

SYSTEEMBALANS  
2017

# — 1 Energiesysteem

Auteurs

**JOHAN BROUWERS, SANDER DEVRIENDT, HUGO VAN HOOSTE**  
(MIRA, VMM)

Lectoren

**JOHAN COUDER** (Universiteit Antwerpen)  
**DANIELLE DEVOGELAER** (Federaal Planbureau, België)  
**ERIK LAES** (VITO-EnergyVille)  
**JAN ROS** (Planbureau voor de Leefomgeving, Nederland)

## INLEIDING

Energiegebruik is verweven met bijna alle activiteiten van onze samenleving. Elke sector (landbouw, industrie, handel & diensten, transport en huishoudens) heeft energie nodig, de samenstelling van de energiemix kan variëren naargelang de activiteiten. Bij de voedselvoorziening is energie nodig voor de productie van kunstmest, de verwarming van stallen en serres, de bewerking van landbouwgronden, de verwerking van landbouwproducten in de voedingsnijverheid en het voedseltransport naar de consument. Industriële productieprocessen vereisen energie voor de aanmaak van intermediaire en afgewerkte producten. Voor het vervoer van goederen en personen zijn ook brandstoffen nodig. De verwarming, ventilatie en koeling van de gebouwen waarin we wonen en werken vereisen nog vaak energie. Daarnaast zijn er nog tal van andere activiteiten in onze samenleving waarvoor energie nodig is: uitgebreide communicatie- en informaticasystemen (GSM-masten, servers), binnen- en buitenverlichting, huishoudtoestellen (diepvriezers, koelkasten, kookvuren, wasmachines ...), vrijetijdsbestedingen (reizen en uitstappen, sport- en cultuurbeleving, sociale activiteiten, TV, tablets, PC's ...) enz.

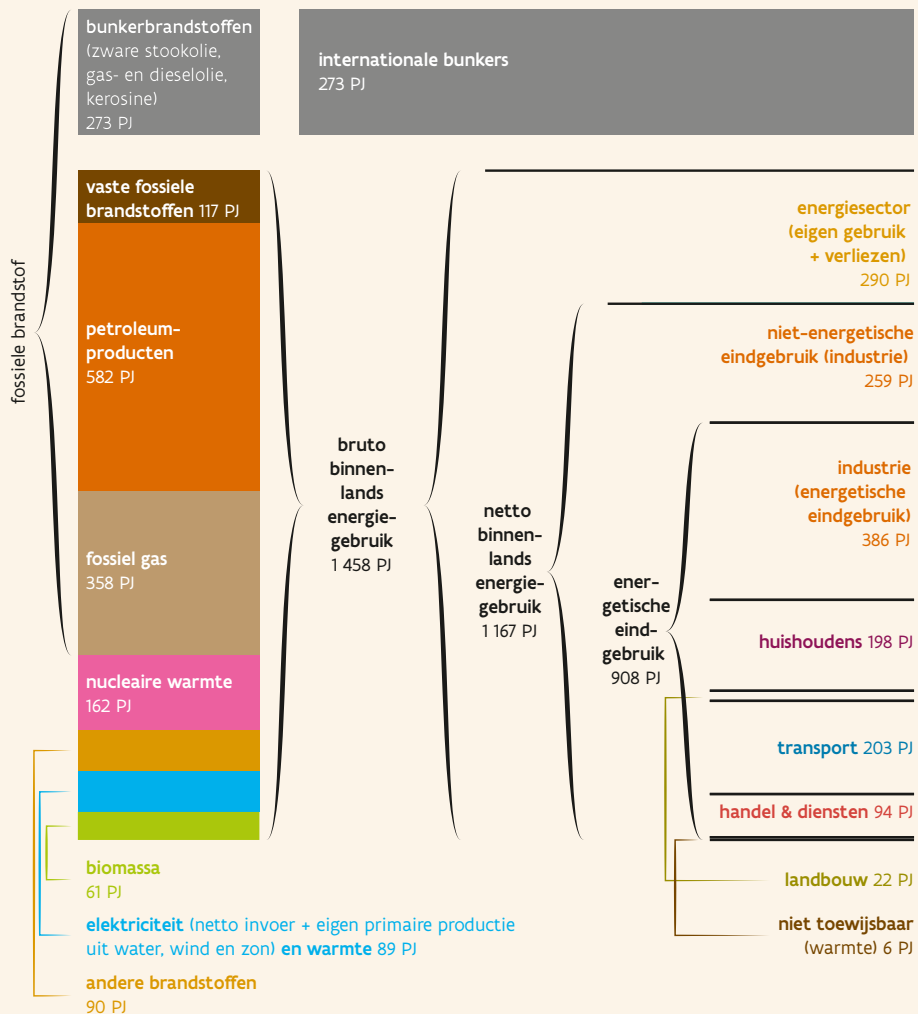
Om aan deze energievraag te voldoen, moeten primaire energiedragers worden aangesproken: fossiele brandstoffen (kolen, aardgas en petroleumproducten), nucleaire warmte, biomassa en andere hernieuwbare energiebronnen zoals wind en zon. In deze tekst verstaan we onder aanbodzijde de productie, transformatie en levering van eindgebruiksvormen van energie aan de eindgebruikers in de verschillende sectoren. Bij de aanbodzijde situeren we onder andere stroomcentrales, petroleumraffinaderijen en distributie van aardgas. De vraagzijde van het energiesysteem betreft de eindgebruikers die energiedragers gebruiken voor de invulling van hun behoeften, bijvoorbeeld huishoudens die aardgas gebruiken voor de verwarming van hun woning, openbare diensten die met stroom zorgen voor de straatverlichting of de staalindustrie die kolen of cokes inzet om in hun hoogovens ijzer te smelten.

Zowel voor de aanbodzijde als de vraagzijde blijkt dat geïmporteerde fossiele energiebronnen nog altijd een hoofdrol spelen. Slechts een deel van het finale energiegebruik in Vlaanderen wordt ingevuld door elektriciteit. De opwekking daarvan steunt grotendeels op een nucleair park dat tussen 1975 en 1985 in dienst genomen werd en de flexibele inzet van enkele fossiele centrales. Het aandeel groene stroom in de elektriciteitsproductie in Vlaanderen neemt wel gestaag toe, en bedroeg 12,7 % in 2015<sup>1</sup>. Vooral het finale energiegebruik maar ook de elektriciteitsproductie en petroleumraffinaderijen brengen heel wat milieudruk teweeg. Deze milieudruk situeert zich voornamelijk in de uitstoot van broeikasgassen (vooral CO<sub>2</sub>) en emissies naar de omgevingslucht van pollutanten zoals NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NMVOS, PAK's, dioxines, fijn stof en zware metalen. Om de milieudruk van het energiesysteem verder te doen dalen moet het energiegebruik waar mogelijk beperkt worden (bv. licht doven bij verlaten kamer), het resterende energiegebruik zo efficiënt mogelijk gebeuren (bv. halogeenlampen vervangen door LED-lampen) en de energieproductie maximaal hernieuwbaar ingevuld worden met respect voor mens en milieu (bv. stroom opwekken met zonnepanelen). Bovendien maakt het groeiende aandeel aan variabele hernieuwbare stroomproductie (wind- en zonne-energie) een betere afstemming tussen elektriciteitsproductie en energiegebruik meer nodig (bv. elektrische boilers inschakelen bij een groot aanbod van hernieuwbare elektriciteit). Inzicht in de verdeling van het energiegebruik over de verschillende energiediensten helpt om mogelijke efficiëntiewinsten te detecteren.

Tot twee decennia terug bestond het energiesysteem uit twee grote blokken: de centrale productie in enkele raffinaderijen en grote elektriciteitscentrales, en het decentrale energiegebruik bij eindgebruikers in economische sectoren en bij de huishoudens. Samen met een streven naar een verhoogde inzet van hernieuwbare energiebronnen verscheen geleidelijk aan een derde segment, de zogenoemde prosumenten, die decentraal zowel energie gebruiken als produceren. Ook bij de zoektocht naar efficiëntiewinsten ontstaan kleinere decentrale netwerken waarlangs energie(neven)stromen zoals restwarmte lokaal worden uitgewisseld.

In het eerste deel van dit hoofdstuk wordt de vraagzijde en de aanbodzijde van het energiesysteem beschreven. Bij de vraagzijde komen de energievraag van de sectoren, het gebruik van de energiedragers en de energiediensten aan bod. Bij de aanbodzijde wordt uitgelegd hoe de finale energievraag in Vlaanderen wordt ingevuld en welke primaire energiebronnen daarvoor worden gebruikt. Vervolgens wordt de milieudruk van zowel het gebruik als de productie van energie in kaart gebracht. Om af te sluiten worden oplossingsrichtingen in beeld gebracht die het energiesysteem kunnen verduurzamen door een combinatie van optimalisatie en innovatie.

**Figuur 1.1** Stroomschema energiegebruik en aandelen energiedragers in primair energiegebruik (Vlaanderen, 2014)



Voor primair energiegebruik zijn verschillende definities in gebruik bij IEA, Eurostat e.a. In tegenstelling tot deze figuur sluiten sommige van die definities het niet-energetische eindgebruik en de bunkers voor maritieme scheepvaart uit (niet deze voor luchtvaart).

De internationale bunkers, dit zijn de brandstoffen die worden getankt door de internationale scheep- en luchtvaart, worden in deze tekst buiten beschouwing gelaten.

Circa 6 PJ warmte kan voor 2014 niet aan één bepaalde sector toegewezen worden, en wordt buiten beschouwing gelaten in de tekst. Hierdoor bedraagt het (hier besproken) energetische binnenlands gebruik net geen 903 PJ.

**Bron:** MIRA op basis van Aernouts et al. (2016)<sup>2</sup>

# MAATSCHAPPELIJKE ONTWIKKELINGEN EN ACTIVITEITEN

## Vraagzijde van het energiesysteem

### ——— Energiegebruik in Vlaanderen

Het energiegebruik in Vlaanderen of het bruto binnenlands energiegebruik (BBE) van Vlaanderen omvat alle energie die gebruikt wordt door de energie(transformatie)sector, industrie, huishoudens, handel & diensten, landbouw en transport (**figuur 1.1**). In 2014 bedroeg het BBE in Vlaanderen 1 458 PJ, de piek lag in 2010 en bedroeg 1 654 PJ.

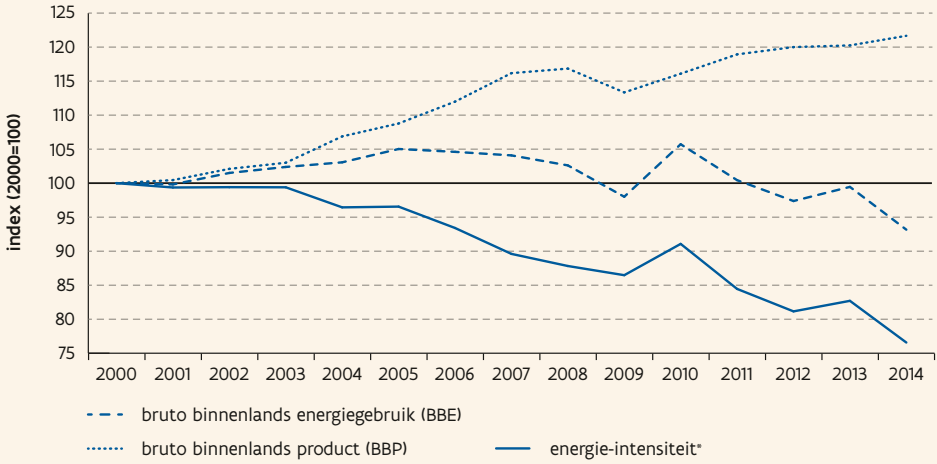
Het verschil tussen bruto en netto binnenlands energiegebruik is het gebruik in de energiesector inclusief verliezen bij transformatie, transport en distributie, en bedroeg in 2014 290 PJ of 20 % van het BBE. Het energiegebruik in de energiesector (aanbodzijde) wordt bepaald door de activiteiten in de andere sectoren (vraagzijde), waarbij de klimatologische omstandigheden mee de behoefte aan warmte bepalen. In Vlaanderen omvat de energiesector in hoofdzaak petroleumraffinaderijen, elektriciteitsproducenten en bedrijven die instaan voor het transport en de distributie van stroom en aardgas tot bij de eindgebruiker.

