

Opleiding Geografie  
Afstudeerrichting Geografie



# Ruimte voor energie in Vlaanderen.

Nadruk op hernieuwbare energiebronnen

**Lennert Tyberghein**

Academiejaar 2006 – 2007

Promotor: Prof. dr. G. Allaert  
Vakgroep Civiele techniek  
Afdeling Mobiliteit en Ruimtelijke Planning

Scriptie ingediend tot het  
behalen van de graad van Licentiaat  
in de Geografie  
Afstudeerrichting Geografie

**Opleiding Geografie  
Afstudeerrichting Geografie**

# **Ruimte voor energie in Vlaanderen.**

**Nadruk op hernieuwbare energiebronnen**

**Lennert Tyberghein**

**Academiejaar 2006 – 2007**

**Promotor: Prof. dr. G. Allaert  
Vakgroep Civiele techniek  
Afdeling Mobiliteit en Ruimtelijke Planning**

**Scriptie ingediend tot het  
behalen van de graad van Licentiaat  
in de Geografie  
Afstudeerrichting Geografie**

## **Toelating tot bruikleen**

De auteur geeft de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de scriptie te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met de betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.

## **Dankwoord**

Hierbij wens ik een dankwoord te richten tot alle personen die hun steentje hebben bijgedragen tot de realisatie van deze scriptie.

Vooreerst dank ik mijn promotor, Prof. Dr. G. Allaert, voor zijn hulp, goede raad en de tussentijdse evaluaties.

Ook dank ik ook David Verhoestraete voor de begeleiding en het nalezen van mijn werk.

Verder wil ik mijn appreciatie betuigen aan mijn ouders, mijn vriendin Goele en Racing Rogolle omwille van de morele steun en aanmoedigingen. In het bijzonder wil ik mijn vader bedanken voor het nalezen en verbeteren van de proefversie.

Bedankt!

Lennert Tyberghein, 22 mei 2007

# Inhoudstafel

<b>Toelating tot bruikleen.....</b>	<b>i</b>
<b>Dankwoord.....</b>	<b>ii</b>
<b>Inhoudstafel .....</b>	<b>iii</b>
<b>Lijst met figuren .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lijst met tabellen.....</b>	<b>ix</b>
<b>Lijst met afkortingen .....</b>	<b>x</b>

Inleiding en probleemstelling.....	1
------------------------------------	---

## **DEEL I DE RUIMTELIJKE GESCHIEDENIS VAN ENERGIEBRONNEN..... 4**

Inleiding.....	5
1. Spierkracht en hout.....	6
2. Wind- en waterkracht .....	8
3. Turf.....	11
4. Steenkool .....	16
Besluit.....	22

## **DEEL II HET HUIDIG RUIMTEGEBRUIK VAN ENERGIEBRONNEN..... 23**

Inleiding.....	24
1. Huidig gebruik van energiebronnen .....	25
1.1. Energie in de wereld .....	25
Het mondiaal primair energieverbruik .....	25
1.2. Energie in België.....	27
1.2.1. Primaire energieconsumptie .....	27
1.2.2. Elektriciteitsproductie .....	27
2. Steenkool .....	29
2.1 Algemeen belang.....	29
2.1.1 Mondiaal.....	29
2.1.2. België .....	31
2.2 Ruimtegebruik.....	32
3. Aardolie .....	35
3.1 Algemeen belang.....	35
3.1.1. Mondiaal.....	35
3.1.2. België .....	37
3.2. Ruimtegebruik.....	38
3.2.1. Olietankers .....	40
3.2.2. Pijpleidingen.....	40
3.2.2.1. Lengte van het pijpleidingnetwerk .....	40
3.2.2.2. RAPL .....	40
4. Aardgas.....	43
4.1. Algemeen .....	43
4.2. Ruimtegebruik.....	46

4.2.1. Pijpleidingen.....	47
4.2.1.1. Lengte van het pijpleidingnetwerk .....	47
4.2.1.2. Zeepipe .....	48
4.2.1.3. Interconnector .....	51
4.2.2. Opslag.....	51
4.2.3. LNG (Liquified Natural Gas).....	52
4.2.3.1. LNG terminal te Zeebrugge.....	52
5. Kernenergie .....	56
5.1. Historiek.....	56
5.2. Algemeen .....	58
5.3. Ruimtegebruik.....	60
5.3.1. België .....	60
5.3.2. Mogelijke vestigingsplaatsen voor kerncentrales .....	61
5.3.3. Impact op het landschap.....	62
5.3.4. Invoer .....	63
5.3.5. Opslag, verwerking en transport van kernafval .....	63
Besluit.....	66

### **DEEL III ENERGIE EN RUIMTE IN DE TOEKOMST..... 67**

Inleiding.....	68
1. Toekomstig gebruik van energiebronnen .....	69
2. Hernieuwbare energiebronnen.....	70
2.1. Wat is hernieuwbare energie? .....	70
2.2. Het hernieuwbare energiebeleid.....	72
2.2.1. Internationaal beleid.....	72
2.2.2. Europees beleid .....	73
2.2.3. Belgisch beleid .....	74
2.3. Huidig marktaandeel van hernieuwbare energiebronnen.....	76
3. De belangrijkste hernieuwbare energiebronnen en hun ruimtegebruik.....	79
3.1. Windenergie .....	80
Inleiding .....	80
3.1.1. Belang van de windenergie .....	81
3.1.2. Windenergie op land .....	86
3.1.2.1. Voor- en nadelen van onshore windenergie .....	86
3.1.2.2. Locatiekeuze voor een windenergieproject.....	87
3.1.2.2.1. Omzendbrief (EME/2006/01 – RO/2006/02), Afwegingskader en randvoorwaarden voor de inplanting van windturbines - 12 mei 2006 .....	87
3.1.2.2.2. Windplan Vlaanderen .....	88
3.1.2.2.3. Duurzame ruimtelijke ontwikkeling .....	90
3.1.2.3. Ruimtegebruik .....	91
3.1.2.3.1. Direct ruimtegebruik.....	92
3.1.2.3.2. Indirect ruimtegebruik .....	93
3.1.3. Windenergie op zee.....	99
3.1.3.1. Voor- en nadelen van offshore windenergie .....	99
3.1.3.2. Ruimtegebruik .....	100
3.1.3.3. Toegewezen zone voor offshore windenergie ontwikkelingen in België .....	104
3.1.3.4. Voorbeeld: C-power project op de Thorntonbank.....	105
3.1.3.4.1. Inhoud .....	105

3.1.3.4.2. Ruimtelijke situering.....	105
3.1.3.4.3. Enkele ruimtelijke aspecten.....	106
3.1.3.5. Andere voorbeelden.....	108
3.1.4. Kleine windturbines.....	108
3.1.5. Potentieel windenergie in België - Vlaanderen.....	110
3.2 Zonne-energie.....	113
Inleiding.....	113
3.2.1. Algemeen.....	113
3.2.1.1. De zon als energiebron.....	113
3.2.1.2. Toepassingen van zonne-energie.....	116
3.2.1.3. Implementatie van zonnestroom.....	118
3.2.1.3.1. Autonome systemen.....	118
3.2.1.3.2. Netgekoppelde systemen.....	119
3.2.1.4. Milieu-impact.....	120
3.2.2. Belang van zonne-energie.....	121
3.2.2.1. PV.....	121
3.2.2.2. Thermisch.....	123
3.2.3. Ruimtegebruik.....	124
3.2.4. Potentieel PV in België - Vlaanderen.....	126
3.3. Waterkracht.....	128
Inleiding.....	128
3.3.1. Belang van waterkracht.....	129
3.3.1.1. Algemeen.....	129
3.3.1.2. Geïnstalleerd vermogen in Vlaanderen.....	130
3.3.1.3. Potentieel in Vlaanderen.....	131
3.3.2. Ruimtegebruik.....	133
3.4. Biomassa.....	134
Inleiding.....	134
3.4.1. Algemeen.....	135
3.4.1.1. Wat is biomassa?.....	135
3.4.1.2. Wat is bio-energie?.....	136
3.4.1.3. Mestbewerking.....	138
3.4.1.3.1. Aanleiding.....	138
3.4.1.3.2. Mest als groene energiebron.....	140
3.4.2. Belang van biomassa.....	142
3.4.3. Ruimtegebruik.....	144
3.4.3.1. Ruimte voor mestverwerking.....	144
3.4.3.1.1. Omzendbrief RO/2000/02 met richtlijnen voor de beoordeling van aanvragen om een stedenbouwkundige vergunning voor bedrijfsgebonden mestbe- en mestverwerkingsinstallaties of voor mestbe- en mestverwerkingsinstallaties van beperkte schaal in agrarisch gebied.....	145
3.4.3.1.2. VCM-visietekst 'Implanting installaties voor mestbehandeling en vergisting'.....	146
3.4.3.2. Ruimte voor energiegewassen.....	147
3.4.3.2.1. Algemeen.....	147
3.4.3.2.2. Ruimte voor elektriciteitsopwekkende energiegewassen.....	149
3.4.3.2.3. Ruimte voor biobrandstoffen.....	150
3.4.3.3. Concurrentie met voedselvoorziening, ontbossing en ruimtelijke impact.....	152
3.4.4. Potentieel biomassa in België - Vlaanderen.....	152

4. Samenvatting van de belangrijkste kenmerken van hernieuwbare energiebronnen met nadruk op het ruimtelijke aspect.....	154
Besluit.....	158

## **DEEL IV DECENTRALE ENERGIEPRODUCTIE ..... 160**

Inleiding: Decentrale energieproductie: een verdergaande trend in de toekomstige energieproductie .....	161
1. Elektriciteit .....	162
1.1. Algemeen .....	162
1.2. Ruimtegebruik.....	162
2. Centrale energieproductie.....	165
3. Decentrale energieproductie .....	167
3.1. Wat is decentrale energieproductie? .....	167
3.2. Voor- en nadelen van decentrale energieproductie.....	168
4. Ruimte voor decentrale energieproductie.....	170
5. Welke technologieën ondersteunen decentrale energieopwekking? .....	172
5.1. Warmtekrachtkoppeling.....	172
5.2. Waterstof.....	173
5.3. Hernieuwbare energiebronnen .....	176
6. Schaalgrootte: centraal vs. decentraal .....	179
7. Conclusie: potentieel voor decentrale energieproductie in Vlaanderen .....	182

Algemene conclusie .....	185
--------------------------	-----

### **Bronvermelding**

### **Bijlagen**



## Lijst met figuren

Figuur 1: Watermolen Retie .....	8
Figuur 2: Windmolen Retie .....	10
Figuur 3: Kaart met de verspreiding van hoogveen in West-Europa .....	11
Figuur 4: Luchtfoto Verrebroek: Strookpercelering als gevolg van turfwinning in de 14de-16de eeuw .....	13
Figuur 5: Positionering van de Belgische mijnzetels .....	16
Figuur 6: Luchtfoto mijnzetel Beringen 1957 .....	17
Figuur 7: Mijnsite en gebouwen Winterslag .....	17
Figuur 8: Zicht op gesaneerde terril II van Beringen .....	18
Figuur 9: Luchtfoto van de cité van Waterschei .....	19
Figuur 10: Consumptie Primaire Energie op wereldvlak .....	26
Figuur 11: Globale verdeling van de kolenreserves (Gt) einde 2005 .....	30
Figuur 12: Geografische verdeling van de invoer van steenkool, 2004 (in %) .....	31
Figuur 13: Bruinkoolwinning in Garzweiler (Duitsland) .....	32
Figuur 14: Infrastructuur steenkoolverwerking in de Haven van Gent .....	33
Figuur 15: Geografische verdeling van de bewezen oliereserves einde 2005 .....	36
Figuur 16: Pijpleidingentransport in verbinding met Antwerpen .....	39
Figuur 17: Dichtheid van het oliepijpleidingnetwerk in de Europese Unie in km per 1.000 km <sup>2</sup> (2002) .....	40
Figuur 18: De RAPL in Antwerpen .....	41
Figuur 19: Geografische verdeling van de aardgasreserves einde 2005 .....	44
Figuur 20: Geografische verdeling van de invoer van aardgas, 2005 (in %) .....	46
Figuur 21: Ruimtelijke macro-positionering van het aardgasnetwerk in België .....	47
Figuur 22: Dichtheid van het aardgaspijpleidingnetwerk voor transport in de Europese Unie in km per 1.000 km <sup>2</sup> (2004) .....	48
Figuur 23: Overzicht pijpleidingen in de Noordzee .....	50
Figuur 24: LNG-Terminal Zeebrugge .....	53
Figuur 25: Infrastructuur LNG-Terminal Zeebrugge .....	54
Figuur 26: Radioactieve besmetting t.g.v. het Tsjernobyl incident .....	58
Figuur 27: Nucleaire elektriciteitsproductie en aandeel in de totale elektriciteitsproductie .....	59
Figuur 28: Positionering kerninfrastructuur in België .....	61
Figuur 29: Zicht op de kerncentrale van Doel .....	62
Figuur 30: Constructie ondergronds laboratorium HADES .....	64
Figuur 31: Overzicht van hernieuwbare energiebronnen op aarde .....	71
Figuur 32: Aandeel van de verschillende energiebronnen in het totaal primair energieverbruik in de wereld, onderverdeling van de hernieuwbare energiebronnen .....	77
Figuur 33: Elektriciteitsproductie op basis van hernieuwbare energiebronnen per type (GWh) .....	78
Figuur 34: Totale windenergie capaciteit (MW) in de wereld en voorspelling (1997-2010) ..	82
Figuur 35: Windkaart van Europa (gemiddelde windsnelheid op 50 meter hoogte) .....	84
Figuur 36: Windturbinepark Zeebrugge .....	86
Figuur 37: Windkaart Vlaanderen: Gemiddelde windsnelheid (m/s) op 75 m ashoogte .....	89
Figuur 38: De minimaal te respecteren afstand tussen turbines in een park .....	93
Figuur 39: Vogelatlas van Vlaanderen .....	96
Figuur 40: Geluidscontour rond een windpark van acht windturbines .....	98
Figuur 41: Schaduwcontour rond windmolenpark van 8 windturbines .....	99
Figuur 42: Windpark bij Horns Rev: Denemarken .....	102

Figuur 43: Kaart van de verschillende gebruikers van het BCP .....	103
Figuur 44: Aangewezen zone voor offshore windenergie ontwikkelingen in België .....	104
Figuur 45: Thorntonbank: opstelling van de bekomen concessie .....	107
Figuur 46: Voorbeelden van kleine windturbines .....	109
Figuur 47: Jaarlijkse som van de globale irradiatie ontvangen door optimaal gehelde PV-modules in België .....	115
Figuur 48: Instralingdiagram Ukkel .....	116
Figuur 49: Voorbeelden autonome PV-installaties .....	119
Figuur 50: Ruimtegebruik door zonnecellen .....	124
Figuur 51: Waterkrachtcentrales in Vlaanderen .....	130
Figuur 52: Drie-Kloven-Dam (China) .....	134
Figuur 53: Bio-energie .....	136
Figuur 54: Biomassa: grondstoffen, conversie en producten .....	138
Figuur 55: Productie van fosfaat uit dierlijke mest in Vlaanderen (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -productiedruk per fusiegemeente) .....	139
Figuur 56: Energetische aspecten bij mestverwerking .....	140
Figuur 57: Hoeveelheid groene stroom uit bio-energie in Vlaanderen .....	142
Figuur 58: De geografische situering van de diverse operationele mestverwerkingsinstallaties in Vlaanderen .....	145
Figuur 59: Gecentraliseerde energieopwekking .....	166
Figuur 60: Decentrale energieopwekking met geïntegreerd netwerkmanagement .....	168
Figuur 61: De Waterstofvisie .....	175
Figuur 62: Decentrale energieproductie door mestvergisting .....	178
Figuur 63: Decentrale energiestructuur .....	181

## Lijst met tabellen

Tabel 1: Mondiaal Primair Energieverbruik (Mtoe) .....	25
Tabel 2: Mondiaal Marktaandeel van de verschillende energiebronnen.....	26
Tabel 3: Evolutie van het primair energieverbruik in België.....	27
Tabel 4: Bruto-elektriciteitsproductie in België (2004-2005).....	28
Tabel 5: Overzicht van het ruimtegebruik door infrastructuur met betrekking tot steenkool- en cokesoverslag in de Haven van Antwerpen .....	34
Tabel 6: Wereldreserves van ruwe aardolie (1 januari 2006) .....	35
Tabel 7: Invoer van aardolie in België volgens regio van herkomst.....	38
Tabel 8: Reserves ‘Natural Gas’ in de wereld per land (1 januari 2006).....	43
Tabel 9: Overzicht Infrastructuur LNG-Terminal Zeebrugge.....	54
Tabel 10: Geografische spreiding van de Uraniumproductie in 2005 .....	60
Tabel 11: Primaire Energie Vraag in de wereld (Mtoe).....	69
Tabel 12: Beschikbare hernieuwbare energiebronnen in Vlaanderen.....	79
Tabel 13: Overzicht vermogen windenergie in Europa (per land in MW) .....	82
Tabel 14: Windturbines in Vlaanderen, geïnstalleerd vermogen (toestand op 02/08/2006)....	85
Tabel 15: Overzicht ruimtelijk potentieel in Vlaanderen (km <sup>2</sup> ).....	90
Tabel 16: Eigenschappen van de aangewezen zone voor offshore windenergie ontwikkelingen in België .....	104
Tabel 17: Gegevens over de Thorntonbank .....	106
Tabel 18: Overzicht van het offshore windenergie potentieel .....	112
Tabel 19: Zonne-instraling en diffuus deel bij verschillende weersomstandigheden .....	118
Tabel 20: Implementatie van zonne-energie .....	120
Tabel 21: Overzicht vermogen fotovoltaïsche energie in de Europese Unie in 2004-2005 (MWp).....	121
Tabel 22: Cumulatieve capaciteit van zonnecollectoren geïnstalleerd in de E.U. in 2005 (MWth) en Thermale capaciteit in werking per 1000 inwoners in 2005 (m <sup>2</sup> / 1000 inw. en kWth/1000 inw.).....	123
Tabel 23: Waterkracht in Vlaanderen, geïnstalleerd vermogen (toestand op 02/08/2006)....	130
Tabel 24: Aantal molens in de verschillende Vlaamse provincies verdeeld naar beschikbaar vermogen*, en totaal potentieel per provincie .....	131
Tabel 25: Verdeling van stuwen naar vermogen, en totaal potentieel vermogen voor stroomopwekking met waterkracht per provincie.....	132
Tabel 26: Overzicht van de gekende technisch realiseerbare uitbreidingsmogelijkheden voor waterkracht in Vlaanderen .....	132
Tabel 27: Aantal productie-installaties en geïnstalleerd vermogen van biomassa waarvoor groenestroomcertificaten worden toegekend, per technologie (05/02/2007).....	143
Tabel 28: Vereist areaal om 6% van het elektriciteitsverbruik in te vullen met stroom via energiegewassen.....	149
Tabel 29: Vereist areaal om 5,75% van de brandstof voor wegvervoer te leveren via energiegewassen.....	151
Tabel 30: Overzichtstabel van de kenmerken van hernieuwbare energiebronnen.....	154
Tabel 31: Aantal windmolens en oppervlakte bij 4% windenergie in 2010 .....	157
Tabel 32: Samenvattend schema: schaalgrootte van diverse energiesystemen.....	179

## Lijst met afkortingen

ABT	Antwerp Bulk Terminal
AGIV	Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen
AMINAL	Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
AMPERE	Commissie voor de Analyse van de Middelen voor Productie van Elektriciteit en de Reëvaluatie van de Energievectoren
ANRE	Administratie voor Natuurlijke Rijkdommen en Energie
ARS	Advanced Renewable Strategy
BAU	Business As Usual
BBT	Beste Beschikbare Technologie
BCP	Belgische Continentaal Plat
BFE	Beroepsfederatie van de elektriciteitssector in België
CBM	Coalbed methane
CO2	Koolstofdioxide
CP	Current Policies
CREG	Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas
DWT	Dead Weight Ton
ECN	Energieonderzoek Centrum Nederland
EEZ	Exclusieve Economische Zone
EIA	Energy Information Administration
EIA	Energy Information Administration
EPIA	European Photovoltaic Industry Association
ESHA	European Small Hydropower Association
EU	Europese Unie
EWEA	European Wind Energy Association
FOD	Federale Overheidsdienst
GFT	groente-, fruit-, en tuinafval
GSC	Groene Stroom Certificaten
HEB	Hernieuwbare Energiebronnen
IEA	International Energy Association
IEA	International Energy Agency
IPCC	International Panel on Climate Change
KMI	Koninklijk Meteorologisch Instituut
KMO	Kleine en Middelgrote Ondernemingen
LNG	Liquefied Natural Gas (vloeibaar aardgas)
MITRE	Monitoring & Modelling Initiative on the Targets for Renewable Energy
NG	Natural Gas (aardgas)
NIMBY	Not In My Back Yard
NIRAS	Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen
ODE	Organisatie voor Duurzame Energie
OPEC	Oil producing and exporting countries
OTEC	Oceanische thermische energieconversie
OVAM	Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaamse Gewest
PV	fotovoltaïsche zonne-energie
RAPL	Rotterdam Antwerpen Pijpleiding N.V.
RD&D	research, development and demonstration
REEB	Renewable Energy Evolution in Belgium
REG	Rationeel EnergieGebruik

SCK.CEN	Studiecentrum voor Kernenergie
STEDULA	Steunpunt Duurzame Landbouw
STEG	Stoom en Gasturbine centrale (gecombineerde cyclus)
STEM	Studiecentrum Technologie, Energie en Milieu
TEE	Tractebel Energy Engineering
TSAP	't Samen anders proberen
UNIPEDE	International Union of Producers and Distributors of Electricity
VAKS	Verenigde Actiegroepen voor Kernstop
VCM	Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking
VEA	Vlaams Energieagentschap
VILT	Vlaams Informatiecentrum over Land- en Tuinbouw
VITO	Vlaamse instelling voor Technologisch Onderzoek
VIWTA	Vlaams instituut voor wetenschappelijk en technologisch aspectenonderzoek
VLAREM	Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij Vlaamse Milieumaatschappij
VN	Verenigde Naties
VREG	Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt
WEC	World Energy Council
WKK	Warmte Kracht Koppeling (in het Engels CHP)
WNA	World Nuclear Association
WWEA	World Wind Energy Association

## Inleiding en probleemstelling

Elke menselijke samenleving wordt sterk bepaald door de energiebronnen waarover ze beschikt. Energie, onder de vorm van arbeid, elektriciteit of warmte, speelt een cruciale rol in de wereld en in alle momenten van het dagelijks leven. ‘Het belang van energie is moeilijk te overschatten en de geschiedenis van beschavingen is verwant aan de wijze van energievoorziening.’<sup>1</sup>

Niet alleen de gemeenschap, maar ook het Vlaamse landschap werd eeuwenlang beïnvloed door de energievoorziening. Tot ver in de 19de eeuw werd het merendeel van de energie geleverd door mensen, dieren, water, wind en allerlei combinaties daarvan. De belangrijkste brandstof was hout. Ook veenontginningen voor de winning van turf hadden een landschappelijke impact op verscheidene streken in Vlaanderen.

Met de ontdekking van steenkool, olie, aardgas en uranium boorde de mens andere energiebronnen aan. De winning van steenkool heeft in de Limburgse Kempen het landschap grondig veranderd. Ook werd voor deze nieuwe bronnen heel wat nieuwe infrastructuur voor transport en verwerking aangelegd.

Tegenwoordig vormen fossiele brandstoffen het grootste deel van de huidig gebruikte energiebronnen. Het beleid richt zich de laatste jaren meer en meer op de verduurzaming van de samenleving. Op vlak van energie wordt daaraan veel aandacht besteed. Een aantal drijfveren zijn daarvoor verantwoordelijk. Ten eerste is er het klimaat en de uitputting van grondstoffen. Het voorbije jaar werd aan de zogenaamde ‘Global Warming’ immers gigantisch veel media-aandacht besteed waardoor dit thema sneller op de politieke agenda komt. Ten tweede is er de duurzaamheid en de geopolitiek. Tenslotte is er de voorzieningszekerheid. Deze drie motieven zullen bij een toenemende behoefte aan energie dan ook sterk aan belang winnen.

Momenteel is het aandeel van hernieuwbare bronnen in de energievoorziening zeer gering. Deze bronnen hebben vooral veel invloed op de bovengrondse ruimte. Wanneer dergelijke bronnen in de toekomst meer en meer zullen worden ingezet, zal dit dus een aanzienlijk effect

---

<sup>1</sup> Simmons, I.G. (1989). *Changing the face of the Earth: culture, environment, history*. Oxford: Basil Blackwell.

hebben op de ruimte. Bij deze gedachte rijzen er natuurlijk enkele vragen. Wat kan er, in het nu reeds bijna volgebouwde Vlaanderen, nog gerealiseerd worden? Welke gevolgen zal dit hebben op visueel esthetisch vlak? Van welke bronnen zijn grootschalige toepassingen mogelijk? Hoeveel ruimte is exact nodig en ten koste van welk ander grondgebruik? Dit maakt het onderwerp uit van deze thesis.

