – emissies verbonden aan militaire toepassingen);
- Vluchtige emissies van brandstoffen (CRF 1.B – verlies via verdamping tijdens transport en distributie van gas);
- Gebruik van solventen en andere producten (CRF 3 – emissies verbonden aan het gebruik van bepaalde producten: solventen, verf, inkt, verdovingsmiddelen...);
- Afval (CRF 6 – emissies verbonden aan het beheer van vast afval, waterzuivering en afvalverbranding).

Die vier sectoren vertegenwoordigden samen 2% van de bkg-emissies in België in 2011. Het aandeel van de grootste sector, de afvalsector, bedroeg 1,3% in 2011. Gezien het geringe belang van die sectoren, werd gekozen voor een vereenvoudigde benadering in *TransAccount*.

Er wordt verondersteld dat het energieverbruik van de sector 1.A.5 evolueert met een exogeen groeipercentage $r_{mil}(t)$.

$$\begin{aligned} & \text{Energieverbruik} \\ EC(t) &= EC(t-1) * (1 + r_{mil}(t)) \end{aligned} \quad (45)$$

Er wordt verondersteld dat de bkg-emissies (voor gas g) van de sectoren 1.A.5, 1.B, 3 en 6 (index i) evolueren in een exogeen groeitempo $r_i(t)$. In het geval van sector 1.A.5 is dit groeitempo $r_i(t)$ van de bkg-emissies gelijk aan dat van het energieverbruik.

$$\begin{aligned} & \text{bkg-emissies} \\ E_i(g,t) &= E_i(g,t-1) * (1 + r_i(t)) \end{aligned} \quad (46)$$

b. Hypothesen over de gebruikte technologieën

In dit model bestaat er geen expliciete hypothese over de technologieën die gebruikt werden in die sectoren.

c. Bronnen van de historische gegevens

De gegevens over het energieverbruik en de bkg-emissies van die sector zijn rechtstreeks afkomstig uit de nationale bkg-inventarissen (NKC, 2013).

2. Gebruik van het model

Dit hoofdstuk beschrijft een mechanische actualisering van de duurzame-ontwikkelingsscenario's Piramide en Mozaïek. Deze actualisering wordt slechts gepresenteerd om de werking van *TransAccount* te illustreren. In het volgende Federaal rapport inzake duurzame ontwikkeling, dat uitgegeven zal worden in 2014, zullen de scenario's volledig herzien worden. Dit hoofdstuk begint met een algemene voorstelling van de twee scenario's (2.1). Vervolgens worden voor elk scenario de macro-economische hypothesen (2.2) en keuze van consumptie- en productiepatronen per sector behandeld (2.3). Het hoofdstuk eindigt met een korte conclusie (2.4).

2.1. Scenario's van duurzame ontwikkeling

De TFDO heeft twee duurzame-ontwikkelingsscenario's opgesteld: Piramide en Mozaïek. Beide scenario's zijn ontwikkeld via een backcasting methode. In beide scenario's zijn alle duurzame-ontwikkelingsdoelstellingen (DDO's) in 2050 gerealiseerd, in het bijzonder de doelstelling om de opwarming van de aarde te beperken tot 2°C boven de pre-industriële temperatuur. Zoals in paragraaf 1.1. werd toegelicht kan deze doelstelling vertaald worden in een vermindering van de broeikasgas-emissies (bkg-emissies) in België met 80% tussen 1990 en 2050.

Piramide en Mozaïek werden oorspronkelijk in 2007 ontwikkeld in het 4^e Federaal rapport inzake duurzame ontwikkeling (TFDO, 2007). Deze working paper presenteert een mechanische actualisering van de scenario's. De voorstelling van de geactualiseerde scenario's dient enkel om de werking van *TransAccount* te illustreren. De grote lijnen van de geactualiseerde scenario's, net als het merendeel van de hypothesen uit paragraaf 2.2 en 2.3 zijn dezelfde als die van de scenario's van 2007. Er zijn niettemin een aantal verschillen:

- de verbeteringen van het model, vermeld in de inleiding en beschreven in hoofdstuk 1;
- de actualisering van de historische gegevens tot 2011;
- het gebruik van recente studies (Hoge Raad van Financiën, 2012) voor de macro-economische en demografische projecties.

Hoewel de DDO's bereikt worden in Piramide en in Mozaïek stellen de scenario's verschillende toekomstbeelden voor. Piramide gaat uit van een duurzame ontwikkeling van het top-down-type, met een versterking van het multilateraal systeem. Mozaïek is een scenario van het bottom-up-type, ondersteund door de vooruitgang van nationale instrumenten.

De definitie van een duurzame ontwikkeling uit het Brundtland-rapport (WCED, 1987) omvat: *“the idea of limitations imposed by the state of technology and social organization on the environment's ability to meet present and future needs”*. Die beperkingen zijn aanwezig in zowel Piramide als Mozaïek, maar hebben daarin niet hetzelfde gewicht. In Piramide wordt de ontwikkeling vooral gekenmerkt door een toename van technische kennis, in het bijzonder kennis die toepasbaar is op een globaal niveau. In Mozaïek is de kennisgroei meer gericht op sociale organisatie, met inbegrip van de mogelijkheden om het gedrag en de levenswijzen in de samenleving te veranderen, vooral op nationaal en lokaal niveau.

Tegelijk veronderstelt Piramide dat de huidige trend tot individualisering zich voortzet. In Mozaïek wordt die trend tot individualisering getemperd doordat individuen zich meer bewust worden van hun eigen verantwoordelijkheid in de samenleving.

In de volgende paragrafen worden die contrasterende evoluties van beide scenario's toegelicht en vertaald in macro-economische en demografische hypothesen (2.2) en vervolgens in keuzes over consumptie- en productiepatronen in de verschillende sectoren (2.3). De totale bkg-emissies worden voorgesteld in de conclusie (2.4). Die conclusie bevat ook een vergelijking tussen de aanpak voor het opstellen van de twee scenario's van de TFDO en deze gevolgd door andere recente studies.

2.2. Macro-economisch luik van de scenario's

Deze paragraaf beschrijft de hypothesen met betrekking tot de macro-economische en demografische variabelen.

De groei van het bbp wordt verondersteld dezelfde te zijn in beide scenario's. Zowel in Piramide als in Mozaïek stijgt het bbp jaarlijks met 1,64% (zie 1.3). De bbp-groei moet worden opgesplitst over de vijf bedrijfstakken van het bbp die in *TransAccount* aan bod komen (zie 1.2). Hiervoor wordt een kwalitatieve benadering gevolgd. Deze opsplitsing reflecteert de algemene kenmerken en de toekomstbeelden van de scenario's.

- In de landbouw wordt een nulgroei van het productievolume verondersteld voor de beschouwde periode voor beide scenario's. De beschikbare oppervlaktes worden namelijk al grotendeels gebruikt en het rendement is al bijzonder hoog, waardoor er weinig groeimarge is.
- Wat de bouwnijverheid betreft, moet het volledige gebouwenpark grondig gerenoveerd of nieuw gebouwd worden tegen 2050. Dat vergt investeringen die minstens dubbel zo hoog zijn als tijdens de voorbije jaren. Een aanhoudende groei van de activiteit in de bouwsector is dus nodig. Beide scenario's gaan uit van een jaarlijkse groei van 2%.
- In de energie-industrie (elektriciteitsproductie, raffinaderijen en cokesovens) wordt de groei van de productie gelijk gesteld aan de vraag (die berekend wordt door het model).
- Voor de laatste twee bedrijfstakken, de industrie en de diensten, stellen de scenario's Piramide en Mozaïek twee verschillende berekeningsmethodes voor. Piramide oppert een evolutie van de consumptie- en productiepatronen die relatief nauw aansluit bij de huidige tendensen: de consumenten blijven regelmatig veranderen van goederen die een vrij korte levensduur hebben maar milieu-efficiënt worden geproduceerd en zo volledig mogelijk worden gerecycleerd. Mozaïek, daarentegen, voorziet sterkere veranderingen van de consumptie- en productiepatronen, met een grotere tertiarisering van de economie. De goederen zijn ontworpen om langer mee te gaan en herstelbaar of herbruikbaar te zijn. De consumenten kopen dus minder vaak goederen die echter wel van een hogere kwaliteit zijn. De groei van de industriële productie is dus groter in Piramide dan in Mozaïek. Omgekeerd is de groei van de diensten in Mozaïek groter dan in Piramide.