Het netto binnenlands energiegebruik kan worden opgesplitst in het energetische eindgebruik en het niet-energetische eindgebruik waarbij energiebronnen ingezet worden als grondstof. Dit laatste gebeurt bijna uitsluitend in de (chemische) industrie, en betreft vooral het gebruik van aardgas voor de productie van ammoniak en kunstmest, de inzet van nafta voor de aanmaak van diverse kunststoffen (polypropyleen, polyetheen ...) en het gebruik van afgeleide aardolieproducten als organisch smeermiddel. In 2014 bedroeg het niet-energetische energiegebruik 259 PJ of bijna 18 % van het BBE. Het beperken van het niet-energetische gebruik van (fossiele) energiebronnen is geen energetisch vraagstuk, maar situeert zich eerder in het domein van materiaalbeheer.

Het energetische eindgebruik verwijst naar het gebruik van energiedragers zoals steenkool, aardgas en elektriciteit voor toepassingen zoals warmtelevering en aandrijving. In 2014 bedroeg het energetische eindgebruik 908 PJ of 62 % van het BBE. Uit **figuur 1.1** blijkt dat de industrie de grootste energiegebruiker is met ruim twee vijfde van het totale energetische eindgebruik. De industrie in Vlaanderen is immers erg energie-intensief. Het energiegebruik in de landbouw is met iets meer dan 22 PJ beperkt (2 % van het energetische eindgebruik). In vergelijking met de industrie is ook de werkgelegenheid en toegevoegde waarde van de landbouw laag. De activiteiten in handel & diensten, naar toegevoegde waarde en werkgelegenheid de belangrijkste sector in Vlaanderen, zijn weinig energie-intensief en vergen slechts een tiende van het energetische eindgebruik. Huishoudens en transport hebben elk een aandeel van iets meer dan een vijfde van het energetische eindgebruik.

Bij de evolutie van energiegebruik kan er een onderscheid gemaakt worden tussen de jaarlijkse variaties en de trends op langere termijn. Het energiegebruik van de industrie, transport en handel & diensten fluctueren afhankelijk van de economische activiteiten. Zo daalde het energiegebruik sterk als gevolg van de financieel-economische crisis van 2008-2009. Klimatologische omstandigheden, zoals bijvoorbeeld de strenge winters van 2010 en 2013, spelen dan weer een grote rol bij het energiegebruik voor het verwarmen en eventueel koelen van gebouwen en serres bij huishoudens, handel & diensten en landbouw. Voor de periode 2000-2014 laten alle sectoren, na een piek te hebben bereikt tussen 2000 en 2010, eerder een dalend energiegebruik optekenen. Uitzondering hierop is de transportsector, waar een toename van het aantal gereden voertuigkilometers leidt tot een verdere stijging van het energiegebruik.

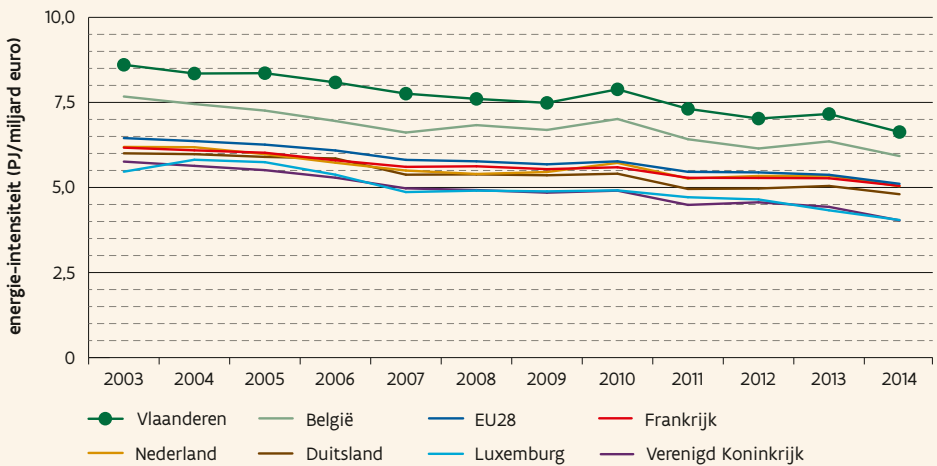
**Figuur 1.2.a** Evolutie energie-intensiteit (Vlaanderen, 2000-2014)



\* energie-intensiteit = hoeveelheid bruto binnenlands energiegebruik (BBE) per eenheid bruto binnenlands product (BBP; uitgedrukt in kettingeuro's)

Bron: MIRA op basis van Aernouts et al. (2016)<sup>2</sup> en Departement Kanselarj en Bestuur

**Figuur 1.2.b** Evolutie energie-intensiteit (Vlaanderen, België en buurlanden, 2003-2014)



\* energie-intensiteit = hoeveelheid bruto binnenlands energiegebruik (BBE) per eenheid bruto binnenlands product (BBP; uitgedrukt in kettingeuro's)

Bron: MIRA op basis van Aernouts et al. (2016)<sup>2</sup> en Departement Kanselarj en Bestuur

---

## Trend naar minder energie-intensieve economie zet verder door

**Figuur 1.2.a** toont dat Vlaanderen tussen 2003 en 2009 een duidelijke ontkoppeling realiseerde tussen de economische groei en het energiegebruik. Daardoor daalde de energie-intensiteit van de Vlaamse economie met bijna 7 % tussen 2000 en 2009. Die verandering van de energie-intensiteit was zowel het gevolg van structurele effecten (verschuivingen van het belang van sectoren in de Vlaamse economie) als van wijzigingen in de energie-efficiëntie (bv. wijzigend energiegebruik per eenheid product of dienst, mede onder invloed van energiebeleidsovereenkomsten en benchmarkingconvenanten). De financieel-economische crisis remde die gunstige trend af in 2008 en 2009 doordat in enkele energie-intensieve industriële deelsectoren (bv. chemie) het activiteitsniveau sterker terugviel dan het totale energiegebruik. Immers, zelfs bij lagere productie moeten installaties en machines draaiende worden gehouden, moeten gebouwen worden verwarmd, opslagplaatsen gekoeld, enz. Algemeen gesproken is de energie-efficiëntie dan ook lager bij deellast of onderbezetting. Verder werden bedrijven voor nieuwe investeringen in energiebesparende technologie geconfronteerd met aangescherpte criteria voor kredietverstrekking. In 2010 werd de trend zelfs abrupt onderbroken: de energie-intensiteit van Vlaanderen nam weer toe (+6 % in 1 jaar), vooral door de extreem koude wintermaanden. Geholpen door enkele jaren met zachte wintermaanden en een verminderde centrale niet-hernieuwbare stroomproductie, kon in de jaren 2011-2014 opnieuw aangepikt worden bij de algemeen dalende trend. De energie-intensiteit ligt inmiddels 23 % beneden het peil van 2000, terwijl het BBE over de periode 2000-2014 slechts met 7 % is afgenomen. Met deze daling inzake energie-intensiteit houdt Vlaanderen gelijke tred met de evolutie in onze buurlanden (-18 % à -30 %) en de EU28 (-21 %). Maar gezien het hogere vertrekpunt blijft de Vlaamse economie beduidend energie-intensiever dan de buurlanden (**figuur 1.2.b**).

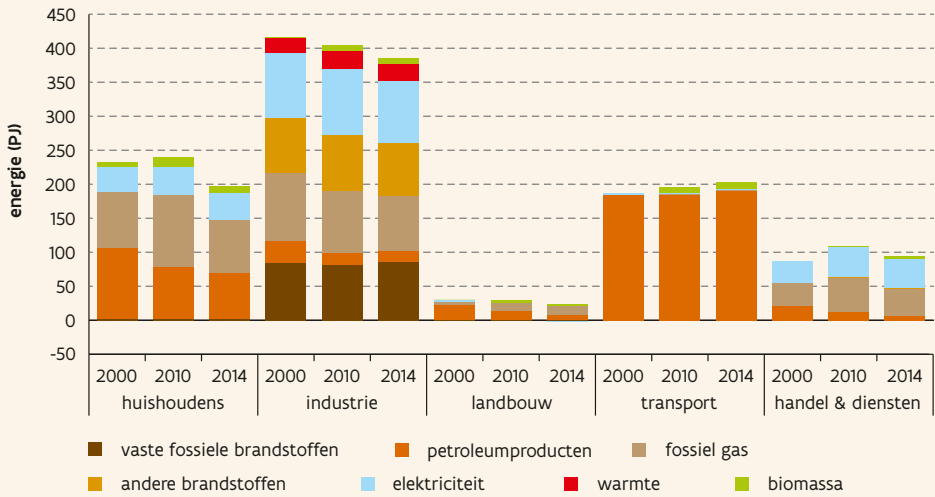
---

## Energiedragers: fossiele brandstoffen dominant

De energiebehoefte van eindgebruikers werd in 2014 ingevuld met vier finale energiedragers: fossiele brandstoffen (vaste brandstoffen, petroleumproducten, gas en 'andere brandstoffen'), elektriciteit, biomassa en nuttige warmte (**figuur 1.3**). Ook al viel het aandeel van verbrandingsprocessen op basis van fossiele brandstoffen gradueel terug van 83 % (636 PJ) in 1990 naar 73 % (666 PJ) in 2014, toch blijven deze verbrandingsprocessen dominant bij de eindgebruikers. Een elektrificatie van het energiegebruik kan leiden tot een vermindering van de totale milieudruk, zeker wanneer de stroom wordt opgewekt met behulp van hernieuwbare energiebronnen. Van zo'n elektrificatie van het finale energiegebruik lijkt nog niet echt sprake in Vlaanderen. Het stroomaandeel schommelt immers al 10 jaar rond de 19 %. Iets duidelijker zichtbaar is de opmars van biomassa met een factor 4: het aandeel hiervan nam toe van 1 % in 1990 naar 4 % in 2014. De rest betreft vooral de nuttige aanwending van restwarmte afkomstig van de energiesector door industriële bedrijven (iets minder dan 3 %) en groene warmte netto onttrokken aan de omgeving door zonneboilers, warmtepompen en warmtepompboilers (minder dan 1 %)<sup>2, 4</sup>.



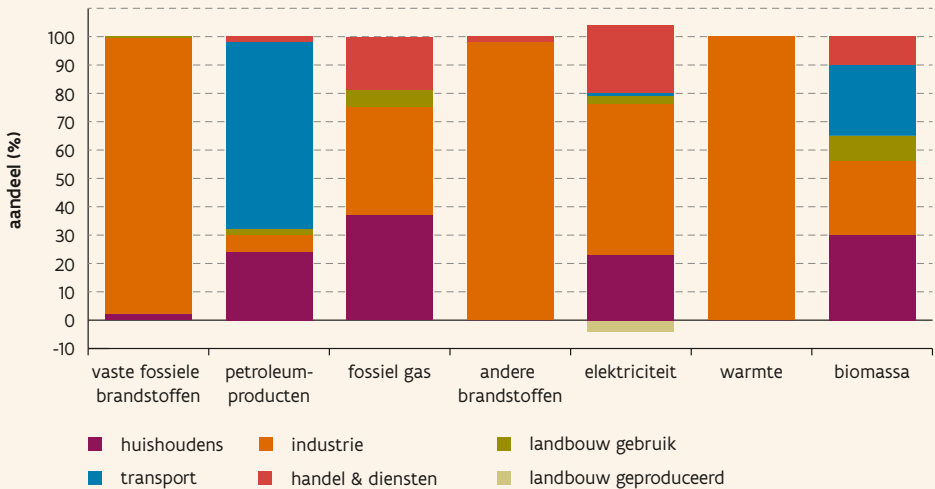
**Figuur 1.3** Evolutie van het energetische energiegebruik per sector opgedeeld naar energiedrager (Vlaanderen, 2000-2014)



'Andere brandstoffen': hoofdzakelijk bijproducten – veelal van fossiele oorsprong – uit de chemie die binnen die deelsector worden ingezet als energiedrager.