Deze scriptie bestaat uit vier delen waarvan de eerste drie in chronologische volgorde lopen:

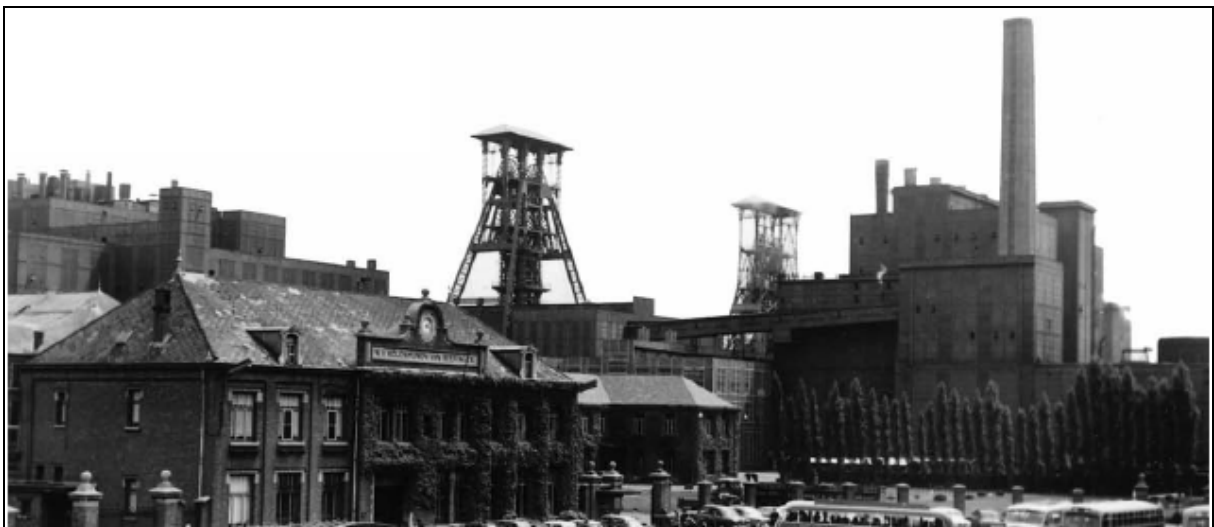
- Het eerste deel behandelt de cohesie tussen ruimte en energie in het verleden. Er wordt een evolutie geschetst vanaf de energiebronnen spierkracht, hout, waterkracht, windkracht tot de turf- en steenkoolwinning. Het fysisch voorkomen van dergelijke bronnen bepaalde de winning en de daarmee samenhangende invloeden op het landschap, de nederzettingen en de infrastructuur.
- Het tweede deel gaat over de ruimtelijke aspecten van de energiebronnen die thans aan de orde zijn: steenkool, aardolie, aardgas en kernenergie. Daarnaast wordt per bron het belang op mondiaal vlak en de geografische verdeling van de reserves behandeld.
- Het derde deel analyseert het ruimtegebruik van energiebronnen in de toekomst. Het gaat hierbij vooral over hernieuwbare energiebronnen zoals windenergie, zonne-energie, waterkracht en biomassa. Naast het ruimtebeslag van deze systemen wordt verder ook aandacht besteed aan de rol die deze bronnen spelen in de maatschappij, wat het verbruik ervan is, wat hun marktaandeel is en wat de trends voor de toekomst zijn. Daarbij wordt eveneens de link gelegd tussen het belang op Vlaams niveau, op Belgisch en mondiaal vlak.
- In het vierde deel van deze scriptie wordt meer uitleg gegeven over het concept ‘decentrale energieproductie’. Deze ontwikkeling in de energievoorziening is de laatste jaren aan een opmars bezig en zal in de toekomst hoe dan ook een rol spelen. Er zullen dan ook veranderingen dienen te gebeuren wanneer onze maatschappij zich op dergelijk systeem zou toeleggen. Hernieuwbare energiebronnen hebben er zeker hun aandeel in maar ook andere technologieën spelen een rol. Een schaalgrootte-analyse van de huidige en toekomstige energiesystemen kan dienen om verder inzicht te krijgen in deze materie. Verder worden ook de mogelijkheden in Vlaanderen behandeld.

Kort samengevat wordt er aandacht besteed aan de ruimtelijke consequenties die ontwikkelingen in de energievoorziening hebben gehad en dit doorheen de geschiedenis tot op vandaag. Ook de gevolgen in de toekomst verdienen de nodige aandacht en worden bijgevolg in dit werk toegelicht.



# DEEL I

## DE RUIMTELIJKE GESCHIEDENIS VAN ENERGIEBRONNEN



## **Inleiding**

Dit hoofdstuk handelt over de ruimtelijke gevolgen van de winning van energiebronnen die elkaar in Vlaanderen hebben opgevolgd. Het is niet de bedoeling om een volledig overzicht te geven, maar vooral om aan te tonen dat energiesystemen uit het verleden een grote ruimtelijke impact hebben gehad. Dit houdt ook in dat er aandacht wordt besteed aan de invloed op het landschap, de nederzettingenstructuur en allerhande infrastructuren (vb. transport en industrie).

# 1. Spierkracht en hout

Eeuwen geleden, toen de menselijke activiteiten nog beperkt waren door het tekort aan energie, was de mens zelf de belangrijkste energiebron. Mankracht vormde toen de basis bij de vorming en ontwikkeling van gemeenschappen. Ze leverde in alle maatschappijen de belangrijkste energie voor landbouw, woningbouw, nijverheid en mobiliteit. Naast menskracht kenden de meeste samenlevingen nog een andere direct beschikbare krachtbron, namelijk dieren. De spierkracht van dieren kon zelfs tot ver in de 20<sup>ste</sup> eeuw niet worden gemist. Dieren werden aanvankelijk gebruikt om lasten te vervoeren. Later werden ze ook ingezet als trekdieren voor landbouwwerkzaamheden, om mechanismen aan te drijven (graanmolens), als transportmiddelen en deden ze dienst in het leger.<sup>2</sup>

Een duidelijk voorbeeld van mens- en dierkracht die we nu nog in het landschap kunnen waarnemen is de trekvaart. Langs vele kanalen kunnen de zogenaamde jaagpaden nog herkend worden waarop de slaven of paarden liepen om vaartuigen voort te trekken.<sup>3</sup>

Toen de mens 1,5 miljoen jaar geleden voor het eerst leerde om vuur te beheersen en te bewaren bood dit vele nieuwe mogelijkheden. De overstap naar hout had bijgevolg ook een ruimtelijke consequentie. De mensen waren nu in staat om hun schuilplaatsen te verwarmen door het verbranden van hout. Dit betekende dat het mogelijk werd om noordwaarts te trekken en zich in koudere streken te vestigen.<sup>4</sup> Na enige tijd begonnen gemeenschappen zich ook in onze streken te sedentariseren en aan landbouw te doen. De introductie van de landbouw in België gebeurde rond 4.000 voor Christus door de zogenaamde ‘Bandkeramiekcultuur’. ‘Deze stammen vestigden zich op de vruchtbare en gemakkelijk te bewerken gronden van de leemplateaus van Limburg, Haspengouw en Henegouwen.’ Deze culturen hadden een grote invloed op het landschap. ‘Na het rooien van een stuk bos bewerkte men kleine akkers tot de bodem uitgeput raakte en de hele nederzetting zich verplaatste.’<sup>5</sup> Latere generaties van landbouwers en veetelers hadden een nog groter invloed op het landschap. De ontginning van bossen diende in deze beginperiodes vooral om het cultuurareaal uit te breiden, voor de bouw van woningen en de bereiding van voedsel. In

---

<sup>2</sup> Ponting, C. (1992). De tweede grote overgang. In: C. Ponting (Ed.), *Een groene geschiedenis van de wereld* (pp. 296-324). Amsterdam: Amber. Blz. 297-301

<sup>3</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 15

<sup>4</sup> Andrews, M. (1991). *De wording van Europa: verschuivende continenten en de ontwikkelingsgeschiedenis der naties*. Weert: M & P Uitgeverij. Blz. 19

<sup>5</sup> Antrop, M. (1989). *Het landschap meervoudig bekeken*. Kapellen: De Nederlandse Boekhandel - Uitgeverij Pelckmans. Blz. 93, 94

latere periodes werd het hout ook als brandstof gebruikt voor het smelten van ertsen. Vanaf de tweede eeuw na Christus werd het opnieuw onrustig in onze streken. Overstromingen en invallen van de Germanen deden het bevolkingsaantal dalen en maakten een ‘tabula rasa’ van het cultuurlandschap. In deze periode groeide het bosbestand opnieuw flink aan. Zo kwam tot 80% van Binnen-Vlaanderen opnieuw onder bos te liggen. Door de grote bevolkingstoename in de 11<sup>de</sup> en 12<sup>de</sup> eeuw was er een grote nood aan hout. Veel bos werd dus terug ontgonnen.<sup>6</sup> Toen was al duidelijk dat er een relatie was tussen de bevolkingsomvang, de welvaart en de energiebehoefte.<sup>7</sup>

Tot ver in de 19<sup>de</sup> eeuw leverden mensen, dieren, water, wind het grootste deel van de energie op wereldvlak. In deze periode was hout de belangrijkste brandstof. ‘Hout had heel wat voordelen: het was gemakkelijk te verzamelen, in gedroogde staat brandde het goed en het was gratis. De grote vraag naar hout was enorm groot. De bossen werden niet alleen meer vernietigd om het cultuurareaal uit te breiden maar ook om aan brandstof en timmerhout te komen. Ook opkomende industrieën maakten gebruik van hout als brandstof.

Die grote vraag was dus een serieus probleem, maar zolang de voorraden onuitputtelijk leken stond men er niet bij stil hoe de bron zou kunnen vernieuwd worden. Men had bij de houtwinning onvoldoende gedacht aan herbepanting en beheer.<sup>8</sup> Het feit dat men toen ook al aan korte termijn planning deed, leidde tot het zoeken naar nieuwe energiebronnen.

De rol van brandhout in het huishouden werd pas laat in de 20<sup>ste</sup> eeuw grotendeels door steenkool overgenomen.

---

<sup>6</sup> Antrop, M. (1989). *Het landschap meervoudig bekeken*. Kapellen: De Nederlandse Boekhandel - Uitgeverij Pelckmans. Blz. 99, 103

<sup>7</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 16

<sup>8</sup> Ponting, C. (1992). De tweede grote overgang. In: C. Ponting (Ed.), *Een groene geschiedenis van de wereld* (pp. 296-324). Amsterdam: Amber. Blz. 306-311

## 2. Wind- en waterkracht

Tot tweeduizend jaar geleden waren mensen en dieren de enige energiebronnen om mechanismen aan te drijven. Het gebruik van waterkracht, de ombuiging van de woeste en vormeloze energie van het water tot een bruikbare mechanische kracht, is reeds eeuwen oud. De eerste vermelding van een watermolen dateert uit de eerste eeuw voor Christus en komt wellicht uit Griekenland. Deze horizontale watermolens kenden in onze gewesten vanaf de 4<sup>de</sup>-5<sup>de</sup> eeuw een vrij grote verspreiding. Schriftelijke bronnen uit de 8<sup>ste</sup>-9<sup>de</sup> eeuw geven aan dat molenaars ook de zorg over een landbouwbedrijf hadden. Deze hadden een gemiddelde oppervlakte van zo'n 8,40 ha. De gebruikte molens werden ingeplant op een systeem van grachten en lagen slechts op enkele meter van elkaar. In de loop van de eeuwen werden de horizontale molens geleidelijk omgebouwd tot verticale.<sup>9</sup> Deze hadden wel een ingrijpende verandering op het landschap door de constructie van een ingewikkelde, waterbouwkundige infrastructuur. Het type van de molens hing natuurlijk af van de streek waarin ze werden geplaatst. Zo was het verval van de rivier een zeer belangrijke factor.



**Figuur 1: Watermolen Retie**  
Bron: Opname Tyberghein, J.P.

Hoewel deze molens al in de 5<sup>de</sup> eeuw in Athene werden vermeld, is het voor onze streken niet helemaal zeker wanneer de verticale molens juist opgedoken zijn. De eerste vermelding van een Vlaamse molen stamt uit 982.<sup>10</sup> Uit het Domesday Book (1086) blijkt dat in de gebieden ten oosten en ten zuiden van Wales 5.634 watermolens stonden. Met een geschatte

<sup>9</sup> Bauters, P. (1989). *Kracht van wind en water: Molens in Vlaanderen*. Leuven: Davidsfonds. Blz. 17-21

<sup>10</sup> Bauters, P. (1978). *Vlaamse molens: wind- en watermolens in Vlaanderen, geschiedenis - bouw - werking - recht*. Antwerpen: Koninklijke vereniging voor natuur- en stedschoon. Blz. 18

bevolking van 1,4 miljoen mensen is dat een molen per 50 huishoudens.<sup>11</sup> Voor Vlaanderen schat men een aantal van 1.000 watermolens.<sup>12</sup> De grootste concentratie van watermolens in Vlaanderen situeert zich in het gebied tussen de Schelde en de Dender. Gematigde concentraties vinden we in Brabant, de Kempen en Limburg. In West-Vlaanderen kwamen heel weinig watermolens voor, dit was een echt windmolengebied.<sup>13</sup>

Windmolens werken volgens hetzelfde principe als de watermolen, waarbij de waterstroom is vervangen door een luchtstroom.<sup>14</sup> De oudste bekende en onbetwistbare Europese windmolenvermelding dateert van 1183. Het betreft hier zelfs een molen op het grondgebied van het voormalige graafschap Vlaanderen, namelijk in Wormhoudt.<sup>15</sup> De vermeldingen van windmolens in het graafschap namen systematisch toe op het einde van de 12<sup>de</sup> eeuw en in het begin van de 13<sup>de</sup> eeuw.<sup>16</sup>

Windmolens dienen geplaatst te worden op plaatsen die daarvoor geografisch geschikt zijn. De inplanting van de molen bepaalde de windvang. ‘Te hoge bewoning en bomen hinderen de doorstroming van wind waardoor molens niet meer goed functioneren’.<sup>17</sup> In Nederland is men bezig met een project dat “Ruimte voor molens met geo-informatie” heet. De opzet van de studie is het ontwikkelen van een methode om de mate van windhinder rond molens te bepalen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van hoogtegegevens van de betreffende locaties.<sup>18</sup> Molens vormen als het ware ruimtelijke bakens in het dorpslandschap. Vroeger werd het plaatsen van molens georganiseerd volgens het windvangrecht.<sup>19</sup> ‘Dit recht bepaalde dat storende ruimtelijke elementen in een gebied met een straal van enkele honderden meter rondom de molen niet konden.’ Het is vanzelfsprekend dat de molen zijn functionaliteit dankt aan de beschikbaarheid van de wind. ‘Ruimtelijk gezien hadden molens een enorm draagvlak nodig en mochten zij de onderlinge windstroming niet verhinderen’.<sup>20</sup> Vlaanderen telde in de loop van de eeuwen gemiddeld één molen per 500 tot 1.000 inwoners. Het maximale aantal

---

<sup>11</sup> Sparnaay, M.J. (2002). *Van spierkracht tot warmtedood: Een geschiedenis van de energie*. 's-Hertogenbosch: Voltaire. Blz. 34

<sup>12</sup> Bauters, P. (1978). *Vlaamse molens: wind- en watermolens in Vlaanderen, geschiedenis - bouw - werking - recht*. Antwerpen: Koninklijke vereniging voor natuur- en stedschoon. Blz. 24

<sup>13</sup> Bauters, P. (1989). *Kracht van wind en water: Molens in Vlaanderen*. Leuven: Davidsfonds. Blz. 29-31

<sup>14</sup> Idem voetnoot 10 blz. 35

<sup>15</sup> Idem voetnoot 11 blz. 21

<sup>16</sup> Idem voetnoot 12 blz. 34

<sup>17</sup> Laméris, E.-J. (2005). Ruimte voor molens met geo-informatie. *Geo-informatie Nederland*, (6), blz. 302

<sup>18</sup> Ruimte voor molens met geo-informatie (n.d.) Geraadpleegd oktober 2006 op <http://molenbiotoop.tk/>

<sup>19</sup> Vanbelleghem, D., (2006). Van boerenstiel naar agro-economie. In: P. Uyttenhove (Ed.), *Recollecting Landscapes (1904 – 1980 – 2004) Her-fotografie en transformatie* (pp. 163-199). Gent: A&S Books. Blz. 167

<sup>20</sup> Idem voetnoot 18

wordt rond het begin van de 19<sup>de</sup> eeuw op 3.000 wind- en watermolens geschat. De meeste windmolens kwamen voor in het vlakke Vlaanderen terwijl de meeste watermolens zich in het reliëfrijke Wallonië situeerden.<sup>21</sup>



**Figuur 2: Windmolen Retie**  
Bron: Opname Tyberghein, J.P.

Het gebruik van natuurlijke energie ging in de loop van de jaren over in de benutting van stoom, diesel en elektriciteit. Als gevolg van de opkomende Industriële Revolutie ging het gebruik van windmolens sterk achteruit.

De historische molens hadden diverse functies. Zo werden ze onder andere benut voor het malen van graan, het persen van olie, het zagen van hout en het droogmalen van polders en moerassen. Momenteel wordt vooral belang gehecht aan de grote cultuurhistorische en sociaal-economische waarde van dergelijke molens. Molens zijn dynamische monumenten die nu eenmaal in hun context moeten worden gezien. Het bewaren van de oorspronkelijke omgeving van een molen is noodzakelijk. Thans wordt geprobeerd om molensites om te vormen tot potentiële knooppunten binnen de toeristisch-recreatieve infrastructuur van hun omgeving.

---

<sup>21</sup> Bauters, P. (1989). *Kracht van wind en water: Molens in Vlaanderen*. Leuven: Davidsfonds. Blz. 42

### 3. Turf

De veenwinning heeft als landschapsvormende factor een grote rol gespeeld bij de vorming van het polderlandschap. Het uitvenen van grote oppervlaktes moergronden gaf een nieuw uitzicht aan het landschap. In sommige gevallen werden deze systematische graverijen als relict in het landschap bewaard.

De vorming van veen komt voornamelijk voor in gematigde klimaten waar stagnatie van overvloedig water kan plaatsvinden.



**Figuur 3: Kaart met de verspreiding van hoogveen in West-Europa**

Bron: Deforce, K., Bastiaens, J. en Ameels, V. (2007). Archeobotanisch bewijs voor ontginning en lange-afstand transport van turf in Vlaanderen rond 1200 AD: heropgegraven veen uit de abdij van Enname (Oudenaarde, prov. Oost-Vlaanderen). *Relicta*, (1), 141-154. (fig. op blz. 147)

In Vlaanderen waren onze kustgebieden rijk aan venen. Deze veengroei duurde drieduizend jaar en hield aan tot de Romeinse transgressieperiode (rond de eeuwwisseling). Op sommige plaatsen bereikte dit veenpakket tot 3 meter hoogte.<sup>22</sup>

In Vlaanderen kunnen enkele systematische uitgeveende gebieden gesitueerd worden. De belangrijkste turfexploitatie was deze in Zeeuws-Vlaanderen waar de uitgeveende oppervlakte geschat wordt op ongeveer 60%. De totale uitgeveende oppervlakte in de kustvlakte langs de

<sup>22</sup> Verhulst, A. (1995). *Landschap en landbouw in Middeleeuws Vlaanderen*. Brussel: Gemeentekrediet. Blz. 12



Noordzee wordt op ongeveer 10% van de totale oppervlakte van de polders geschat.<sup>23</sup> Het veen kon het makkelijkst ontgonnen worden aan de rand van die polders. Dit komt doordat het bovenliggende kleidek er minimaal is. Dat het veenpakket navenant was moest men echter aanvaarden. In deze gebieden bevonden zich dus enkele aanzienlijke veen- of moergebieden die ontgonnen werden. De Blankaartvijver in Woumen is een restant van een grootschalige exploitatie. Daarnaast is er de Gistelmoere, die duidelijke sporen draagt in zijn percelering als gevolg van georganiseerde veenwinning. Ook de Lage Moere van Meetkerke was een intensieve uitbating. De Frans-Belgische Moeren, ten westen van Veurne, zijn voor alle duidelijkheid geen restant van een grote veenwinningspraktijk. Het is een wadgebied dat zich handhaafde achter de rug van de Oude Duinen van Ghyvelde-Adinkerke en waar er dus enkel veenvorming was op de randen. Dit veen werd dan wel in de Middeleeuwen ontgonnen.<sup>24</sup> Een andere systematisch uitgeveend gebied situeert zich tussen Dudzele en Heist, maar hier is niet zo veel over geweten.<sup>25</sup>

### ***A Landschap***

In de loop van de 12de eeuw nam de bevolkingsomvang in de steden toe. De ontginning van hout ging een stuk sneller omdat het nu ook als constructiehout voor de bouw van huizen werd gebruikt. Er was dus nood aan een nieuwe energiebron. Men kende het gebruik van veenverbranding reeds sinds de Romeinse tijd. De grote veengebieden waren dan nog onbewoond en werden toen gebruikt als weiland. Indien ze voldoende ontwaterd waren konden ze zelfs gebruikt worden als akkerland. De turfexploitatie startte vanaf het midden van de twaalfde eeuw.<sup>26</sup>

Systematische turfstekerijen kwamen meestal voor waar de gebieden onder grafelijk toezicht stonden. Het stelselmatig consequent karakter kwam tot uiting in de manier waarop het veen werd weggegraven. Vooraleer de ontginning kon beginnen werden dijken en afwateringskanalen aangelegd om het gebied droog te leggen. Onvergraven stukken veen werden opgedeeld in “blokken” of “maten” die vrij eenvormige afmetingen hadden. Deze blokken werden nogmaals opgedeeld in langgerekte kavels die werden uitgeveend in “lanen” of “stroken”. Tussen de lanen bevonden zich hier en daar hoger gelegen niet-uitgeveende percelen, de zogenaamde “legakkers”. Hierop liet men de turf drogen vooraleer men het

---

<sup>23</sup> Verhulst, A. (1964). *Het landschap in Vlaanderen in historisch perspectief*. Antwerpen: De Nederlandse Boekhandel. Blz. 45

<sup>24</sup> Dewilde, M., Gelorini, V. en Meersschaert, L. (2007). Veenwinningsporen in de Woumenbroek. Aanwijzingen voor een wijdiverbreide activiteit. In: *Spaenhiers: Jaarboek 2006*. Blz. 199, 200

<sup>25</sup> Idem voetnoot 22 blz. 44-45

<sup>26</sup> Verhulst, A. (1995). *Landschap en landbouw in Middeleeuws Vlaanderen*. Brussel: Gemeentekrediet. Blz. 78

vervoerde. Na de ontginning werd het land geëffend waardoor de aan de oppervlakte gekomen weinig vruchtbare zandgrond opnieuw in cultuur kon worden genomen. De karakteristieke opstreckende percelering van deze systematische ontvening werd als relictlandschap bewaard in de streek ten noorden van Eeklo.<sup>27</sup> Deze percelering kwam natuurlijk niet alleen voor in het Meetjesland maar ook bij andere systematische graverijen. Voorbeelden van strookverkavelingen worden bijvoorbeeld ook gevonden in het West-Vlaamse Moere en de turfwinnersdorpen in de Waaslandpolders: Verrebroek (zie figuur) en Kieldrecht.



**Figuur 4: Luchtfoto Verrebroek: Strookpercelering als gevolg van turfwinning in de 14de-16de eeuw**  
Bron: Verhulst, A. (1995). *Landschap en landbouw in Middeleeuws Vlaanderen*. Brussel: Gemeentekrediet. Blz. 82

Turfexploitatie voor eigen gebruik gebeurde volgens een andere werkwijze. Er werden simpelweg putten gegraven waaruit men de turf haalde. Dit leidde tot een zeer oneffen terrein. Deze individuele veenputten kwamen voor op vele plaatsen aan de kustvlakte van de Noordzee waar het veen zelden in grote hoeveelheden voorkwam. Enkele voorbeelden werden gevonden in Slijpe, Leffinge, Mannekensvere, Schore, St.-Pieterskapelle en Schore.<sup>28</sup>

Inzinkingen, die ontstonden na de volledige uitvening van een gebied en die werden afgesloten door dijken, vormden zoetwatermeren of zogenaamde veenplassen. Wanneer het

<sup>27</sup> Verhulst, A. (1995). *Landschap en landbouw in Middeleeuws Vlaanderen*. Brussel: Gemeentekrediet. Blz. 101

<sup>28</sup> Verhulst, A. (1964). *Het landschap in Vlaanderen in historisch perspectief*. Antwerpen: De Nederlandse Boekhandel. Blz. 45

om economische redenen (hoge graanprijzen) opnieuw nodig was om landbouwgrond te winnen, kon men het gebied binnen de dijken droog pompen. Dit is wat men een zogenaamde ‘droogmakerij’ noemt. Bij de Lage Moere van Meetkerke werd het meer dat gevormd werd na de afgraving van het veen op deze wijze in de 17de eeuw drooggelegd.<sup>29</sup>

### ***B Nederzettingen***

Voor de aanvang van de turfexploitatie waren de veengebieden slechts zeer dun bevolkt. Door de komst van vele arbeiders en landlozen die aangetrokken werden om het veen te ontginnen werden nieuwe rijdorpen opgericht. De zogenaamde ‘moerparochies’ hadden meestal een lineaire structuur en konden gemakkelijk herkend worden aan rechtlijnige wegen en blokvormige perceelscomplexen.<sup>30</sup> Voorbeelden hiervan zijn onder andere St.-Kruis, St.-Margriet en St.-Jan in Eremo.<sup>31</sup> Sommige van deze dorpjes moesten regelmatig verplaatst worden als gevolg van overstromingen die te wijten waren aan de inklinking van het veen of overvloedige regens. Ook Moere, tussen Koekelare en Gistel, en Verrebroek en Kieldrecht in het Waasland vertonen strookverkavelingen en werden geïdentificeerd als ‘turfwinnersdorpen’.<sup>32</sup>

### ***C Transport***

De turfindustrie vereiste als economische activiteit een sterk uitgebouwde infrastructuur. Voor het turftransport maakte men gebruik van een netwerk van grachten of “riolen”. Deze werden aangelegd tussen de langgerekte kavels en waren aangesloten op een complex watergangennet. Deze “leden” of turfvaarten waarin de “riolen” uitmondten dienden niet alleen voor afwatering maar dus ook voor het transport van de turf naar de steden. De turf werden niet alleen genuttigd voor huishelijk gebruik maar diende vooral als energiebron voor onder andere steenbakkerijen, kalkovens, ververijen en bierbrouwerijen.<sup>33</sup>

Het netwerk van kanaaltjes en grachten duiden op sommige plaatsen nu nog altijd de systematische turfstekerijen in het landschap aan. Zo werd de turf vanuit het Meetjesland via de nog steeds bestaande Oude Eeklose Watergang, het Vakeleed en het Ser Jans leed op

---

<sup>29</sup> Verhulst, A. (1964). *Het landschap in Vlaanderen in historisch perspectief*. Antwerpen: De Nederlandse Boekhandel. Blz. 44

<sup>30</sup> Augustyn, B. en Thoen, E. (1987). Van veen tot bos. Krachtlijnen van de landschapsevolutie van het Noordvlaamse Meetjesland van de 12<sup>de</sup> tot de 19<sup>de</sup> eeuw. *Historisch Geografisch Tijdschrift*, (3), blz. 101

<sup>31</sup> Idem voetnoot 28 blz. 39

<sup>32</sup> Dewilde, M., Gelorini, V. en Meersschaert, L. (2007). Veenwinningssporen in de Woumenbroek. Aanwijzingen voor een wijdverbreide activiteit. In: *Spaenhiers: Jaarboek 2006*. Blz. 202, 203

<sup>33</sup> Verhulst, A. (1995). *Landschap en landbouw in Middeleeuws Vlaanderen*. Brussel: Gemeentekrediet. Blz. 101

schuiten naar Aardenburg gebracht en van daaruit geladen op grotere schepen naar Brugge vervoerd.<sup>34</sup>

Naast deze waterwegen behoren ook de reeds vermelde dijken tot de ingrijpende infrastructuurwerken die noodzakelijk waren vooraleer de turfindustrie kon aangevat worden. Veenontginning kan dan ook getypeerd worden als ‘een doordachte planning op lange termijn’.<sup>35</sup>

Algemeen kan gesteld worden dat de energiewinning uit veen een grote weerslag had op de vorming van het landschap. Kenmerken van het historische turfindustrieën zijn de kanalen, de perceelsstructuur (soilmarks) en de vorm van de nederzettingen.