De waarden in tabel 5 weerspiegelen die scenariokeuzes en splitsen de bbp-groei op over de 5 bedrijfstakken.

Tabel 5 Macro-economische hypothesen van de scenario's

| | Piramide | Mozaïek |
|---|----------|---------|
| Gemiddelde jaarlijkse bbp-groei (2011-2050) | 1,64% | 1,64% |
| Landbouw | 0,00% | 0,00% |
| Energie-industrie | 1,16% | 0,77% |
| Industrie | 1,00% | 0,50% |
| Bouwnijverheid | 2,00% | 2,00% |
| Diensten | 1,62% | 1,68% |

Bron: Hoge Raad van Financiën (2012), TFDO

De gemiddelde jaarlijkse groei van de bevolking is gelijk in beide scenario's (0,45%). De cijfers komen uit het referentiescenario van de studiegcommissie voor de vergrijzing (Hoge Raad van Financiën, 2012).

Het gemiddeld aantal personen per gezin verschilt naargelang het scenario. In Piramide volgt het gemiddeld aantal personen per gezin de huidige dalende trend tot 2030 en blijft vervolgens stabiel. In Mozaïek daalt dat aantal op dezelfde manier tot 2030 en neemt het daarna opnieuw toe. Deze evolutie reflecteert de veranderingen in levensstijl die minder ingrijpend zijn in Piramide, waar de huidige trend tot individualisering zich voortzet, dan in Mozaïek, waar die trend vertraagt en zelfs ombuigt.

Tabel 6 Demografische hypothesen van de scenario's

| | Piramide | Mozaïek |
|---|--------------------|--------------------|
| Gemiddelde jaarlijkse bevolkingsgroei (2011-2050) | 0,45% | 0,45% |
| Bevolking (2050) | 13,12 miljoen | 13,12 miljoen |
| Aantal personen per gezin (2011/2030/2050) | 2,29 / 2,19 / 2,19 | 2,29 / 2,19 / 2,40 |
| Aantal gezinnen (2050) | 5,92 miljoen | 5,40 miljoen |

Bron: Hoge Raad van Financiën (2012), TFDO

2.3. Sectoraal luik van de scenario's

Dit deel presenteert de keuzes van de consumptie- en productiepatronen die voor elke sector werden gemaakt en de belangrijkste resultaten die eruit voortvloeien.

Er kunnen twee algemene opmerkingen worden gemaakt. Allereerst wordt verondersteld dat het aandeel van de verschillende energiebronnen in het totale energieverbruik in elke sector gelijk blijft over de periode 2011-2050.

Ten tweede, werden voor deze mechanische actualisering de groeiprognozes van de scenario's van 2007 vaak hernomen. Zo daalt de energie-intensiteit voor het overige energieverbruik in de landbouw (zie 2.3.6) jaarlijks met 1,53% in Piramide. Voor de periode 2005-2050, die in de scenario's van 2007 wordt beschouwd, stemt dat overeen met een totale daling van 50%. Voor de periode 2011-2050 die de scenario's van 2013 in aanmerking nemen, bedraagt de totale daling nog slechts 45,2%.

2.3.1. Energie-industrieën

a. Verbruik van elektriciteit en waterstof

Wat het finaal elektriciteitsverbruik betreft, wordt verondersteld dat het rendement van de toestellen die worden gebruikt in de productie-industrie en bouw, de transportsector, de residentiële sector, de dienstensector en de landbouw, bosbouw en visvangst tussen 2005 en 2050 stijgt met 50%, of 1,53% per jaar (variabelen r_{elec_ind} , r_{elec_tra} , r_{elec_HH} , r_{elec_ser} en r_{elec_agr}). Die waarde van 50% is van dezelfde grootteorde als de rendementswinst die werd aangehaald in Boardman et al. (2005) voor de zware huishoudtoestellen. Bovendien vermeldt het IEA (2008) een mogelijke rendementswinst van 30 tot 60% voor diezelfde toestellen. De in punt 1.4.2 beschreven vergelijkingen (1 tot 5) maken het mogelijk het elektriciteitsverbruik van die sectoren te berekenen. Het finaal elektriciteitsverbruik dat wordt aangegeven in tabel 7 is de som van die 5 sectorconsumpties.

Het waterstofverbruik in 2050 bedraagt 223 PJ in Piramide en is vooral afkomstig van de transportsector. In Mozaïek bedraagt het 149 PJ en is hoofdzakelijk afkomstig van elektriciteit- en warmteproductie via warmtekrachtkoppeling in gebouwen en in de landbouw.

Tabel 7 Voornaamste resultaten - energie-industrieën

| | 2050 | Piramide | Mozaïek |
|--|------|----------|----------|
| Finaal elektriciteitsverbruik | | 67,6 TWh | 61,4 TWh |
| Waterstofverbruik | | 223 PJ | 149 PJ |
| Elektriciteit gebruikt voor waterstofproductie | | 70,4 TWh | 58,9 TWh |

Bron: TFDO

b. Productie van elektriciteit en waterstof

De elektriciteitsproductie is gelijk aan het elektriciteitsverbruik zonder de netto-invoer. Tabel 8 toont de evoluties omtrent de voor de elektriciteitsproductie gebruikte energiebronnen in elk van beide scenario's in 2050, alsook het niveau van de elektriciteitsinvoer. Het wettelijk kader van begin 2013 wordt daarbij in aanmerking genomen. Het gaat in het bijzonder om de wet inzake de kernuitstap van 2003. In 2050 is er dus geen nucleaire elektriciteitsproductie meer.

Tabel 8 biedt ook een overzicht van de keuzes met betrekking tot de opvang en opslag van CO₂ (CCS, carbon capture and storage) in elk scenario. De elektriciteitsproductie, die in Piramide hoger is dan in Mozaïek, wordt vooral verzekerd door een groter gebruik van gascentrales, waarvan de emissies grotendeels opgevangen en gestockeerd worden. Het gebruik van CCS is dus groter in Piramide dan in Mozaïek over de volledige periode. Aan het einde van de periode, daarentegen, kan het merendeel van de elektriciteitscentrales die gebruik maken van fossiele brandstoffen gesloten worden dankzij de ontwikkeling van windenergie (die sneller is in Piramide dan in Mozaïek) en geothermische elektriciteitsproductie (29,8 TWh in 2050). In Piramide wordt CCS bijgevolg niet meer gebruikt in 2050.

Bij de berekening van de elektriciteitsproductie in elk scenario wordt rekening gehouden met beperkingen zoals de capaciteit van het elektriciteitsnet voor in- of uitvoer, de jaarlijkse groei van de productiecapaciteit van hernieuwbare energie of de noodzakelijke aanwezigheid van hoogtechnologische productie-eenheden.

Tabel 8 Voornaamste evoluties - energie-industrieën

| 2050 | Piramide | Mozaïek |
|--|-----------|-----------|
| Totale elektriciteitsproductie | 152,5 TWh | 131,1 TWh |
| - Windenergie | 46,5 TWh | 35,4 TWh |
| - Fotovoltaïsche zonnecellen | 42,5 TWh | 42,5 TWh |
| - Geothermie | 29,8 TWh | 0,0 TWh |
| - Warmtekrachtkoppeling (gas en waterstof) | 27,3 TWh | 39,3 TWh |
| - Andere warmtecentrales (gas en steenkool) | 4,7 TWh | 12,3 TWh |
| - Overige | 1,6 TWh | 1,6 TWh |
| Netto elektriciteitsinvoer | -10,4 TWh | -7,3 TWh |
| Gestockeerde CO ₂ over de periode 2020-2050 | 320 Mt | 152 Mt |
| Gestockeerde CO ₂ in 2050 | 0,0 Mt | 3,1 Mt |
| Elektriciteit gebruikt voor waterstofproductie | 70,4 TWh | 58,9 TWh |
| Netto waterstofinvoer | 44,6 PJ | 0,0 PJ |

Bron: TFDO

In beide scenario's wordt de waterstof opgewekt via elektrolyse (zie 1.4.2.b), bijna volledig op basis van elektriciteit uit wind- en zonne-energie. Vergelijking 6 maakt het mogelijk het overeenkomstig elektriciteitsverbruik te berekenen. Zoals bij de elektriciteitsproductie, is de hoeveelheid waterstofproductie gelijk aan het verbruik zonder de netto-invoer.