Bron: MIRA op basis van Aernouts et al. (2016)<sup>2</sup>

**Figuur 1.4** Energetisch eindgebruik per energiedrager opgedeeld naar sectoren (Vlaanderen, 2014)



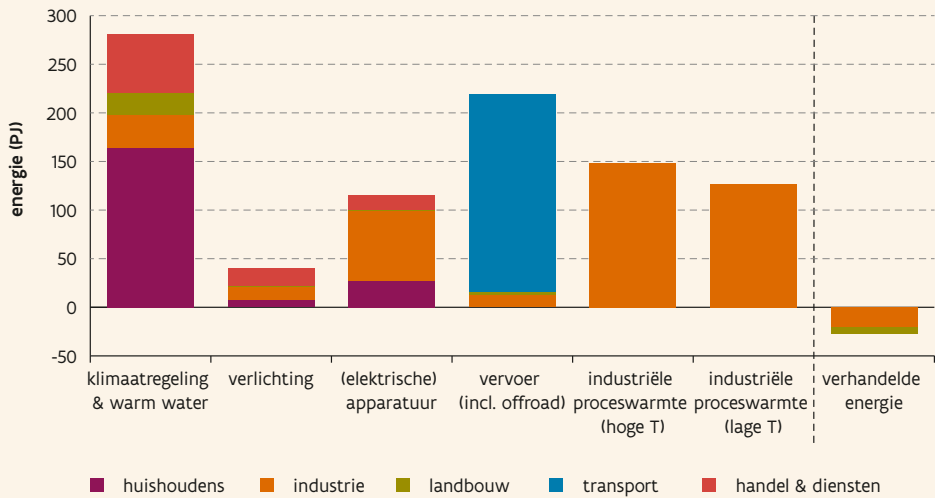
Bron: MIRA op basis van Aernouts et al. (2016)<sup>2</sup>

De vaste fossiele brandstoffen zoals kolen, cokes en koolteer worden bijna volledig gebruikt in de industrie en meer specifiek in de deelsector ijzer & staal (**figuur 1.4**). De helft van de fossiele brandstoffen zijn petroleumproducten met als belangrijkste energiedragers diesel, benzine en stookolie. De grootste gebruiker van de petroleumproducten is de sector transport (benzine en diesel). Aardgas is het meest gebruikte fossiele gas, naast een klein deel cokes- en hoogovengas geproduceerd en verhandeld door de industrie. Drie vierde van de fossiele gasen wordt gebruikt in de huishoudens en de industrie.

De helft van het elektriciteitsgebruik komt op rekening van de industrie. Andere belangrijke stroomgebruikers zijn handel & diensten en de huishoudens. Bij de transportsector daarentegen blijft het relatieve aandeel van elektriciteit (tram, metro, elektrische trein en elektrische wegvoertuigen) vooralsnog erg beperkt. De landbouw is sinds 2014 een netto elektriciteitsproducent. Warmtekrachtkoppelingsinstallaties (WKK's) leveren er niet alleen warmte en CO<sub>2</sub> voor stimulering van de gewasgroei in serres, maar produceren tegelijkertijd een overschot aan stroom dat verder verhandeld wordt.

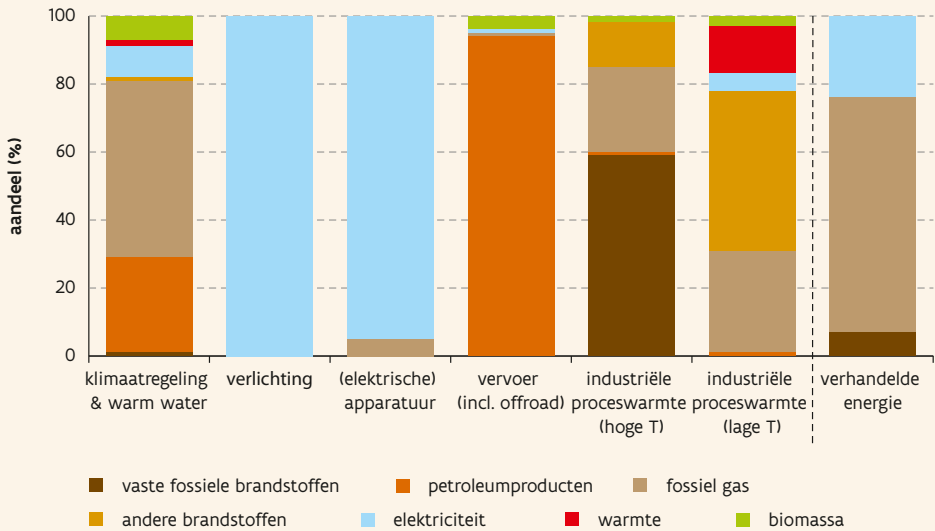
Biomassa (vast, vloeibaar en gasvormig) en (verhandelde) warmte zijn samen goed voor bijna 7 % of 61 PJ van het totale energetische eindgebruik. In tegenstelling tot biomassa die in alle sectoren wordt gebruikt, wordt (verhandelde) warmte haast uitsluitend in de industrie gebruikt. Het eindgebruik van biomassa verviervoudigde sinds 2000. De stijging was er zowat in alle sectoren, maar de sterkste stijging kon worden waargenomen in de papiersector, bij het wegverkeer en bij de huishoudens.

**Figuur 1.5** Energetisch eindgebruik per energiedienst opgedeeld naar sector (Vlaanderen, 2014)



Bron: MIRA op basis van Aernouts et al. (2016)<sup>2</sup>, Couder (2013)<sup>5</sup>, ODYSSEE-MURE (2016)<sup>6</sup>, CLO (2016)<sup>7</sup>, Pennartz & Van den Bovenkamp (2016)<sup>8</sup>

**Figuur 1.6** Energetisch energiegebruik per energiedienst opgedeeld naar energiedrager (Vlaanderen, 2014)



Bron: MIRA op basis van Aernouts et al. (2016)<sup>2</sup>, Couder (2013)<sup>5</sup>, ODYSSEE-MURE (2016)<sup>6</sup>, CLO (2016)<sup>7</sup>, Pennartz & Van den Bovenkamp (2016)<sup>8</sup>

## Energiediensten: klimaatregeling & warm water op de eerste plaats

Om te weten waar energiebesparingen mogelijk zijn of waar efficiëntiewinsten kunnen worden geboekt, is het belangrijk om te weten waarvoor energie wordt gebruikt. **Figuren 1.5** (volgens sectoren) en **1.6** (volgens gebruikte energiebron) brengen het energetische eindgebruik in beeld, opgedeeld naar zeven energiediensten: klimaatregeling & warm water, verlichting, (elektrische) apparatuur, vervoer, industriële proceswarmte op hoge temperatuur, industriële proceswarmte op lage temperatuur en verhandelde energie.

Klimaatregeling & warm water (voor bad, douche, enz.) staat in voor ongeveer 278 PJ of 31 % van het energetische eindgebruik in Vlaanderen in 2014. Onder klimaatregeling valt het verwarmen, ventileren en koelen van gebouwen. Iets meer dan vier vijfde van het energiegebruik voor klimaatregeling & warm water wordt gebruikt voor de verwarming van gebouwen, en wordt voor meer dan 80 % opgewekt met fossiele brandstoffen (**figuur 1.6**)<sup>2, 5, 6, 7, 8</sup>.

Slechts een beperkt deel van het energetische eindgebruik in Vlaanderen gaat naar verlichting: 4 % of 40 PJ. De aandelen voor elektrische verlichting zijn in de landbouw, de huishoudens en de industrie vrij gelijkaardig en schommelen tussen de 3 à 4 %<sup>2, 5, 6, 7, 8</sup>. In de sector handel & diensten gaat 20 % van het energiegebruik naar verlichting. Met 40 % van het energiegebruik voor verlichting is de deelsector kantoren & administratie, inclusief de openbare straatverlichting, de grootste gebruiker<sup>2, 5</sup>.

Alle sectoren maken gebruik van elektr(on)ische toestellen zoals computers, televisies en huishoudelijke apparatuur zoals ijskasten of koffiezetapparaten. Veel van deze toestellen bevatten motoren met zeer uiteenlopende vermogens, van heel klein zoals in staafmixers of scheerapparaten tot heel groot zoals voor pompsystemen of transportbanden in de industrie. De meeste van die motoren worden elektrisch aangedreven (95 %), de overige aandrijving gebeurt door bijvoorbeeld diesel- en benzinemotoren. In Vlaanderen wordt 13 % of 115 PJ van het energetische eindgebruik ingezet om deze apparatuur draaiend te houden. Het merendeel of 62 % van de energetische energie voor (elektrische) apparatuur wordt gebruikt in de industriële sector<sup>2, 5, 6, 7, 8</sup>.

Net geen vierde (of 219 PJ) van het binnenlands energetische energiegebruik in Vlaanderen wordt gebruikt voor vervoer, zowel *on-* als *offroad*. *Onroad* omvat zowel het wegvervoer als het spoorverkeer en de inlandse scheep- en luchtvaart, samen goed voor 203 PJ. Het wegvervoer (motorfietsen, auto's, vrachtwagens ...) gebruikt 95 % van alle energie *onroad*. Het *offroad* vervoer in de industrie (12 PJ) omvat bijvoorbeeld graafmachines, kranen, bulldozers, vorkliften ... en in de landbouw (4 PJ) gaat dit hoofdzakelijk over tractoren<sup>2, 7, 8</sup>. Het vervoer wordt voor iets meer dan 93 % aangedreven op fossiele brandstoffen, iets meer dan 4 % op biomassa, en zowel gas als elektriciteit zijn elk goed voor ruim 1 %. Diesel is met een aandeel van ongeveer vier vijfde de meest gebruikte energiedrager<sup>2, 7, 8</sup>. Innovatieve voertuigtechnologie onder de vorm van nul-emissievoertuigen komt nog maar bescheiden op gang.

De industrie zet heel wat proceswarmte in, die kan worden opgedeeld in proceswarmte op hoge temperatuur en proceswarmte op lage en middelhoge temperatuur. Om allerhande smelt-, bak-, droog- en andere ovens op temperatuur te brengen zijn hoge temperaturen van meer dan 300 à 400 °C nodig. De lagere temperaturen worden gebruikt voor de productie en distributie van stoom, stoken van destillatiekolommen, fractionering ... Bijna een derde van het energetische eindgebruik in Vlaanderen wordt gebruikt voor proceswarmte, waarvan 16 % of 149 PJ voor hoge temperaturen en 15 % of 127 PJ voor lagere temperaturen. 85 % van de warmte nodig voor processen op hoge temperatuur is afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen. Daarbij wordt voor ongeveer drie vijfde gebruik gemaakt van vaste fossiele brandstoffen, nagenoeg volledig te situeren binnen de ijzer- & staalindustrie. Bij de processen op lagere temperatuur is slechts een derde van de benodigde energie afkomstig van de directe inzet van fossiele brandstoffen, maar indirect is dit meer. Iets minder dan de helft van de energiedragers voor de processen op lage temperatuur zijn immers 'andere brandstoffen', nevenstromen uit de chemie – vaak van fossiele oorsprong – die bijna allemaal als energiebron worden ingezet in de chemische industrie<sup>2, 7, 8</sup>.

Eerder werd al aangehaald dat de landbouw in 2014 een netto stroomproducent was, en dus elektriciteit leverde aan het openbaar net. Ook bij de industrie wordt nog een deel energie verhandeld (iets meer dan 20 PJ). Hier gaat het voornamelijk om hoogovengas en een klein deel cokesovengas en koolteer<sup>2, 7, 8</sup>.

## Aanbodzijde van het energiesysteem

### ———— Import domineert invulling van de energievraag

Het gros van alle (verhandelde) energiedragers ingezet bij de eindgebruikers wordt aangeleverd vanuit de energiesector, vaak na transformatie van primaire bronnen zoals aardolie, splijtstoffen, aardgas en steenkool. Die primaire energiebronnen zijn bijna altijd afkomstig uit het buitenland. Vlaanderen heeft immers geen gekende reserves van uranium, aardolie of aardgas. Wereldwijd zijn Kazachstan, Canada en Australië de grootste leveranciers van uranium. Voor aardgas en petroleumproducten rekende Vlaanderen in 2014 vooral op aanvoer uit andere Europese landen (vooral Nederland en Noorwegen en in mindere mate het Verenigd Koninkrijk voor aardgas; vooral Rusland en in mindere mate Noorwegen en het Verenigd Koninkrijk voor aardolie), aangevuld met leveringen voornamelijk uit het Midden-Oosten. In het Kempens bekken beschikt Vlaanderen wel over 8 miljard ton technisch winbare steenkool. Door de veel goedkopere prijzen op de wereldmarkt, werd in 1992 de ondergrondse