---

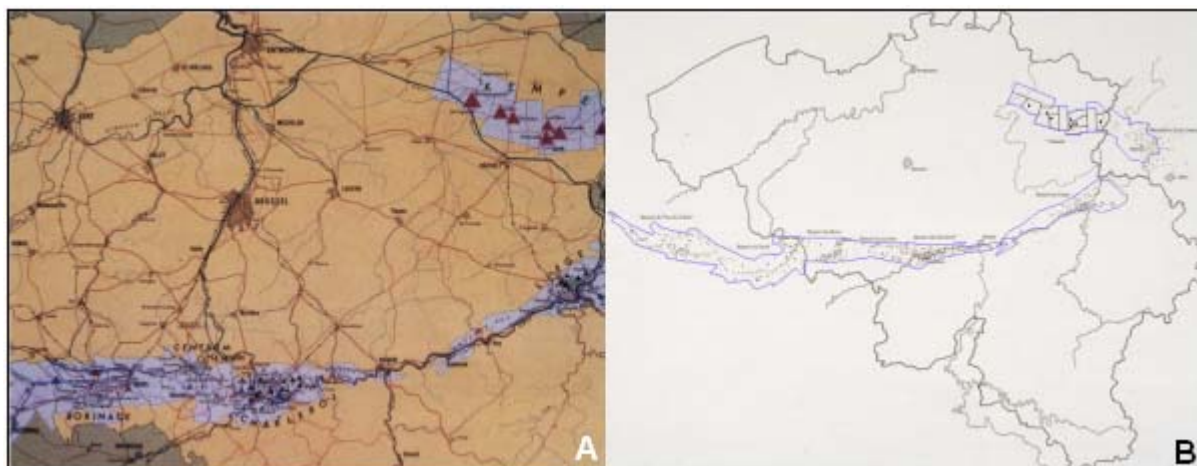
<sup>34</sup> Verhulst, A. (1995). *Landschap en landbouw in Middeleeuws Vlaanderen*. Brussel: Gemeentekrediet. Blz. 80

<sup>35</sup> Augustyn, B. en Thoen, E. (1987). Van veen tot bos. Krachtlijnen van de landschapsevolutie van het Noordvlaamse Meetjesland van de 12<sup>de</sup> tot de 19<sup>de</sup> eeuw. *Historisch Geografisch Tijdschrift*, (3), blz. 104

## 4. Steenkool

Het is duidelijk dat de steenkoolproductie diepe sporen in het landschap heeft nagelaten. Hoewel de impact van deze industrie veel minder zichtbaar is door het ondergrondse werk, zijn de gevolgen toch nog altijd zichtbaar in het huidige landschap.

De steenkoolwinning in Vlaanderen deed zich uitsluitend voor in Midden-Limburg. De Kempense steenkoolafzettingen werden op 2 augustus 1901 ontdekt te As. Dit was relatief laat in vergelijking met de omringende mijnbekkens in Wallonië en Nederlands-Limburg. De steenkoolbekkens in Henegouwen en Luik kenden een veel langere historische aanloop. Toen in 1917 de eerste steenkoolproductie in Winterslag op gang kwam, waren de Waalse mijnbekkens al over hun hoogtepunt heen. In de andere mijnen werden de eerste kolen pas na de Eerste Wereldoorlog gewonnen: Beringen (1922), Eisden (1923), Waterschei (1924), Zwartberg (1925), Zolder (1930) en Houthalen (1938). Deze vertraging was te wijten aan de minstens 500 m dikke onstabiele drijfzandlagen die boven op de steenkoolafzettingen lagen. Elk van de mijnzetels behoorde tot een zeer grote concessie als gevolg van de dure schachtafdiepingen waardoor de zeven mijnzetels dus in handen waren van slechts zeven mijnmaatschappijen.<sup>36</sup> De concessies hadden in totaal een oppervlakte van ruim 33.000 ha, wat neerkomt op een grootte van 3.000 tot 5.000 ha per concessie. Dit is een groot verschil met Wallonië, waar de mijnzetels gemiddeld slechts 250 ha groot waren.<sup>37</sup>



**Figuur 5: Positionering van de Belgische mijnzetels**

Bron: Minten, L., Raskin, L., Soete, A., Van Doorslaer, B. en Verhees, F. (1992). *Een eeuw steenkool in Limburg*. Tielt: Lannoo. Blz. 21

<sup>36</sup> Van Doorslaer, B., 2001. Mijngebouwen op een tijdslijn naar de toekomst. In: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Een eeuw steenkool in Vlaanderen, Mijnpatrimonium scharniernota 2001. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Monumenten en Landschappen, Brussel, blz. 11.

<sup>37</sup> Minten, L., Raskin, L., Soete, A., Van Doorslaer, B. en Verhees, F. (1992). *Een eeuw steenkool in Limburg*. Tielt: Lannoo. Blz. 39

### *A Landschap*

De mijnen hebben een ingrijpende werking gehad op het traditionele landschap van de Kempen. In de kleine boerendorpen rezen plots monumentale gebouwen op die het landelijke gezicht van die dorpen grondig veranderde.



**Figuur 6: Luchtfoto mijnzetel Beringen 1957**

Bron: Van Doorslaer, B. (2002). Brochure: *Koolputterserfgoed*. Blz. 10

Zo wordt het uitzicht van de ‘mijnstreek’ nog altijd bepaald door enkele landschapsbepalende elementen: schoorstenen (+ 100 m hoog), schachtbokken, terrils (70-100 m hoog), koeltorens, bedrijfsterreinen en fabrieksgebouwen. Ze gelden als bakens in het landschap. Van Doorslaer definieerde deze elementen als ‘enerzijds visueel typerende elementen van een unieke geografische streek in Vlaanderen, anderzijds als materiële getuigen van een industrieel verleden’.<sup>38</sup>



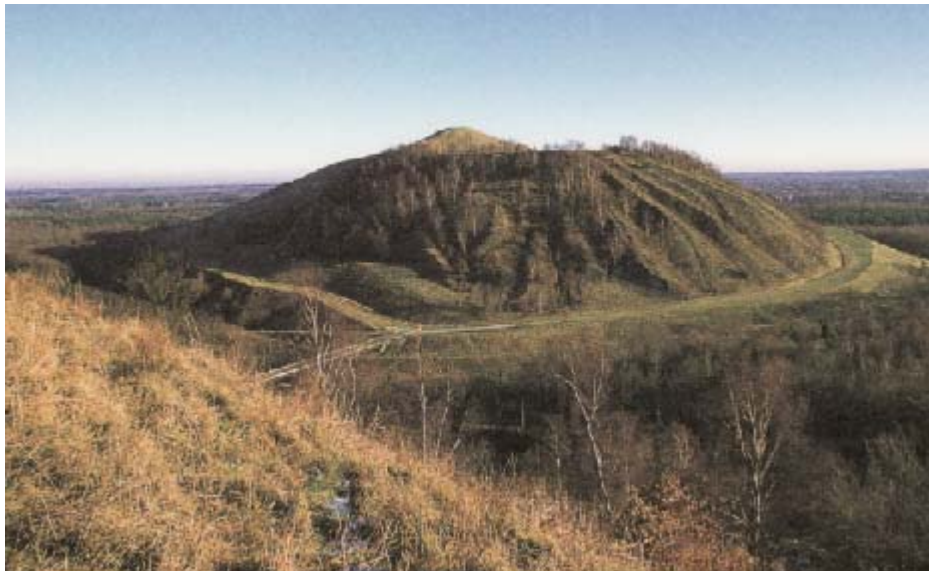
**Figuur 7: Mijnsite en gebouwen Winterslag**

Bron: Stad Genk (2007). *Fotogallerij Winterslag: mijnsite en gebouwen*. Geraadpleegd mei 2007 op <http://www.stadinstelling.be/content/photogallery/record.php?ID=10>

<sup>38</sup> Van Doorslaer, B. (2001). Mijngebouwen op een tijdslijn naar de toekomst. In: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, *Een eeuw steenkool in Vlaanderen, Mijnpatrimonium scharniernota 2001* (pp. 11-16). Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Monumenten en Landschappen. Blz 13



Een gedeelte van dit waardevol cultureel erfgoed werd gerestaureerd en dient ofwel als toeristische attractie of kreeg een andere functie (vb. kunst- en muziekacademie, museum of congrescentrum). Onderstaande figuur toont de gesaneerde terril van Beringen die door ANIMAL als natuurgebied aangekocht is. Ook probeert men op de voormalige mijnterreinen ruimte te scheppen voor economische bedrijvigheid. Het is vooral belangrijk om dit erfgoed op een creatieve manier te behouden. Er moet daarbij rekening worden gehouden dat de regionale identiteit, authenticiteit en uniciteit van dit mijnpatrimonium wordt bewaard. Algemeen streeft men naar een globale ruimtelijke visie op de Limburgse Mijnstreek waarin het mijnpatrimonium als een structurerend element fungeert om de gewenste ruimtelijke ontplooiing te bekomen.<sup>39</sup>



**Figuur 8: Zicht op gesaneerde terril II van Beringen**

Bron: Van Doorslaer, B. (2002). Brochure: *Koolputterserfgoed*. Blz. 8

In Nederland heeft men een compleet andere aanpak gekozen. Overblijfselen die aan de mijnbouw herinnerden werden zoveel mogelijk afgebroken of in het landschap verdoezeld.<sup>40</sup>

### ***B Nederzetting***

Niet alleen het landschap, maar ook de vorm en de locatie van de nederzettingen is door de steenkoolproductie gewijzigd. De overgang van een agrarische naar een industriële regio was drastisch. In het dun bevolkte Limburg was er plots een enorme behoefte aan mijnwerkers. Duizenden arbeiders werden naar de mijnen aangetrokken. Zowel binnen- en buitenlanders

<sup>39</sup> Schepmans, J.-L., 1997. Globale Ruimtelijke Visie op de Limburgse Mijnstreek. *Vooropgestelde Visie*.

<sup>40</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 20

kwamen er zich met hun familie vestigen om er hun brood te verdienen.<sup>41</sup> De arbeiders werden door de mijnmaatschappijen gehuisvest in grote aantrekkelijke tuinvijken, zogenaamde “cités”, naar het voorbeeld van de Engelse tuinvijken. Ze gelden tot op heden als hoogstaande voorbeelden van urbanisatie. Deze mijnwerkerskoloniën sloten niet aan bij de oorspronkelijke gehuchten maar vormden als het ware nieuwe centra die gelegen waren in een groene omgeving in de onmiddellijke buurt van de mijn. De woningen, in totaal 9.739, waren ruim, comfortabel en voorzien van alle basisvoorzieningen. Om een gezonde gemeenschappelijke structuur te garanderen werden de wijken voorzien van diverse sociale, culturele en recreatieve faciliteiten. Er werden scholen, kerken, ziekenhuizen, sportvelden, bibliotheken, apotheken, winkels, feestzalen, casino’s, cinema’s, ... gebouwd.<sup>42</sup>



**Figuur 9: Luchtfoto van de cité van Waterschei**

Bron: Minten, L., Raskin, L., Soete, A., Van Doorslaer, B. en Verhees, F. (1992). *Een eeuw steenkool in Limburg*. Tiel: Lannoo. Blz. 105

### ***C Infrastructuur***

De steenkoolindustrie heeft op de infrastructuur een sterke invloed gehad. In het heidegebied van de Midden-Kempen dat de steenkoollagen bedekte, waren er praktisch geen infrastructuurle voorzieningen aanwezig. Om steenkool te vervoeren was bulktransport per

<sup>41</sup> Minten, L., Raskin, L., Soete, A., Van Doorslaer, B. en Verhees, F. (1992). *Een eeuw steenkool in Limburg*. Tiel: Lannoo. Blz. 98

<sup>42</sup> Schepmans, J.-L., 1997. Globale Ruimtelijke Visie op de Limburgse Mijnstreek. *Opbouwende Informatie*.



spoor en per binnenschip het meest aangewezen maar de bestaande verkeersinfrastructuur was daar niet voor geschikt.<sup>43</sup>

Het spoorwegnet dat reeds voor de economische uitbreiding van de steenkoolontginning bestond, was bij benadering concentrisch rond Hasselt opgebouwd. Er werden heel wat ingrepen gedaan om de transportinfrastructuur te verbeteren. De verschillende mijnzetels werden dan ook verbonden door een spoorlijnverbinding die het Kolenspoor werd genoemd. Een deel ervan wordt nu nog gebruikt voor de reguliere treinverbinding tussen Hasselt en Antwerpen, een ander deel (tussen Waterschei en Eisden) wordt thans uitgebaat als toeristische attractie. Ook werd vroeger gebruik gemaakt van het buurtspoorwegennet om 's nachts steenkool te transporteren.<sup>44</sup>

Nog belangrijker dan de bouw van het spoornetwerk, was de uitbouw van een goede kanaalverbinding. Het Albertkanaal verbindt de haven van Antwerpen met het industriegebied van Luik. 'Tijdens de graafwerken van het Albertkanaal in de jaren dertig besloten de steenkoolmijnen van Waterschei, Winterslag, Zwartberg en Houthalen van de gelegenheid gebruik te maken om samen met de Belgische staat een steenkoolhaven op te richten aan deze gloednieuwe waterweg, met als doel de verzending van de steenkolen van deze mijnen naar o.a. de Waalse staalindustrie.'<sup>45</sup>

De mijnsite van Eisden had aansluiting op de Zuid-Willemsvaart die reeds voltooid werd in 1826 onder het Nederlandse bewind om de Luikse industriezone te verbinden met het handeldrijvende noorden.<sup>46</sup>

In de jaren '50-'60-'70 werd ook Midden-Limburg aangesloten op de weginfrastructuur.

De mijnen hadden niet alleen een grote invloed op het landschap maar ook op sociaal vlak. Heel wat van de aangetrokken mijnwerkers waren niet-Limburgers of buitenlanders. Dit leidde dikwijls tot meningsverschillen en conflicten als gevolg van communicatieproblemen. Ook waren er problemen met milieu en gezondheid. Als gevolg van de verbranding van steenkool komen veel milieuvervuilende stoffen vrij. Ook de mijnwerkers waren niet vrij van risico's. Het werken in de mijnen was niet alleen zeer slecht voor de longen, maar was ook gevaarlijk (vb. mijngasontploffingen, branden in de ondergrond, instortingen ed.). De eerste financiële problemen voor de steenkoolmijnen kwamen in de jaren '60. De reden voor de

---

<sup>43</sup> Minten, L., Raskin, L., Soete, A., Van Doorslaer, B. en Verhees, F. (1992). *Een eeuw steenkool in Limburg*. Tielt: Lannoo. Blz. 81

<sup>44</sup> Schepmans, J.-L. (1997). *Globale Ruimtelijke Visie op de Limburgse Mijnstreek. Onderschreven Charter*.

<sup>45</sup> Haven Genk NV (2005, 15 september). *Historiek*. Geraadpleegd oktober 2006 op <http://www.havengenk.be/Oude%20site/historiek%20volledig.html>

<sup>46</sup> Idem voetnoot 42 blz. 45

crisis was de opkomst van de petroleumsector. Ook als gevolg van de hoge kostprijs om de steenkool op te delven werd de prijs van de Belgische steenkool veel te duur. De kostprijs om de steenkool op te delven was immers al hoger dan de wereldmarktprijs. De mijnen waren de laatste jaren van hun bestaan erg verlieslatend en konden zelfs na veel financiële steun het hoofd niet boven water houden. De laatste Limburgse mijn sloot op 1 oktober 1992 zijn deuren. Een periode van moeizame reconversie begon.

## Besluit

Doorheen de geschiedenis heeft de opeenvolging van verschillende energiebronnen steeds ruimtelijke consequenties gehad. Vooral de overgangen naar nieuwe energiesystemen hadden een grote invloed, zowel direct als indirect. In dit hoofdstuk werd vooral de nadruk gelegd op drie onderdelen:

- Landschap: het gaat over de invloed op de bodem, de natuur, het milieu maar ook over de visueel esthetische appreciatie;
- Nederzetting: het gaat over de invloed op de structuur, de locatie en de vorm van de nederzettingen, evenals het vestigingsgedrag van de gemeenschap;
- Infrastructuur: het gaat over de invloed op vervoersnetwerken, economische netwerken en structuren. Meestal worden ook nieuwe specifieke voorzieningen aangelegd.

Van de besproken energiesystemen in dit hoofdstuk heeft de steenkoolwinning in Vlaanderen de grootste impact op het landschap gehad. Het ging om een totale verandering van kleine boerendorpen tot grootschalige industriële sites waardoor de ruimtelijke structuur grondig werd veranderd. Restanten van deze steenkoolwinning vormen nu nog steeds de typerende elementen voor deze geografische streek in Vlaanderen.

Daarnaast had ook de turfwinning een grote impact op het landschap. Erfenissen daarvan zijn hier en daar nog in het landschap te herkennen: repelpercelering, kanaaltjes, dijken en andere.

Daarnaast hebben energiebronnen en de winning daarvan een impact gehad op de structuur, vorm en locatie van nederzettingen. Het is vooral bij de winning van turf en steenkool dat dit kan opgemerkt worden. Arbeiders kwamen zich toen in de buurt van de wingebieden vestigen. Bij de exploitatie van turf leidde dit tot de speciale lineaire structuur van rijdorpen met opstreckende percelering. De mijnwerkers en hun families werden gehuisvest in nieuw aangelegde, grote tuinvijken (cités).

Als gevolg van de opkomst van de steenkoolwinning in de Limburgse Kempen werd het transportnetwerk enorm uitgebreid. Er werden zowel nieuwe aansluitingen gemaakt via kanalen alsook de aanleg van nieuwe spoorinfrastructuur. Ten tijde van de turfwinning was dit ook het geval, alleen waren dit kleine grachtjes en kanalen die toen werden aangelegd.

# DEEL II

## HET HUIDIG RUIMTEGEBRUIK VAN ENERGIEBRONNEN



## **Inleiding**

In dit hoofdstuk komen de energiebronnen aan bod die tegenwoordig het grootste deel van de energievoorziening op zich nemen. Het is de bedoeling om het gebruik van deze bronnen op ruimtelijk vlak te belichten. Het gaat hierbij om de geografische verdeling, reserves, exploratie, exploitatie, transport, verwerking, opslag en gebruik van de huidige energiesystemen. Zowel het directe als indirecte ruimtebeslag van deze structuren wordt in dit deel besproken.

In opeenvolgende volgorde wordt een overzicht gecreëerd van de belangrijkste energiebronnen op dit moment: steenkool, olie, gas en kernenergie. Thans wordt ook reeds gebruik gemaakt van hernieuwbare energiebronnen maar deze komen ruimschoots in het volgend hoofdstuk aan bod.

# 1. Huidig gebruik van energiebronnen

Het is de bedoeling in dit subhoofdstuk het aandeel van de verschillende bronnen in de energievoorziening toe te lichten. Dit zowel op mondiaal vlak als in België. In de volgende hoofdstukken wordt het aandeel en het ruimtegebruik van de verschillende bronnen dan verder toegelicht.

## 1.1. Energie in de wereld

Het mondiaal primair energieverbruik

In 2005 hield de stijgende trend van het mondiaal primair energieverbruik<sup>47</sup> aan, er was een groei van 2,4% in vergelijking met 2004. Eind 2005 bedroeg het totale primair energiegebruik in de wereld 10.537,1 Mtoe. Daarvan was Azië-Pacific de regio met het grootste aandeel, circa 32,5 %. Onderstaande tabel geeft een overzicht volgens verschillende geografische zones.

**Tabel 1: Mondiaal Primair Energieverbruik (Mtoe)**

Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2006). Evolutie van de energiemarkt in 2005.

Geraadpleegd mei 2007 op

[http://economie.fgov.be/energy/balance\\_sheets/2005/evolution\\_energy\\_market\\_2005\\_nl.pdf](http://economie.fgov.be/energy/balance_sheets/2005/evolution_energy_market_2005_nl.pdf)

	1973	1980	1990	2000	2003	2004	2005	% Δ 05/04	% v/h totaal 2005
Noord-Amerika	2.012,3	2.109,4	2.316,7	2.737,6	2.741,8	2.799,9	2.801,3	0,1	26,6
Midden- en Zuid-Amerika	178,2	247,3	321,1	450,4	458,3	481,2	501,4	4,2	4,8
Europa en Eurazië	2.450,0	2.835,1	3.205,5	2.828,8	2.905,4	2.964,0	2.984,0	0,7	28,3
Midden-Oosten	91,3	136,3	261,7	402,9	464,0	491,7	510,2	3,8	4,8
Afrika	89,2	141,5	222,9	275,8	298,0	311,7	316,5	1,5	3,0
Azië - Pacific	911,3	1.159,0	1.792,4	2.589,5	2.964,8	3.198,8	3.423,7	7,0	32,5
<b>Totaal</b>	<b>5.732,2</b>	<b>6.628,6</b>	<b>8.120,3</b>	<b>9.285,0</b>	<b>9.832,2</b>	<b>10.291,0</b>	<b>10.537,1</b>	<b>2,4</b>	<b>100,0</b>

In termen van marktaandeelen uitgedrukt, blijft aardolie de meest verbruikte energiedrager op wereldvlak met 36,4%, gevolgd door steenkool (27,8%) en aardgas (23,5%). Kernenergie

<sup>47</sup> Het primair energieverbruik (primaire energieconsumptie) is de som van energie verbruikt door transport, elektrische toepassingen (eindverbruik van elektriciteit) en thermische toepassingen (vooral het verbruik van fossiele brandstoffen voor de verwarming van gebouwen en industriële processen). Het omvat dus de vraag naar energie van de industrie, de transport- en tertiaire sector en de gezinnen.

vertegenwoordigt slechts 6,0% van de wereldmarkt en hydro-elektriciteit 6,3%. Tabel 2 geeft de evolutie weer van deze marktaandelen voor de jaren 2004 en 2005.

**Tabel 2: Mondiaal Marktaandeel van de verschillende energiebronnen**

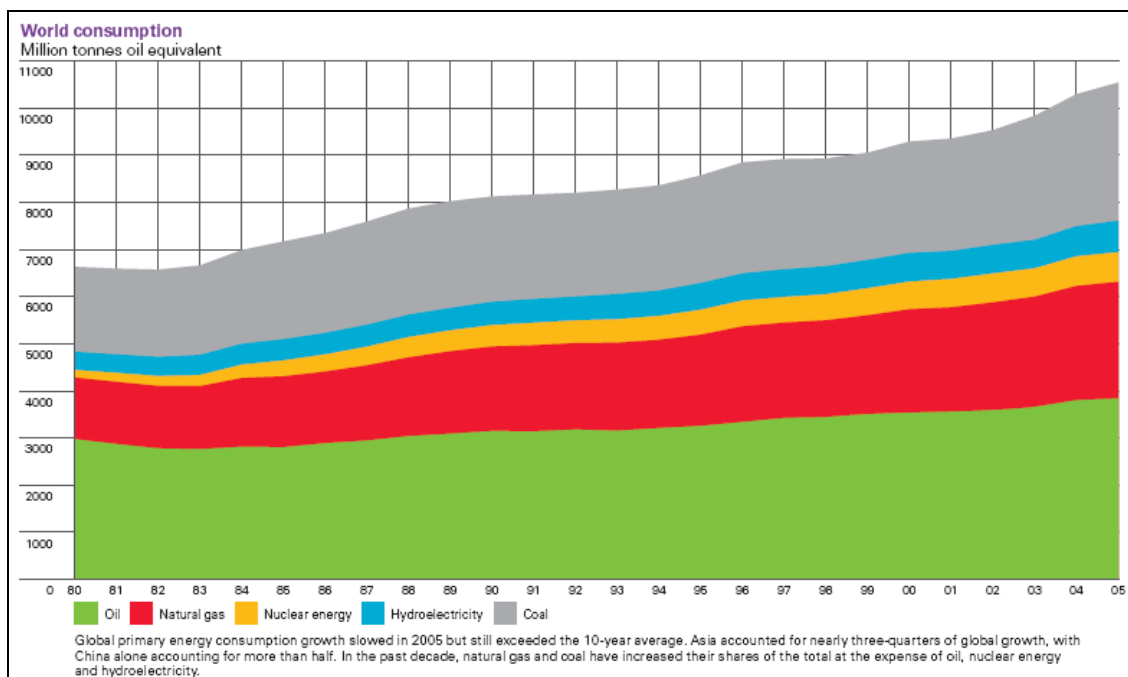
Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2006). Evolutie van de energiemarkt in 2005.

Geraadpleegd mei 2007 op

[http://economie.fgov.be/energy/balance\\_sheets/2005/evolution\\_energy\\_market\\_2005\\_nl.pdf](http://economie.fgov.be/energy/balance_sheets/2005/evolution_energy_market_2005_nl.pdf)

	2004		2005	
	Mtoe	%	Mtoe	%
Aardolie	3.798,6	36,9	3.836,8	36,4
Aardgas	2.425,2	23,6	2.474,7	23,5
Steenkool	2.798,9	27,2	2.929,8	27,8
Kernenergie	625,1	6,1	627,2	6,0
Hydro-elektriciteit	643,2	6,2	668,7	6,3
<b>Totaal</b>	<b>10.291,0</b>	<b>100,0</b>	<b>10.537,1</b>	<b>100,0</b>

Onderstaande figuur geeft de evolutie van de primaire energieconsumptie weer vanaf 1980 tot 2005. Daarop is duidelijk de stijgende trend van het energieverbruik te zien en ook het aandeel van elke bron.



**Figuur 10: Consumptie Primaire Energie op wereldvlak**

Bron: BP (2006). *Statistical Review of World Energy*. London: BP p.l.c. Blz. 42

## 1.2. Energie in België

### 1.2.1. Primaire energieconsumptie

Het primaire energieverbruik kende in 2005 een daling van 2,6 % ten opzichte van het jaar voordien, tot 56.205 Ktoe. In België is aardolie de belangrijkste energiebron (39,5 %), gevolgd door aardgas (25,2 %) en kernenergie (22,1 %).

**Tabel 3: Evolutie van het primair energieverbruik in België**

Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2006). Evolutie van de energiemarkt in 2005.

Geraadpleegd mei 2007 op

[http://economie.fgov.be/energy/balance\\_sheets/2005/evolution\\_energy\\_market\\_2005\\_nl.pdf](http://economie.fgov.be/energy/balance_sheets/2005/evolution_energy_market_2005_nl.pdf)

Ktoe	1973	1980	2000	2002	2003	2004	2005	% v/h totaal 2005
Vaste brandstoffen	11.777	11.339	8.382	6.539	6.210	6.427	5.454	9,7
Aardolie	27.268	23.019	23.690	22.338	24.153	22.448	22.227	39,5
Aardgas	7.162	8.935	13.405	13.414	14.441	14.610	14.152	25,2
Kernenergie	20	3.270	12.548	12.340	12.345	12.328	12.401	22,1
Overige (Primaire elektriciteit)	-50	-203	413	688	580	707	586	1,0
Brandstoffen uit hernieuwbare energieën en uit recuperatie	-	-	969	963	1.210	1.201	1.385	2,5
<b>Totaal</b>	<b>46.177</b>	<b>46.360</b>	<b>59.408</b>	<b>56.283</b>	<b>58.940</b>	<b>57.721</b>	<b>56.205</b>	<b>100,0</b>

Bij het onderzoek van deze tabel, moet men de sterke dalende tendens noteren van de vaste brandstoffen (-2,4%/jaar gemiddeld) over de beschouwde periode (1973-2005) en dit ondanks een zeer lichte herneming van het verbruik van dit product tussen 2003 en 2004, de geregelde stijging van het aardgas (+2,2%/jaar), de stabiliteit van de kernenergie, de dalende tendens van aardolie (-0,6%/jaar), de groeiende bijdrage van de hernieuwbare brandstoffen en deze uit recuperatie, op de primaire balans (gemiddeld +7,4%/jaar over de periode 2000 tot 2005).<sup>48</sup>

### 1.2.2. Elektriciteitsproductie

De totale brutoproductie van elektriciteit bedroeg 87.025 GWh in 2005, dit betekent een stijging met 1,9% ten opzichte van 2004. Deze stijging van de brutoproductie vertaalt zich dan ook in een daling van de import (-1,6%).