Tabel 8 toont ook het niveau van de waterstofinvoer. In Mozaïek is er geen waterstofinvoer, terwijl in Piramide wordt verondersteld dat 20% van het waterstofverbruik wordt ingevoerd.

Tabel 9 geeft de bkg-emissies van de energiesector, berekend zoals beschreven in punt 1.4.2.

Tabel 9 Bkg-emissies van de energiesector
Mt CO₂-eq.

| | 2011 | Piramide - 2050 | Mozaïek - 2050 |
|---------------|------|-----------------|----------------|
| Energiesector | 22,1 | 2,8 | 2,8 |

Bron: TFDO

2.3.2. Productie-industrie en bouw

De belangrijkste evoluties tussen 2011 en 2050 in de sector industriële productie en bouwnijverheid worden weergegeven in tabel 10. Tabel 10 geeft voor elke variabele ofwel de gemiddelde jaarlijkse groei over de periode 2011-2050 ofwel het niveau dat in 2050 wordt bereikt. De waarden zijn coherent met die in de sector van de industriële processen (deel 2.3.7).

De jaarlijkse groei van de activiteit wordt berekend op basis van de bbp-groei zoals toegelicht in deel 2.2. Voor de industrie bedraagt die groei 1% in Piramide en 0,5% in Mozaïek. Voor de bouwnijverheid gaat het om 2% in beide scenario's.

De evolutie van de energie-intensiteit is in elk scenario verschillend. De intensiteit daalt jaarlijks met 2,8% in Piramide en met 2,4% in Mozaïek. Die daling is het gevolg van de technische vooruitgang en de wijziging van de consumptie- en productiepatronen (zie deel 2.1).

Een deel van de door de industrie uitgestoten CO₂ wordt opgevangen en vervolgens gestockeerd. In beide scenario's stijgt de opvang van koolstof lineair tussen 2020 en 2050, tot 2 Mt CO₂.

Tabel 10 Voornaamste evoluties in de industriële productie en bouwnijverheid

| 2008-2050 | Piramide | Mozaïek |
|--|----------|----------|
| Groeivoet van de industriële productie | 1,0% | 0,5% |
| Groeivoet van de productie in bouwnijverheid | 2,0% | 2,0% |
| Energie-intensiteit - gemiddelde jaarlijkse groeivoet 2011-2050 | -2,8% | -2,4% |
| Impact van de technische vooruitgang | -2,8% | -0,9% |
| Impact van de gewijzigde consumptie-en productiepatronen | -0,0% | -1,5% |
| Opgevangen en gestockeerde CO ₂ in de industrie in 2050 | 2,0 Mt | 2,0 Mt |
| Elektriciteitsproductie via warmtekrachtkoppeling vanaf 2030 | 15,8 TWh | 13,2 TWh |

Bron: TFDO

Een deel van de in de industrie gebruikte warmte wordt samen met elektriciteit in warmtekrachtkoppeling-centrales geproduceerd. We veronderstellen dat de groei van die elektriciteitsproductie deze is als in het scenario REF_30/20_flex van de *Energievooruitzichten voor België tegen 2030* (Federaal Planbureau 2011), aangepast aan het groeiverschil voor de industriële productie tussen de scenario's. De elektriciteit die in 2030 door de industrie geproduceerd wordt in warmtekrachtkoppeling-centrales bedraagt aldus 15,8 TWh in Piramide en 13,2 TWh in Mozaïek. Er wordt verondersteld dat het niveau van 2030 stabiel blijft tot 2050.

Tabel 11 toont de verdeling van de verschillende gebruikte energiebronnen in die sector voor het jaar 2050. Afgezien van de energie die gebruikt wordt voor warmtekrachtkoppeling, worden de aandelen van elke energiebron in beide scenario's verondersteld gelijk te blijven aan de aandelen voor het laatst waargenomen jaar (2011). De categorie "overige brandstoffen" omvat bijvoorbeeld het afval dat verbrand wordt in cementovens. De in warmtekrachtkoppeling-centrales gebruikte energiebronnen, daarentegen, verschillen naargelang het scenario.

Tabel 11 Aandelen van de energiebronnen gebruikt in de sector van de industriële productie en bouwnijverheid

| | Piramide - 2050 | Mozaïek - 2050 |
|---|-----------------|----------------|
| Vaste brandstoffen | 30,6% | 30,6% |
| Vloeibare brandstoffen | 11,4% | 11,4% |
| Gas | 25,9% | 25,9% |
| Biomassa | 3,3% | 3,3% |
| Overige brandstoffen | 28,7% | 28,7% |
| Aandeel van biomassa in de warmtekrachtkoppeling | 50% | 40% |
| Aandeel van waterstof in de warmtekrachtkoppeling | 50% | 60% |

Bron: TFDO

Tabel 12 toont de bkg-emissies van de industriële productie en bouwnijverheid, berekend zoals beschreven in punt 1.4.3.

Tabel 12 Bkg-emissies van de industriële productie en bouwnijverheid
Mt CO₂-eq.

| 2011 | Piramide - 2050 | Mozaïek - 2050 |
|--|-----------------|----------------|
| Sector industriële productie en bouwnijverheid | 23,6 | 3,0 |

Bron: TFDO

2.3.3. Transportsector

In deze sector is een aanzienlijk aantal gegevens niet beschikbaar voor het jaar 2011. Daarom is 2010 het referentiejaar voor deze sector.

De voornaamste evoluties van de exogene variabelen van de transportsector zijn terug te vinden in tabel 13 voor het personenvervoer en in tabel 14 voor het goederenvervoer. Die tabellen geven voor elke variabele ofwel de groei over de periode 2010-2050 ofwel het in 2050 bereikte niveau weer.

De eerste twee rijen van tabel 13 geven de vraag naar verplaatsingen per persoon in 2050 en over de groei van de bezettingsgraad van voertuigen. In 2050 zijn er meer verplaatsingen, voor alle transportmodi samen, in Piramide dan in Mozaïek. Uitgaande van dezelfde bevolkingsgroei in beide scenario's (zie tabel 6), is de totale vraag naar verplaatsingen dus hoger in Piramide (+50% over de periode 2010-2050) dan in Mozaïek (0%). De bezettingsgraad stijgt trager in Piramide (+15% tussen 2010 en 2050) dan in Mozaïek.

De modale aandelen van het collectief vervoer nemen toe in beide scenario's. Die trend is in Mozaïek meer uitgesproken dan in Piramide. Tussen 2010 en 2050 kennen die modale aandelen een lineaire evolutie.

Tabel 13 Voornaamste evoluties in het personenvervoer

| | Piramide | Mozaïek |
|--|-----------------|-----------------|
| Aantal reizigerskilometers per persoon (2050) | 15 279 km/pers. | 10 486 km/pers. |
| Evolutie van de bezettingsgraad van voertuigen (totaal 2011-2050) | +15% | +25% |
| Modale aandelen (2050): auto's/bussen/treinen | 60% / 30% / 10% | 40% / 45% / 15% |
| Gebruikte energiebronnen (2050) - Aandeel van waterstof/fossiele brandstoffen/agrobrandstoffen | | |
| Auto's | 90% / 0% / 10% | 10% / 80% / 10% |
| Bussen en autocars | 100% / 0% / 0% | 100% / 0% / 0% |
| Aandeel van diesel in de auto's met interne verbrandingsmotor (volgens totale kilometerstand) | 65,7% | 65,7% |
| Jaarlijkse verbetering van het verbruik per km (2010-2050): | | |
| - Interne verbrandingsmotoren, fossiele brandstoffen (TJ/km) | -2,17% | -2,17% |
| - Interne verbrandingsmotoren, biobrandstoffen (TJ/km) | -2,17% | -2,17% |
| - Elektrische motoren en brandstofcellen, waterstof (TJ/km) | -1,66% | -1,66% |
| - Elektrische motoren, spoorwegen (GWh/km): | -1,53% | -1,53% |

Bron: TFDO

Wat gebruikte energiebronnen en technologieën betreffen, hebben elektrische voertuigen (met brandstofcel op waterstof) de overhand in Piramide, terwijl voertuigen met een interne verbrandingsmotor gebruikt blijven worden in Mozaïek. De tabel geeft ten slotte de "verdiezeling" van voertuigen die fossiele brandstoffen gebruiken en over de evolutie van het energieverbruik per kilometer. Het energieverbruik per kilometer wordt berekend aan de hand van de gegevens in Bristow et al. (2004) en Concawe et al. (2005).