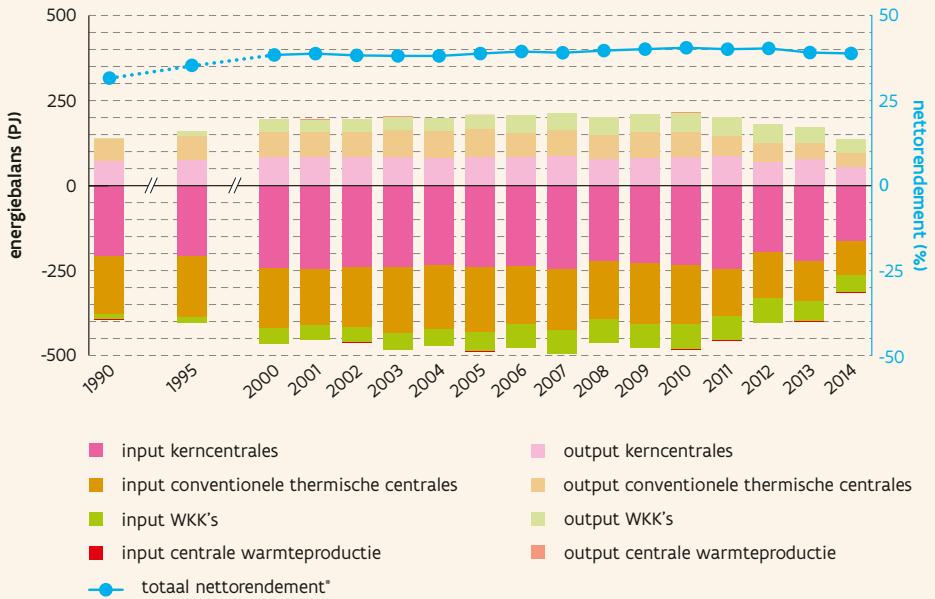
ontginning in Vlaanderen definitief stopgezet. Inmiddels voert Vlaanderen ook alle steenkool in, vooral uit Zuid-Afrika, de Verenigde Staten, Australië en Rusland. De Kempense steenkoolreserves bevatten ook methaangas. VITO schat dat 7 à 31 miljard m<sup>3</sup> daarvan zich in de best winbare zones bevindt. Door ongunstige marktomstandigheden is de ontginning hiervan echter erg onzeker geworden. Tot slot komen nog dieper in de Vlaamse bodem ook schalielagen voor waaruit mogelijk (fossiel) schaliegas kan gewonnen worden. Het potentieel aan schaliegas in de Vlaamse ondergrond is nog totaal onbekend, en de winning ervan vereist de inzet van de omstreden fracking-techniek. Onder andere de mogelijke impact van daarbij gebruikte chemicaliën op waterwinning uit watervoerende lagen is reden tot bezorgdheid. Tot er meer duidelijkheid is over de voorwaarden om schaliegas te winnen zonder schade aan mens en milieu, is er in Vlaanderen een moratorium van kracht op de winning van schaliegas.

### ———— Levering fossiele brandstoffen: mogelijke rendementswinst beperkt

Het rendement van de petroleumraffinaderijen in Vlaanderen blijft jaar na jaar rond de 94 % schommelen. Dat betekent dat de energie-inhoud van alle petroleumproducten zoals stookolie, benzine en diesel die de raffinaderijen voortbrengen slechts 6 % lager ligt dan de energie-inhoud van de aangevoerde aardolie. Die 6 % valt op te delen tussen circa 5 % eigen energiegebruik in de fornuizen en ketels, en 1 % transformatieverliezen (lekverliezen e.a.). De mogelijkheden om het rendement van petroleumraffinaderijen verder op te krikken zijn beperkt. Naast het verder terugdringen van de genoemde verliezen, kunnen de raffinaderijen proberen om het eigen brandstofgebruik nog wat te reduceren door een minimalisatie van de reflux in de destillatietorens, van de luchtvermaat in de fornuizen en van de druk in bepaalde processen. Daarnaast kunnen bijkomende investeringen in betere isolatie, warmterecuperatie en warmte-integratie verder energiebesparend werken.

Samen met de raffinaderijen staan de gasbedrijven in voor de levering van fossiele energiebronnen aan de eindgebruikers. Het aardgas ondergaat geen transformatie tussen de levering vanuit het buitenland en de gasmeters bij de gebruikers. Wel gebruiken gasbedrijven zelf een deel energie (bv. in de compressiestations op het netwerk van transport- en distributieleidingen) en treden diverse lekverliezen op. Tot slot hebben de gasbedrijven een beperkt stroomgebruik. Het eigen energiegebruik en de verliezen bij de gasbedrijven bedroegen samen 2 PJ in 2014, of slechts 0,5 % ten aanzien van het totale gebruik aan aardgas in Vlaanderen. Voorgaande jaren wisten de gasbedrijven de lekverliezen nog te beperken door gaandeweg alle oude gietijzeren leidingen – die nog dateerden uit de periode van het 'stadsgas' en die zich vooral in de steden bevonden – en de leidingen uit asbestcement (vezelcement) te vervangen door polyethen- of staalleidingen die tot een factor 100 minder doorlatend zijn.

**Figuur 1.7** Energiebalans en nettorendement centrale stroom- en warmteproductie (Vlaanderen, 1990-2014)



\* nettorendement = (output - eigen gebruik - netverliezen) / input  
 Stroom- en warmteproductie op basis van zon, wind en water worden niet beschouwd. Voor deze hernieuwbare energiebronnen wordt immers gerekend met een theoretisch rendement van 100 %.

Bron: MIRA op basis van Aernouts et al. (2016)<sup>2</sup>

## Centrale stroomproductie: slechts twee vijfde primaire energie omgezet in nuttige energie voor eindgebruikers

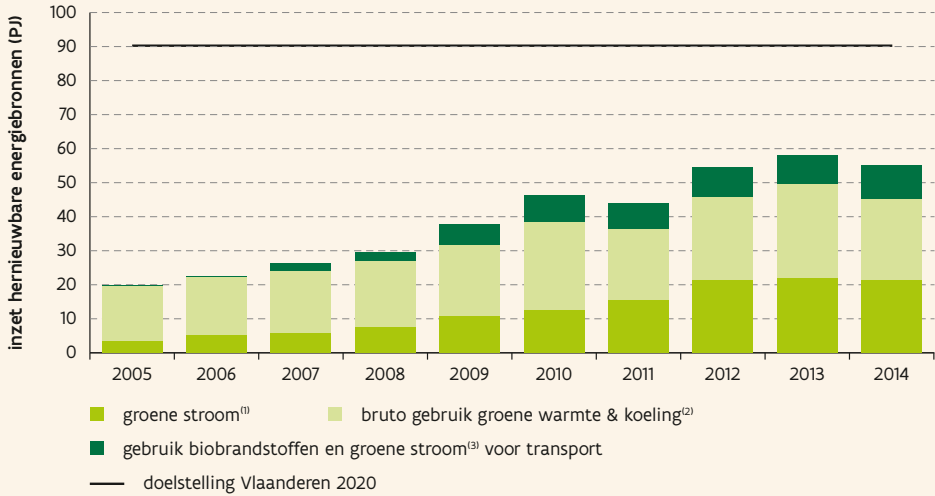
Bij de centrale productie van elektriciteit (en warmte) wordt slechts een deel van de aangewende primaire energie omgezet in nuttige energie voor de eindgebruikers. Naast transformatieverliezen en eigen energiegebruik in de elektriciteitscentrales gaat er ook nog energie verloren tijdens het transport en de distributie tot bij de eindgebruikers. Het nettorendement van de productie, het transport en de distributie van elektriciteit en warmte binnen de energiesector in Vlaanderen houdt rekening met al deze verliesposten. Tussen 1990 en 2010 is dit rendement gestegen van 31,6 tot 40,5 %. Sindsdien ging het rendement opnieuw achteruit naar 38,9 % in 2014 (rechter Y-as in **figuur 1.7**). We overlopen de verschillende technieken ingezet voor stroomproductie in Vlaanderen om deze vaststelling te duiden.

Het elektrisch rendement – of de verhouding tussen de energie-inhoud van de geproduceerde stroom en de energie-inhoud van de gebruikte brandstoffen – van een klassiek thermische elektriciteitscentrale op fossiele brandstoffen bedraagt 34 à 40 %. Stoom- en gascentrales of STEG-centrales halen door de inzet van twee turbines een hoger elektrisch rendement van 50 à 60 %. Maar net als bij de kerncentrales gaat ook bij fossiele centrales heel wat restwarmte verloren. Door de verminderde inzet van centrales op kolen en aardgas liepen de transformatieverliezen (en ook het eigen energiegebruik) de laatste jaren in absolute waarden sterk terug. Het gebruik van kolen kwam onder druk door de verstrengde milieuwetgeving die zorgde voor een shift naar aardgascentrales en door de opkomst van biomassa (zowel bijstook als zuivere biomassacentrales) bij het streven naar een verhoogd aandeel groene stroom (en de bijhorende vergoeding voor groenestroomcertificaten). De input van kolen in elektriciteitscentrales is met 83 % teruggevallen tussen 1990 en 2014. Na eerst te verviervoudigen tussen 1990 en 2009, halveerde ook de inzet van aardgascentrales. De reden hiervoor is dat ze enkel nog de resterende vraag dienen te dekken die niet kan ingevuld worden door kernenergie en het stijgend aanbod van hernieuwbare energie. Die laatste hebben een prioritaire toegang tot het elektriciteitsnet, terwijl de stroom die gascentrales leveren flexibel op- of neergeschaald kan worden in functie van de resterende stroomvraag. De marginale kosten van variabele hernieuwbare energiebronnen (wind, zon), kernenergie en steenkool waren de afgelopen jaren lager dan deze van de gasgestookte centrales, waardoor op basis van de economische logica eerst deze bronnen zullen aangesproken worden vooraleer elektriciteit te produceren op basis van aardgas. Dit betekent eveneens dat de import van stroom uit buurlanden geproduceerd in nucleaire centrales, steen- of bruinkooleenheden, windturbines en zonnepanelen een krimp in de rentabiliteit van onze gascentrales veroorzaakte. De netto-import van elektriciteit in België neemt sinds 2010 immers gestaag toe, en bedroeg in 2015 ongeveer één vierde van het totale elektriciteitsgebruik.

Sinds de kerncentrales in werking werden gesteld tussen 1975 en 1985 hebben ze de stroomproductie in ons land gedomineerd. Nucleaire centrales zijn voornamelijk geschikt voor de productie van de zogenaamde basislast en draaien vrijwel het hele jaar door continu. Met een aandeel van 50 à 60 % in de totale stroomproductie behoorde België wereldwijd steeds tot de top-5 van landen met het hoogste aandeel nucleaire energie<sup>9</sup>. Pas na 2013 zakte het aandeel in de Belgische elektriciteitsproductie voor het eerst in meer dan drie decennia onder de 50 % door het herhaaldelijk stilleggen van enkele reactoren: naar 47,5 % in 2014 en 37,5 % in 2015. De wet op de kernuitstap uit 2003 bepaalt dat geen nieuwe kerncentrales voor industriële elektriciteitsproductie mogen worden gebouwd, en dat de bestaande kerncentrales gesloten worden wanneer ze 40 jaar oud zijn. Volgens die wet op de kernuitstap moesten de oudste drie reactoren (Doel 1 en 2, en Tihange 1) in 2015 sluiten en de jongste (Doel 4 en Tihange 3) in 2025; Doel 3 en Tihange 2 zouden respectievelijk in 2022 en 2023 gesloten worden. Uit vrees dat de bevoorradingszekerheid in het gedrang zou komen, heeft de Belgische overheid echter beslist de operationele werkingsduur van die eerste drie centrales met 10 jaar te verlengen. Daardoor is de kernuitstap nu geconcentreerd in de periode 2022-2025. In Vlaanderen schommelde het aandeel van kernreactoren in de totale netto stroomproductie de laatste 20 jaar rond de 45 %. Maar door



**Figuur 1.8** Inzet hernieuwbare energie (Vlaanderen, 2005-2014)



Datasets berekend overeenkomstig de definities in de Europese Richtlijn 2009/28/EC:

<sup>(1)</sup> De totale bruto stroomproductie uit hernieuwbare energiebronnen omvat ook de netverliezen en het eigengebruik van elektriciteit door de producenten. Exclusief groene stroom gebruikt voor transportdoeleinden.

<sup>(2)</sup> Het bruto gebruik van groene warmte & koeling omvat de hoeveelheid warmte & koeling die in Vlaanderen wordt geproduceerd uit hernieuwbare energiebronnen, plus het gebruik van andere energie uit hernieuwbare bronnen voor verwarmings-, koelings- en verwerkingsdoeleinden.

<sup>(3)</sup> Met toepassing correctiefactor 2.5 voor elektrische wegvoertuigen ter omrekening naar input primaire energie.

**Bron:** MIRA op basis van Jespers et al. (2016a)<sup>4</sup>

onvoorziene, tijdelijke sluitingen in de kerncentrale van Doel vanaf de zomer van 2012 (o.a. door het onderzoek naar mogelijke waterstofinsluitels in de reactorwand van Doel 3), daalde dat aandeel naar 37,5 % in 2014. Naast de dalende beschikbaarheid van de reactoren en het vooruitzicht van de kern-uitstap is het ook belangrijk te vermelden dat in kerncentrales slechts één derde van de ingebrachte nucleaire warmte wordt omgezet in stroom. Dat blijkt ook duidelijk uit het verschil tussen input en nuttige output in **figuur 1.7** (linker Y-as). De rest van de warmte wordt niet nuttig gebruikt en wordt grotendeels weggekoeld in de koeltorens.