Deze brutoproductie werd voor 54,7% verzekerd door de kerncentrales. Daarnaast leverden de klassieke warmtecentrales 40,6% van de geproduceerde elektriciteit waarvan 9,4% vaste

<sup>48</sup> FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2006). *Evolutie van de energiemarkt in 2005*. Brussel. Blz. 3



brandstoffen, 29,2% gasachtige brandstoffen (waarvan aardgas 26,3%) en 2,0% vloeibare brandstoffen.

Daarnaast werd het productiesaldo verzekerd door de pompcentrales (1,5%), waterkracht (0,3%), windmolens (0,3%) en de winning van elektriciteit uit hernieuwbare brandstoffen en recuperatiebrandstoffen (2,6%).<sup>49</sup>

**Tabel 4: Bruto-elektriciteitsproductie in België (2004-2005)**

Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2006). *Evolutie van de energiemarkt in 2005*.

Geraadpleegd mei 2007 op

[http://economie.fgov.be/energy/balance\\_sheets/2005/evolution\\_energy\\_market\\_2005\\_nl.pdf](http://economie.fgov.be/energy/balance_sheets/2005/evolution_energy_market_2005_nl.pdf)

	2004		2005	
	GWh	%	GWh	%
Brutoproductie				
Kernenergie	47.312	55,4	47.596	54,7
Vaste Brandstoffen	9.147	10,7	8.199	9,4
Gasachtige brandstoffen (a)	23.812	27,9	25.409	29,2
Vloeibare brandstoffen	1.675	2,0	1.740	2,0
Hernieuwbare brandstoffen en recuperatie (b)	1.760	2,1	2.250	2,6
Waterkracht, windenergie en pompcentrales	1.736	2,0	1.831	2,1
<b>Totaal</b>	<b>85.442</b>	<b>100</b>	<b>87.025</b>	<b>100</b>

(a) met inbegrip van de afgeleide gassen

(b) met inbegrip van de industriële afvalstoffen en de niet hernieuwbare stedelijke afvalstoffen

<sup>49</sup> FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2006). *Evolutie van de energiemarkt in 2005*. Brussel. Blz 16

## 2. Steenkool

### 2.1 Algemeen belang

#### 2.1.1 Mondiaal

Steenkool is tegenwoordig nog altijd een zeer belangrijke energiebron. Steenkool wordt na olie meest verbruikt en zorgde in 2005 voor zo'n 27,8 % van de primaire energie. Het ging hier om 2.929,8 van de 10.537,1 Mtoe<sup>50</sup> primaire energie. (zie figuur 10) In 1965 was dit 1.485,3 van de 3.863,1 Mtoe, dit is 38,4 %.

Er kan dus gezegd worden dat het verbruik van steenkool geleidelijk aan toeneemt maar dat het aandeel in het totale primaire ervan vermindert. In 2005 was steenkool de snelst groeiende brandstof, de consumptie steeg met liefst 5 %. Een belangrijke oorzaak is de economische opgang van China. Het verbruik steeg er met 11 % en was daarbij goed voor 80 % van de globale groei. Ook in de USA was er een lichte stijging maar in de rest van de wereld was er een stagnatie te merken. Schattingen geven aan dat het verbruik in de toekomst nog zal stijgen. Feit is dat steenkool goedkoop is en dat de beschikbare voorraden veel langer toereikend zijn dan de voorraden aardolie en aardgas.<sup>51</sup> Het IEA schat tegen 2030 een verbruik van 3.606 Mtoe steenkool van de 15.267 Mtoe primaire energie.<sup>52</sup>

De spreiding van kolen over de verschillende continenten is veel gelijkmatiger dan van aardolie en aardgas. Afrika en Zuid-Amerika vormen daarop een uitzondering en zijn kariger bedeed (zie figuur 11). Deze geografische decentralisatie zorgt ervoor dat productie en consumptie, meer dan in gelijk welke andere industriële sector, sterk met elkaar verbonden zijn. Daardoor kunnen ook de prijzen worden laag gehouden.<sup>53</sup>

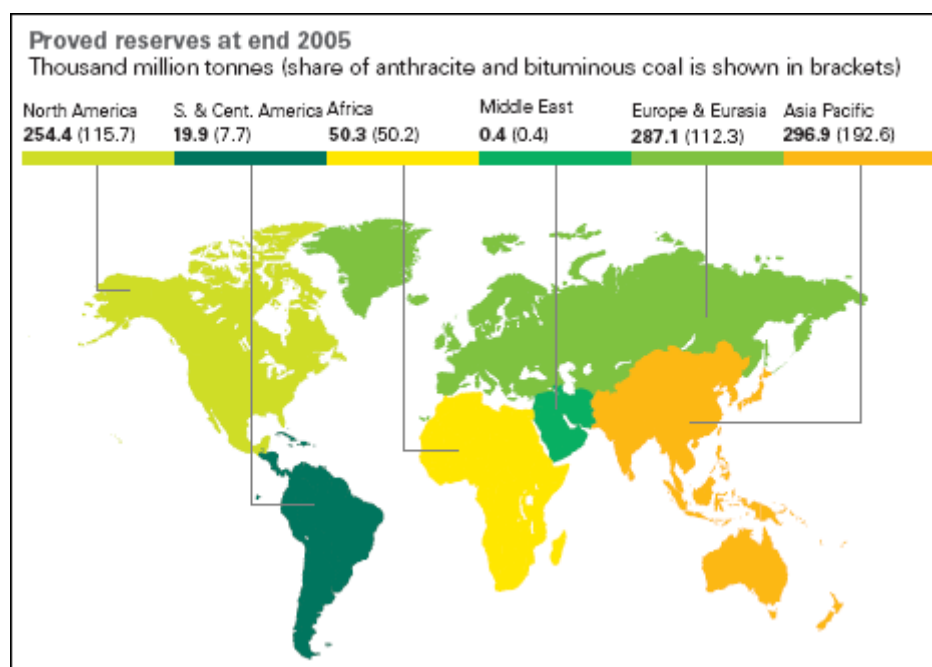
---

<sup>50</sup> Mtoe = miljoen ton olie equivalenten

<sup>51</sup> BP (2006). *Statistical Review of World Energy*. London: BP p.l.c. Blz. 32-35

<sup>52</sup> International Energy Agency (2002). *World Energy Outlook*. Parijs: OECD/IEA. Blz. 410

<sup>53</sup> Reinquin, P., Vanneste, D., 1995. Ruimtelijke impact van de productie, distributie en gebruik van steenkool op wereldvlak. *De Aardrijkskunde*. 19 (1), blz. 33



**Figuur 11: Globale verdeling van de kolenreserves (Gt) einde 2005**

Bron: BP (2006). *Statistical Review of World Energy*. London: BP p.l.c. Blz. 33

Volgens het BP Statistical Review bedroeg eind 2005 de verhouding bewezen reserves/productie 155 jaar voor steenkool. Eind 2003 bedroeg deze ratio nog 192 jaar. Dit betekent dat bij het productietempo van 2005 de bewezen steenkoolreserves nog volstaan voor 155 jaar. Het rapport vermeldt ook nog dat de bewezen reserves hoeveelheden zijn die aangegeven worden door informatie van geologen en ingenieurs en die met een grote zekerheid kunnen gewonnen worden onder de huidige economische omstandigheden.<sup>54</sup>

Het Vlaams Energieagentschap vermeldt dat een juister beeld ontstaat wanneer er ook rekening gehouden wordt met de gekende reserves die in de toekomst uitbaatbaar worden als gevolg van de technologische vooruitgang en de stijgende energieprijzen. Denk maar aan de grote hoeveelheden steenkool die het Kempens Bekken nog bevat (40 miljard ton). Ook de ongekende reserves, waarvan men op basis van geologische gegevens en statistische analyses mag verwachten dat ze nog ontdekt zullen worden en uitgebaat kunnen worden, mag men niet vergeten. Er dient natuurlijk ook rekening te worden gehouden met de stijgende productie uit de fossiele energievoorraden.<sup>55</sup>

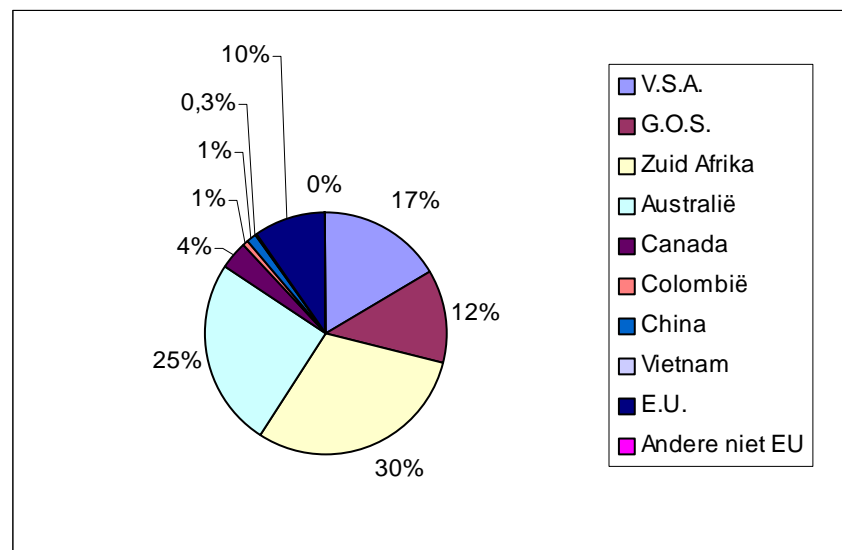
<sup>54</sup> BP (2006). *Statistical Review of World Energy*. London: BP p.l.c. Blz. 32

<sup>55</sup> Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *Eindige voorraden fossiele energiebronnen*. Geraadpleegd november, 2006 op [http://www.energiesparen.be/reg/fossiele\\_brandstoffen.php](http://www.energiesparen.be/reg/fossiele_brandstoffen.php)

### 2.1.2. België

In 2005 was het verbruik van steenkool in het totale primaire verbruik goed voor zo'n 9,7% (5.454 van de 56.205 Ktoe). Zowel het verbruik zelf als het aandeel in het verbruik van de primaire energie zakten. In 1998 was dit nog een waarde van 14,9%. De ijzer- en staalindustrie is de voornaamste verbruiker van steenkool (43%) in ons land. Daarnaast wordt steenkool ook veel gebruikt voor de productie van elektriciteit (36%).<sup>56</sup>

België voert bijna alle nodige steenkool in uit het buitenland. Onderstaande figuur geeft de geografische verdeling van de invoer van steenkool. De voornaamste leveranciers zijn Zuid-Afrika, Australië, de Verenigde Staten en het voormalige G.O.S..



**Figuur 12: Geografische verdeling van de invoer van steenkool, 2004 (in %)**

Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (n.d.). *Energie*. Geraadpleegd november, 2006 op [http://mineco.fgov.be/menu/new\\_nl.asp](http://mineco.fgov.be/menu/new_nl.asp)

<sup>56</sup> FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (n.d.). *Energie*. Geraadpleegd november, 2006 op [http://mineco.fgov.be/menu/new\\_nl.asp](http://mineco.fgov.be/menu/new_nl.asp)

## 2.2 Ruimtegebruik

In 1992 sloot de laatste Limburgse steenkoolmijn zijn deuren waardoor er in België geen steenkool meer gedolven werd. Direct ruimtegebruik van de steenkoolindustrie is er niet meer. Twee decennia geleden werd de beslissing genomen om het mijngebied te herstructureren en later werden dan ook studies gemaakt om een globale ruimtelijke visie te creëren voor de Limburgse Mijnstreek. De nadruk lag daarbij op het behouden van het karakter van de streek.

In Duitsland is er wel nog een grote bruinkoolwinning, met name in Garzweiler, nabij het natuurpark Maas-Swalm-Nette. Deze beslaat een oppervlakte van 4.800 hectare, waaruit per jaar 90 miljoen ton bruinkool wordt gewonnen en waarmee 13 % van de elektriciteit van Duitsland wordt opgewekt. De winning van de steenkool heeft daar dan ook een grote impact op het landschap en op de grondwaterstand.<sup>57</sup>



**Figuur 13: Bruinkoolwinning in Garzweiler (Duitsland)**

Bron: Beitrag des Solarenergie-Fördervereins Deutschland e.V. (SFV) (2006, 4 mei). *Braunkohleabbau – hautnah*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.sfv.de/lokal/mails/kd/garzweil.htm>

Zoals daarnet vermeld wordt bijna alle steenkool in België ingevoerd. De steenkool en cokes komen ons land binnen via de havens van Antwerpen en Gent. Ze hebben respectievelijk 7,3 en 3,4 miljoen ton steenkool geïmporteerd in 2003.

In deze havens zijn gespecialiseerde bedrijven gevestigd die infrastructuur bezitten om steenkool en cokes over te slaan. Onder dergelijke infrastructuur verstaat men voorzieningen zoals overslagkranen, vervoerssystemen om de producten van de kade naar opslagplaatsen te brengen, installaties om kolen te breken, te zeven, te wassen, te mengen en te wegen.

<sup>57</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 36

De Haven van Gent is een belangrijke schakel in de Vlaamse steenkoolindustrie. Kolen vormen er een niet te verwaarlozen handelsgoed. De kolen (60.000 ton) afkomstig uit Zuid-Afrika zijn bestemd voor de elektriciteitsproductie in de Electrabel-centrale in Rodenhuize. Kolen van diverse herkomst zoals Colombia, Venezuela, China, enz. dienen meestal voor de industrie.<sup>58</sup> De overslag, verwerking en opslag van de kolen in de Haven van Gent gebeurt voornamelijk door de firma ‘Ghent Coal Terminal (GCT)’. Met z’n 85 ha oppervlakte is GCT het grootste overslagbedrijf van vaste brandstoffen in België. Daarnaast is in de Gentse Haven het bedrijf ‘Companie belge de Manutention (CBM)’ actief in de steenkoolbusiness.<sup>59</sup>



**Figuur 14: Infrastructuur steenkoolverwerking in de Haven van Gent**

A: Ghent Coal Terminal (GCT)

B: Companie belge de Manutention (CBM)

Bron : Sea-Invest (n.d.). *Stevedoring: Dry Bulk*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.sea-invest.be/sea-invest/home/sea-home.html>

Ook de Haven van Antwerpen speelt een belangrijke rol in de steenkoolnijverheid. De haven ligt centraal tussen industriële grootsteden, wat geografisch gezien een zeer geschikte locatie is. Ook zijn er veel mogelijkheden (verschillende modi) om het hinterland te bereiken.

In de zogenaamde ‘Antwerp Bulk Terminal (ABT)’ worden 4 dokken gebruikt voor de overslag, verwerking en opslag van steenkool en cokes. Ze hebben samen een oppervlakte van 143 ha. Onderstaande tabel geeft een overzicht:

<sup>58</sup> Termont, D. (n.d.). *Haven van Gent Een bruisende haven in een bruisende stad: De Gentse Haven onder de loep*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.havengent.be/images/HAVEN%20P%201-10.pdf> Blz. 6

<sup>59</sup> Sea-Invest (n.d.). *Stevedoring: Dry Bulk*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.sea-invest.be/sea-invest/home/sea-home.html>

**Tabel 5: Overzicht van het ruimtegebruik door infrastructuur met betrekking tot steenkool- en cokesoverslag in de Haven van Antwerpen**

Bron: Haven van Antwerpen (n.d.). *The dry bulk alternative in the heart of Europe*. Geraadpleegd oktober, 2006 op [http://www.portofantwerp.be/html/05\\_PORTBROCHURES/AGHApdfNEW/BROCHDRY.PDF](http://www.portofantwerp.be/html/05_PORTBROCHURES/AGHApdfNEW/BROCHDRY.PDF)

Dok	Opper- vlakte (ha)	Kade- lengte (m)	Diepgang (m)	Opslag- capaciteit (Mt)	Ander ruimtebeslag
Delwaidedok	80	1.000	17,5	6	Opslagplaats van 800.000 m <sup>2</sup>
Kanaaldok	35	800	17,5	ca. 3	2 opslagplaatsen: 5.000 m <sup>2</sup> + 7.500 m <sup>2</sup> 7 silo's van 4.200 m <sup>3</sup>
Leopolddok/ Hansadok	18	470	12	-	
Leopolddok	10	515	12	-	2 opslagplaatsen van 8.750 m <sup>2</sup>

Verder nemen ook de elektriciteitscentrales die gebruik maken van steenkool een bepaalde ruimte in. In België maken nog zeven thermische centrales, waarvan vier in Vlaanderen, gebruik van steenkool. Ze zijn allen eigendom van Electrabel. (Zie Bijlage 2)

Het gebruik van steenkool voor de productie van elektriciteit is omstreden. Door de verbranding van steenkool komen broeikas- en andere luchtvervuilende gassen in de atmosfeer terecht en heeft zo nefaste gevolgen voor de gezondheid.

## 3. Aardolie

### 3.1 Algemeen belang

#### 3.1.1. Mondiaal

Olie is op vandaag de belangrijkste bron van energie. Olie wordt dan ook het meest verbruikt en zorgde in 2005 voor zo'n 36,4 % van de primaire energie. Dit is 3.836,8 van de 10.573,1 Mtoe primaire energie.<sup>60</sup>

De mondiale olievoorraden zijn niet zo omvangrijk als de steenkoolreserves. Eind 2005 bedroegen de bewezen reserves ongeveer 1.200 miljard vaten. Dit komt overeen met een reserves/productie verhouding van 40,6 jaar voor olie.<sup>61</sup> 'De Energy Information Administration van het Department of Energy van de Verenigde Staten publiceerde een analyse van de wereldwijde olievoorraad op lange termijn, gebaseerd op de gegevens van de U.S. Geological Survey. Als meest waarschijnlijke scenario beschouwde deze organisatie een totale voorraad olie van 3.000 miljard vaten (reeds ontgonnen of in de toekomst winbaar, inclusief reservegroei en nog te ontdekken voorraden), en een productiegroei van 2% per jaar, die aansluit bij de waargenomen productiegroei de laatste jaren (weliswaar 3,4% groei in 2004). Volgens dit scenario wordt in 2037 een maximale olieproductie bereikt van 53 miljard vaten per jaar, die snel terugvalt tot 20 miljard vaten in 2050 en 5 miljard vaten in 2075.'<sup>62</sup>

**Tabel 6: Wereldreserves van ruwe aardolie (1 januari 2006)**

bron: Belgische Petroleum Federatie (BPF) (2006). *Jaarverslag 2005*. Geraadpleegd november, 2006 op [http://www.petrofed.be/common/rapports/jaarverslag\\_2005.pdf](http://www.petrofed.be/common/rapports/jaarverslag_2005.pdf) Blz. 13 naar Comité Professionnel Du Pétrole (France)

	<b>Reserves (Gt)</b>	<b>Percentage (%)</b>
Noord-Amerika	27,3	15,5
Zuid-Amerika	15,9	9,0
Afrika	14,0	7,9
West-Europa	2,2	1,1
Nabije Oosten waarvan:	101,4	57,5
Saoedi-Arabie	36,4	20,6
Irak	15,7	8,9
Iran	18,1	10,2
Koeweit	14,2	8,0

<sup>60</sup> BP (2006). *Statistical Review of World Energy*. London: BP p.l.c. Blz. 6

<sup>61</sup> Idem voetnoot 14

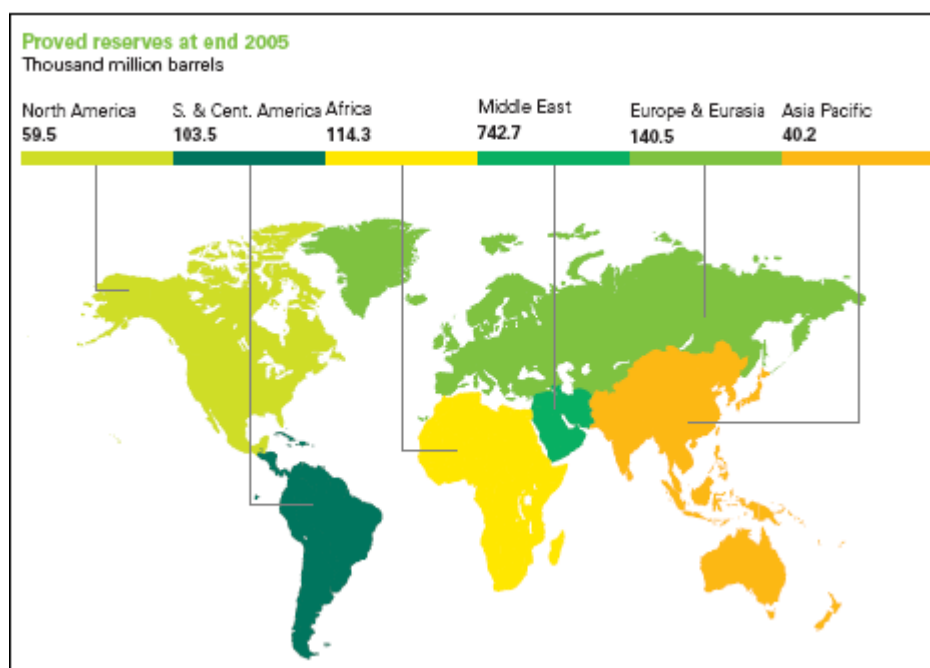
<sup>62</sup> Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *Eindige voorraden fossiele energiebronnen*. Geraadpleegd februari, 2007 op [http://www.energiesparen.be/reg/fossiele\\_brandstoffen.php](http://www.energiesparen.be/reg/fossiele_brandstoffen.php)



Verre Oosten/Oceanië	4,9	2,8
Oost-Europa	10,8	6,1
<b>Totaal wereld</b>	<b>176,3</b>	<b>100</b>
waarvan OPEC	123,0	69,8

\* De gegevens in deze tabel kunnen lichtjes afwijken van andere bronnen.

Uit tabel 6 is af te leiden dat ongeveer 70% van de oliereserves in handen van de OPEC-landen is. In Saoedi-Arabië alleen bevindt zich al zowat een vijfde van de bewezen aardoliereserves. Dat land speelt dus een toonaangevende rol binnen de OPEC en kan relatief meer wegen op de prijsvorming op de internationale markt.



**Figuur 15: Geografische verdeling van de bewezen oliereserves einde 2005**  
Bron: BP (2006). *Statistical Review of World Energy*. London: BP p.l.c. Blz. 7

Daardoor moet ook de geopolitieke dimensie van aardolie in acht worden genomen. De afhankelijkheid van olie door rijke westerse landen is groot en heeft dus een belangrijke impact op de economie van een land. Olie is immers nodig om een land draaiende te houden. Daarom worden door de Europese Unie en de overheden zelf voorzorgsmaatregelen genomen om kwetsbaarheden in de energievoorziening te minimaliseren. Zo heeft België een beleid in normale marktomstandigheden als bij een aardoliebevoorradingscrisis. ‘Net zoals alle andere EU en IEA lidstaten beschikt België over een “noodreserve” aan aardolie en aardolieproducten. Ingevolge de wet- en regelgeving van het IEA en de EU dient deze reserve

te voldoen aan bepaalde criteria inzake kwantiteit, samenstelling, beschikbaarheid, locatie, enz.<sup>63</sup> Een verdere evolutie naar nog meer olieafhankelijkheid is nog steeds een must.

### *Olieafhankelijkheid en geopolitiek*

De Jom Kipoer oorlog tussen Israël en de Arabische landen veroorzaakte in 1973 de eerste oliecrisis. De leiders van de OPEC (Organisatie van olie-uitvoerende landen) besloten op 18 oktober 1973 tijdens een bijeenkomst in Koeweit om de olieprijs te verhogen met 70 procent. Daarnaast zou ook de productie iedere maand 5 procent dalen tot Israël zich uit alle bezette gebieden had teruggetrokken. Landen die de Arabische staten steunden werden bevoorrecht, landen zoals de VS die steun verleenden aan Israël werden volledig uitgesloten van olie.

Als gevolg van deze boycot stegen de olieprijsen drastisch. Paniekreacties lokten autoloze zondagen uit. Een recessie in de industriële landen was een feit. ‘Het besef dat energie van groot belang is en het gevaar van politieke chantage met olie zijn toen voorgoed gevestigd.’

In 1979 deed zich een tweede oliecrisis voor. De oorzaak hiervan was de oorlog tussen Irak en Iran. Ook deze had prijsstijgingen tot gevolg en dus ook een groot effect op de maatschappij.<sup>64</sup>

Verder was er ook de olieshock in 1990 als gevolg van de inval van Irak in Koeweit en tenslotte is ook de oliecrisis van 2000 het vermelden waard.

### 3.1.2. België

In 2005 was het verbruik van aardolie en aardolieproducten in het totale primaire verbruik goed voor zo'n 39,5%. Daarvan is de transportsector de grootste gebruiker. Ook zijn de huishoudens en de nijverheid (met chemie als grootste sector) flinke verbruikers.<sup>65</sup>

België heeft geen inlandse productie van aardolie en is dus 100% afhankelijk van de aardolie-invoer uit het buitenland. Onderstaande tabel toont de geografische verspreiding van de invoer van aardolie uit andere landen. Rusland is de belangrijkste leverancier, met 42 % van de totale aanvoer. De invoer uit het jaar 1973 verschilt grondig met 2004 en 2005. Er kan een duidelijke vermindering van het olieaandeel van het Midden-Oosten opgemerkt worden ten

---

<sup>63</sup> FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie – Algemene Directie Energie, Afdeling Aardolie (2004). *Aardolie 2003: Feiten & Cijfers, Beleid en Gegevenstabellen*. Brussel. Blz 22

<sup>64</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 25

<sup>65</sup> FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (n.d.). *Energie*. Geraadpleegd februari, 2007 op [http://mineco.fgov.be/menu/new\\_nl.asp](http://mineco.fgov.be/menu/new_nl.asp)

voordele van Rusland en Noorwegen. Dit feit speelt duidelijk in het beleid om minder afhankelijk te zijn van enkel de landen uit het Midden-Oosten.