De eerste rij van tabel 14 toont de transportintensiteit van goederen van het bbp (zonder de dienstensector) in 2050. Er werd hier geen rekening gehouden met de dienstensector, aangezien die

activiteiten relatief weinig goederentransport genereren. In 2050, wordt in Piramide het productiepatroon gekenmerkt door een groter gebruik van goederentransport dan in Mozaïek. De beladingsgraad van voertuigen evolueert parallel met de bezettingsgraad voor het personenvervoer.

De modale aandelen van het spoorvervoer en de binnenvaart nemen toe in beide scenario's. Die trend is meer uitgesproken in Mozaïek dan in Piramide. Tussen 2010 en 2050 evolueren die modale aandelen lineair.

Tabel 14 Voornaamste evoluties in het goederentransport

| | Piramide | Mozaïek |
|---|---------------------|---------------------|
| Transportintensiteit van het bbp (zonder dienstensector - in tonkilometer per kettigeuro referentiejaar 2005) | 0,745 | 0,634 |
| Evolutie van de bezettingsgraad van voertuigen (totaal 2011-2050) | +15% | +25% |
| Modale aandelen (2050): bestelwagens /vrachtwagens/treinen/ binnenvaartschepen | 3%, 57%, 20% en 20% | 3%, 47%, 25% en 25% |
| Gebruikte energiebronnen (2050) - Aandeel van waterstof/fossiele brandstoffen/agrobrandstoffen | | |
| Bestelwagens | 90% / 0% / 10% | 10% / 80% / 10% |
| Vrachtwagens | 90% / 0% / 10% | 90% / 0% / 10% |
| Jaarlijkse verbetering van het verbruik per km (2010-2050): | | |
| - Interne verbrandingsmotoren, fossiele brandstoffen (TJ/km) | -2,17% | -2,17% |
| - Interne verbrandingsmotoren, biobrandstoffen (TJ/km) | -2,17% | -2,17% |
| - Elektrische motoren en brandstofcellen, waterstof (TJ/km) | -1,66% | -1,66% |
| - Elektrische motoren, spoorwegen (GWh/km) | -1,53% | -1,53% |
| - Binnenvaart, alle brandstoffen (TJ/km) | -1,19% | -1,19% |

Bron: TFDO

Wat energiebronnen en technologieën betreffen, hebben elektrische voertuigen (met brandstofcel op waterstof) de overhand in beide scenario's, behalve voor bestelwagens in Mozaïek. In beide scenario's is het spoortransport volledig elektrisch in 2050. Ook de binnenvaart maakt in 2050 in beide scenario's uitsluitend gebruik van elektrische motoren en brandstofcellen. De tabel toont ten slotte de evoluties over het energieverbruik per kilometer. Dat verbruik evolueert voor het goederentransport op dezelfde wijze als voor het personenvervoer.

Tabel 15 geeft de bkg-emissies van de transportsector, berekend zoals beschreven in punt 1.4.4. In Piramide gebruikt de transportsector bijna geen fossiele brandstoffen meer. Aangezien de emissies afkomstig van het gebruik van waterstof en biobrandstoffen bij hypothese nihil zijn, worden de bkg-emissies van het transport in Piramide dus nagenoeg tot nul herleid.

Tabel 15 Bkg-emissies van de transportsector
Mt CO₂-eq.

| | 2011 | Piramide - 2050 | Mozaïek - 2050 |
|-----------------|------|-----------------|----------------|
| Transportsector | 27,7 | 0 | 1,5 |

Bron: TFDO

2.3.4. Residentiële sector

De belangrijkste evoluties van de exogene variabelen van de residentiële sector zijn terug te vinden in tabel 16. De tabel geeft voor elke variabele het in 2050 bereikte niveau of de gemiddelde jaarlijkse groei over de periode 2011-2050.

In *TransAccount* evolueert het aantal woningen in hetzelfde groeitempo als het aantal gezinnen. Het aantal gezinnen wordt berekend op basis van exogene bevolkingsgegevens en gezinsgrootte (zie deel 2.2). Tussen 2011 en 2050 stijgt het aantal woningen met 25% in Piramide en met 14% in Mozaïek.

De gegevens die verzameld werden bij de laatste telling in 2001 waren bijzonder gedetailleerd voor de residentiële sector. Latere gegevens waren minder gedetailleerd. Het scenario dat gebruikt werd voor de residentiële sector begint dus vanaf 2001 en raamt de gegevens voor de periode 2002-2011 op basis van de in deel 1.4.5 toegelichte vergelijkingen.

In 2001 waren de woningen als volgt verdeeld: 42% 4-gevelwoningen, 34% 2-gevelwoningen en 24% flatwoningen. Tabel 16 geeft de hypothesen inzake de verdeling van de woningen in 2050. Er wordt verondersteld dat die aandelen tussen 2001 en 2050 lineair evolueren.

In beide scenario's werd de helft van de in 2050 bestaande gebouwen opgetrokken tussen 2001 en 2050 met performante energieprestaties (K20-norm). De andere helft van de gebouwen werd grondig gerenoveerd en haalt de K30-norm. Die evolutie vergt bijzonder zware investeringen in de woningsector. Om die doelstelling voor het woningenpark te halen, zou het aantal renovaties en nieuwbouwwoningen de komende 40 jaar minstens twee keer zo hoog moeten liggen als nu.

Tabel 16 Voornaamste evoluties in de residentiële sector

| | Piramide | Mozaïek |
|--|-----------------|-----------------|
| Groei van het aantal woningen - 2011-2050 | 25% | 14% |
| Woningen in 2050: 4-gevelwoningen/2-gevelwoningen/flatwoningen | 35% / 35% / 30% | 35% / 35% / 30% |
| Aandeel van de gerenoveerde / nieuwe woningen in 2050 | 50% / 50% | 50% / 50% |
| Isolatie-niveaus van gerenoveerde / nieuwe woningen | K30 / K20 | K30 / K20 |
| Opsplitsing van de verwarmingssystemen in 2050 | | |
| Warmtepompen | 25% | 25% |
| Lokale netwerken - gas | 0% | 15% |
| Lokale netwerken - waterstof | 10% | 15% |
| Stadsverwarming (appartementen) | 9% | 9% |
| Hout (huizen) | 11% | 11% |
| Gasketels | 45% | 20% |
| Mazoutketels | 0% | 5% |

Bron: TFDO

Tabel 16 geeft ook de opsplitsing van de verschillende verwarmingstypes die in 2050 worden gebruikt in beide scenario's. Die aandelen evolueren lineair tussen 2001 en 2050, behalve in het geval van stadsverwarming en lokale netten, die pas na 2020 worden gebruikt en daarna eveneens lineair toenemen.

De bkg-emissies van de residentiële sector, die worden berekend zoals beschreven in punt 1.4.5, zijn terug te vinden in tabel 17.