Sluitstuk voor het verschil tussen de vraag en het aanbod naar elektriciteit is de import van stroom. Vooral door het tijdelijk en herhaaldelijk stilleggen van kernreactoren nam de netto import van elektriciteit de laatste jaren sterk toe. Die netto import piekte in 2014 op 67 PJ, 6 keer meer dan de netto stroomproductie uit zon, water en wind in Vlaanderen (zie verder).

### ———— Warmte-krachtkoppeling staat in voor meer dan een kwart van de stroomproductie

Warmte-krachtkoppeling of WKK is de gelijktijdige omzetting van een energiebron in kracht (meestal gebruikt om stroom op te wekken) en nuttige warmte. WKK-installaties benutten de primaire energiebronnen beter en verlagen de emissies in vergelijking met de gescheiden opwekking van kracht en warmte. WKK laat bovendien decentrale productie toe, wat de transportverliezen beperkt. WKK-installaties worden niet enkel uitgebaat door of in samenwerking met elektriciteitsbedrijven (energiesector), maar ook door zelfproducenten (= bedrijven die naast hun hoofdactiviteit zelf elektriciteit produceren voor eigen gebruik en eventuele verkoop aan anderen, bv. een glastuinbouwbedrijf) uit andere sectoren. Na een eerste sterke groei in de tweede helft van de jaren 90 viel de bouw van nieuwe WKK-installaties nagenoeg stil door de liberalisering van de elektriciteitsmarkt met een ongunstige verhouding tussen brandstof- en elektriciteitsprijzen. Maar sinds eind 2004 wordt de verdere invulling van het WKK-potentieel ondersteund door een certificaatsysteem dat de Vlaamse overheid oplegt aan de elektriciteitsleveranciers. De invoering van de certificaten zorgde voor een verdubbeling van het opgesteld vermogen aan WKK-installaties tussen 2004 en 2012. Voor alle WKK's in Vlaanderen samen bestond de nuttige energetische output in 2014 voor 67 % uit stoom en andere warmte, 29 % uit elektriciteit en 4 % uit directe aandrijvingskracht. Tussen 2005 en 2014 bleef de verhouding tussen nuttige output en energetische input van WKK's schommelen rond de 80 % (**figuur 1.7**). Maar met een totaalrendement van 83 % bleven de transformatieverliezen in 2014 beperkt tot 17 %. Dit rendement ligt heel wat hoger dan bij de eerder vermelde centrales. De input blijft voornamelijk uit aardgas bestaan, met een aandeel van 61 % in 2014. Het gebruik van hernieuwbare brandstoffen (biomassa, plantaardige olie, biogas) in WKK's neemt wel jaar na jaar toe. De opmars van deze zogenaamde bio-WKK's leidde tot een aandeel hernieuwbare energie van 12 % in de brandstofinput van WKK's in 2014. De nuttige output van elektriciteit door WKK-installaties was in 2014 goed voor 17,6 % van het bruto binnenlands elektriciteitsgebruik en zelfs 27,2 % van de totale netto stroomproductie in Vlaanderen. Toch is de laatste jaren de groei van het operationele WKK-vermogen afgevlakt en viel de stroomoutput van de WKK's met een vijfde terug tussen de piek van 2012 en 2014, door de verminderde inzet van aardgasgestookte installaties<sup>10</sup>.

### ———— De drie sporen van hernieuwbare energie

Het gros van het energiegebruik in Vlaanderen steunt nog altijd op niet-hernieuwbare energiebronnen. Toch winnen hernieuwbare bronnen zeker de laatste 10 jaar aan belang. Dit gebeurt via drie sporen: groene stroom, groene warmte & koeling en biobrandstoffen voor transport (**figuur 1.8**).

De Europese Richtlijn Hernieuwbare Energie verplicht België om het aandeel hernieuwbare energie in het bruto finaal energiegebruik op te trekken van 2,3 % in 2005 naar 13 % in 2020 (in 2014 zat België aan 8,0 %<sup>11</sup>). Daarbij hoort zowel de inlandse productie van groene stroom, de groene warmte &

koeling als het gebruik van hernieuwbare energiebronnen voor transportdoeleinden. Het bruto finaal energiegebruik wordt gedefinieerd als de som van de energiegroenstoffen geleverd voor energiedoel-einden aan alle sectoren buiten de energiesector (elektriciteit en raffinaderijen), inclusief het gebruik van elektriciteit en warmte door de energiesector zelf en de netverliezen bij de productie en distributie van elektriciteit en warmte maar exclusief het niet-energetische eindgebruik van de industrie. Om die doelstelling tijdig te realiseren, heeft Vlaanderen zich akkoord verklaard in 2020 in te staan voor 90,267 PJ hernieuwbare energie. Ook moet iedere lidstaat tegen 2020 minstens 10 % hernieuwbare energie inzetten in het weg- en spoorvervoer. Daaronder worden zowel biobrandstoffen als groene stroom en waterstof gewonnen uit hernieuwbare energiebronnen verstaan. In Vlaanderen geschiedt de productie van biobrandstoffen van de 1<sup>ste</sup> generatie (uit voedselgewassen zoals koolzaad, maïs, graan en suikerbiet) momenteel in drie bedrijven voor biodiesel en twee bedrijven voor bio-ethanol. Maar omdat biobrandstoffen van de 1<sup>ste</sup> generatie leiden tot een eerder beperkte of soms zelfs geen netto CO<sub>2</sub>-reductie en tot concurrentie met de productie van voedingsmiddelen, mogen biobrandstoffen van de 1<sup>ste</sup> generatie slechts voor 7 van de hoger vermelde 10 % meetellen. De overige 3 % zal moeten komen van biobrandstoffen van de 2<sup>de</sup> generatie (gewonnen uit afvalolie en -vetten, oogstresten, of houtafval) en het gebruik van groene stroom voor elektrische voertuigen.

**Figuur 1.8** geeft aan dat de inzet van de drie hernieuwbare fracties een duidelijke groei kende tussen 2005 en 2014 in Vlaanderen. Voor groene stroom nam de geproduceerde hoeveelheid elk jaar verder toe. Enkel in 2014 is er een kleine terugval (-2 %). Dat jaar was voor het eerst meer dan de helft van de groene stroom afkomstig van zonnepanelen en windturbines (op land of *onshore*), en niet langer van biomassa & -gas. Aangevuurd door een gunstig ondersteuningsmechanisme van groenestroomcertificaten nam immers vooral de stroomproductie door middel van zonnepanelen sterk toe in Vlaanderen: +330 % tussen 2010 en 2014. Ook windturbines op land lieten met een productiestijging van 158 % een belangrijke toename optekenen. De groenestroomproductie uit biomassa kende na 2012 daarentegen een belangrijke daling. Redenen daarvoor zijn de sluiting van de co-verbrandingscentrale van Ruiien in het voorjaar van 2013, alsook het tijdelijk stilleggen van de stroomproductie in de biomassacentrale van Rodenhuize in 2014. OVAM en de federaties Fedustria en Cobelpa hadden immers niet tijdig een positief advies gegeven over de gebruikte houtsoorten, waardoor de centrale geen recht meer had op subsidies in de vorm van groenestroomcertificaten voor de verbranding van biomassa. Door het uitblijven van die adviezen viel niet langer uit te sluiten dat die biomassa ook gebruikt zou kunnen worden als industriële grondstof bijvoorbeeld in de Vlaamse meubel- of papiernijverheid.

Na toepassing van de rekenregels uit de Europese Richtlijn 2009/28/EG blijkt de totale inzet van hernieuwbare energiebronnen in Vlaanderen inmiddels toegenomen tot 54,9 PJ. Dit betekent dat de totale inzet van hernieuwbare energie nog met 64 % moet toenemen ten opzichte van 2014, wil Vlaanderen de doelstelling halen die het heeft onderschreven tegen 2020. Voorlopige cijfers voor 2015 geven aan dat de inzet van hernieuwbare energiebronnen verder is toegenomen tot 58,7 PJ dankzij een toename in de productie van groene stroom en groene warmte<sup>1</sup>, maar aan een groeitempo van bijna 4 PJ extra per jaar zal het doel niet tijdig gehaald worden.

Het dichten van de kloof tot de doelstelling voor 2020 zal bijkomende inspanningen vragen op elk van de drie sporen. Eerdere initiatieven deden het aandeel groene stroom in het bruto eindgebruik van elektriciteit opklimmen van 1,8 % in 2005 naar 10,5 % in 2014 (en 12,7 % in 2015). De groeisnelheid van hernieuwbare energieproductie blijkt tot nog toe sterk afhankelijk van regelgeving en steunmaatregelen. Zo is de jaarlijkse toename in het geïnstalleerde piekvermogen aan zonnepanelen door het wegvallen van de gunstige subsidieregeling bijvoorbeeld sinds 2013 tot onder 50 MW gezakt, terwijl in het topjaar 2011 ongeveer 800 MW capaciteit aan het net werd aangesloten. De aandelen van groene warmte & koeling (vooral biomassa, maar stilaan ook wat meer warmtepompen, pompboilers en zonneboilers) in het totale energiegebruik voor verwarming & koeling in Vlaanderen en van biobrandstoffen en groene stroom voor transport groeiden sterk tot 2010. Dit kwam door respectievelijk een

combinatie van groenestroom- en WKK-certificaten en een bijmengplicht, gecombineerd met een tijdelijke accijnsvrijstelling. Sinds 2010 blijven de aandelen van groene warmte & koeling en hernieuwbare energie voor transport echter schommelen tussen 4 % en 5 %. Onder impuls van een nieuw ondersteuningssysteem voor groene warmte uit biomassa of diepe geothermie, het herwerkte premiestelsel voor warmtepompen, pompboilers en zonneboilers, de invoering van het verplichte aandeel hernieuwbare energie voor nieuwbouw en een verstrengde bijmengplicht voor biobrandstoffen kunnen deze aandelen de komende jaren weer verder oplopen.

### ————— Verschuiving van centrale naar decentrale energieproductie doet grens tussen vraag- en aanbodzijde vervagen

Tot voor een tiental jaar was er binnen het Vlaamse energiesysteem nog een duidelijk onderscheid tussen aanbodzijde en vraagzijde, tussen producent (gecentraliseerd) en consument (decentraal). Dit onderscheid vervaagt onder impuls van het streven naar een verhoogde inzet van hernieuwbare energiebronnen (zonnepanelen, prosumenten) en de zoektocht naar efficiëntiewinsten (bv. WKK's, benutten van nevenstromen en restwarmte).

## MILIEUVERSTORINGEN

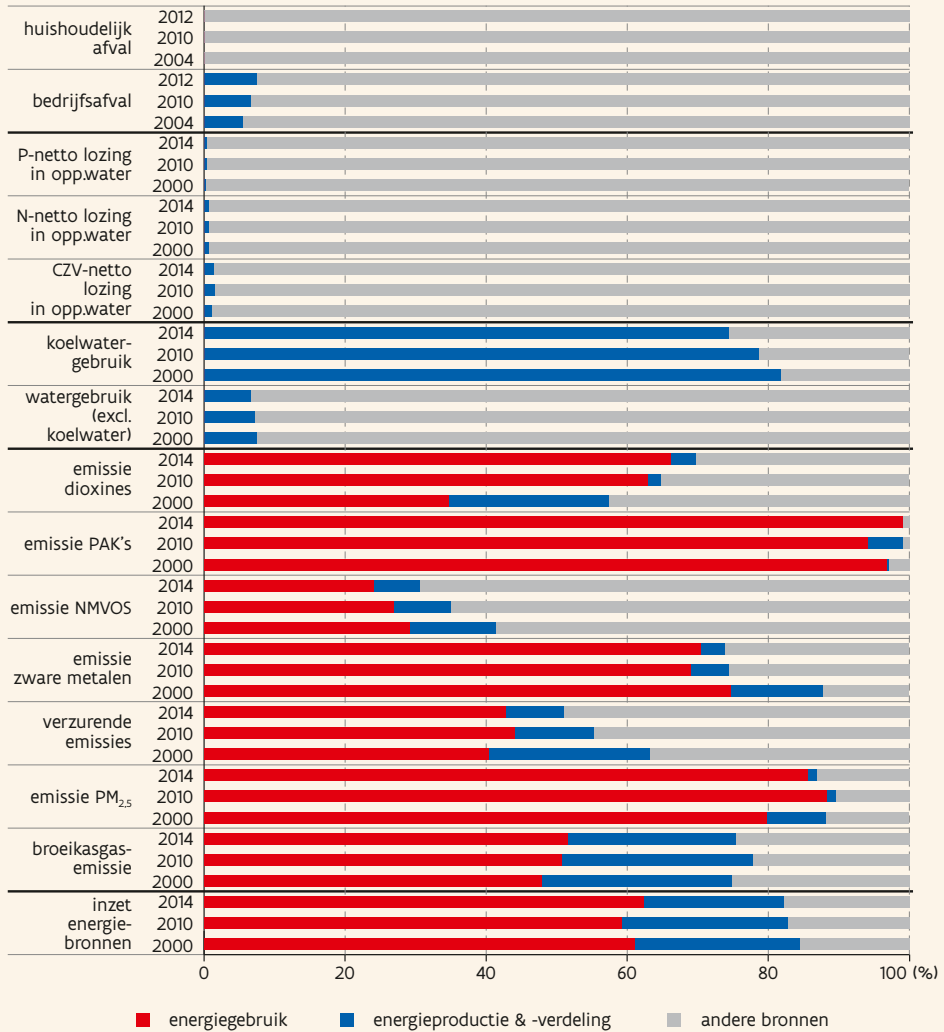
### Milieuverstoringen door het energiesysteem