**Tabel 7: Invoer van aardolie in België volgens regio van herkomst**

Bron: Belgische Petroleum Federatie (BPF) (2006). *Jaarverslag 2005*. Geraadpleegd november, 2006 op [http://www.petrolfed.be/common/rapports/jaarverslag\\_2005.pdf](http://www.petrolfed.be/common/rapports/jaarverslag_2005.pdf) Blz. 25

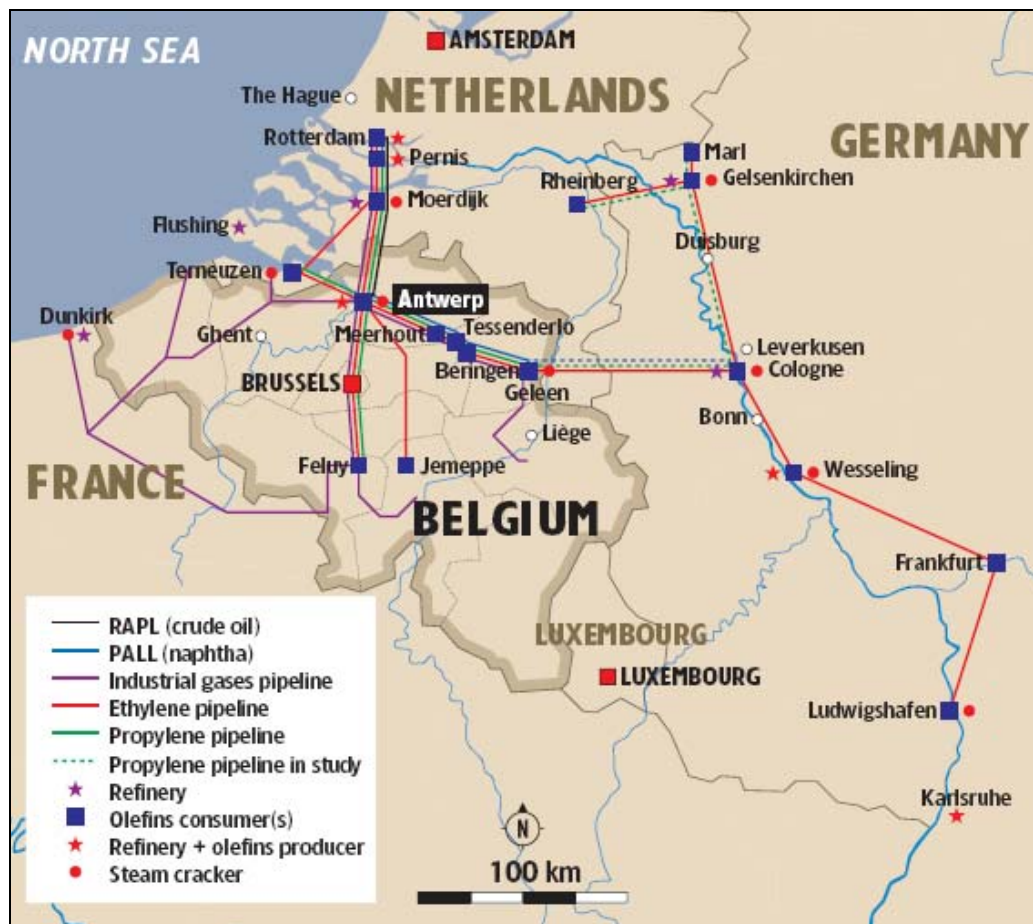
	<b>Hoeveelheid (kt)</b>			<b>Aandeel in %</b>		
	<b>1973</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>1973</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
Midden Oosten totaal	29.830	10.616	10.136	79,7	30,8	31,7
<i>Saoedi-Arabië</i>	15.927	5.373	5.267	42,6	15,6	16,4
<i>Iran</i>	7.221	4.620	4.514	19,3	13,4	14,1
<i>Irak</i>	818	160	240	2,2	0,5	0,7
Rusland	517	13.953	13.433	1,4	40,6	42,0
Noordzee totaal	106	8.130	6.619	0,3	23,6	20,7
<i>Verenigd Koninkrijk</i>	-	3.113	2.381	-	9,0	7,4
<i>Noorwegen</i>	106	2.949	2.749	0,3	8,6	8,6
Afrika totaal	5.696	694	953	15,2	2,0	3,0
<i>Nigeria</i>	949	433	319	2,5	1,3	0,9
Venezuela	997	915	810	2,7	2,7	2,5
Andere	249	99	14	0,7	0,3	0,04
<b>Totaal</b>	<b>37.395</b>	<b>34.407</b>	<b>31.965</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
waarvan OPEC	36.344	12.129	12.129	97,2	35,3	35,3

### 3.2. Ruimtegebruik

Doordat er zich in de Belgische en Vlaamse ondergrond geen exploiteerbare olie bevindt, moet alle aardolie worden ingevoerd. Dit betekent ook dat de impact op het landschap en de daarmee samenhangende ruimte minder groot zal zijn als in een olieproducerend land.

De olie-industrie in Vlaanderen is vooral gevestigd aan de havens. Antwerpen vormt hierin de hoofdschakel. De haven ontwikkelde zich vanaf de jaren '50-'60 tot een groot petrochemisch complex met een enorme economische betekenis. Grote olietankers lossen de ruwe aardolie in de terminal van de Rotterdamse haven. Deze ruwe aardolie, met zowel hoog als laag zwavelgehalte, wordt via een pijplijn (RAPL) naar Antwerpen overgebracht om in de raffinaderijen te worden omgezet in hoogwaardige producten zoals benzine, diesel en kerosine voor zowel de Europese als de Amerikaanse markt, en in basisproducten zoals nafta, butaan en aromaten voor de petrochemie. Deze afgeleide petroleumproducten worden meestal

vervoerd via pijpleidingen. Veel van de West-Europese belangrijke pijpleidingen lopen dan ook door Antwerpen. Onderstaande figuur geeft een goed overzicht.



**Figuur 16: Pijpleidingentransport in verbinding met Antwerpen**

Bron: Haven van Antwerpen (2005). A supplement to Asian chemical news, chemical market reporter and European chemical news. Geraadpleegd november, 2006 op [http://www.portofantwerp.be/html/05\\_PORTBROCHURES/AGHApdfNEW/POAlores.pdf](http://www.portofantwerp.be/html/05_PORTBROCHURES/AGHApdfNEW/POAlores.pdf)

Naast de industrielandenschappen die ontstonden als gevolg van de opslag, de verwerking en het gebruik van aardolie heeft dus ook het transport van deze energiebron een ruimtelijke invloed gehad. Voor het internationale transport van ruwe olie worden tankers en pijpleidingen gebruikt.

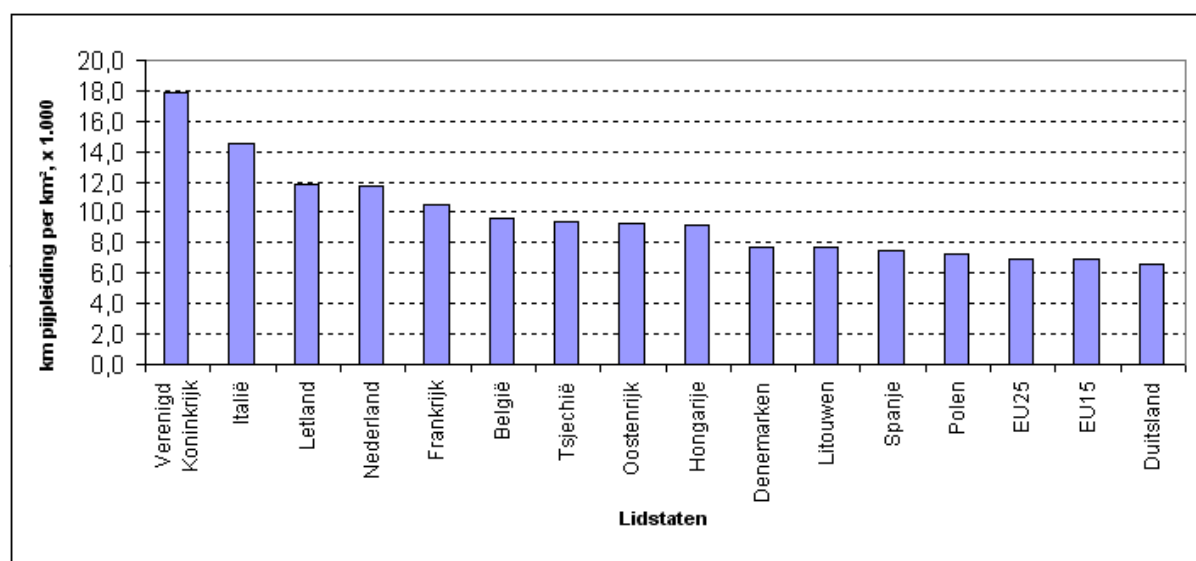
### 3.2.1. Olietankers

Olietankers hebben capaciteiten tot 230.000 ton. De haven van Rotterdam beschikt over de grootste havenbekkens om zulke schepen te ontvangen. In de Noordzee wordt een speciale geul op 26 meter diepte gehouden om de olietankers te kunnen laten varen.<sup>66</sup>

### 3.2.2. Pijpleidingen

#### 3.2.2.1. Lengte van het pijpleidingnetwerk

België had in 2002 een oliepijpleidingnetwerk van 294 km lang en stond daarmee op een laatste plaats in de EU wat betreft de landen die oliepijpleidingen bezaten. In vergelijking met Italië, dat een netwerk lengte heeft van 4.379 km, lijkt dit inderdaad niet zoveel. Maar wanneer onderstaande grafiek in achtning wordt genomen stond België toch op een zesde plaats wat betreft de dichtheid van het pijpleidingnetwerk met zo'n 9,6 km per 1.000 km<sup>2</sup>. Het Verenigd Koninkrijk stond aan kop met een dichtheid van 17,9 km per 1.000 km<sup>2</sup>.<sup>67</sup>



**Figuur 17: Dichtheid van het oliepijpleidingnetwerk in de Europese Unie in km per 1.000 km<sup>2</sup> (2002)**

Bron: Vlaamse Overheid: Kenniscentrum Statistiek (2006, 15 mei). *Pijpleidingen*. Geraadpleegd februari, 2007 op [http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat\\_cijfers\\_mobiliteit.htm](http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat_cijfers_mobiliteit.htm)

#### 3.2.2.2. RAPL

In 1970 werd begonnen met de bouw van de *Rotterdam-Antwerpen pijpleiding (RAPL)*: 102 km lang (waarvan 33,8 km op Belgisch grondgebied), 86 cm diameter en met een maximale

<sup>66</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 38

<sup>67</sup> Vlaamse Overheid: Kenniscentrum Statistiek (2006, 15 mei). *Pijpleidingen*. Geraadpleegd februari, 2007 op [http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat\\_cijfers\\_mobiliteit.htm](http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat_cijfers_mobiliteit.htm)

capaciteit van 30 miljoen ton ruwe olie per jaar. Deze pijpleiding werd ontworpen als gevolg van de beperkte diepgang van de Westerschelde. De haven van Antwerpen is slechts rechtstreeks te bevoorraden met tankers van ongeveer 80.000 Dead Weight Tons (D.W.T.) Toen VLCC-tankers van 250.000 D.W.T. meer in gebruik kwamen verleende het Belgisch Ministerie van Economische Zaken toestemming de Antwerpse raffinaderijen te bevoorraden via de RAPL. Thans worden twee raffinaderijen in Antwerpen door de RAPL bevoorrad: ExxonMobil en Total. Door deze bedrijven kan Antwerpen fungeren als draaischijf voor de invoer, raffinage en uitvoer van petroleumproducten. De uitvoer van petroleumproducten gebeurt vooral via schepen.<sup>68</sup>



**Figuur 18: De RAPL in Antwerpen**

Bron: ExxonMobil (2006). *Maatschappelijk Verslag 2005/2006 - Regio Antwerpen*. Den Haag: PlantijnCasparie. Blz. 25, 26

Er kan gesteld worden dat pijpleidingtransport een veilige, milieubewuste en duurzame vorm van transport is. Zo is het vervoerde tonnage door de RAPL equivalent met een constante stroom van 1.000 grote tanktrucks tussen Rotterdam en Antwerpen.<sup>69</sup>

De aanleg dergelijke pijpleidingen gaat gepaard met restricties (bouwvrije zones) die het gebruik en de inrichting van de bovengrondse ruimte beïnvloeden.<sup>70</sup>

<sup>68</sup> Rotterdam Antwerpen Pijpleiding N.V. (RAPL) (n.d.). *Geschiedenis*. Geraadpleegd februari, 2007 op <http://www.rapl.nl/>

<sup>69</sup> Rotterdam Antwerpen Pijpleiding N.V. (RAPL) (n.d.). *Veiligheid en Milieu*. Geraadpleegd februari, 2007 op <http://www.rapl.nl/>

<sup>70</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 22

Natuurlijk veroorzaakt olie ook een indirect ruimtegebruik. Dit als gevolg van de hoge energiedichtheid en lichte ontvlambaarheid van olieproducten. Ook kan er gesproken worden over milieu- en geluidshinder.

## 4. Aardgas

Gas is een energiebron die vooral een invloed heeft op de ondergrondse ruimte. In België werd nooit aan gaswinning gedaan waardoor aardgas dus voor de 100% moet worden ingevoerd. De belangrijkste invloed die het gas op de ruimte heeft is de aanleg van een gasnetwerk.

### 4.1. Algemeen

23,5% van de primaire energie wordt jaarlijks geleverd door gas. Verwacht wordt dat het verbruik van gas in de toekomst nog zal stijgen. Zo voorspelt het IAE tegen 2030 een afzet van 4.200 Mtoe, zo'n 28% van de primaire energie.<sup>71</sup>

De bewezen gasvoorraden op de wereld stijgen jaar na jaar. Volgens het BP Statistical Review bedroegen de reserves eind 1985 zo'n 99,54 triljoen m<sup>3</sup>. Eind 2005 bedroegen ze al 179,83 triljoen m<sup>3</sup>. De verhouding bewezen reserves/productie bedraagt ongeveer 65 jaar voor natuurlijk gas als het verbruik aan het huidige tempo doorgaat.<sup>72</sup>

De reserves bevinden zich voor ongeveer 90 % in twintig landen. Dit is weergegeven in onderstaande tabel en op figuur 19.

**Tabel 8: Reserves 'Natural Gas' in de wereld per land (1 januari 2006)**

Bron: Energy Information Administration (2006, juni). *Natural Gas*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/nat\\_gas.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/nat_gas.html)

Land	Reserves (Triljoen kubieke voet) *	Percent van het wereldtotaal
<b>Wereld</b>	<b>6.112</b>	<b>100,0</b>
<b>Top 20 landen</b>	<b>5.510</b>	<b>90,2</b>
Rusland	1.680	27,5
Iran	971	15,9
Qatar	911	14,9
Saoudi Arabië	241	3,9
Verenigde Arabische Emiraten	214	3,5
Verenigde Staten	193	3,1
Nigeria	185	3,0
Algerije	161	2,6
Venezuela	151	2,5
Irak	112	1,8
Indonesië	98	1,6

<sup>71</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 22

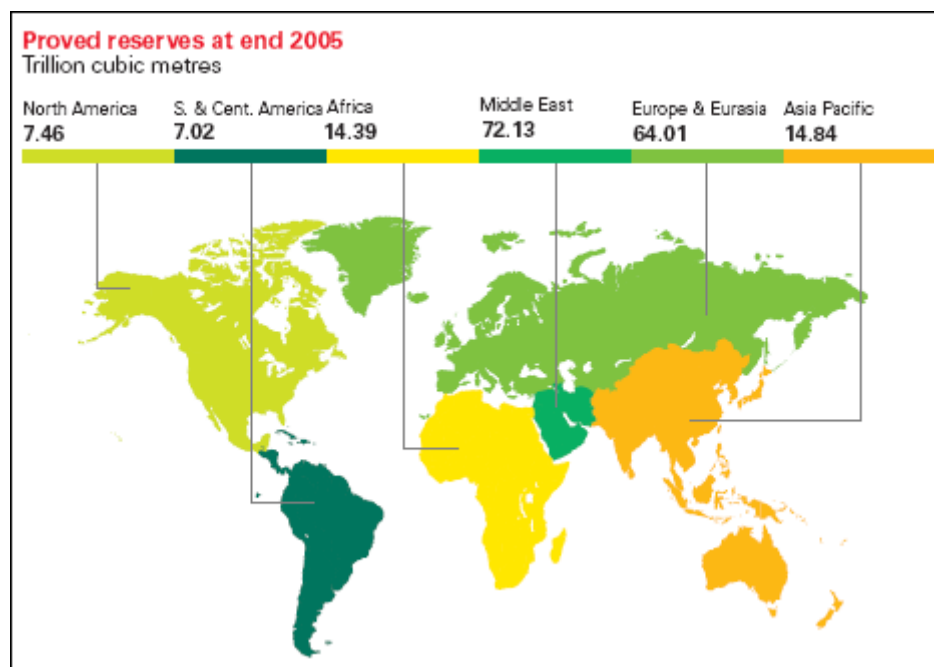
<sup>72</sup> BP (2006). *Statistical Review of World Energy*. London: BP p.l.c. Blz. 22



Noorwegen	84	1,4
Maleisië	75	1,2
Turkmenistan	71	1,2
Oezbekistan	66	1,1
Kazachstan	65	1,1
Nederland	62	1,0
Egypte	59	1,0
Canada	57	0,9
Koeweit	58	0,9
<b>Rest van de wereld</b>	<b>602</b>	<b>9,8</b>

\* omzetting: 1m<sup>3</sup> = 0,0283 ft<sup>3</sup>

Bijna driekwart van de wereldgasreserves bevinden zich in het Midden Oosten, Oost-Europa en de voormalige Sovjet Unie met Rusland, Iran en Qatar goed voor ruim 58% van de totale gasreserves.



**Figuur 19: Geografische verdeling van de aardgasreserves einde 2005**  
Bron: BP (2006). *Statistical Review of World Energy*. London: BP p.l.c. Blz. 23

De U.S. Geological Survey (USGS) schat de wereldwijde aardgasvoorraad op 436 triljoen m<sup>3</sup>, inclusief de meest waarschijnlijke groei van de gasreserves en de nog niet ontdekte voorraden. Ongeveer 85 triljoen m<sup>3</sup> hiervan bevindt zich in zgn. gestrande reserves, die niet economisch rendabel zijn door de grote afstand van transportinfrastructuur (pijpleidingen) of verbruikscentra. De beschikbare voorraden bedragen daardoor ongeveer 351 triljoen m<sup>3</sup>.<sup>73</sup>

<sup>73</sup> Energy Information Administration (2006, juni). *Natural Gas*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/nat\\_gas.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/nat_gas.html)

Er zijn naast de klassiek gewonnen aardgas uit gasvelden ook nog de zogenaamde onconventionele voorraden. Deze worden niet in de analyses opgenomen door het Department Of Energy, noch door de USGS. Het gaat hierbij om voorraden die niet met de klassieke boor- en winningstechnieken zijn uit te baten zoals gas in teerzanden, gas in zware olie, koollaagmethaan of methaanhydraten. Het Department Of Energy verwacht echter dat zelfs met sterk stijgende prijzen, de bijkomende productie uit deze onconventionele voorraden marginaal zal blijven.<sup>74</sup>

Het koollaagmethaan (Coalbed methane, CBM), zoals daarnet vermeld, is de algemene benaming voor methaangas die zich in steenkool bevindt. Het gas kan gewonnen worden wanneer de druk te wordt verlaagd in de diepe steenkoollagen door middel van het oppompen van water. Door recent onderzoek door de projectgroep Grondstoffen van VITO werden in het Kempens Bekken zes gebieden afgebakend met een verhoogde gasconcentratie. Het totale gehalte aan de zogenaamde koollaagmethaan in de zes gebieden bedraagt ongeveer 132 miljard m<sup>3</sup>, waarvan ongeveer 53 miljard m<sup>3</sup> winbaar wordt geacht.<sup>75</sup>

In 2005 was het verbruik van aardgas in het totale primaire verbruik goed voor zo'n 25,2%. Daarvan is de huishoudelijke sector met 53% de grootste gebruiker. De elektriciteitsproductie met behulp van aardgas bedraagt 39% in het eindverbruik. Deze bron is daarmee de op één na belangrijkste bron voor de productie van elektriciteit na kernenergie. Verder wordt 38% van het ingevoerde aardgas verbruikt door de industriële sector.<sup>76</sup>

België voert al het nodige aardgas in uit het buitenland. Onderstaande figuur geeft de geografische verdeling van de invoer van steenkool. De voornaamste leveranciers in 2005 waren Nederland, Noorwegen en Algerije. In september 2006 liep het Algerijns gasleveringscontract af. De plaats van Algerije als langetermijnleverancier wordt binnenkort ingenomen door Qatar. Distrigas heeft een leveringscontract van twintig jaar afgesloten met deze Golfstaat.<sup>77</sup>

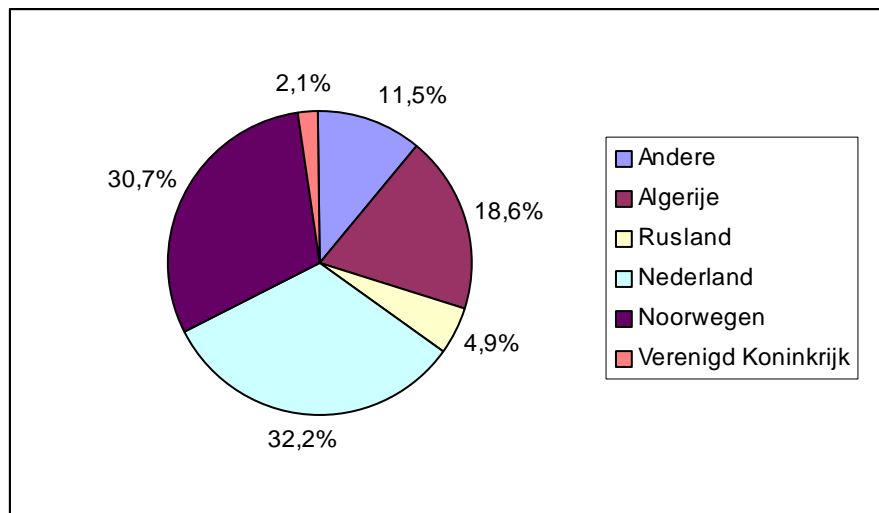
---

<sup>74</sup> Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *Eindige voorraden fossiele energiebronnen*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.energiesparen.be/reg/fossiele\\_brandstoffen.php](http://www.energiesparen.be/reg/fossiele_brandstoffen.php)

<sup>75</sup> Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) (n.d.). *Aardgas uit, CO<sub>2</sub> in de Kempense steenkool*. Geraadpleegd oktober, 2006 op <http://www.vito.be/materialen/materiaaltechnologie7e.htm>

<sup>76</sup> FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (n.d.). *Energie*. Geraadpleegd mei, 2007 op [http://mineco.fgov.be/menu/new\\_nl.asp](http://mineco.fgov.be/menu/new_nl.asp)

<sup>77</sup> Sertyn, P. (2007, maart). Handige gasinkopen jagen winst Distrigas omhoog. *De Standaard*.



**Figuur 20: Geografische verdeling van de invoer van aardgas, 2005 (in %)**

Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (n.d.). *Energie*. Geraadpleegd mei, 2007 op [http://mineco.fgov.be/menu/new\\_nl.asp](http://mineco.fgov.be/menu/new_nl.asp)

De Belgische aardgasmarkt ontstond in 1965. Toen werd het Slochterencontract afgesloten voor de levering van aardgas uit Groningen. Deze overeenkomst gaf de aanleiding voor een nieuwe markt. De uitbouw van deze nieuwe markt had dan ook nood aan een nieuwe infrastructuur.

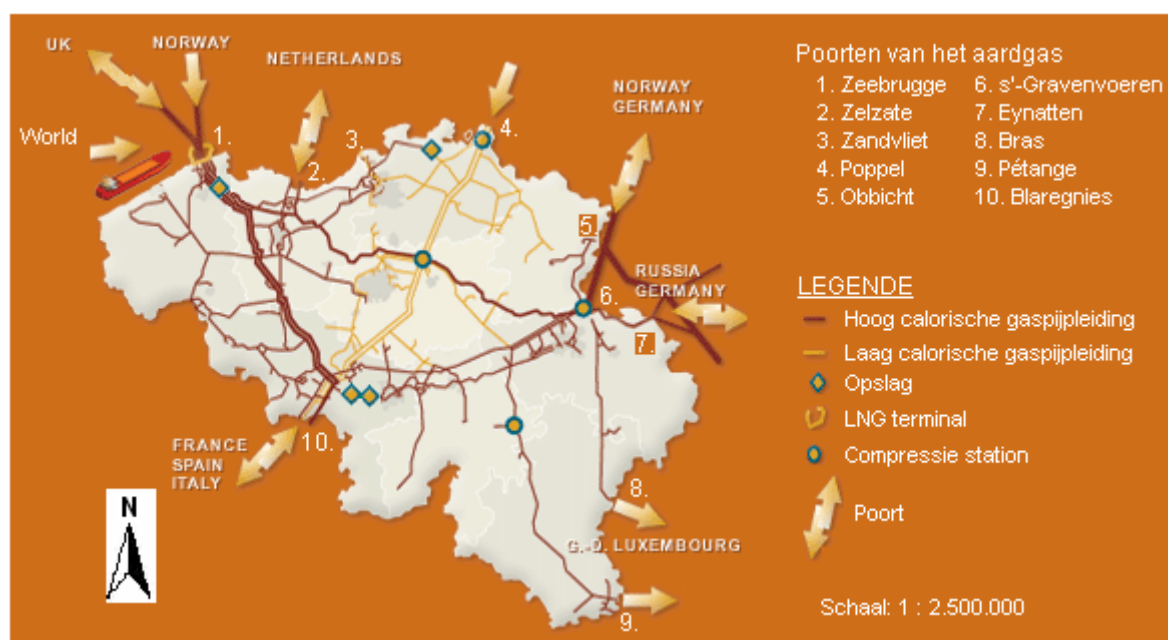
## 4.2. Ruimtegebruik

Door het gebrek aan exploiteerbare gasreserves in Vlaanderen kan er niet aan gaswinning worden gedaan. Als gevolg is er daardoor geen verlies van ruimte.

Onderstaande figuur geeft de ruimtelijke positionering van het aardgasnet in België weer. Het Belgische aardgassysteem behoort tot één van de best geïnterconnecteerde aardgassystemen in West-Europa. Het zijn de aardgaspoorten waarlangs ons net in verbinding staat met de aanvoer uit het Verenigd Koninkrijk, Noorwegen, Nederland, Duitsland, de Russische Federatie en wereldwijd uit alle landen die vloeibaar aardgas produceren. Langs deze poorten passeert ook aardgas op weg naar andere landen, zoals aardgas die voor verbruik in België vaak via andere landen komt voordat het aan de grensstations wordt aangeleverd.<sup>78</sup>

De Haven van Zeebrugge vormt binnen dit netwerk de belangrijkste hub. Zo passeert 15 % van het natuurlijk gas geconsumeerd in continentaal Europa door Zeebrugge. De Haven ligt dan ook op het kruispunt van de oost/west verkeersader tussen Siberië en Schotland en de noord/zuid verkeersader tussen Noorwegen en Zuidelijk Europa.