Tabel 17 Bkg-emissies van de residentiële sector
Mt CO₂-eq.

| | 2011 | Piramide - 2050 | Mozaïek - 2050 |
|---------------------|------|-----------------|----------------|
| Residentiële sector | 17,1 | 4,8 | 6,7 |

Bron: TFDO

2.3.5. Dienstensector

Tabel 18 geeft de belangrijkste evoluties van de dienstensector weer tussen 2011 en 2050. De jaarlijkse groei van de activiteit wordt berekend op basis van de bbp-groei zoals toegelicht in deel 2.2. Die groei bedraagt 1,62% in Piramide en 1,68% in Mozaïek. Zoals aangegeven in punt 1.4.4, is de toename van de energie-efficiëntie in die sector (zie tabel 18) dezelfde als die in de residentiële sector, aangezien het energieverbruik van die sector (zonder elektriciteit) hoofdzakelijk verband houdt met het beheer van de gebouwen. De aandelen van de verschillende in de diensten gebruikte energiebronnen blijven constant over de periode 2011-2050 en worden weergegeven in tabel 18.

Tabel 19 geeft de bkg-emissies van de dienstensector, berekend zoals beschreven in punt 1.4.6.

Tabel 18 Voornaamste evoluties in de dienstensector

| 2011-2050 | Piramide | Mozaïek |
|--|----------|---------|
| Jaarlijkse groeivoet van de productie in de diensten | 1,62% | 1,68% |
| Jaarlijkse groeivoet van de energie-efficiëntie in de diensten | 2,3% | 1,5% |
| Aandeel van de energiebronnen in 2050 | | |
| Vaste brandstoffen | 0% | 0% |
| Vloeibare brandstoffen | 24,6% | 24,6% |
| Gas | 73,3% | 73,3% |
| Biomassa | 0,8% | 0,8% |
| Overige brandstoffen | 1,3% | 1,3% |

Bron: TFDO

Tabel 19 Bkg-emissies van de dienstensector
Mt CO₂-eq.

| | 2011 | Piramide - 2050 | Mozaïek - 2050 |
|----------------|------|-----------------|----------------|
| Dienstensector | 5,2 | 4,1 | 5,6 |

Bron: TFDO

2.3.6. Landbouw, bosbouw en visvangst - Landbouwactiviteiten

De groei van de landbouwproductie, gemeten via haar bijdrage aan het bbp, werd berekend in deel 2.2. In beide scenario's wordt verondersteld dat de landbouwproductie tussen 2011 en 2050 stabiel blijft in volume.

Het energieverbruik van de landbouwsector wordt, net zoals de bkg-emissies, afzonderlijk berekend voor de serre-teelt en de overige energieverbruik in de landbouw. De bkg-emissies van de landbouwactiviteiten worden ook afzonderlijk berekend.

Tabel 20 toont de voornaamste evoluties voor de serre-teelt, die ongeveer 60% van het energieverbruik van de landbouwsector voor zijn rekening neemt. In 2011 werd voor de verwarming van serres voornamelijk gebruikt gemaakt van gas (92%) en biomassa (7%) (Aernouts en Jespers, 2012). Daarenboven, werd meer dan 50% van de serres verwarmd door warmtekrachtkoppelingscentrales (Jespers et al., 2012).

In beide scenario's blijft de oppervlakte die door serres wordt ingenomen in België constant tussen 2011 en 2050. In 2050 worden in beide scenario's alle serres verwarmd door warmtekrachtkoppelingscentrales. In Piramide gebruikt men waterstof als enige energiebron, terwijl men in Mozaïek 80% waterstof gebruikt en 20% biobrandstoffen.

De voornaamste evoluties voor de landbouw zonder serres worden weergegeven in tabel 21. De belangrijkste daarvan stelt dat de energie-intensiteit in die sector met 1,53% daalt in Piramide, maar stabiel blijft in Mozaïek. In beide scenario's worden diesel en biobrandstoffen gebruikt als energiebron, zij het in licht verschillende verhoudingen.

Tabel 22 geeft de belangrijkste evoluties voor de emissies afkomstig uit landbouwprocessen. Beide scenario's veronderstellen aanzienlijke veranderingen in de voedingspatronen (TFDO, 2007). Zo daalt het vleesverbruik in beide scenario's: van 160 g/persoon in 2004 tot 50 g in 2050 in Piramide en 75 g in Mozaïek (TFDO, 2007, p 50). Wat het bodembeheer betreft (gehele landbouwsector zonder veeteelt), wordt verondersteld dat de productie stabiel blijft. De emissiefactoren dalen met 1,53% per jaar in beide scenario's.

Tabel 20 Voornaamste evoluties voor de landbouwsector - kasteelt

| | Piramide | Mozaïek |
|--|----------|---------|
| Verwarming van de serres | | |
| Groei van de oppervlakte van de serres 2011-2050 | 0% | 0% |
| Aandeel van serreverwarming door warmtekrachtkoppeling in 2050 | 100% | 100% |
| Aandeel van de energiebronnen in 2050 | | |
| Diesel | 0% | 0% |
| Gas | 0% | 0% |
| Biobrandstoffen | 0% | 20% |
| Waterstof | 100% | 80% |

Bron: TFDO

Tabel 21 Voornaamste evoluties voor de landbouwsector - zonder kasteelt

| | Piramide | Mozaïek |
|---|----------|---------|
| Jaarlijkse groeivoet van de Energie-intensiteit | -1,53% | 0% |
| Aandeel van de energiebronnen in 2050 | | |
| Steenkool | 0% | 0% |
| Diesel | 20% | 40% |
| Gas | 0% | 0% |
| Biobrandstoffen | 80% | 60% |

Bron: TFDO

Tabel 22 Voornaamste evoluties voor de landbouwactiviteiten

| | Piramide | Mozaïek |
|--|-------------------|-------------------|
| Vleesconsumptie in 2050 | 50 g / pers / dag | 75 g / pers / dag |
| Emissiefactor in de teelten (jaarlijkse groeivoet 2011-2050) | -1,53% | -1,53% |

Bron: TFDO

De totale bkg-emissies (energie en activiteiten) van de landbouwsector, berekend zoals beschreven in punt 1.4.7, worden weergegeven in tabel 23.

Tabel 23 Bkg-emissies van de landbouwsector
Mt CO₂-eq.

| | 2011 | Piramide - 2050 | Mozaïek - 2050 |
|----------------|------|-----------------|----------------|
| Landbouwsector | 11,6 | 3,1 | 2,6 |

Bron: TFDO

2.3.7. Industriële processen

De belangrijkste evoluties van de exogene variabelen van de sector van de industriële processen worden weergegeven in tabel 24. De tabel geeft voor elke variabele het in 2050 bereikte niveau of de gemiddelde jaarlijkse groei over de periode 2011-2050. De jaarlijkse groei van de activiteit wordt berekend op basis van de bbp-groei zoals toegelicht in deel 2.2. Voor de industrie bedraagt die eerste groei 1% in Piramide en 0,5% in Mozaïek.

In beide scenario's nemen de emissiefactoren van de industriële processen af met 2% tussen 2011 en 2050. Die daling is, in verschillende verhoudingen naargelang het scenario, het gevolg van de technische vooruitgang en de wijziging van de consumptie- en productiepatronen (zie deel 2.1).

Wat de fluorgassen betreft, wordt uitgegaan van een lineaire daling tussen 2011 en 2050 en van een totale daling van 90 % in 2050 t.o.v. 2011. Die hypothese beantwoordt aan een voluntaristisch beleid ter vervanging van fluorgassen door alternatieven die geen impact hebben op de opwarming van de aarde.

De opvang en opslag van koolstof (CCS) kan worden gebruikt in de industrie, gezien de geconcentreerde CO₂-stromen die in sommige processen worden gegenereerd (staalnijverheid, cementbedrijven, chemie). Tabel 24 toont eveneens voor beide scenario's het gebruik van CCS om de emissies afkomstig van industriële processen te verminderen.

Tabel 24 Voornaamste evoluties voor de industriële processen

| | 2011-2050 | Piramide | Mozaïek |
|---|-----------|----------|---------|
| Jaarlijkse groeivoet van de industriële productie | | 1,0% | 0,5% |
| Jaarlijkse groeivoet van de emissiefactoren | | -2,0% | -2,0% |
| Bijdrage van de technologische veranderingen | | -2,0% | -0,5% |
| Bijdrage van de veranderingen in consumptie- en Productiepatronen | | -0,0% | -1,5% |
| Totale reductie van de emissies van gefluoreerde gassen | | -90% | -90% |
| Opgevangen en gestockeerde CO ₂ in 2050 op basis van industriële processen | | 2,0 Mt | 2,0 Mt |

Bron: TFDO

De totale bkg-emissies van de industriële processen, berekend zoals beschreven in punt 1.4.8, worden weergegeven in tabel 25.