In hoeverre speelt ons energiesysteem een rol in de milieudruk in Vlaanderen? Deze vraag krijgt een antwoord door de totale milieudruk in Vlaanderen op te splitsen naar de bijdrage van:

- energiegebruik: de vraagzijde in het energiesysteem met de finale energievraag voor diverse energiediensten (verwarmen & koelen, verlichten, aandrijven van motoren ...) in woningen, bedrijven, voertuigen, handelszaken en diensten;
- energieproductie & -verdeling: de aanbodzijde in het energiesysteem met de transformatie van energiebronnen in energiedragers geschikt voor de eindgebruikers, en het transport en de distributie van die energie tot bij de eindgebruikers. Dit omvat dus zowel milieudruk gerelateerd aan activiteiten van de energiesector (centrale productie) zelf, als van decentrale energieproductie (bv. installaties voor warmte-krachtkoppeling);
- niet-energiegebonden activiteiten: andere bronnen van milieudruk die geen directe link hebben met energiegebruik of -productie staan in voor belangrijke aandelen in de milieudruk. Voorbeelden zijn huishoudelijk en industrieel verfgebruik, compostering, industriële procesemissies, afvalverbranding zonder energierecuperatie, verteringsprocessen in de landbouw en mestopslag.

**Figuur 1.9** geeft een overzicht van de aandelen in de milieudruk van het energiegebruik, de energieproductie & -verdeling en niet-energiegebonden activiteiten, dit voor de milieuthema's afvalproductie, emissies naar de lucht (inclusief broeikasgassen), lozingen in oppervlaktewater, watergebruik en gebruik van energiebronnen. Zo wordt duidelijk in welke mate de milieudruk gerelateerd aan het energiesysteem toe te wijzen is aan de vraagzijde (rode balken) en de aanbodzijde (blauwe balken). De grijze balken geven het aandeel in de milieudruk weer van niet-energiegebonden activiteiten in Vlaanderen. De drie zichtjaren 2000, 2010 en 2014 worden gekenmerkt door verschillen in de economische activiteitsniveaus van de sectoren, veranderingen in de bevolking (toename, gezinsverdunding,

**Figuur 1.9** Aandeel van energiegebruik, energieproductie & -verdeling en niet-energiegebonden activiteiten in de milieudruk (Vlaanderen, 2000\*, 2010, 2014\*)



\* Voor afvalproductie zijn geen basisdata voor de jaren 2000 en 2014 beschikbaar, en werd het eerst en laatst beschikbare jaar genomen, namelijk 2004 en 2012.

Bron: MIRA op basis van VMM, VITO en OVAM

vergrijzing) en het klimaat (erg koude winter in 2010 versus uitzonderlijk warme in 2014). Deze verschillen resulteren niet in eenduidige patronen van wijzigende aandelen voor energiegebruik en energieproductie & -verdeling over de periode 2000-2014, mogelijk omdat er ook nog andere factoren spelen zoals verschuivingen in aandelen van gebruikte energiebronnen, ingezette technologie, mogelijk gerealiseerde efficiëntiewinsten, enz.

Door het vervagen van de grens tussen energieproductie & -verdeling en energiegebruik (bv. door het stijgend aandeel van prosumenten of energiegebruikers die zelf een deel van hun energie opwekken), kan milieuwinst aan de ene zijde (deels) ten koste gaan van milieuwinst aan de andere zijde. Energieproductie & -verdeling en energiegebruik treden als het ware op als communicerende vaten. Zo kan het toenemende elektriciteitsgebruik bij de eindgebruikers (bv. warmtepompen: eind 2014 al 14 162 geïnstalleerd in Vlaanderen; elektrische wagens: in 2015 zijn 991 volledig elektrische personenwagens en 1 860 plug-in hybrides nieuw ingeschreven in Vlaanderen) leiden tot een lagere milieudruk aan de gebruikerszijde maar een hogere milieudruk aan de productiezijde, vooral als de benodigde stroom niet wordt opgewekt met hernieuwbare energiebronnen. In de mate dat de consumenten zelf groene stroom opwekken, zoals bijvoorbeeld in bijna nulenergiewoningen, kan men deels vermijden dat de milieudruk wordt verschoven naar de centrale aanbodzijde.

## Energiegebruik heeft grootste aandeel in luchtverontreiniging

De hoofdmoot van de milieudruk door het energiegebruik situeert zich bij de emissies van diverse luchtpolluenten. Bij de omzetting in mechanische energie, nuttige warmte enz. (verbrandingsmotoren, industriële stookinstallaties, kachels, centrale verwarming ...) worden verschillende fossiele energiedragers verbrand. Bij deze verbrandingsprocessen komen tal van polluenten vrij in de omgevingslucht: altijd CO<sub>2</sub>, en afhankelijk van de brandstof en de efficiëntie van het verbrandingsproces ook SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOS, PAK's, stofdeeltjes als PM<sub>2,5</sub>, zware metalen ...

In 2014 is het energiegebruik verantwoordelijk voor 51 % van de broeikasgasemissies (bijna uitsluitend CO<sub>2</sub>) en 43 % van de totale verzurende emissies (met aandelen van 81 % in de totale NO<sub>x</sub>- en 55 % in de totale SO<sub>2</sub>-emissie) in Vlaanderen. De CO<sub>2</sub>-emissie is afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen: vooral voor vervoer, gebouwenverwarming en industriële proceswarmte. De NO<sub>x</sub>-emissies zijn in 2014 voor 68 % toe te schrijven aan de verbrandingsmotoren op diesel en benzine in de sector transport (hoofdzakelijk wegverkeer). De SO<sub>2</sub>-emissies komen in 2014 voor 66 % uit de industriële verbrandingsprocessen (door stoken met energiedragers met een hoog zwavelgehalte zoals kolen, cokes en zware stookolie).

Voor de emissies van zware metalen, PAK's en stofdeeltjes (PM<sub>2,5</sub>) liggen de aandelen van het energiegebruik nog hoger (respectievelijk 70 %, 99 % en 86 % in 2014). De reden hiervoor is onder andere te vinden in het verbranden van vaste fossiele brandstoffen, biomassa (hout) en (zware) stookolie. Klimaatregeling in gebouwen en de productie van warm water bij eindgebruikers is verantwoordelijk voor 31 % van het energiegebruik, en hangt af van de schommelende weersomstandigheden (streng of zachte winters). Door niet-optimale verbrandingsomstandigheden dragen de bijhorende verbrandingsprocessen in belangrijke mate bij aan de emissies naar de lucht. Vooral de woningverwarming op vaste brandstoffen (steenkool en hout) en op stookolie in verouderde kachels, verwarmingsketels en allesbranders gebeurt niet altijd efficiënt. Daarom heeft woningverwarming het hoofdaandeel in de energetische emissies van PM<sub>2,5</sub> (bijna 62 % in 2014) en PAK's (90 % in 2014).

Ook in de industrie worden nog vrij veel vaste fossiele brandstoffen (o.a. steenkool, cokes ...) en diesel gebruikt, dit onder andere voor de aanmaak van proceswarmte op zowel hoge als lage(re) temperatuur. De industrie heeft daardoor een aandeel van 23 % in de energetische emissies van PM<sub>2,5</sub>.

Daarnaast is de transportsector verantwoordelijk voor ruim 10 % (in 2014) van de energetische PM<sub>2,5</sub>-uitstoot, dit door het dieselgebruik in het personen- en goederenvervoer.

De energieproductie & -verdeling veroorzaakt, wat luchtmissies betreft, een kleinere milieudruk dan het energiegebruik. Hierbij speelt zeker een belangrijke rol dat grote verbrandingsinstallaties – meer dan kleinschalige verbrandingsinstallaties – kunnen uitgerust worden met ontstoffings-, ontzwavelings- en ontstikkingstechnieken. Toch blijven voornamelijk de elektriciteits- en warmteproductie en de petroleumraffinaderijen ook nu nog een wezenlijke bijdrage leveren aan de milieudruk in Vlaanderen door het gebruik van fossiele brandstoffen. Voor de emissies naar lucht in 2014 valt die bijdrage vooral op bij de uitstoot van broeikasgassen (vooral CO<sub>2</sub>) met een aandeel van 24 % in de totale uitstoot, en de verzurende stoffen met een aandeel van 8 % (aandelen van 9 % in de NO<sub>x</sub>- en 30 % in de SO<sub>2</sub>-emissie). Het koelwatergebruik is voor meer dan 75 % toe te schrijven aan de elektriciteitsproductie (zowel de kerncentrale van Doel als de conventionele thermische centrales).

Afvalproductie (huishoudelijk en industrieel afval), lozingen naar oppervlaktewater van diverse pollutanten (P, N, CZV, BZV ...), watergebruik (exclusief koelwater) zijn hoofdzakelijk toe te schrijven aan activiteiten die niet direct gelinkt zijn aan het energiegebruik en de energieproductie & -verdeling. Ook een aanzienlijk deel van de emissies van NMVOS, dioxines en verzurende stoffen is afkomstig van niet-energiegebonden activiteiten (bijvoorbeeld tal van verdampingsemisies van coating-, druk- en reinigingsprocessen, huishoudelijk en industrieel verfgebruik, composteringsbedrijven, verteringsprocessen in de landbouw, mestopslag, huishoudelijk afvalwater ...).

Het energiegebruik van alle energiediensten maakt het grootste deel uit van het bruto binnenlands energiegebruik (62 % in 2014), gevolgd door het eigen gebruik van energiedragers in de energieproductie & -verdeling (20 %). De rest van de energiebronnen (18 %) worden aangewend voor niet-energetische doeleinden, bijvoorbeeld als 'bouwstenen' voor de productie van diverse kunststoffen in de chemische industrie.

## OPLOSSINGSRICHTINGEN

### Naar een koolstofarme economie tegen 2050

Naast een reductie van de broeikasgasuitstoot met 20 % in 2020 ten opzichte van 1990, streeft de EU ook naar een emissiereductie met 40 % tegen 2030. Dit laatste geldt als eerste intermediaire doelstelling om de EU op het juiste pad te zetten in de energietransitie naar een koolstofarme economie tegen 2050, met een uitstootreductie van 80 à 95 %. Begin 2016 heeft België zich bij de ondertekening van het Klimaatakkoord van Parijs alvast geëngageerd tot een reductie van de broeikasgasuitstoot met minstens 40 % tegen 2030. Dat akkoord is opgevat als een actieplan om de gemiddelde temperatuurtoename op aarde beneden de 2 °C of zelfs 1,5 °C te houden ten opzichte van het pre-industriële tijdperk.