<sup>78</sup> Fluxys (2006). *Jaarverslag 2005*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.fluxys.net/pdf/Fluxys\\_Jaarverslag\\_2005\\_Def.pdf](http://www.fluxys.net/pdf/Fluxys_Jaarverslag_2005_Def.pdf) Blz. 2



**Figuur 21: Ruimtelijke macro-positionering van het aardgasnetwerk in België**

Bron: Eigen verwerking naar Fluxys (2006). *Corporate: Our gas transport infrastructure*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.fluxys.net/Index\\_Corporate.htm](http://www.fluxys.net/Index_Corporate.htm)

Als gevolg van de verdere stijging van het aardgasverbruik en het feit dat aardgas de milieuvriendelijkste fossiele brandstof is, worden meer centrales gebouwd die werken op aardgas. Zo is de bouw van STEG-centrales de laatste jaren erg populair. In Bijlage 2 staat een overzicht van deze en andere centrales op aardgas in België. Deze centrales nemen dan ook direct ruimte in beslag.

#### 4.2.1. Pijpleidingen

##### 4.2.1.1. Lengte van het pijpleidingnetwerk

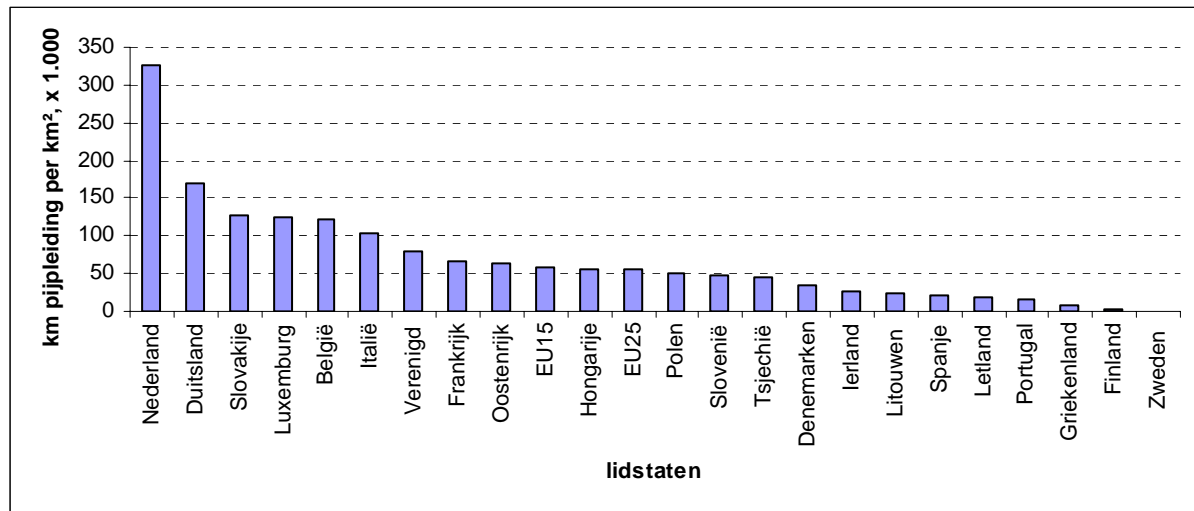
Het transport van aardgas gebeurt via pijpleidingen of buisleidingen. In de Europese Unie wordt de lengte van het aardgasnetwerk geschat op 1.848.920 km.

De lengte van het aardgaspijpleidingnetwerk in België telde in 2004 zo'n 57.298 km. Daarvan waren 3.694 km voorzien voor het transportnet en 53.604 km voor het distributienet. In 2005 lag het totaal aantal km al op 59.300 maar specifieke gegevens ontbreken nog.<sup>79</sup>

België staat qua dichtheid van het transportnetwerk voor aardgas op de 5<sup>de</sup> plaats in de Europese Unie met zo'n 121 km per 1.000 km<sup>2</sup>. Nederland staat aan kop met een dichtheid van 327 km per 1.000 km<sup>2</sup>. Deze hoge dichtheid in Nederland heeft natuurlijk te maken met

<sup>79</sup> Vlaamse Overheid: Kenniscentrum Statistiek (2006, 15 mei). *Pijpleidingen*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat\\_cijfers\\_mobiliteit.htm](http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat_cijfers_mobiliteit.htm)

het feit dat de Nederlanders zelf een grote producent van aardgas zijn. Om dezelfde reden mogen we verwachten dat de dichtheid van Noorwegen ook hoog zou scoren. Onderstaande grafiek geeft een overzicht van de dichtheden voor transportpijpleidingen in 2004 in de EU.



**Figuur 22: Dichtheid van het aardgaspijpleidingnetwerk voor transport in de Europese Unie in km per 1.000 km<sup>2</sup> (2004)**

Bron: Vlaamse Overheid: Kenniscentrum Statistiek (2006, 15 mei). *Pijpleidingen*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat\\_cijfers\\_mobiliteit.htm](http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat_cijfers_mobiliteit.htm)

Pijpleidingen zijn de meest efficiënte vorm van transport. Ze worden aangelegd over zeer lange afstanden. Daarom moeten op verschillende plaatsen compressiestations geplaatst worden om de gasdruk op peil te houden. Dergelijke stations bevinden zich in Weelde Winksele, Berneau en Sinsin. (Zie figuur 21)<sup>80</sup> Daarnaast liggen er op verschillende plaatsen decompressiestations om de druk van het hoofdnet te verlagen tot de druk van het stadsnet.<sup>81</sup>

#### 4.2.1.2. Zeepipe

De Zeepipe pijpleiding werd ontwikkeld om offshore Noors gas vanuit het noordelijk gelegen Trollveld te kunnen leveren aan de verschillende afnemers in West-Europa.<sup>82</sup> Deze Troll-Sleipner akkoorden werden in 1985 gesloten door Distrigaz samen met een aantal Europese

<sup>80</sup> Deblauwe, N. (1990). *Economisch-geografische evaluatie van aardgas in vergelijking met andere energiebronnen*. Gent: Sine nomine. Blz. 25

<sup>81</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 40

<sup>82</sup> Statoil (2006). Geraadpleegd oktober, 2006 op <http://www.statoil.com/>

partners. Zeebrugge werd als aanlandingspunt gekozen voor de aanleg van het nieuwe onderzeese pijpleidingennet.<sup>83</sup>

De ontwikkeling van de Zeepipe gebeurde in verschillende fasen<sup>84,85</sup>:

- In de **eerste fase** werd het Sleipnerveld in de Noorse Noordzee verbonden met de Haven van Zeebrugge door middel van een 814 km lange pijpleiding met een diameter van 40 inch. Ook werd een 37,6 km lange leiding met een diameter van 30 inch aangelegd van het Sleipnerveld naar het Draupner S platform waardoor de Zeepipe verbindingen had met de Statpipe en de Europipe I.

Dit eerste deel van de Zeepipe werd operationeel op 1 oktober 1993.

- De **tweede fase** omvat twee lijnen. De ene – Zeepipe IIA (40 inch) – heeft een lengte van 303 km en loopt van het Trollveld (nabij Kollsnes) naar het Sleipnerveld. De andere – Zeepipe IIB (40 inch) – heeft een lengte van 304 km en loopt van Kollsnes naar het Draupner S platform. De leveringen vanuit het Trollveld door de Zeepipe IIA begonnen op 1 oktober 1996, deze door Zeepipe IIB een jaar later.

Het gas dat via de Zeepipe wordt aangevoerd komt aan in de Statoil-terminal in Zeebrugge waar de hoeveelheid geregistreerd wordt. De capaciteit van deze verbinding bedraagt 13 miljard m<sup>3</sup> per jaar. Het gas ondergaat in Zeebrugge ook een kwaliteitscontrole vooraleer het via een netwerk van pijpleidingen verder verdeeld wordt naar gebruikers in België, Frankrijk en Spanje. Het terrein van de terminal bevindt zich in de achterhaven van Zeebrugge en heeft een oppervlakte van 215.000 m<sup>2</sup>.<sup>86</sup>

---

<sup>83</sup> Allaert, G. (2003). *Structuur en werking van de Belgische Economie, Deel 1*. Gent: Academia Press. Blz. 50

<sup>84</sup> Statoil (2006). Geraadpleegd oktober, 2006 op <http://www.statoil.com/>

<sup>85</sup> Gassco (2006). Geraadpleegd oktober, 2006 op <http://gcweb04.gassco.no/sw3044.asp>

<sup>86</sup> Haven van Zeebrugge (n.d.). Geraadpleegd oktober, 2006 op <http://www.portofzeebrugge.be/>



**Figuur 23: Overzicht pijpleidingen in de Noordzee**

Bron: Eigen bewerking naar N.N. (2005). *Pipelines, land facilities and other infrastructure*. Geraadpleegd oktober, 2006 op [http://odin.dep.no/filarkiv/243923/Fact\\_OG\\_05\\_kap\\_13.pdf](http://odin.dep.no/filarkiv/243923/Fact_OG_05_kap_13.pdf)



### 4.2.1.3. Interconnector

De Interconnector is een onderzeese aardgasverbinding tussen Bacton (Groot-Brittannië) en de Haven van Zeebrugge. (Zie figuur op de voorgaande pagina) Het is een carbon pijpleiding met een diameter van 40 inch en een lengte van om en bij de 235 km. Hij werd in 1998 voor het eerst in gebruik genomen. De leiding kan 23,5 miljard kubieke meter aardgas per jaar transporteren, van Bacton naar Zeebrugge (Forward) en in omgekeerde richting (Reverse). Door de bouw van deze pijpleiding speelt Zeebrugge een strategische rol in de Europese aardgasbevoorrading.<sup>87</sup>

Om de onderzeese pijpleiding tot aan de terminal in de haven van Zeebrugge te laten aankomen moest nog een deel van de pijpleiding ondergronds worden aangelegd. Om het natuurgebied de ‘Fonteintjes’, dat op het grondgebied Blankenberge – Zeebrugge ligt, niet te beschadigen, werd de pijpleiding onder zeeniveau gelegd.<sup>88</sup>

### 4.2.2. Opslag

Om de continuïteit van de bevoorrading te kunnen verzekeren moet gas onder de grond kunnen worden opgeslagen in grote reservoirs. Daardoor kan in de zomer het overtollige aardgas worden opgeslagen en kan in de winter aan de verbruikspieken voldaan worden.<sup>89</sup>

België beschikt zo over vijf grote ondergrondse ruimtes waar gas wordt opgeslagen:

- Zeebrugge: LNG (reservoir)
- Dudzele: LNG (reservoir)
- Loenhout: gas (in diepe waterhoudende lagen)
- Anderlues (in een afgedankte steenkoolmijn)
- Péronnes (in een afgedankte steenkoolmijn)

In het Antwerpse Poederlee willen de bedrijven Gazprom en Fluxys tegen 2012 nog een nieuwe ondergrondse opslagplaats voor gas installeren. De ondergrondse tank zou een volume van vijfhonderd miljoen kubieke meter hebben en zou dienen om de Britse en eventueel de

---

<sup>87</sup> Interconnector (2006). *Operations: The Interconnector System*. Geraadpleegd november, 2006 op <http://www.interconnector.com/index.html>

<sup>88</sup> Haven van Zeebrugge (n.d.). Geraadpleegd oktober, 2006 op <http://www.portofzeebrugge.be/>

<sup>89</sup> Deblauwe, N. (1990). *Economisch-geografische evaluatie van aardgas in vergelijking met andere energiebronnen*. Gent: Sine nomine. Blz. 48, 49



Belgische markt te bevoorraden. Het project kreeg de naam Belgian Underground Gas Storage (BUGS) mee.<sup>90</sup>

#### 4.2.3. LNG (Liquified Natural Gas)

Naast het gasvormig vervoer in pijpleidingen kan gas ook in vloeibare vorm vervoerd worden. Dit gebeurt meestal wanneer de afstanden met pijpleidingen niet te overbruggen zijn.<sup>91</sup> Wanneer aardgas afkoelt tot  $-161^{\circ}\text{C}$  wordt het een vloeistof met een volume dat 600 maal kleiner is. Het vloeibare aardgas kan dus in enorme hoeveelheden over enorme afstanden vervoerd worden. Dit gebeurt met speciaal daarvoor uitgeruste transportschepen. Een lading van zulk schip (gemiddeld  $130.000\text{ m}^3$ ) volstaat voor het jaarverbruik van een stad met 20.000 inwoners. Deze schepen komen toe in speciale terminals waar het vloeibare gas opnieuw in gasvorm wordt omgezet en daarna in het distributienet wordt geïnjecteerd.<sup>92</sup> Deze dure infrastructures in havens hebben een aanzienlijk ruimtebeslag.

Het grote voordeel van het transport van LNG per schip is dus de grotere flexibiliteit waardoor men minder afhankelijk is dan via het beperkt aantal pijpleidingen. Het Belgische bedrijf Exmar speelt in op dit principe door deze flexibiliteit nog op te voeren. ‘Na jaren van ontwikkeling is het bedrijf in staat om de hervergassing van LNG op het eigen schip uit te voeren.’ Dit biedt extra leveringsmogelijkheden en dus extra voordelen.<sup>93</sup>

##### 4.2.3.1. LNG terminal te Zeebrugge

Op 20 mei 1976 werd door de regering beslist om een LNG-terminal te Zeebrugge te bouwen. Dit gebeurde nadat een contract voor de levering van Algerijns aardgas afgesloten was (1975). In de zomer van 1987 kon de methaanterminal na uitvoerige testen in gebruik worden genomen. Sinds dat moment transporteert de Methania rechtstreeks het LNG met bestemming België van Arzew (Algerije) naar Zeebrugge in plaats van via Motoir de Bretagne in Frankrijk.<sup>94</sup>

---

<sup>90</sup> N.N. (2006, 19 januari). Gazprom onderzoekt sites in Loenhout en Poederlee. *De Standaard*.

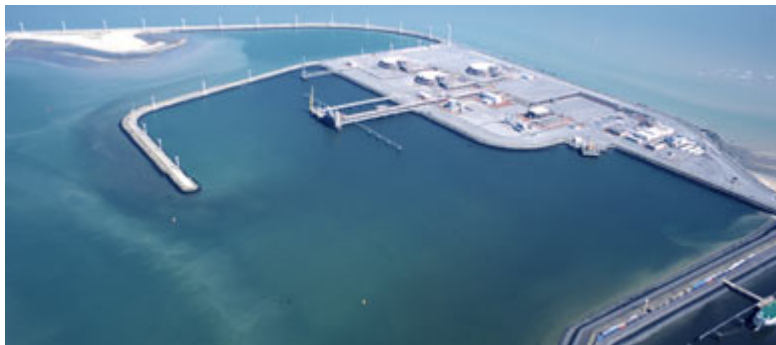
<sup>91</sup> Deblauwe, N. (1990). *Economisch-geografische evaluatie van aardgas in vergelijking met andere energiebronnen*. Gent: Sine nomine. Blz. 25

<sup>92</sup> Distrigas (2006). *De Europese Markt: De Europese aardgasmarkt*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.distrigas.be/content/naturalgas/europeanmarket/europeanmarket\\_nl.asp](http://www.distrigas.be/content/naturalgas/europeanmarket/europeanmarket_nl.asp)

<sup>93</sup> Reyms, J. (2007, 24 februari). Exmar toont zich meester in flexibel vloeibaar gas. *De Standaard*.

<sup>94</sup> Deblauwe, N. (1990). *Economisch-geografische evaluatie van aardgas in vergelijking met andere energiebronnen*. Gent: Sine nomine. Blz. 59-62

De terminal in Zeebrugge is eigendom van de Belgische netbeheerder Fluxys en heeft momenteel een capaciteit van 4,5 miljard m<sup>3</sup>/jaar. Vanaf 2007 zal deze worden opgevoerd tot 9 miljard m<sup>3</sup>/jaar zijn. Het is de bedoeling dat het gas na het aanlanden in Zeebrugge verder wordt gedistribueerd naar plekken in Nederland en het Europese achterland. Het is te verwachten dat de vraag naar LNG de komende jaren sterk zal toenemen. De prijs van traditioneel aardgas en de duurdere vloeibare variant groeien door de betere transportmogelijkheden langzaam naar elkaar toe.<sup>95</sup>



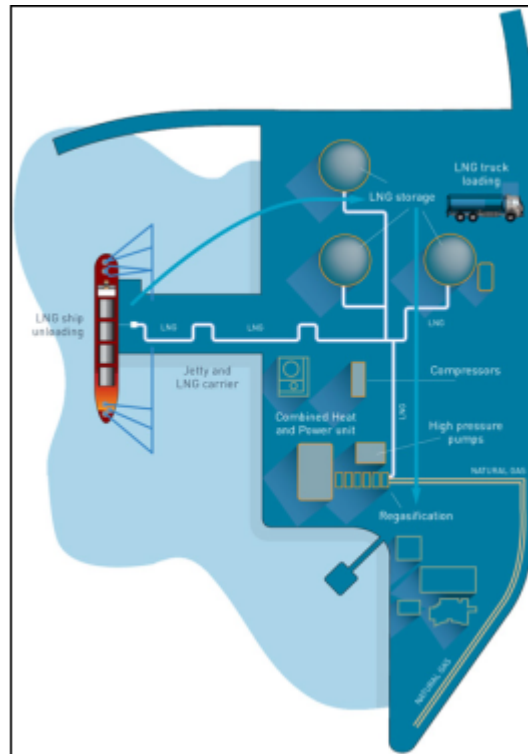
**Figuur 24: LNG-Terminal Zeebrugge**

Bron: Fluxys LNG (2006). Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.fluxyslmg.net/>

De infrastructuur die deel uitmaakt van de terminal in Zeebrugge kunnen we onder de noemer direct ruimtegebruik plaatsen. Figuur 25 en tabel 9 geven een overzicht.

---

<sup>95</sup> Energie Nederland (2005). *LNG*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.energie.nl/index2.html?evn/2005/evn05-121.html>



**Figuur 25: Infrastructuur LNG-Terminal Zeebrugge**

Bron: Fluxys LNG (2006). Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.fluxyslmg.net/>

**Tabel 9: Overzicht Infrastructuur LNG-Terminal Zeebrugge**

Bron: Haven van Zeebrugge, Fluxys LNG, Agiv

Infrastructuur	Eigenschappen	Ruimtegebruik
Losvoorzieningen	Steiger: 380 m x 55 m Diepgang: 13 m Loscapaciteit: 12.000 m <sup>3</sup> LNG/ uur Het dok werd speciaal gebouwd zodanig dat de invloed van golfstroming minimaal zou zijn.	Oppervlakte: 40,5 ha Gewestplan: Industriegebied
Opslagvoorzieningen	3 opslagtanks van 87.000 m <sup>3</sup> = 261.000 m <sup>3</sup> (werk volume: 240.000 m <sup>3</sup> ) De vierde tank is in opbouw en zou moeten voltooid zijn tegen 2008.	
Hervergassing –en uitzendfaciliteiten	8 hoge druk pompen 6 verdampers	
WKK eenheid	Genereren van 40 MW elektriciteit door gasturbine. De warmte wordt gebruikt voor de verdampers.	
Station voor LNG transport met vrachtwagens	Bevoorrading aan vrachtwagens	
Piekbesnoeiingsinstallatie	LNG wordt gestockeerd in	Oppervlakte: 8 ha

	opslagtanks om pieken in de gasconsumptie (tijdens de winterperiode) op te vangen. 2 opslagtanks LNG van 57.250 m <sup>3</sup> 1 opslagtank voor vloeibare stikstof van 19.000 m <sup>3</sup>	Gewestplan: Industriegebied
--	---	-----------------------------

## 5. Kernenergie

### 5.1. Historiek

Wegens het belang van kernenergie in de Belgische elektriciteitsopwekking is het aangewezen om het verleden achter deze bron te vermelden.

In 1896 ontdekte Henri Becquerel bij toeval een merkwaardig verschijnsel. Dit fenomeen werd na verder onderzoek door Marie en Pierre Curie 'radioactiviteit' genoemd. De geleerden Otto Hahn en zijn assistent Fritz Strassmann werkten het procédé verder uit en dit resulteerde in de splitsing van uranium door dit element te beschieten met neutronen. Deze techniek werd voor het eerst toegepast in 1938 en zo was het principe van kernsplijting een feit. Vervolgens slaagde Enrico Fermi en zijn team in 1942 erin voor het eerst een kernreactor te bouwen waarin een gecontroleerde nucleaire reactie plaatsvond. In het Russische Obninsk werd twaalf jaar en twee atombommen later de eerste elektriciteit uit kernenergie opgewekt.<sup>96</sup>

Na WO II werd kernenergie aanzien als de beste energiebron met oog op de toekomst. Men zag kernenergie als een onuitputtelijke energiebron die kon gebruikt worden voor de productie van elektriciteit. Deze hoop werd lang gekoesterd.

De Belgische geschiedenis van kernenergie begon in 1944. Onder leiding van de VS en het VK werd een onderzoek over kernenergie gehouden. België kon deelnemen dankzij de belangrijke uraniumreserves in Kongo. Eind de jaren 50 werd in samenwerking met de Fransen een kerncentrale voor de productie van elektriciteit te gebouwd in Chooz, die zich net over de Belgische grens bevindt. Het was een prototype met een vermogen van 242 MW die later nog verhoogd werd tot een vermogen van 305 MW per jaar. Ondertussen was België in 1985 lid geworden van Euratom, een samenwerkingsverband tussen zes landen die als doel hadden 'te waarborgen dat kernenergie uitsluitend vreedzaam zou gebruikt worden'. Later besliste de Belgische overheid om nog twee andere kernreactoren in Doel en Tihange te bouwen. De bouw van de eerste twee reactoren in Doel en de eerste reactor van Tihange startte in 1969. Deze drie reactoren werden in 1975 op het net aangesloten.

De oliecrisis in de jaren zeventig was de aanzet voor de regering om voor een andere energiebron dan olie te kiezen voor de productie van elektriciteit. Dit leidde dus tot de verdere uitbouw van kernenergie, dit om minder afhankelijk te zijn van andere landen. De andere vier reactoren (2 in Doel en 2 in Tihange) werden opgestart tussen 1982 en 1985.

---

<sup>96</sup> Andrews, M. (1991). *De wording van Europa: verschuivende continenten en de ontwikkelingsgeschiedenis der naties*. Weert: M & P Uitgeverij. Blz. 219

Eind jaren zestig was er veel protest tegen het gebruik van kernenergie. Het ongeluk in de kerncentrale van Three Mile Island te Harrisburg (V.S.A.) in 1979 gaf aanleiding tot een publiek debat over de veiligheid in kerncentrales. Hoewel de gevolgen van het ongeluk relatief beperkt bleven, was er een grote impact op de publieke opinie.<sup>97</sup>

De plannen om een vijfde kernreactor in Doel te bouwen stootten op heel wat verzet. Het gaf aanleiding tot één van de grootste manifestaties in België en vond plaats in juni 1979 te Doel. Het was een gezamenlijke actie van VAKS (Verenigde Actiegroepen voor Kernstop), Les Amis de la Terre en enkele Nederlandse actiegroepen.<sup>98</sup> Na de ontploffing in de kerncentrale van Tsjernobyl in 1986 werd beslist de plannen van Doel 5 niet verder uit te voeren. In 1988 werd dan ook een moratorium ingesteld op de bouw van nieuwe reactoren. Vanaf dat ogenblik zouden de groene bewegingen steeds ijveren voor een algemene kernstop.

Niet te verwaarlozen is de ruimtelijke impact die de kernramp in Tsjernobyl had. Een gebied met een straal van 30 km rond de centrale is voor eeuwig onbewoonbaar verklaard. De straling in de omgevende gebieden was vernietigend en doodde heel wat mensen en organismen. Ook werd door de hevige brand, die pas weken later kon worden gedoofd, de vrijkomende radioactiviteit hoog de lucht ingevoerd, zodat deze zich met behulp van de wind over grote delen van Europa verspreidde. Door de fall-out werden drinkwaterreservoirs, graaslanden, landbouwgronden en dergelijke besmet.

In de periode na het ongeval in Tsjernobyl werd de Belgische bevolking op verschillende manieren blootgesteld aan radioactieve straling. De voornaamste blootstelling werd veroorzaakt door de uitwendige straling van de radioactieve stoffen die op de grond terecht kwamen, door inademing van besmet stof en door het eten van besmet voedsel. 'In België was in 1986 de verdeling van de besmetting afhankelijk van de weersomstandigheden. Op plaatsen waar het regende werd de luchtactiviteit neergeslagen op de grond en vormde er zich een grotere oppervlaktebesmetting dan op plaatsen waar het droog bleef.