Tabel 25 Bkg-emissies van de sector van de industriële processen
Mt CO₂-eq.

| | 2011 | Piramide - 2050 | Mozaïek - 2050 |
|------------------------------|------|-----------------|----------------|
| Sector industriële processen | 11,3 | 4,4 | 3,5 |

Bron: TFDO

2.3.8. Internationaal lucht- en zeetransport

De evolutie van het internationaal transport staat los van de veranderingen die zich in België voordoen. De evolutie van het internationaal vervoer wordt dus gemaakt op basis van de globale maatschappelijke ontwikkelingen in elke scenario (beschreven in TFDO, 2007) en op een dusdanig manier dat zij een vermindering van de globale bkg-emissies mogelijk maken. De evoluties van de exogene variabelen van het internationaal lucht- en zeetransport worden vermeld in tabel 26. De tabel geeft voor elke variabele de gemiddelde jaarlijkse groei tijdens de periode 2011-2050.

Tabel 26 Belangrijkste evoluties van het internationaal lucht- en zeetransport

| 2011-2050 | Piramide | Mozaïek |
|--|----------|---------|
| Jaarlijkse groeivoet van het luchttransport | 0,00% | 0,00% |
| Jaarlijkse groeivoet van het zeetransport | -0,49% | -1,13% |
| Jaarlijkse groeivoet van de emissiefactoren - luchtvaart | -2,31% | -2,31% |
| Jaarlijkse groeivoet van de emissiefactoren - zeevaart | -1,60% | -1,60% |

Bron: TFDO

In deze sector zijn de enige exogene variabelen het transport (gemeten in voertuigkilometer) en de emissiefactoren (in ton CO₂-eq. per km).

In de twee scenario's blijft het luchttransport in 2050 op hetzelfde niveau als in 2011. Het zeetransport daalt jaarlijks met 0,45% in Piramide en met 1,13% in Mozaïek, dat minder dan Piramide gericht is op de internationale coördinatie.

Volgens Akerman (2005) levert het gebruik van turbopropellers met transsone schroeven in het luchttransport een winst op van 56% van de emissies per beschikbare passagiersstoel-kilometer in vergelijking met het gemiddelde van de huidige vloot. Een winst van 65% zou mogelijk zijn door de huidige vliegtuigen te vervangen door "vliegende vleugels" die uitgerust zijn met turbopropellers met transsone schroeven. Er wordt verondersteld dat de gehele mondiale luchtvaartvloot tussen vandaag en 2050 zal zijn vernieuwd. Onder die voorwaarden zou de emissiefactor van de luchtsector tussen 2005 en 2050 kunnen worden verbeterd met 65%, of 2,31% per jaar. Er moet opgemerkt worden dat Akerman (2005) in zijn evaluatie van de vooruitgang van de emissiefactoren rekening houdt met een stijging van de bezettingsgraden met 71% tot 79% tussen 2005 en 2050. In dit model wordt dezelfde evolutie gebruikt voor de twee scenario's. Daarbij moet worden vermeld dat de lage vernieuwingsgraad in die sector de volledige vernieuwing van de vloot echter zou kunnen bemoeilijken.

In het zeetransport kunnen de emissiefactoren fors dalen in vergelijking met de huidige situatie. Volgens het rapport *Second IMO GHG Study 2009* (IMO, 2009), bedraagt het reductiepotentieel van de emissiefactoren van vaartuigen 25% tot 75% tussen 2007 en 2050. De voorliggende studie houdt rekening met de mediaan van die spreiding, wat overeenstemt met 50% of een jaarlijkse daling van -1,60%. Die reducties worden verkregen dankzij technische en operationele verbeteringen.

In die twee gevallen van lucht- en zeetransport moet worden opgemerkt dat een aanzienlijk deel van de winst van de emissiefactoren het gevolg is van een vermindering van de gemiddelde snelheid,

namelijk met minstens 20 tot 30%, zoals vastgelegd door IMO (2009) en voorgesteld door Savy (2010). Het gaat om een radicale ombuiging van de huidige trend van snelheidstoename.

Tabel 27 toont de totale bkg-emissies van het internationaal lucht- en zeetransport, berekend zoals beschreven in punt 1.4.9.

Tabel 27 Bkg-emissies van het internationaal lucht- en zeetransport
Mt CO₂-eq.

| | 2011 | Piramide - 2050 | Mozaïek - 2050 |
|---------------------------------------|------|-----------------|----------------|
| Internationaal lucht- en zeetransport | 29,6 | 13,1 | 10,6 |

Bron: TFDO

2.3.9. Diversen

De belangrijkste evoluties van de exogene variabelen van de sector 'Diversen' worden weergegeven in tabel 28. De tabel geeft voor elke variabele de gemiddelde jaarlijkse groei over de periode 2011-2050 of het niveau dat in 2050 wordt bereikt.

Voor de hier beschouwde sectoren zijn de projecties in beide scenario's dezelfde.

Voor de sector van de overige emissies ten gevolge van het energieverbruik, die hoofdzakelijk de emissies van militaire activiteiten omvat, werd verondersteld dat de emissies stabiel blijven tijdens de periode 2011-2050. De vluchtige emissies dalen jaarlijks met 5% en de emissies afkomstig van het gebruik van solventen jaarlijks met 1,53%. In beide scenario's evolueert de maatschappij naar consumptie- en productiepatronen die het afval maximaal doen dalen. De emissies van de afvalsector worden dus nul in 2050 en nemen geleidelijk af over de periode 2011-2050.

Tabel 28 Voornaamste evoluties voor de sector 'Varia'
Jaarlijkse groeivoet 2011-2050

| | Piramide | Mozaïek |
|--|----------|---------|
| Overige emissies verbonden aan het energieverbruik (CRF 1.A.5) | 0,0% | 0,0% |
| Vluchtige emissies (CRF 1.B) | -5,0% | -5,0% |
| Solventen (CRF 3) | -1,53% | -1,53% |
| Afval (CRF 6) niveau van de Bkg-emissies in 2050 | 0 | 0 |

Bron: TFDO

De totale bkg-emissies van de sector 'Diversen', berekend zoals beschreven in punt 1.4.10, worden weergegeven in tabel 29.

Tabel 29 Bkg-emissies van de sector 'Varia'
Mt CO₂-eq.

| | 2011 | Piramide - 2050 | Mozaïek - 2050 |
|----------------|------|-----------------|----------------|
| sector 'Varia' | 2,4 | 0,4 | 0,4 |

Bron: TFDO

Box 1 Voornaamste veranderingen sinds de in 2007 gepubliceerde scenario's

Voor het onderdeel klimaat en energie van de scenario's is de duurzame-ontwikkelingsdoelstelling (DDO) om de opwarming van de aarde te beperken tot 2°C boven de pre-industriële temperatuur van cruciaal belang. Uitgaande van de kennis in 2007 (gebaseerd op het 3^e Evaluatierapport van het IPCC) wordt die DDO voor de scenario's Piramide₀₇ en Mozaïek₀₇ vertaald in een vermindering van de broeikasgas-emissies (bkg-emissies) met 70% tussen 1990 en 2050. Voor de mechanische actualisering van de scenario's wordt de DDO nu vertaald in een vermindering van de bkg-emissies met 80% tussen 1990 en 2050 (volgens het 4e Rapport van het IPCC).

Op macro-economisch niveau bedroeg in 2007 de hypothese inzake de bbp-groei 1,78% per jaar, uitgaande van het referentiescenario van het Rapport van de Studiecommissie voor de vergrijzing van 2006. In deze actualisering bedraagt die hypothese, op basis van het referentiescenario van het Rapport van de Studiecommissie voor de vergrijzing van 2012, nu 1,64% per jaar. In deze actualisering wordt de activiteit van de dienstensector gewijzigd om rekening te houden met dit verschil in bbp. De groei van de activiteit van die sector daalt met ongeveer 0,3 procentpunt tussen deze update en de scenario's van 2007.