Wil ook Vlaanderen zich inschrijven in zo'n koolstofarme economie, dan zal ons energiesysteem een heuse transitie moeten ondergaan. Eerder toonden enkele studies al aan dat een transitie naar een koolstofarme economie met minstens 80 % minder broeikasgasuitstoot tegen 2050 wel degelijk mogelijk is voor België, louter op basis van bestaande technologie aangevuld met koolstofafvang en -opslag (*Carbon Capture and Storage, CCS*) in industriële processen en diepe geothermie<sup>12, 13, 14</sup>. Bovendien kon worden aangetoond dat zo'n scenario geen meerkosten voor de maatschappij met zich zou

meebrengen<sup>12</sup>. Wel zouden er verschuivingen in het bestedingspatroon van individuen en bedrijven nodig zijn: grote investeringen op de korte en middellange termijn in energie-efficiëntie, nieuwe infrastructuur, flexibele afstemming tussen vraag en aanbod, hernieuwbare energie en koppelingen tussen de netwerken (interconnectie) worden gecompenseerd door lagere brandstofkosten op de langere termijn. Een recente vervolgstudie concludeert dat zo'n transitie niet enkel leidt tot milieuwinst maar ook kan resulteren in gunstige macro-economische gevolgen<sup>15</sup>. In **figuur 1.10** is duidelijk te zien dat een transitie scenario met reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 46 % tegen 2030 toch voor een bijkomende stijging van het bruto binnenlands product (BBP) kan zorgen met 2 % ten opzichte van een referentie scenario zonder bijkomend energie- en klimaatbeleid. Maar in een koolstofarme economie zal die groei voor een deel afkomstig zijn van andere economische activiteiten in vergelijking met een traditionele economie. Ook de tewerkstelling gaat er netto op vooruit, met de grootste toename in de bouw en enkele industriële deelsectoren. Zeker bij de homogene invoering van beleidsinitiatieven op Europees of internationaal niveau kunnen Belgische sectoren, die bij de meest competitieve binnen de EU horen, hun export en marktaandeel uitbreiden.

## Energietransitie: een huis met vele kamers

De energietransitie die Vlaanderen en Europa hebben ingezet is zowel economisch, ecologisch als sociaal een van de grootste uitdagingen voor onze beleidsmakers en belanghebbenden. Naast het tegengaan van de verdere klimaatverandering spelen voor deze energietransitie nog andere doelstellingen een belangrijke rol, zoals het garanderen van de bevoorradingszekerheid onder nagenoeg alle voorzienbare omstandigheden, een veilige energievoorziening en de beschikbaarheid van betaalbare hernieuwbare energie. Gezien de vele onzekerheden is het onmogelijk aan te geven hoe het energiesysteem van Vlaanderen er tegen 2050 uit zal zien. De prijsevolutie van technieken en energiebronnen, het maatschappelijk draagvlak en het wijzigende internationale kader zijn slechts enkele factoren die het pad van de energietransitie naar een koolstofarme economie zullen bepalen. Ook de wijze waarop we de komende decennia onze ruimtelijke ordening al dan niet bijsturen, zal determinerend zijn voor het uiteindelijke pad. Bovendien zal de energietransitie niet enkel winnaars kennen, en dus ook geconfronteerd worden met tegenwerkende krachten.

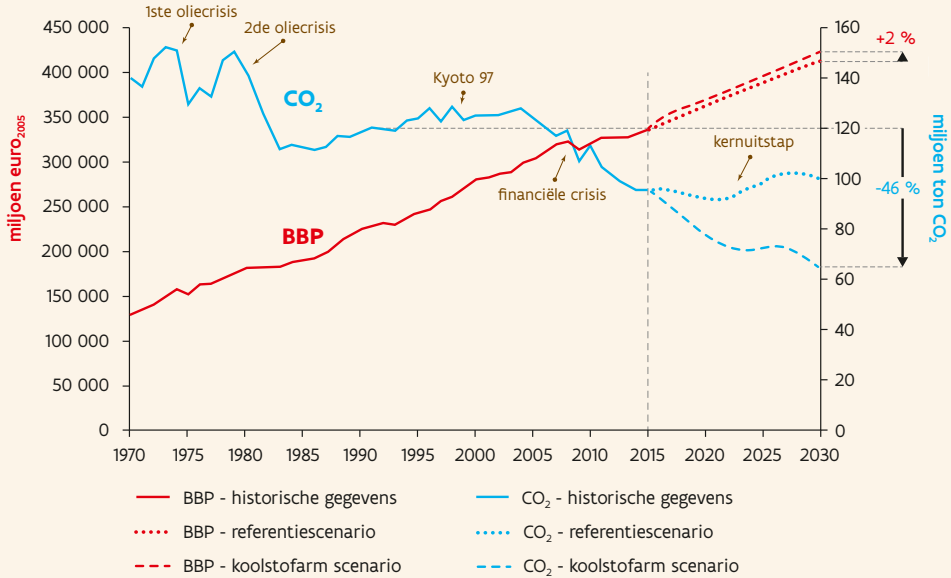
Niettemin dienen bepaalde keuzes zich nu al aan, en zijn een aantal doorbraken vereist om de broeikasgasemissies met minstens 80 % te kunnen reduceren tegen 2050. Een aantal elementen die zeker zullen of kunnen bijdragen, worden hieronder opgelijst op basis van Ros & Schure (2016)<sup>16</sup>, Cornet et al. (2013)<sup>12</sup>, VMM (2016)<sup>17</sup>, EEA (2016)<sup>18</sup> en eigen inzichten.

### ————— Vraagzijde van het energiesysteem

- In het licht van de noodzakelijke energietransitie moet de manier waarop we **maatschappelijke activiteiten zoals wonen, werken, transport en vrijetijdsbesteding invullen** kritisch bevestigd worden. Zo kunnen ruimtelijke en stedenbouwkundige ontwikkelingen in belangrijke mate bepalend zijn voor het aanbod en gebruik van hernieuwbare energie. Door bijvoorbeeld woningen doordacht in te plannen en zongericht te ontwerpen, kan de zon tot 40 % van de noodzakelijke warmte voorzien. En bij belangrijke nieuwe gebiedsontwikkelingen (woonwijken, bedrijventerreinen) dient steeds in functie van lokale mogelijkheden en opportuniteiten een grondige afweging gemaakt te worden om al dan niet in te zetten op warmtenetten, gasnetten, warmtepompen of andere duurzame opties.
- Een **blijvende inzet op energie-efficiëntie** is nodig in het licht van de doelstellingen voor hernieuwbare energie en voor het terugdringen van de broeikasgasemissies. Door de afwezigheid van eigen, economisch winbare fossiele energiebronnen en uranium, ligt in Vlaanderen de sleutel naar een hogere zelfvoorzieningsgraad en een garantie op stabiele energievoorziening bij de combinatie



**Figuur 1.10** Evolutie van het BBP en van de CO<sub>2</sub>-uitstoot vanuit historisch perspectief en onder een scenario met transitie naar een koolstofarme economie (België, 1970-2030)



Bron: Lemerrier et al. (2016)<sup>15</sup>

van een verhoogde energie-efficiëntie en de overschakeling op hernieuwbare energiebronnen. Naast een lager energiegebruik en de hierbij horende emissiereductie heeft energie-efficiëntie in de klimaatregeling voor woningen en gebouwen bijkomende potentiële voordelen. Maatregelen voor energie-efficiëntie bij de laagste inkomensgroepen en bij zogenaamde energiearmoede kunnen een grote sociale impact hebben. Een lagere energiefactuur zorgt immers voor een ruimer beschikbaar inkomen dat kan worden besteed aan andere kostenposten zoals voeding. Betere isolatie en verwarmingsinstallaties in verouderde woningen zorgen bovendien voor een betere fysieke en mentale gezondheid van de bewoners. Verbeteringen in energie-efficiëntie in commerciële en openbare gebouwen kunnen een positieve impact hebben op de arbeidsproductiviteit<sup>19</sup>.

- De toename van het **aandeel van elektriciteit in de energiemix** is wenselijk omdat die elektriciteit (deels) kan worden voorzien door hernieuwbare energiebronnen. Zo zorgt een toenemende isolatie van bestaande gebouwen en het bouwen van bijna nulenergiewoningen voor een toenemend gebruik van alternatieve systemen. Voorbeelden daarvan zijn warmtepompen en zonneboilers, al dan niet aangevuld met elektrische verwarming. Elektrische warmtepompen kunnen ook ingezet worden voor warmteleveringen beneden 100 °C in industriële processen.
- Een doorgedreven **elektrificatie van het personenvervoer** verzoent meerdere doelen. Het dringt de schadelijke uitstoot van wegtransport terug en de batterijen in de voertuigen kunnen schommelelingen in de bevoorrading met groene stroom opvangen op het elektriciteitsnet (samen met stationaire batterijen in woningen en collectief in appartementsblokken of op wijkniveau).
- De reeds gesignaleerde trend van centrale naar decentrale productie en vervaging van het onderscheid tussen energieproducenten en energiegebruikers zet zich verder door onder invloed van **burgercoöperaties**. Die coöperaties laten de bevolking toe te participeren in lokale initiatieven rond opwekking van groene stroom, groene warmte en energiediensten gericht op energiebesparing zonder comfortverlies. Groepsgevoel en winstparticipatie zijn hier hefboomen voor een verruimd draagvlak (bv. bij plaatsing van windturbines) en responsabilisering (bv. alertheid ten aanzien van het eigen energiegebruik).

#### ————— Aanbodzijde van het energiesysteem

- **Zonnestroom** wordt erg competitief door een verdere daling van de totale kost van PV-systemen (zonnepanelen), en vormt samen met de eerder vernoemde coöperaties een belangrijke stimulus voor de eigen energievoorziening en een grotere betrokkenheid van burgers bij de werking van het energiesysteem. Naast de panelen die we nu kennen, zullen op termijn ook dunne fotonvoltaïsche filmen op de markt worden geïntroduceerd, met toepassingen op wanden, glaspartijen, voertuigen ...
- Windenergieparken op zee zijn een federale bevoegdheid. De toegekende concessies laten een uitbreiding van de huidige capaciteit (701 MW<sub>e</sub>) toe tot 2 089 à 2 480 MW<sub>e</sub>, goed voor een jaarlijkse stroomproductie van circa 8 TWh of ongeveer 10 % van het totale Belgische elektriciteitsgebruik<sup>20, 21</sup>. Maar buiten een eventuele verdere uitbreiding van windenergieparken op zee, is er zeker ook nood én potentieel aan **bijkomende windenergie** op land. Daartoe is een betere integratie van windenergie in de ruimtelijke planning nodig, samen met een versoepeling van de vergunningsprocedures en een verhoogde aandacht voor het lokale draagvlak (bv. mogelijkheid bieden tot financiële deelname aan een lokaal windpark via de eerder genoemde coöperaties). Omdat grote windturbines regelmatig botsen met de ruimtelijke planning en het NIMBY-syndroom (*not in my backyard*) bij omwonenden, wordt ook gedacht aan de integratie van kleine(re) windturbines (0,1 tot 0,5 MW<sub>e</sub>) in het landschap (op kantoorgebouwen, nabij boerderijen, aan fabriekspanden ...).

- Om het evenwicht tussen vraag en aanbod op het stroomnet te garanderen zullen nog een tijdlang **flexibele installaties op aardgas en/of biomassa** nodig zijn. Mits economisch rendabel kunnen deze installaties in de toekomst uitgerust worden met CO<sub>2</sub>-afvang en -opslag (CCS). De doorbraak van de CCS-techniek laat echter al enkele jaren op zich wachten, omdat geen enkel van de 12 grote proefprojecten die binnen de EU voorzien waren tegen 2015 operationeel waren<sup>18</sup>. Het aanbod van duurzaam geproduceerde biomassa is op de lange termijn zeer onzeker. Dit wordt mede veroorzaakt doordat de koolstofbalans bij de biomassateelt op landbouwgronden en in bossen in sommige gevallen ongunstig uitpakt.
- Grootschalige omzetting van duurzaam geproduceerde biomassa in **groen gas en/of biobrandstoffen**, is een reële en misschien de enige optie voor enkele belangrijke energiegebruikers zoals een deel van de gebouwde omgeving, vliegverkeer en zwaar transport over de weg en het water. Eventueel kan dit gecombineerd met CO<sub>2</sub>-afvang en -opslag (CCS) of gebruik als grondstof (CCU) leiden tot netto negatieve emissies of *sinks*.
- De verdere ontwikkeling van **warmtenetten** kan heel wat energie helpen besparen. Via warmtenetten kunnen gebouwen voor hun warmtevraag gekoppeld worden aan bedrijven die beschikken over restwarmte op relatief lage temperatuur, of aan een duurzame centrale warmtebron (geothermie, biomassa-WKK's ...). Daarnaast bieden warmtenetten nog andere voordelen: warmtebronnen en warmte-opslag kunnen omwille van het schaalvoordeel energetisch, ecologisch en economisch zo efficiënt mogelijk ingezet worden. Bovendien is het overschakelen naar een andere (duurzamere) bron bij een centraal systeem zoals een warmtenet eenvoudiger dan bij een verzameling van decentrale opwekkers. Deze technieken zijn echter slechts lokaal inzetbaar, gelet op het warmteverlies dat optreedt bij transport door pijpleidingen. Zowel omwille van de energetische efficiëntie als omwille van de economische kost zijn warmtenetten ideaal voor gebieden met een voldoende hoge bouwdichtheid. De mogelijkheden voor warmtenetten met industriële restwarmte zijn bovendien direct afhankelijk van de continuïteit van bedrijven over perioden van vele decennia. Voor diepe geothermie zijn enkel in de Kempen vanaf 3 km diepte grondwaterlagen beschikbaar die een voldoende hoge temperatuur hebben. Vanuit een menselijk tijdsperspectief verloopt de aanvoer van warmte in de bodem traag, maar constant in de tijd en is ze haast onuitputtelijk. Daarom wordt aardwarmte net als zonne-energie aanzien als een hernieuwbare energiebron. Een recente variant hierop betreft riothermie, waarbij warmte wordt onttrokken aan rioolwater.