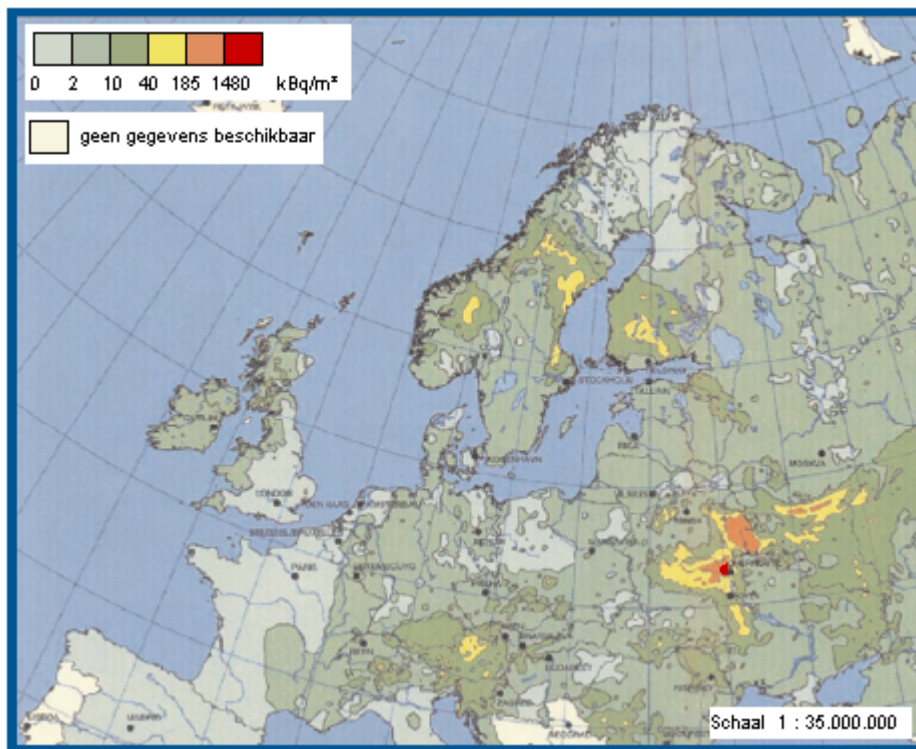
In Mol, dat zich in het meest besmette deel bevindt, deed het SCK•CEN een groot aantal metingen die als referentie voor België werden genomen.<sup>99</sup>

---

<sup>97</sup> Gellynck, D. (2003). *De Kernstop in België: Een Economische Analyse*. Gent: Sine nomine. Blz. 3, 4

<sup>98</sup> Laes, E., Chayapathi, L., Meskens, G. en Eggermont, G. (2004). *Kernenergie en Maatschappelijk Debat*. Brussel: viWTA. Blz. 16 naar Tistaert 1991

<sup>99</sup> Studiecentrum voor Kernenergie (SCK-CEN) (2006). *Tsjernobyl, 20 jaar later*. Geraadpleegd februari, 2007 op [http://www.sekcn.be/sekcn\\_nl/publications/brochures/tsjernobyl/20jaar/tsjernobyl20\\_NL.pdf](http://www.sekcn.be/sekcn_nl/publications/brochures/tsjernobyl/20jaar/tsjernobyl20_NL.pdf) Blz 17



**Figuur 26: Radioactieve besmetting t.g.v. het Tsjernobyl incident**

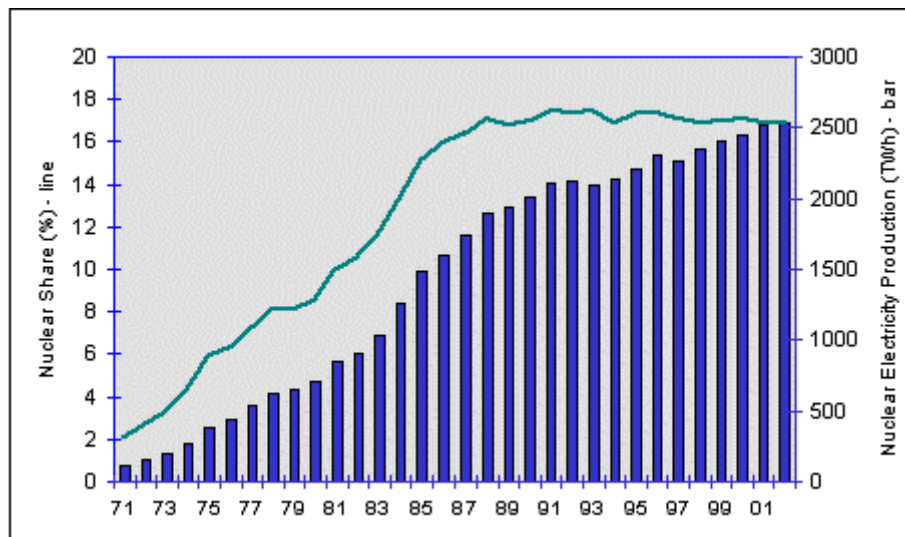
Bron: Studiecentrum voor Kernenergie (SCK-CEN) (2006). *Tsjernobyl, 20 jaar later*. Geraadpleegd februari, 2007 op [http://www.sckcen.be/sckcen\\_nl/publications/brochures/tsjernobyl/20jaar/tsjernobyl20\\_NL.pdf](http://www.sckcen.be/sckcen_nl/publications/brochures/tsjernobyl/20jaar/tsjernobyl20_NL.pdf)

In de periode 2002-2003 werd beslist dat alle zeven de commerciële reactoren in België moeten gesloten worden 40 jaar na de opstart. Dit wil zeggen dat de laatste kerncentrale in ons land tegen 2025 dicht moet. In het wetsvoorstel werd ook een overmachtclausule ingebouwd.

## 5.2. Algemeen

Momenteel zijn 442 kernreactoren werkzaam in 31 landen. Ze hebben een totaal vermogen van 371 GWe. Recente gegevens geven aan dat zo'n 16% (2.626 miljard kWh) daarvan wordt gebruikt voor de productie van elektriciteit. Onderstaande grafiek geeft de evolutie van de nucleaire elektriciteitsproductie en het aandeel van nucleaire energie in de totale elektriciteitsproductie van 1971 tot 2002.<sup>100</sup>

<sup>100</sup> World Nuclear Association (2007, december). *Nuclear Power in the world today*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.world-nuclear.org/info/inf01.htm>



**Figuur 27: Nucleaire elektriciteitsproductie en aandeel in de totale elektriciteitsproductie**

Bron: World Nuclear Association (2007, december). *Nuclear Power in the world today*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.world-nuclear.org/info/inf01.htm>

Kernenergie (kernsplijting) is een proces waarin zware kernen, meestal verrijkte uranium-isotopen worden gesplitst door middel van neutronen in twee nieuwe atoomkernen (splijtingsproducten). Hierbij komen opnieuw neutronen vrij die opnieuw andere kernen kunnen raken waardoor deze op hun beurt zullen splitsen. Er vormt zich als het ware een kettingreactie. Bij het uiteenvallen van de kernen komt zeer veel energie of warmte vrij. Met de warmte produceert men stoom waardoor turbines worden aangedreven. Deze bewegingsenergie wordt dan uiteindelijk omgezet in elektriciteit.

Uranium is een zwaar metaal, net als lood. Het komt veelvuldig voor in de aardkorst en wordt verhandeld als uraniumoxide ( $U_3O_8$ ), de zogenaamde 'yellowcake'. Jaarlijks is er ongeveer 65.000 tot 66.000 ton uranium nodig in de wereld voor de productie van kernenergie. Van deze vraag wordt reeds 20.000 ton voorzien door de ontmanteling van kernwapens.

De uraniumreserves nemen toe door nieuwe ontginningstechnieken. De invloed van de marktprijs is hier zeer duidelijk merkbaar, wat wil zeggen dat nieuwe ontginningstechnieken geheel afhankelijk van deze marktprijs worden toegepast. Met de huidige prijs van uranium (begin 2006: \$50/kg) is nog circa 2 miljoen ton beschikbaar. Daarmee kan nog zeker 30 jaar voorzien worden in het reeds opgestelde kernenergievermogen.

Uraniumertsen hebben een relatief gelijkmatige geografische spreiding. Tabel 10 toont de 17 landen met hun uraniumproductie.



**Tabel 10: Geografische spreiding van de Uraniumproductie in 2005**

Bron: World Nuclear Association (2006). *World Uranium Mining*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.world-nuclear.org/info/inf23.htm>

<b>Land</b>	<b>Uraniumproductie (ton uranium)</b>
Canada	11.628
Australië	9.519
Kazachstan	4.357
Rusland	3.431
Namibië	3.147
Niger	3.093
Oezbekistan	2.300
VSA	1.039
Oekraïne	800
China	750
Zuid Afrika	674
Tsjechische Republiek	408
Indië	230
Romanië	90
Duitsland	77
Pakistan	45
Frankrijk	7
<b>Wereldtotaal</b>	<b>41.595</b>

In België voorziet nucleaire energie 56% van de geproduceerde elektriciteit, zo'n 45 miljard kWh per jaar. Deze elektriciteit wordt geleverd door 7 kernreactoren (4 in Doel en 3 in Tihange) die samen een capaciteit hebben van 5.182 MWe. Om deze kerncentrales te laten werken wordt jaarlijks 1075 ton uranium ingevoerd. De nucleaire sector wordt in België beheerd door de groep Suez-Electrabel.

## 5.3. Ruimtegebruik

### 5.3.1. België

In België bevindt zich twee kerncentrales die gebruikt wordt voor commerciële elektriciteitsproductie, namelijk in Doel en Tihange (Zie ook bijlage 2). Verder zijn er nog een aantal andere inrichtingen in Vlaanderen die met kernenergie te maken hebben. Belangrijk is het Studiecentrum voor Kernenergie (SCK.CEN), waar onderzoek wordt gedaan naar de vierde generatie van kerncentrales. Deze technieken zouden tegen 2040 op punt moeten staan. Verder hebben is er het bedrijf Belgoprocess in Dessel (sluiting 2007) dat instond voor de behandeling en opslag van radioactief afval. Daarnaast zijn er in Vlaanderen ook nog bedrijven die instaan voor het transport van radioactief materiaal, het onderhoud van

installaties, het ontwerp van infrastructuur, het uitvoeren van referentiemetingen, ... .  
Onderstaande figuur geeft een overzicht van de belangrijkste infrastructuur.



**Figuur 28: Positionering kerninfrastructuur in België**

Bron: Eigen bewerking

### 5.3.2. Mogelijke vestigingsplaatsen voor kerncentrales

De studie “Kernenergie en Maatschappelijk Debat” stelt in een voetnoot dat de keuze voor mogelijke vestigingsplaatsen van kerncentrales werd gerechtvaardigd door het feit dat een kerncentrale een aantal eisen aan haar omgeving stelt.<sup>101</sup> Deze waren:

- de beschikking over een voldoende debiet aan koelwater (dus enkel grote stromen of de zee kwamen in aanmerking);
- een terrein van minstens 60 ha. groot;
- voldoende toegankelijk via grote invalswegen;
- geschikte geologische kenmerken;
- voldoende verdunningsmogelijkheid voor radioactieve effluenten;

<sup>101</sup> Laes, E., Chayapathi, L., Meskens, G. en Eggermont, G. (2004). *Kernenergie en Maatschappelijk Debat*. Brussel: viWTA. Blz. 51

- en een geringe bevolkingsdichtheid in de buurt van de centrale.

Na de kernramp in Tsjernobyl besliste de senaat op 15 mei 1986 om een ‘Commissie voor Informatie en Onderzoek inzake Nucleaire Veiligheid’ (kortweg de ‘Tsjernobyl-commissie’) op te richten. Hierin werd de hele kernenergieproblematiek onder de loupe genomen. Resultaat van deze commissie waren een heel aantal aanbevelingen waaronder suggesties omtrent nucleaire veiligheid. Er werd gesteld dat kerncentrales tenminste 30 km verwijderd moeten zijn van een stedelijke agglomeratie. Dit had natuurlijk consequenties want in België voldoet zowel de kerncentrale van Doel (in nabijheid van Antwerpen) als de centrale in Tihange (in nabijheid van Luik en Namen) hieraan niet.<sup>102</sup>

### 5.3.3. Impact op het landschap

Kerncentrales brengen een duidelijke verstoring in het landschap teweeg. Het terrein van de kerncentrale van Doel heeft een ruimtebeslag van 157 ha. De reactorgebouwen hebben een hoogte van ongeveer 60 m. De koeltorens zijn zo’n 170 m hoog en hebben een diameter van om en bij de 145 m aan de basis en 78 m bovenaan.<sup>103</sup> Verder hebben ook de bovengrondse hoogspanningsmasten voor de afvoer van de stroom een nadrukkelijke visuele impact. Onderstaande figuur geeft een beeld van de kerncentrale van Doel weer. De visuele hinder die kerncentrales veroorzaken is duidelijk.



**Figuur 29: Zicht op de kerncentrale van Doel**

Bron: Michiel Wijnbergh fotografie (2002, 18 juni). Geraadpleegd november, 2006 op <http://www.wijnbergh.nl/>

<sup>102</sup> Laes, E., Chayapathi, L., Meskens, G. en Eggermont, G. (2004). *Kernenergie en Maatschappelijk Debat*. Brussel: viWTA. Blz. 102

<sup>103</sup> Electrabel, (2004). *Kerncentrales, solide en veilig*. Geraadpleegd november, 2006 op [http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv\\_generation\\_nuclear\\_nl.pdf](http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv_generation_nuclear_nl.pdf)

### 5.3.4. Invoer

België voert jaarlijks 1075 ton uranium in.<sup>104</sup> In vergelijking met andere vormen van energieopwekking (steenkool, gas) is voor een kerncentrale slechts een kleine hoeveelheid grondstof nodig. Eén kilo hout is nodig om 1 kilowattuur stroom te maken, 1 kilo kolen levert 3 kilowattuur stroom. Met 1 kilo uranium wordt 40.000 kilowattuur gemaakt.<sup>105</sup> Wanneer deze gegevens gekoppeld worden aan het beperkt ruimtebeslag van een kerncentrale kan besloten worden dat kernenergie een zeer grote ruimteproductiviteit heeft. In het geval van de kerncentrale van Doel gaat over een vermogen van circa 18 MW per hectare.

### 5.3.5. Opslag, verwerking en transport van kernafval

Een grote wetenschappelijke en technische uitdaging ligt in het vinden van een methode voor de opslag van het afval die voldoende garanties biedt voor het leefmilieu en de volksgezondheid, niet alleen vandaag maar ook voor de komende generaties.

De kerncentrale van Doel produceert naast klassiek industrieel afval jaarlijks 80 m<sup>3</sup> radioactief afval. Dit komt overeen met 20 m<sup>3</sup> afval per reactor. In België is de Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splitsstoffen (NIRAS) samen met dochteronderneming Belgoprocess in Dessel bevoegd voor het gecentraliseerde beheer van het radioactief afval. Hier wordt niet alleen radioactief afval afkomstig van kernparken geborgen, maar ook afval van het gebruik van radioactieve stoffen in ziekenhuizen en laboratoria. Dit afval wordt bovengronds opgeslagen in speciaal daartoe ontworpen infrastructures zoals containers en gebouwen. Deze voorzieningen dienen dan ook een doeltreffende bescherming te garanderen tegen bestraling en besmetting door radioactieve stoffen. Het is een voordeel wanneer men het afval geografisch concentreert waardoor het gemakkelijk en permanent onder toezicht kan bewaard worden.

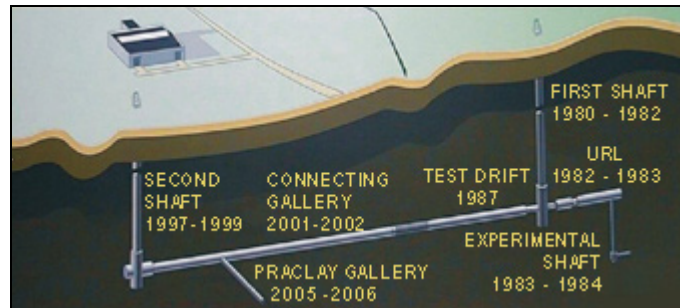
Het studiecentrum voor Kernenergie (SCK.CEN) startte in 1980 met de bouw van het ondergrondse laboratorium HADES. Het is de belangrijkste onderzoeksinfrastructuur in België voor experimenteel onderzoek naar de diepe geologische berging van radioactief afval. Internationaal gezien beschouwt men deze berging als de beste oplossing voor hoogactief, langlevend, radioactief afval. HADES bevindt zich op een diepte van 223 m in de Boomse

---

<sup>104</sup> World Nuclear Association (2004, augustus). *Nuclear Power in Belgium*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.world-nuclear.org/info/inf94.html>

<sup>105</sup> Elektriciteits-Produktie maatschappij Zuid-Nederland N.V. (EPZ) (n.d.). *Kernenergie: voor- en nadelen: zuinig met grondstoffen*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.epz.nl/navigatie/frameset.asp?knop\\_id=10000060](http://www.epz.nl/navigatie/frameset.asp?knop_id=10000060)

kleilaag (Rupeliaan). Deze laag bevat gunstige karakteristieken voor de potentiële berging door zijn lage permeabiliteit, hoge plasticiteit en hoge sorptiecoëfficiënt voor radionucliden. Bovendien sluiten geïnduceerde breuken zichzelf terug af.<sup>106</sup>



**Figuur 30: Constructie ondergronds laboratorium HADES**

Bron: Bastiaens, W. (2005). Uitbreiding van het ondergronds laboratorium HADES. *Geotechniek*, (1), blz. 27

Het is nog niet zeker wanneer deze ondergrondse infrastructuur exact in gebruik zal worden genomen. Het hoogactief afval moet minstens 50 jaar afkoelen om daarna definitief geborgen te worden. De ingebruikname van HADES kan ten vroegste in 2035. Een belangrijk punt waarover nog geen besluit werd genomen is of de bergingen definitief zullen zijn of terughaalbaar. Chris Jacobson stelt: ‘de erg lange tijd (tienduizenden jaren) dat het afval veilig geborgen moet worden één van de grote problemen is.’<sup>107</sup> In de toekomst kunnen er zeer verschillende omstandigheden en heel wat onbekende parameters optreden. Er is geen zekerheid over wat er zou gebeuren bij langdurige overstromingen, aardbevingen of zelfs een nieuwe ijstijd.

Andere mogelijkheden die in Europa uitgetoet worden zijn de berging in granieten, zoutlagen en ondergrondse zeebeddingen.

In 2003 publiceerde de Europese commissie een ontwerp-richtlijn met betrekking tot de opslag van nucleair afval. Deze richtlijn legt een deadline op voor de ondergrondse berging van hoog radioactief afval. Tegen 2008 moet er een goedkeuring zijn voor deze bergingssites; tegen 2013 een goedkeuring voor de inwerkingtreding van bergingssites voor laag en kortlevend radioactief afval; tegen 2018 een goedkeuring voor de inwerkingtreding van bergingssites voor hoog en langlevend radioactief afval (een verplichte ondergrondse berging). De vraag is natuurlijk of deze deadlines zullen gehaald worden.<sup>108</sup>

<sup>106</sup> Bastiaens, W. (2005). Uitbreiding van het ondergronds laboratorium HADES. *Geotechniek*, (1), blz. 26

<sup>107</sup> Jacobson, C. (2006). *Kernenergie: een stralende toekomst tegemoet?* Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.argusmilieu.be/ONLINEDOCUMENTATIE/MF\\_OLD/Alles/2001/2001\\_1.htm](http://www.argusmilieu.be/ONLINEDOCUMENTATIE/MF_OLD/Alles/2001/2001_1.htm)

<sup>108</sup> Europese Unie (2006, 3 maart). *Management of spent nuclear fuel and radioactive waste*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l27048.htm>

Het feit dat er maar weinig grondstoffen nodig zijn voor de productie van kernenergie, heeft als gevolg dat er weinig transport nodig is voor de invoer van uranium. Bestraalde splijtstof kan rechtstreeks van de kerncentrale naar de opslaglocatie voor directe berging vervoerd worden. Daarnaast wordt ook gebruikte splijtstof naar de opwerkingsfabriek van COGEMA in La Hague in Frankrijk gebracht. Daar wordt geprobeerd om de gebruikte splijtstof te recycleren. Het is mogelijk dat men uit de gebruikte splijtstof nog tot 97% splijtbaar materiaal haalt (uranium en plutonium). Door deze opwerking van de gebruikte splijtstofelementen kunnen ze opnieuw beschikbaar gesteld worden voor de elektriciteitsproductie en blijven er minimum 3 % afvalstoffen over onder de vorm van splijttingsproducten. Het zijn die splijttingsproducten die verglaasd worden. Ze dienen te worden behandeld en geconditioneerd met het oog op hun latere definitieve berging in stabiele geologische lagen. Deze afvalstoffen worden ook terug naar België (Dessel) gebracht via streng beveiligd weg- en spoorverkeer. In geval van directe opslag zal er ook minder vervoer plaatsvinden maar er zal uiteindelijk na verloop van tijd toch ook weer transport moeten plaatsvinden naar de locatie waar de definitieve berging is voorzien.<sup>109</sup>

---

<sup>109</sup> Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen (NIRAS) (2006, september). *Informatiedossier: Terugkeer van verglaasd afval vanuit Frankrijk naar België*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.nirond.be/nederlands/PDF/12e-Informatiedossier\\_NL1.pdf](http://www.nirond.be/nederlands/PDF/12e-Informatiedossier_NL1.pdf)

## Besluit

De huidige energiesystemen die in dit hoofdstuk beschreven werden gaan gepaard met ruimtebeslag. De inname van de gebruikte ruimte, zowel direct als indirect, verschilt van bron tot bron.

- Steenkool: Doordat er in Vlaanderen geen steenkool meer wordt gewonnen is er daardoor ook geen direct ruimtebeslag. Er dient wel steenkool te worden aangevoerd uit het buitenland, en daarvoor zijn voorzieningen zoals haventerreinen en kades noodzakelijk. De havens moeten dus voorzien zijn van faciliteiten voor overslag, vervoer en de behandeling van steenkool.
- Aardolie: Deze energiebron wordt in Vlaanderen niet ontgonnen en brengt dan ook geen ruimtebeslag teweeg. In Vlaanderen is de Haven van Antwerpen het centrum van de olie-industrie en fungeert als draaischijf voor de import, raffinage en uitvoer ervan. Infrastructuur voor opslag, verwerking en gebruik van petroleumproducten is aanwezig en heeft dus een zeker ruimtebeslag. De invoer van aardolie gebeurt via de RAPL-pijpleiding die loopt van Rotterdam tot Antwerpen. Pijpleidingen nemen bovengronds geen ruimte in, maar toch dient rekening te worden gehouden met indirecte consequenties zoals bijvoorbeeld bouwvrije zones.
- Aardgas: Deze energiebron heeft vooral invloed op de ondergrondse ruimte. Vlaanderen bezit een dicht aardgasnetwerk dat in verbinding staat met vele West-Europese landen. De Haven van Zeebrugge vormt binnen dit netwerk een zeer belangrijk knooppunt. Daar bevinden zich de aanlandingspunten van de belangrijke pijpleidingen Zeepipe en Interconnector. Daarnaast bezit de haven ook nog een LNG-terminal. Dergelijke infrastructuur wordt gecatalogeerd onder de noemer direct ruimtebeslag. Als gevolg van veiligheidszones is er ook indirect ruimtegebruik.
- Kernenergie: Deze bron is in vergelijking met de andere energiebronnen het meest ruimteproductief. Deze efficiëntie gaat gepaard met grotere veiligheidsrisico's.

# DEEL III

## ENERGIE EN RUIMTE IN DE TOEKOMST





## Inleiding

Dit hoofdstuk handelt uitgebreid over het toekomstig gebruik van energiebronnen en het specifieke ruimtebeslag dat daarmee gepaard gaat. Door enkele eenvoudige beschouwingen, gebaseerd op de toename van de wereldbevolking, enerzijds, en de verwachte toename van het energieverbruik per hoofd van de bevolking van het grootste deel van de wereld, anderzijds, kan voorspeld worden dat de behoefte aan energie op lange termijn zal blijven toenemen.<sup>110</sup> Daardoor zullen meer fossiele energievoorraden worden geëxploiteerd, verwerkt en vervoerd.

Door de groter wordende energieafhankelijkheid, de beperkte reserves aan fossiele brandstoffen en de huidige aandacht voor het klimaat groeien wereldwijd de intenties om meer duurzame bronnen in te schakelen. In dit hoofdstuk staan de duurzame energiebronnen, zoals windenergie, zonne-energie en biomassa waar men in Vlaanderen voordeel kan uit halen centraal.

---

<sup>110</sup> D'haeseleer, W. (Ed.) (2005). *Energie vandaag en morgen: Beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven: Acco. Blz. 16

## 1. Toekomstig gebruik van energiebronnen

De IEA heeft in hun *World Energy Outlook 2004*<sup>111</sup> de scenario's ten aanzien van het energiegebruik geformuleerd. Het gaat om lange-termijnsenario's met als tijdshorizon het jaar 2030. 'In de periode tot 2030 zou het primair energiegebruik in de wereld stijgen met ongeveer 60 % (ten gevolge van een gemiddelde jaarlijkse groeivoet van 1,7 % - vergeleken met een groeivoet van 2 % in de voorbije 30 jaar).' Ook wordt verwacht dat de globale energie-intensiteit zou dalen met 1,4 %, terwijl de CO<sub>2</sub>-uitstoot op wereldschaal zou stijgen met 62 % ten opzichte van de uitstoot in 2002.<sup>112</sup>

Kritisch dient hierbij vermeld te worden dat hierboven beschreven scenario's bedoeld zijn om ons te wijzen op wat er ons te wachten staat bij dat soort omstandigheden en dat de resultaten dus duidelijk afhankelijk zijn van veronderstellingen en hypothesen.

Onderstaande tabel geeft de mondiale vraag naar primaire energie weer tot 2030. Opmerkelijk is dat het aandeel van de verschillende energiebronnen vrijwel constant blijft. Het gebruik van gas en duurzame energie neemt enigszins toe, terwijl de bijdrage van nucleaire energie afneemt.

**Tabel 11: Primaire Energie Vraag in de wereld (Mtoe)**

Bron: International Energy Agency (2004). *World Energy Outlook*. Parijs: OECD/IEA.

	1971	2002	2010	2020	2030	2002-2030
Kolen	1.407	2.389	2.763	3.193	3.601	1,5%
Olie	2.413	3.676	4.308	5.074	5.766	1,6%
Gas	892	2.190	2.703	3.451	4.130	2,3%
Kernenergie	29	692	778	776	764	0,4%
Water	104	224	276	321	365	1,8%
Biomassa en afval	687	1.119	1.264	1.428	1.605	1,3%
Andere hernieuwbare bronnen	4	55	101	162	256	5,7%
<b>Totaal</b>	<b>5.536</b>	<b>10.345</b>	<b>12.194</b>	<b>14.404</b>	<b>16.487</b>	<b>1,7%</b>

Wat in verschillende studies opvalt is dat overal vermeld wordt dat de Europese energieafhankelijkheid alsnog groter wordt en tegen 2030 een aandeel van 70% zou kunnen bereiken. Europa hangt dus af van de prijsschommelingen en van derde landen die vaak politiek onstabiel zijn. De gascrisis tussen Rusland en Oekraïne in januari 2006 heeft ons daar nogmaals indringend op gewezen.

<sup>111</sup> International Energy Agency (2004). *World Energy Outlook*. Parijs: OECD/IEA.

<sup>112</sup> D'haeseleer, W. (Ed.) (2005). *Energie vandaag en morgen: Beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven: Acco. Blz. 17

## 2. Hernieuwbare energiebronnen

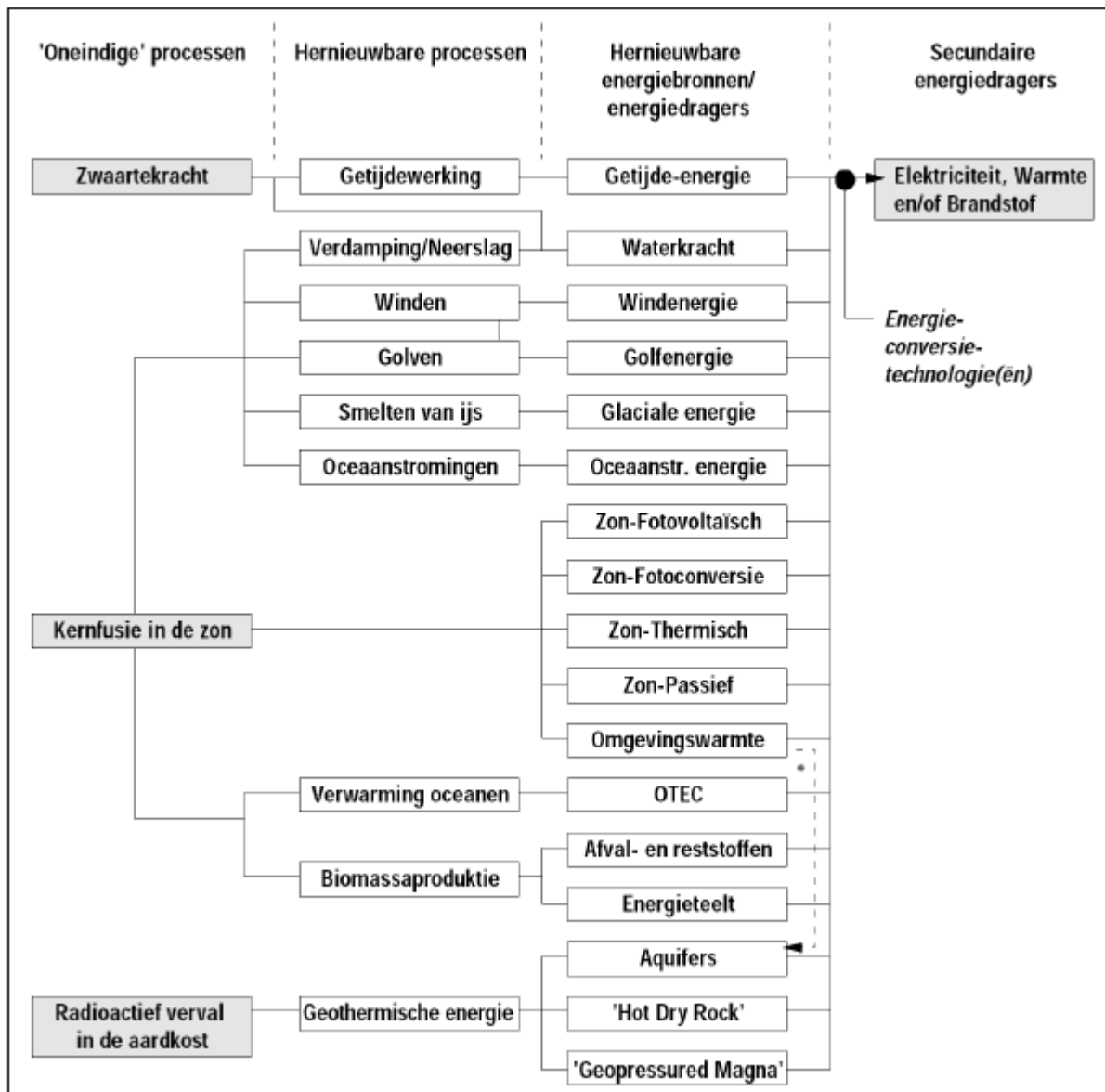
### 2.1. Wat is hernieuwbare energie?