Op demografisch niveau bedroeg in 2007 de hypothese inzake de bevolkingsgroei 0,10% per jaar, eveneens op basis van het referentiescenario van het Rapport van de Studiecommissie voor de Vergrijzing van 2006. Voor deze actualisering bedraagt die hypothese, uitgaande van het referentiescenario van het Rapport van de Studiecommissie voor de Vergrijzing van 2012, 0,45% per jaar. Anderzijds wordt verondersteld dat in de scenario's van 2007 het gemiddeld aantal personen per gezin 2,08 bereikt in 2030 voor beide scenario's. Dat aantal bleef stabiel tot 2050 in Piramide₀₇ en steeg tot 2,28 in Mozaïek₀₇. In deze actualisering bereikt dat aantal 2,19 in 2030 en 2,40 in 2050 voor Mozaïek₁₃. Het gevolg van die hypothesen is dat het aantal gezinnen, en dus het aantal woningen, in deze actualisering groter is dan in de scenario's van 2007.

De sterkere vermindering van bkg-emissies in deze actualisering is gedeeltelijk toe te schrijven aan het feit dat de bbp-groei in de huidige versie geringer is. De voornaamste andere oorzaken worden hieronder opgesomd.

- De opvang van CO₂ (CCS) wordt gebruikt in de industrie (versie 2013) voor 62 Mt over de volledige periode 2020-2050 in deze update. De opvang werd niet gebruikt in de scenario's van 2007.
- Door een correctie in de berekening van de emissies als gevolg van de elektriciteitsproductie in de verbrandingsinstallaties voor huishoudelijk afval dalen die emissies met 2,3 Mt in 2050.
- Dankzij een meer gedetailleerde modellering van de landbouwsector kan rekening worden gehouden met de veronderstelde daling van de vleesconsumptie en kan het energieverbruik van de serre-teelt nauwkeuriger worden berekend. Bijgevolg dalen de emissies van de landbouwsector in deze update met 15 procentpunt meer dan in de scenario's van 2007.
- Naar aanleiding van de studie *Towards 100% renewable energy in Belgium by 2050* (FPB et al. 2012) werd de beschikbare capaciteit aan hernieuwbare energie gewijzigd. Die aanpassing is neerwaarts voor off-shore windenergie (8 GW i.p.v. 14 GW) en opwaarts voor on-shore windenergie (9 GW i.p.v. 5 GW), zonne-energie (250 km² i.p.v. 100 km²), biomassa (100 PJ binnenland, 200 PJ invoer, i.p.v. 49 PJ binnenland). Er werd tevens rekening gehouden met een geothermisch potentieel van 4 GW. Bijgevolg is de productie van windenergie geringer in de versies 2013 van de scenario's dan in die van 2007, terwijl de productie van zonne-energie en biomassa er groter is. Daaruit volgt dat het aandeel hernieuwbare energie groter is in de versie 2013 van de scenario's (14 procentpunten in Piramide en 4 procentpunten in Mozaïek) dan in de versie 2007.

2.4. Conclusies

Tabellen 30 en 31 tonen de totale bkg-emissies berekend door *TransAccount* voor Piramide₁₃ en Mozaïek₁₃. Die twee scenario's zijn mechanische actualiserings (cf. de inleiding van deze Working paper) van scenario's uit 2007 en worden slechts voorgesteld om de werking van het model te illustreren. In het volgende Federaal rapport inzake duurzame ontwikkeling zal een grondige herziening van die scenario's worden voorgesteld.

In beide tabellen tonen de eerste drie kolommen het niveau van de emissies voor 1990, 2011 en 2050, in Mt CO₂-eq. De drie volgende kolommen geven de groei voor de periodes 1990-2011, 1990-2050 en 2011-2050. De laatste drie kolommen bevatten de gemiddelde jaarlijkse groeivoet voor diezelfde periodes.

In beide mechanische updates van de scenario's gepresenteerd in deze working paper dalen de bkg-emissies op Belgisch grondgebied met ongeveer 80% tussen 1990 en 2050. De vermindering van de emissies die afkomstig zijn van het internationaal lucht- en zeetransport (de bunkers) en los van de overige emissies worden verrekend, bedraagt ongeveer 22% in Piramide en 37% in Mozaïek. Inclusief de bunkers bedraagt de vermindering 79% in Piramide en 77 % in Mozaïek. De vier sectoren die daaraan meest bijdragen zijn de energieproductie, de industrie, de transportsector en de residentiële sector.

Tabel 30 Bkg-emissies in België - scenario Piramide₁₃
Mt CO₂ eq.

| | Emissies | | | Totale groeivoet | | | Jaarlijkse groeivoet | | |
|--|----------|-------|------|------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
| | 1990 | 2011 | 2050 | 90-11 | 90-50 | 11-50 | 90-11 | 90-50 | 11-50 |
| Totaal (zonder internationale bunkers) | 143,9 | 120,2 | 21,6 | -16% | -85% | -82% | -0,9% | -3,1% | -4,3% |
| Bunkers | 16,4 | 29,6 | 12,8 | 80% | -22% | -57% | 2,8% | -0,4% | -2,1% |
| Totaal (met internationale bunkers) | 160,3 | 149,8 | 34,4 | -7% | -79% | -77% | -0,3% | -2,5% | -3,7% |

Bron: TFDO

Tabel 31 Bkg-emissies in België - scenario Mozaïek₁₃
Mt CO₂ eq.

| | Emissies | | | Totale groeivoet | | | Jaarlijkse groeivoet | | |
|--|----------|-------|------|------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
| | 1990 | 2011 | 2050 | 90-11 | 90-50 | 11-50 | 90-11 | 90-50 | 11-50 |
| Totaal (zonder internationale bunkers) | 143,9 | 120,2 | 26,8 | -16% | -81% | -78% | -0,9% | -2,8% | -3,8% |
| Bunkers | 16,4 | 29,6 | 10,4 | 80% | -37% | -65% | 2,8% | -0,8% | -2,6% |
| Totaal (met internationale bunkers) | 160,3 | 149,8 | 37,2 | -7% | -77% | -75% | -0,3% | -2,4% | -3,5% |

Bron: TFDO

Voor het uitvoeren van deze actualisering werden de hypothesen over het potentieel aan hernieuwbare energie overgenomen uit de studie *Towards 100% renewable energy in Belgium by 2050* (FPB et al., 2012). Echter, het aandeel van hernieuwbare energie in de consumptie van primaire energie bedraagt 40% in 2050 in deze actualisering terwijl ze 100% bedraagt in de studie *100% renewable energy*. Twee redenen verklaren dit verschil.

- Ten eerste, deze actualisering werd uitgevoerd op een mechanische wijze. Het gewicht van hernieuwbare energie blijft dus gelijk aan hetgeen berekend werd in de scenario's van 2007. In de

volledige herziening van de scenario's, die gepubliceerd zal worden in 2014, kan het gewicht van hernieuwbare energie sneller evalueren in functie van de veranderingen in de consumptie en productiepatronen die in de herziene scenario's worden opgenomen.

- Ten tweede, de scenario's van de studie *100% renewable energy* hebben slechts één doel: een aandeel van 100% aan hernieuwbare energie in de consumptie van primaire energie. Dit is een doelstelling over een productiepatroon. De duurzame-ontwikkelingsscenario's worden echter opgesteld in het conceptuele kader van het TransGovern-model (TFDO, 2005, p20-33) en met een backcasting methode. De ODD's die daarin aangenomen worden als toekomstbeeld hebben enkel betrekking op de staat van de kapitalen die aan de basis van de ontwikkeling liggen (TFDO, 2007, p6). Voorbeelden zijn: de staat van de atmosfeer, het behoud van de natuurlijke hulpbronnen, de sociale inclusie, educatie of gezondheid. Het op voorhand opleggen van een beperking op een productiepatroon kan enkel overwogen worden indien hiervoor een legale basis bestaat. Dit is niet het geval voor de hernieuwbare energiebronnen in 2050. Het gebruik van hernieuwbare energie in combinatie met andere beleidsmaatregelen (die bijvoorbeeld betrekking hebben op de energie-efficiëntie of de energievraag) draagt uiteraard bij om de DDO's te bereiken. In het bijzonder de DDO om de bkg-emissies te beperken. Echter, een doelstelling die een minder groot aandeel van hernieuwbare energiebronnen vooropstelt, aangevuld met maatregelen die betrekking hebben op andere beleidspunten, kan zorgen voor een zelfde vermindering van de bkg-emissies en kan tegelijkertijd meer bijdragen om de andere DDO's te bereiken.