### ———— Integratie van vraag- en aanbodzijde

- De vele veranderingen met betrekking tot stroomvoorziening vereisen belangrijke aanpassingen aan het elektriciteitsnet. Het huidige net, uitgebouwd rond een beperkt aantal centrale productiepunten, moet worden getransformeerd tot een **internationaal goed geïnterconnecteerd en slim net** waaraan decentrale productie-eenheden en nieuwe toepassingen kunnen worden gekoppeld. Daarbij worden informatietechnologieën ingezet om de productie en distributie van elektriciteit te optimaliseren en om de flexibele vraag en het aanbod op elkaar af te stemmen. Een uitgebreide interconnectiecapaciteit laat toe tijdelijke tekorten en overschotten langs productiezijde of onvermijdbare pieken langs gebruikszijde op te vangen door stroomuitwisseling met de buurlanden, en ook om over nog grotere afstand binnen Europa groene stroom te transporteren vanuit gebieden met het grootste productiepotentieel: bijvoorbeeld zonnestroom uit Zuid-Europa, windenergie uit de Noordzee en waterkracht uit Scandinavië en uit de Alpen. Door zijn centrale ligging kan Vlaanderen, net als het al doet voor aardgas, een strategische rol gaan vervullen in het Europese supergrid. Een belangrijke factor daarin is zeker de koppeling met het geplande Noordzeenet van offshore windenergieparken.

- Het technisch potentieel voor de productie van CO<sub>2</sub>-arme elektriciteit is zo groot dat er meer mee kan worden gedaan dan alleen het huidige elektriciteitsgebruik verduurzamen. Voor vormen van energiegebruik waar een alternatief voor (methaan)gas of vloeibare brandstoffen als diesel of kerosine moeilijk zijn te vinden, kan gas of vloeibare brandstof geproduceerd met behulp van groene stroom een oplossing bieden: het zogenaamde **power-to-gas** en **power-to-liquids**. Tevens kan dit bijdragen aan het vraagstuk van energieopslag, van belang als het aanbod van zon- en windenergie groot is en de vraag beperkt: waterstofgas en vloeibare brandstoffen zijn goed op te slaan, in tegenstelling tot elektriciteit.

Ook al zijn ze vaak erg divers van aard, toch dragen de meeste elementen voor transitie zowel aspecten van optimalisatie als innovatie in zich en verweven ze vaak meerdere sporen naar een duurzaam energiesysteem: energienoden beperken, maximalisatie van de energie-efficiëntie en verhoogde inzet van hernieuwbare energiebronnen. Het gaat daarbij om meer dan CO<sub>2</sub>-arme technologie. Zoals hiervoor al aangegeven zijn ook ingrijpende vernieuwingen van de infrastructuur van groot belang en is er slechts kans van slagen als ook de institutionele vormgeving wordt aangepast. Beide vormen essentiële randvoorwaarden die al in een vroeg stadium moeten worden ingevuld. Ze vragen in de praktijk veel tijd.

## Klaar voor de start

Onzekerheden zijn haast inherent verweven in elk van bovenvermelde transitie-elementen. Die kunnen te maken hebben met het maatschappelijk draagvlak als gevolg van mogelijke neveneffecten (bv. van ondergrondse CO<sub>2</sub>-opslag), onzekerheid over de omvang van duurzaam exploitatiebare energiebronnen (biomassa, diepe geothermie) of de al dan niet succesvolle ontwikkeling van technologie. Deze onzekerheden zijn echter geen reden om een afwachtende houding aan te nemen. Daarvoor is de tijd om de energietransitie te realiseren te kort<sup>16</sup>.

Doelgerichte investeringen zijn een basisvereiste om tijdig de energietransitie te realiseren. Zo dreigen bij de stroomvoorziening investeringen in de verlengde levensduur van bestaande koolstofintensieve centrales of in nieuwe fossiele installaties (vooral steenkoolcentrales) te leiden tot zogenaamde *lock-ins* waarbij bestaande technologieën langer worden ingezet dan nodig en wenselijk is. De meeste steenkoolcentrales in gebruik binnen Europa zijn al 25 à 30 jaar oud, en gemiddeld dubbel zo koolstofintensief als gascentrales. Daarom zijn gascentrales beter dan steenkoolcentrales geschikt als back-up capaciteit om de stabiliteit van het stroomnet te garanderen – wat in ons land ook nodig zal blijven in de komende decennia<sup>14, 22</sup> – en te zorgen voor evenwicht tussen stroomvraag en -aanbod bij de integratie van intermitterende stroombronnen zoals zonnepanelen en windturbines. Gezien hun lange levensduur (35 à 40 jaar, mits investeringen uit te breiden tot 45 à 50 jaar) en de vertraging van de marktintroductie van CCS, kunnen investeringen in fossiele centrales (vooral steenkool) de komende decennia de verspreiding van koolstofarme technologie afremmen. Finaal verhoogt dit de totale kost voor de vergroening van de stroomvoorziening in West-Europa, en worden tegelijkertijd investeerders en aandeelhouders blootgesteld aan nodeloze financiële risico's ingevolge de dreiging voor een vroegtijdige sluiting van fossiele stroomcentrales<sup>18</sup>. Aanvullend toonde het Federaal Planbureau de neerwaartse impact voor België aan van een verlengde nucleaire elektriciteitsopwekking op de groothandelsprijzen voor elektriciteit. Lagere groothandelsprijzen belemmeren immers de opschaling van investeringen in hernieuwbare energiebronnen en in efficiëntie-verbeterende technologie. Het herzien van de bestaande kalender voor de uitfasering van onze kerncentrales in de wet op de kernuitstap kan daardoor de noodzakelijke energietransitie vertragen<sup>23</sup>.

Een breed gedragen en consequent aangehouden langetermijnvisie over hoe het energiesysteem moet bijdragen aan de tijdige realisatie van een koolstofarme economie in Vlaanderen en België, is dan ook van essentieel belang. Zo'n visie omvat duidelijke doelstellingen en streeft een stabiel

investeringsklimaat na. En ze hanteert een geïntegreerde benadering over beleidsdomeinen en -niveaus heen, waarbij de verschillende energiediensten aan elkaar worden gekoppeld: warmte & koeling, verlichting, mobiliteit en drijfkracht.

## REFERENTIES

De tekst is gebaseerd op de MIRA-indicatorfiches en de MIRA Kernset Milieudata 2016, beide op [www.milieurapport.be](http://www.milieurapport.be). Andere bronnen worden hieronder afzonderlijk vermeld.

- <sup>1</sup> Jaspers K., Aernouts K. & Wetzels W. (2016b) Inventaris hernieuwbare energiebronnen Vlaanderen 2005-2015. VITO, opdracht uitgevoerd in kader van referentietoek i.o.v. Vlaamse Regering, 2016/SEB/R/161, versie september 2016.
- <sup>2</sup> Aernouts K., Jaspers K. & Wetzels W. (2016) Energiebalans Vlaanderen 1990-2014. VITO, opdracht uitgevoerd in kader van referentietoek i.o.v. Vlaamse Regering, 2015/SEB/R/162, versie februari 2016.
- <sup>3</sup> Eurostat (2016) Energy intensity of the economy - annual data, <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/tsdec360>, geconsulteerd op 6/6/2016.
- <sup>4</sup> Jaspers K., Aernouts K. & Wetzels W. (2016a) Inventaris hernieuwbare energiebronnen Vlaanderen 2005-2014. VITO, opdracht uitgevoerd in kader van referentietoek i.o.v. Vlaamse Regering, 2015/SEB/R/161, versie februari 2016.
- <sup>5</sup> Couder J. (2013) Modelleren van gedrag, technologiekeuze en kostendata in EVIV-LEAP, UAntwerpen, opdracht uitgevoerd in opdracht van MIRA. [www.milieurapport.be](http://www.milieurapport.be).
- <sup>6</sup> ODYSSEE-MURE (2016) Odyssee database, [www.odyssee-mure.eu](http://www.odyssee-mure.eu), laatst geraadpleegd op 3/10/2016.
- <sup>7</sup> CLO (2016) Diverse indicatoren op de website van de Nederlandse milieuoverheid: Compendium voor de Leefomgeving, [www.clo.nl/onderwerpen/energie-en-milieu](http://www.clo.nl/onderwerpen/energie-en-milieu), laatst geraadpleegd op 1/9/2016.
- <sup>8</sup> Pennartz A. & Van den Bovenkamp M. (2016) Het elektrisch energiegebruik en het warmteaanbod van koelinstallaties voor een veertigtal bedrijfssectoren, studie uitgevoerd in opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- <sup>9</sup> IAEA (2016) PRIS-databank, [www.iaea.org/pris](http://www.iaea.org/pris), geconsulteerd op 10/10/2016.
- <sup>10</sup> Wetzels W., Aernouts K. & Jaspers K. (2015) Inventaris warmte-krachtkoppeling Vlaanderen 1990-2014. VITO, opdracht uitgevoerd in kader van referentietoek i.o.v. Vlaamse Regering, 2015/SEB/R/150, versie oktober 2015.
- <sup>11</sup> Eurostat (2016) Eurostat-database, <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>, laatst geconsulteerd 13/12/2016.

- <sup>12</sup> Cornet M., Duerinck J., Laes E., Lodewijks P., Meynaerts E., Pestiaux J., Renders N. & Vermeulen P. (2013) Scenarios for a Low Carbon Belgium by 2050. Studie uitgevoerd door CLIMACT en VITO in opdracht van de Dienst Klimaatverandering van de FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu.
- <sup>13</sup> Devogelaer D., Duerinck J., Gusbin D., Marenne Y., Nijs W., Orsini M. & Pairon M. (2012) Towards 100% renewable energy in Belgium by 2050. Study commissioned by the four Belgian ministers (1 federal, 3 regional) in charge of energy, and realized by a consortium of the Federal Planning Bureau, the Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable and the Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek.
- <sup>14</sup> Devogelaer D. & Gusbin D. (2015) 2030 Climate and Energy Framework for Belgium – Impact assessment of a selection of policy scenarios up to 2050. Federal Planning Bureau, Working Paper 3-15.
- <sup>15</sup> Lemerrier Th., Pestiaux J., Vermeulen P., Bréchet Th., Berger L., Bossier Fr., Kleiman M., Hunter S. & Livermore Sc. (2016) Macroeconomic impacts of the low carbon transition in Belgium. Studie uitgevoerd door CLIMACT in samenwerking met de UCL, het Federaal Planbureau en Oxford Economics in opdracht van de Dienst Klimaatverandering van de FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu.
- <sup>16</sup> Ros J. & Schure K. (2016) Vormgeving van de energietransitie, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag. PBL-publicatienummer: 1747.
- <sup>17</sup> VMM (2016) Verslag Conferentie Megatrends, 18 december 2015, MIRA, Vlaamse Milieumaatschappij, Aalst. [www.milieuraapport.be](http://www.milieuraapport.be).
- <sup>18</sup> EEA (2016) Transforming the EU power sector: avoiding a carbon lock-in. European Environment Agency Report No 22/2016. doi:10.2800/692089.
- <sup>19</sup> COMBI (2016) Widening the perspective: An approach to Evaluating the Multiple Benefits of the 2030 EU energy efficiency potential.
- <sup>20</sup> Elia (2016b) Grid data productiegegevens, [www.elia.be/nl/grid-data/productie](http://www.elia.be/nl/grid-data/productie), laatst geconsulteerd 14/12/2016.
- <sup>21</sup> BMM (2016) Overzicht windmolenparken op zee, [www.mumm.ac.be/NL/Management/Sea-based/windmills\\_table.php](http://www.mumm.ac.be/NL/Management/Sea-based/windmills_table.php), laatst geconsulteerd 14/12/2016.
- <sup>22</sup> Elia (2016a) Studie over de nood aan 'adequacy' en aan 'flexibiliteit' in het Belgische elektriciteits-systeem – periode 2017-2027.
- <sup>23</sup> Devogelaer D. & Laine B. (2016) Drivers of wholesale electricity prices in a small, open economy - Some evidence from the nuclear restart in Belgium. Federal Planning Bureau, Working paper 9-16, October 2016.