In de studie *Towards a Low Carbon Society in 2050* (CLIMACT en VITO, 2013) is ook de vermindering van de bkg-emissies de enige doelstelling. De volledige herziening van de scenario's zullen echter wel alle nuttige informatie uit deze studie integreren.

3. Bibliografie

- Abu-Sharkh S., Arnold R. J., Kohler J., Lia RI, Markvarta T., Ross J.N., Steemers K., Wilson P., Yao R. (2006), *Can microgrids make a major contribution to UK energy supply?*, Renewable and sustainable Energy Review 10, 78-127.
- Aernouts K., Jespers K. (2012), *Energie balans Vlaanderen 2010*, Referentieteaak 2012/TEM/R/154, Mol: VITO, november 2012 (www.emis.vito.be, geraadpleegd op 16 juli 2013).
- Ahlroth S., Höjer M. (2007), *Sustainable energy prices and growth: comparing macroeconomic and backcasting scenarios*, Ecological economics 63, 722-731.
- Akerman (2005), *Sustainable air transport - on track in 2050*. Transportation Research part D10, 111-126.
- Belgisch staatsblad (2013), *Koninklijk besluit houdende vaststelling van de beleidsvisie op lange termijn inzake duurzame ontwikkeling*, Brussel: Belgisch staatsblad van 10 oktober 2013.
- Bassilière D., Baudewyns D., Bossier F., Bracke I., Lebrun I., Stockman P., Willemé P. (2013), *A new version of the HERMES model - HERMES III*, Working paper 13-13 van het Federaal Planbureau; www.plan.be (6 december 2013).
- Boardman Brenda, Darby Sarah, Killip Gavin, Hinnells Gavin, Jardine Christian N., Palmer Jane and Sinden Graham (2005), *The 40% house*, Oxford: Environmental change institute, Oxford University, <http://www.eci.ox.ac.uk/research/energy/40house.php> (6 september 2010).
- Bristow Abigail et al. (2004), *How can we reduce carbon emissions from transport?* Tyndall Centre for Climate Change Research working paper 15, June 2004.
- CLIMACT, VITO (2013), *Towards a Low Carbon Society in 2050*, www.climat.be/2050 (28 november 2013).
- Concawe, EUCAR, JRC (2005), *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*, Joint Research Centre.
- Hoge raad van financiën – studietoelichting voor de vergrijzing (2012), *Jaarlijks rapport*, oktober 2012.
- Hoge raad van financiën – studietoelichting voor de vergrijzing (2013), *Jaarlijks rapport*, juni 2013.
- De Herde A., Berghmans J. Duprez H., Verplaetsen F., Hens H., Verbeeck G., Flamant G., Vekemans G. (2000), *Comparaison de systèmes de chauffage de logements - Projet "Connaissance des émissions de CO₂" pour Electrabel/SPE, phase 2 - sous-projet 4*. UCL Architecture et Climat, March 2000.
- De Vlieger I., Pelkmans L., Verbeiren S., Cornelis E., Schrooten L., Int Panis L., Proost S., Knockaert J. (2005), *Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium - SUSATRANS*, Bruxelles: project financed by the Belgian Science Policy under the Scientific Support Plan for a Sustainable Development Policy.
- Dreborg Karl H. (1996), *Essence of backcasting*, Futures Vol. 28, No 9, pp 813-828.
- Enerdata, ECN, Max-Planck-Institut für PlasmaPhysik, Universiteit Utrecht, Verbundplan, STE Juelich (2005), *VLEEM 2 final report*, May 2005. Brussel: EC/DG Research. <http://www.vleem.org> (31/10/07).
- Eurostat (2013), *database*, (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>) (geraadpleegd op 26 maart 2013).

- Federaal Planbureau (2006), *Het klimaatbeleid na 2012: Analyse van scenario's voor emissiereductie tegen 2020 and 2050*. Brussel: Federaal Planbureau, www.plan.be.
- Federaal Planbureau (2011), *Energievooruitzichten voor België tegen 2030*, Brussel: Federaal Planbureau, www.plan.be.
- Federaal Planbureau (2013), *Transportdatabanken*, www.plan.be (geraadpleegd op maart 2013).
- FPB, ICEDD, VITO: Devogelaer Danielle, Duerinck Jan, Gusbin Dominique, Marenne Yves, Nijs Wouter, Orsini Marco, Pairen Marie, (2012). Towards 100% renewable energy in Belgium by 2050, www.plan.be (geraadpleegd op 26 juni 2013).
- GFEI (2009), *the 50by50 report*, Global fuel economy initiative, www.globalfueleconomy.org.
- Hens H., Verbeeck G., Verdonck B. (2001), *Impact of energy efficiency measures on the CO₂ emissions in the residential sector, a large scale analysis*, Energy and Buildings 33 (2001) 275-281.
- ICEDD 2012, *Bilan énergétique de la Wallonie 2010, Secteur domestique et équivalents*, septembre 2012 (<http://energie.wallonie.be/fr/bilan-energetique-wallon.html?IDC=6288>, geraadpleegd op 26 juni 2013).
- IEA (2004), *Prospects for CO₂ capture and storage*, OECD/IEA (<http://www.oecd-ilibrary.org/energy>).
- IEA (2005), *Prospects for hydrogen and fuel cells*, Paris: International Energy Agency.
- IEA (2008), *Energy technology perspectives 2008*, OECD/IEA, <http://www.iea.org/techno/etp/> (20 Sep 2010).
- IMO - International Maritime organisation (2009), *Prevention of air pollution from ships, Second IMO GHG study 2009*, IMO, MEPC59/INF.10, 9 avril 2009, www.imo.org (12 oct 2010).
- IPCC (2007), *Climate change 2007, Mitigation of climate change, contribution of the Working Group III to the Fourth Assessment Report*, Geneva: IPCC.
- IPCC (2013), *Climate change 2013, the physical science basis, contribution of the Working Group I to the Fifth Assessment Report*, Geneva: IPCC.
- Jespers K., Aernouts K., Dams Y. (2012), *Inventaris duurzame energie in Vlaanderen 2011, deel II: WKK*, Mol: VITO, novembre 2012 (www.emis.vito.be, www.cogenvlaanderen) (geraadpleegd op 16 juli 2013).
- Marbaix Philippe, van Ypersele Jean-Pascal (sous la direction de) (2004), *Impact des changements climatiques en Belgique*, Bruxelles: Greenpeace.
- NKC – Nationale Klimaatcommissie, (2010): *Nationale inventaris van Bkg-emissies 2010, v1.4*, beschikbaar op www.climat.be.
- NKC – Nationale Klimaatcommissie, (2013): *Nationale inventaris van Bkg-emissies 2011, v1.2*, beschikbaar op www.climat.be.
- Savy, Michel (2010), *Le fret mondial et le changement climatique*, Centre d'analyse stratégique, www.strategie.gouv.fr (25 Sep 2010).

TFDO (2007) – Task Force Duurzame Ontwikkeling, *De transitie naar een duurzame ontwikkeling versnellen* - Federaal Rapport inzake Duurzame Ontwikkeling 2007. Brussel: Federaal Planbureau, www.plan.be.

UNFCCC (1997), Kyoto protocol, UNFCCC, www.unfccc.int.

WBCSD (2005), *Pathways to 2050, energy and climate change*, World business council for sustainable development, www.wbcsd.org (07 Sep 2010).

WCED (1987), *Onze Aarde Morgen*. Rapport van de Wereldcommissie over Milieu en Ontwikkeling. Tielt (1990): Lannoo. Ook bekend als het Brundtland-rapport.