Onder de noemer van ‘hernieuwbare energie’ verstaat men de technologie om elektriciteit of warmte te produceren uit hernieuwbare bronnen. Het gebruik ervan heeft (bijna) geen invloed op de beschikbaarheid van de bron.

Er zijn drie belangrijke processen en krachten die de fundamentele vormen van de hernieuwbare energievormen op aarde. Deze zijn de zwaartekracht, kernfusie in de zon en radioactief verval in de aardkorst. De tijdschaal waarop deze processen zich afspelen is voor menselijke begrippen oneindig lang en voor ons handelen dus onuitputbaar. Er kan dus continu gebruik van worden gemaakt. Deze drie ‘grenzeloze’ krachten geven het ontstaan aan een aantal processen die als gevolg van hun onuitputbaarheid hernieuwbaar zijn: getijdenwerking, verdamping en neerslag, wind, golven, smeltprocessen, oceaanstromingen, de verwarming van de oceanen, de productie van biomassa en geothermische processen. De omzetting van energie uit deze processen in andere energievormen is daardoor een hernieuwbaar proces, in tegenstelling tot energieproductie uit eindige voorraden van energiegrondstoffen zoals steenkool, olie, aardgas, uranium enz. De voor ons bruikbare energievormen (warmte, elektriciteit, brandstof) noemen we secundaire energiedragers of energieproducten; de energievormen waaruit ze zijn gewonnen (vb. getijdenenergie e.a.) zijn de primaire of hernieuwbare energiedragers of energiebronnen. Figuur 31 op de volgende bladzijde geeft de schematische samenhang tussen oneindige krachten, hernieuwbare processen, primaire energiedragers en bruikbare energie.<sup>113</sup>

---

<sup>113</sup> Abeelen, C. en Bosselaar, L. (2004). *Protocol Monitoring Duurzame Energie: Methodiek voor berekenen en registreren van de bijdrage van duurzame energiebronnen*. Utrecht: Senternovem.



\* OTEC = Oceanische thermische energieconversie (omzetting in nuttige energie van het temperatuurverschil tussen zeewater aan de oppervlakte en op grotere diepte)

**Figuur 31: Overzicht van hernieuwbare energiebronnen op aarde**

Bron: Neyens et al., 2004. 'Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deelrapport: potentieelanalyse' naar Abeelen et al., 2004

Wel dient men op te letten bij de overlappende betekenis tussen de begrippen 'hernieuwbaar' en 'duurzaam', beide zijn immers geen synoniemen. Duurzame energie is hernieuwbaar, dat houdt in dat de natuurlijke rijkdommen bewaard blijven en geen schade veroorzaken aan het milieu of de maatschappij. Zo is bijvoorbeeld het houtgebruik in derdewereldlanden wel hernieuwbaar, maar in werkelijkheid niet duurzaam omwille van de negatieve gevolgen zoals ontbossing en landdegradatie. Ook de bouw van stuwmeren voor het grootschalig gebruik van waterkracht heeft grote gevolgen op het milieu en de samenleving.

## 2.2. Het hernieuwbare energiebeleid

Deze paragraaf geeft een overzicht van de belangrijke richtlijnen en doelstellingen die bijdragen tot het hedendaagse energiebeleid. In dit onderdeel wordt niet geambieerd volledig te zijn, enkel de hoofdlijnen worden belicht.

### 2.2.1. Internationaal beleid

#### *Conferentie van Rio*<sup>114</sup>

In 1992 hebben de geïndustrialiseerde landen zich op vlak van het klimaatbeleid verbonden om hun broeikasgasemissies te stabiliseren ten opzichte van het niveau van 1990 en dit tegen het jaar 2000. Dit verdrag stond in het kader van duurzame ontwikkeling en had vooral het doel om evenwicht tussen economische vooruitgang en milieubescherming te creëren.

#### *Kyoto protocol*<sup>115</sup>

In 1997 hebben de geïndustrialiseerde landen dan de verplichting opgenomen om hun broeikasgasemissies met gemiddeld 5% te reduceren ten opzichte van 1990 tijdens de eerste verbintenissenperiode 2008-2012. De Europese Unie engageert zich globaal voor een reductie met 8 procent van de uitstoot. België moet individueel de uitstoot met 7,5% reduceren.

Het Protocol van Kyoto wordt bindend wanneer minimaal 55 (industrie)landen, die verantwoordelijk zijn voor 55% van de CO<sub>2</sub>-emissies in het referentiejaar 1990, het verdrag ratificeren.

De Verenigde Staten en Australië hebben verklaard dat ze helemaal niet van plan zijn om het Kyotoprotocol te ratificeren in de toekomst. Vele landen hebben het verdrag wel reeds goedgekeurd. Belangrijk was de ratificatie van het protocol door Rusland, zij waren in 1990 goed voor 17% van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. Daardoor kon het protocol in werking treden. De druk op de Verenigde Staten, die verantwoordelijk zijn voor het grootste aandeel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot op wereldvlak, neemt toe om alsnog in wereldwijde afspraken in verband met klimaatverandering te treden.

---

<sup>114</sup> Peeters, K. (2004). *Beleidsnota 2004-2009: Energie en natuurlijke rijkdommen*. Brussel: Vlaamse Regering, Vlaams minister van Openbare Werken, Energie, Leefmilieu en Natuur.

<sup>115</sup> Peeters, K. (2004). *Beleidsnota 2004-2009: Energie en natuurlijke rijkdommen*. Brussel: Vlaamse Regering, Vlaams minister van Openbare Werken, Energie, Leefmilieu en Natuur.

Westerse landen kunnen aan de Kyoto-normen tegemoet komen door in eigen land de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Ze hebben echter ook de mogelijkheid om te investeren in een verminderde uitstoot in andere landen of om schone lucht aan te kopen in landen die ruimschoots aan de Kyoto-normen voldoen.

### 2.2.2. Europees beleid

Kort verwoord steunt energiebeleid van de Europese Unie op drie pijlers: continue energievoorziening, concurrentievermogen en duurzame ontwikkeling. De Europese Commissie werkte dan ook heel wat beleidsvoorstellen en strategieën uit.

#### ***Groenboek: Een Europese strategie voor duurzame, concurrerende en continu geleverde energie voor Europa*<sup>116</sup>**

In dit boek stelt de Commissie voor een strategische analyse van het energiebeleid van de Europese Unie te maken, waarin alle facetten van het energievraagstuk aan bod komen. De belangrijkste doelstellingen zijn: de afhankelijkheid van ingevoerde energie verminderen, de bronnen diversifiëren en beveiligen, doeltreffend kunnen reageren op crisissituaties en partnerschappen oprichten met alle internationale actoren. Daarnaast komen ook de stijgende vraag naar energie en natuurlijk ‘de opwarming van het klimaat’ aan bod.

#### ***Witboek: Energie voor de toekomst: Duurzame energiebronnen – Witboek voor een communautaire strategie en een actieplan*<sup>117</sup>**

Deze publicatie van de Europese Commissie kwam er nadat de schadelijke effecten van broeikasgassen steeds duidelijker werden. De EU zou dus in haar verbruik moeten herzien, om de doelstellingen van het Kyoto-protocol te bereiken. Eén van de doelstellingen beschreven in het witboek is om tegen 2010 het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in het Europees bruto binnenlands verbruik op 12% te brengen. Ook dient het aandeel van elektriciteit op basis van hernieuwbare energiebronnen in het totale elektriciteitsverbruik tot 22,1% opgetrokken te worden.

---

<sup>116</sup> Europese Commissie (2006). Groenboek: Een Europese strategie voor duurzame, concurrerende en continu geleverde energie voor Europa. Brussel.

<sup>117</sup> Europese Commissie (1997). *Energie voor de toekomst: Duurzame energiebronnen – Witboek voor een communautaire strategie en een actieplan*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://ec.europa.eu/energy/library/599fi\\_nl.pdf](http://ec.europa.eu/energy/library/599fi_nl.pdf)

***Richtlijn 2001/77/EG van het Europees parlement betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt<sup>118</sup>***

Deze nota loopt parallel met het witboek uit de vorige alinea en dient dus ook als kader om de bijdrage van hernieuwbare energiebronnen in de elektriciteitsproductie van de EU te vergroten.

De richtlijn legt ook referentiewaarden op voor de nationale indicatieve streefcijfers van de lidstaten voor het aandeel van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen in het bruto-elektriciteitsverbruik in 2010. Voor de hele Europese Unie geldt een streefcijfer van 22% elektriciteitsconsumptie uit hernieuwbare bronnen. Voor België gaat het over 6%.

Slechts negen landen zijn goed op weg om de vooropgestelde quota te halen: Denemarken, Duitsland, Finland, Hongarije, Ierland, Luxemburg, Spanje, Zweden en Nederland. Het verbruik van hernieuwbare energie is sinds een tiental jaar met 55% gestegen. Toch zal de doelstelling om tegen 2010 12% duurzame energie in haar algemene energiemix te bereiken waarschijnlijk niet gehaald worden. Daarom was er een radicale maatregel nodig om te komen tot een geloofwaardige langetermijnvisie op duurzame energie.

***Renewable Energy Road Map - Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future<sup>119</sup>***

Deze publicatie uit 2007 is een onderdeel van het energiebeleid van de Europese Commissie en bevat een aantal voorstellen voor een lange-termijn-routekaart voor hernieuwbare energie. Het voorstel omvat voor het geheel van de EU een algemene bindende duurzame-energiedoelstelling van 20% en een bindende minimumdoelstelling voor transportbiobrandstoffen van 10% tegen 2020. Daarnaast behelst het ook een stappenplan om duurzame energiebronnen op het gebied van elektriciteit, verwarming/koeling en vervoer in het middelpunt van de belangstelling te plaatsen.

### 2.2.3. Belgisch beleid

Het Belgisch beleid volgt de richtlijnen die uitgevaardigd worden door de Europese Unie. Zoals reeds in de vorige paragrafen werd vermeld, stelt de EC streefcijfers voor de lidstaten

---

<sup>118</sup> Europees Parlement (2001). *Richtlijn 2001/77/EG van het Europees parlement betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://mineco.fgov.be/energy/renewable\\_energy/directive\\_2001\\_77\\_nl.pdf](http://mineco.fgov.be/energy/renewable_energy/directive_2001_77_nl.pdf)

<sup>119</sup> Europese Commissie (2007). *Renewable Energy Road Map - Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future*. Brussel.

op. Voor België wordt voor 2010 een streefcijfer van 6% elektriciteitsopwekking door middel van hernieuwbare energie vooropgesteld.

Belangrijk om te vermelden is dat in België zowel de federale staat als de gewesten bevoegdheden hebben met betrekking tot energie. Productie en transport van elektriciteit, de kernbrandstofcyclus, grote infrastructuurwerken voor opslag, vervoer en productie van energie, accijnzen op brandstoffen en tarieven zijn federale bevoegdheden. De distributie van elektriciteit tot 70 kV, openbare gas distributie, netten voor warmtevoorziening, hernieuwbare energiebronnen, terugwinning energie en rationeel energiegebruik behoren toe aan de gewesten.<sup>120</sup>

Dit is ook de reden waarom de streefcijfers voor de drie gewesten in ons land verschillen. Het streefcijfer voor het Vlaams gewest bedraagt 6% tegen 2010, voor het Waals gewest 7% tegen 2007 en voor het Brussels gewest 2,5% tegen 2006. Het nationale energiebeleid wordt dus verschillend geïmplementeerd, wat leidt tot verschillen inzake steunmaatregelen en verschillende, regionale markten voor groene certificaten.<sup>121</sup>

Belangrijk om te vermelden is dat Vlaanderen in 2006 voor het eerst zijn groenestroomdoelstelling heeft gehaald. Dat wil zeggen dat minstens drie procent van de elektriciteitsproductie in Vlaanderen uit groene stroom bestaat.<sup>122</sup>

Een van de belangrijkste instrumenten voor het stimuleren van het gebruik van hernieuwbare energie in Vlaanderen in het systeem van 'groenestroomcertificaten'. Het systeem van groenestroomcertificaten bevat twee delen: enerzijds een certificatenverplichting en anderzijds de mogelijkheid om groenestroomcertificaten te bekomen.

Groenestroomcertificaten worden door de VREG gratis toegekend aan elektriciteitsproducenten. Eén certificaat wordt verkregen voor de productie van 1 MWh groene elektriciteit. Ze zijn verhandelbaar waardoor er een markt voor groenestroomcertificaten ontstond.

Iedere leverancier van elektriciteit is verplicht een minimum aantal certificaten voor te kunnen leggen om zo te garanderen dat er een zeker aandeel elektriciteit uit hernieuwbare

---

<sup>120</sup> N.N. (n.d.). *Het nationaal klimaatplan 2002-2012*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://mineco.fgov.be/energy/climate\\_change/nationaal\\_klimaatplan\\_060302.doc](http://mineco.fgov.be/energy/climate_change/nationaal_klimaatplan_060302.doc)

<sup>121</sup> Europese Commissie (2007). *België – Informatieblad hernieuwbare energie*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://ec.europa.eu/belgium/welcome/renewables\\_be\\_nl.pdf](http://ec.europa.eu/belgium/welcome/renewables_be_nl.pdf)

<sup>122</sup> Vlaams Informatiecentrum over Land- en Tuinbouw (VILT) (2007, 6 maart). *Vlaanderen haalde groenestroomdoelstelling in 2006*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vilt.be/nieuwsarchief/detail.phtml?id=12947>



bronnen wordt geproduceerd. Dit minimumaandeel liep op tot 2% in 2004 en dient in 2010 6% te bedragen. Een leverancier kan deze verplichting vervullen door zelf voldoende groene stroom te produceren of certificaten aan te kopen op de markt. Leveranciers die niet voldoende certificaten kunnen voorleggen worden beboet.<sup>123</sup>

### 2.3. Huidig marktaandeel van hernieuwbare energiebronnen

De benadering van het aandeel van hernieuwbare of alternatieve energiebronnen in het totaal energieverbruik dient met enige voorzichtigheid te worden behandeld. Oorspronkelijk werden hernieuwbare bronnen zoals zonne-energie, windenergie, waterkracht en biomassa als primaire bronnen gebruikt. Bij de opkomst van de industriële ontwikkeling werd overgeschakeld op fossiele en nucleaire brandstoffen. In deze ontwikkelde westerse wereld kwam het gebruik van hernieuwbare energiebronnen opnieuw op gang als gevolg van de eindige voorraden van fossiele brandstoffen en milieuproblemen. Dit leidt tot wat men ‘een schijnbaar paradoxale situatie’ noemt. Aan de ene kant neemt in de industrieel ontwikkelde landen het gebruik van hernieuwbare energie langzaam toe en aan de andere kant is het gebruik van dergelijke bronnen in de minder ontwikkelde landen nog steeds veel groter. ‘Het is daarom niet mogelijk aan de hand van het aandeel van hernieuwbare energie in het totale energieverbruik conclusies af te leiden over het succes van de maatregelen voor de vervanging van fossiele en nucleaire energiedragers door hernieuwbare energiebronnen.’<sup>124</sup>

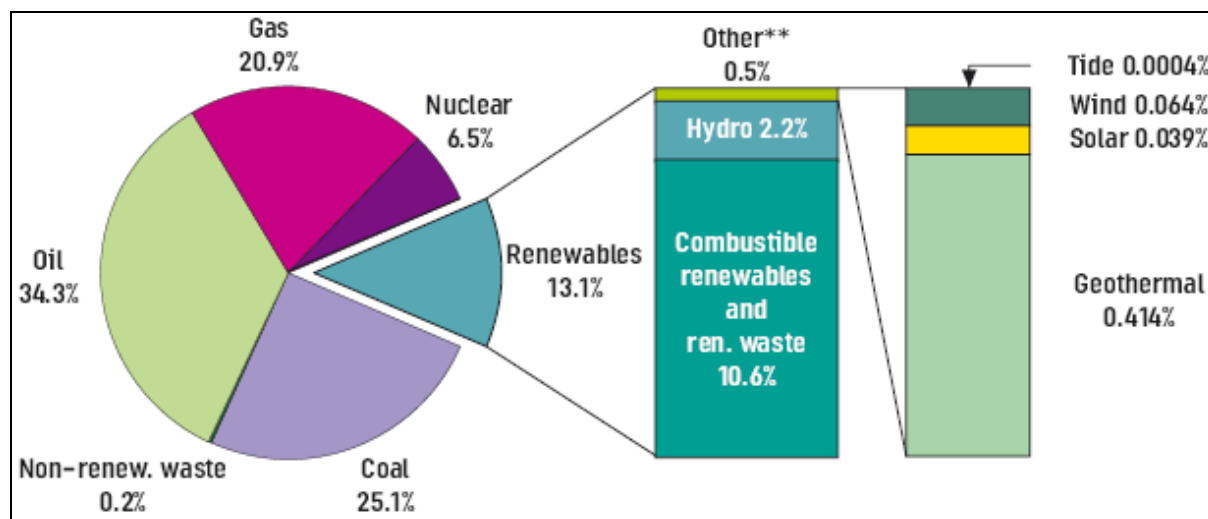
Wereldwijd wordt de totale verbruikte primaire energie voor het jaar 2004 geraamd op ongeveer 11.059 Mtoe. Het aandeel aan hernieuwbare energie in de totale verbruikte primaire energie wordt voor de hele wereld geschat op 13,1%. Zoals te zien is op onderstaande figuur is het aandeel van de ‘moderne’ hernieuwbare energieën (wind, zon, getijden en geothermische energie) enorm klein. Het gaat hier slechts om 0,1% van het primair energieverbruik en zelfs maar om 0,5% van het verbruik aan hernieuwbare energie. Verbrandbare hernieuwbare stoffen en afval (waarvan 97% biomassa) representeren 79,4% van het verbruik aan hernieuwbare energie, gevolgd door hydraulische energie met 16,7%.<sup>125</sup>

---

<sup>123</sup> Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *Groenestroomcertificaten*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.energiesparen.be/duurzame\\_energie/groenestroomcertificaten.php](http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/groenestroomcertificaten.php)

<sup>124</sup> D’haeseleer, W. (Ed.) (2005). *Energie vandaag en morgen: Beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven: Acco. Blz. 225, 226

<sup>125</sup> International Energy Agency (2007). *Renewables in global energy supply, An IEA Fact Sheet*. Parijs: OECD/IEA. Blz. 3



**Figuur 32: Aandeel van de verschillende energiebronnen in het totaal primair energieverbruik in de wereld, onderverdeling van de hernieuwbare energiebronnen.**

Bron: International Energy Agency (2007). *Renewables in global energy supply, An IEA Fact Sheet*. Parijs: OECD/IEA.

In de geïndustrialiseerde landen, OESO-landen, wordt meer dan 50% van de hernieuwbare energie gebruikt voor de opwekking van elektriciteit, terwijl dit in de rest van de wereld helemaal niet het geval is.<sup>126</sup> Op wereldschaal wordt slechts 21,9% van de hernieuwbare energie gebruikt voor elektriciteitsproductie, terwijl 57,9% wordt gebruikt voor residentiële, commerciële en openbare toepassingen.<sup>127</sup>

Het primair energieverbruik in België bedroeg eind 2005 ruim 56 Mtoe. Het aandeel van hernieuwbare energie in deze primaire consumptie was 2,5%.<sup>128</sup>

Onderstaande figuur laat de stijgende trend van de hernieuwbare elektriciteitsproductie zien. De sterke productiestijging vanaf 1997 valt duidelijk op. 'In 2004 was 71% van de hernieuwbare energieproductie in België afkomstig van biomassa, waarvan 34% afkomstig was van vaste biomassa, 21% van bioafval en 15% van biogas. Vooral de elektriciteitsproductie uit vaste biomassa heeft de voorbije jaren een sterke groei gekend (gemiddeld 36% per jaar tussen 1997 en 2004). Het aandeel van waterkracht was met 21% in 2004 vrij groot. Het relatieve aandeel van waterkracht is tussen 1997 en 2004 stabiel

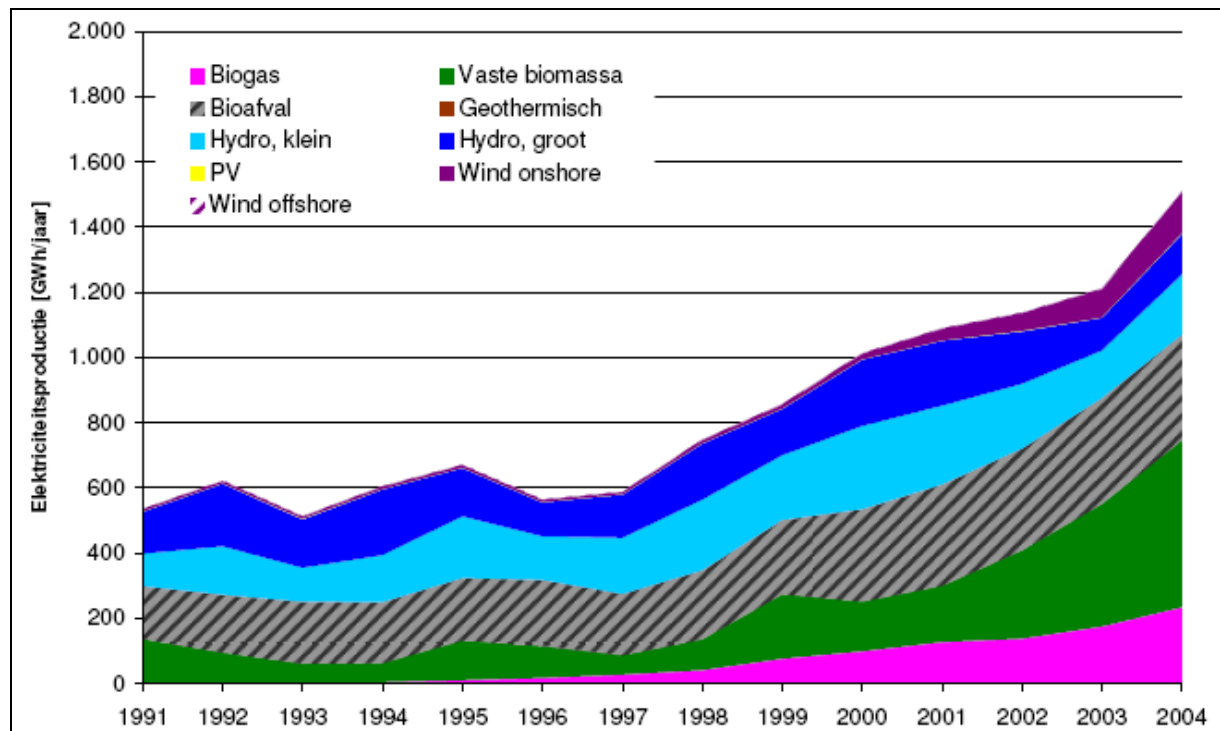
<sup>126</sup> D'haeseleer, W. (Ed.) (2005). *Energie vandaag en morgen: Beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven: Acco. Blz. 226

<sup>127</sup> International Energy Agency (2007). *Renewables in global energy supply, An IEA Fact Sheet*. Parijs: OECD/IEA. Blz. 5

<sup>128</sup> FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2007). *Panorama van de Belgische economie 2006*. Brussel.

gebleven. De capaciteit van windmolenparken op het vasteland is in 2005 verdubbeld in vergelijking met 2004 en was eind 2005 dan ook goed voor een totale capaciteit van 167 MW. Met de bouw van de eerste windmolenparken in zee zal in 2007 worden gestart.<sup>129</sup>

Het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in het bruto-elektriciteitsverbruik bedroeg voor België eind 2004 1,64% (in vergelijking met 1,1% in 1997). Het streefcijfer van 6% tegen 2010 is daarmee nog veraf.<sup>129</sup>



**Figuur 33: Elektriciteitsproductie op basis van hernieuwbare energiebronnen per type (GWh)**

Bron: Europese Commissie (2007). *België – Informatieblad hernieuwbare energie*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://ec.europa.eu/belgium/welcome/renewables\\_be\\_nl.pdf](http://ec.europa.eu/belgium/welcome/renewables_be_nl.pdf)

<sup>129</sup> Europese Commissie (2007). *België – Informatieblad hernieuwbare energie*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://ec.europa.eu/belgium/welcome/renewables\\_be\\_nl.pdf](http://ec.europa.eu/belgium/welcome/renewables_be_nl.pdf)

### 3. De belangrijkste hernieuwbare energiebronnen en hun ruimtegebruik

Deze paragraaf geeft een overzicht van een aantal technische en economische aspecten van de voornaamste hernieuwbare energiebronnen. Het gaat om energiebronnen die voor Vlaanderen een relevante toepassing kunnen vormen. (Zie tabel) Voor de verschillende bronnen wordt een korte bespreking gegeven van het belang, de mogelijkheden en het ruimtegebruik.

**Tabel 12: Beschikbare hernieuwbare energiebronnen in Vlaanderen**

Bron: Neyens, J., Devriendt, N., Dewilde, L., Dooms, G. en Nijs, W. (2004). *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deelrapport: potentiëleanalyse*. Brussel: viWTA. Blz. 11

Hernieuwbare energiebron	Warmte	Elektriciteit
Biomassa	+	+
Geothermie	+	+
Waterkracht	-	+
Wind (incl. off-shore)	-	+
Actieve thermische zonne-energie	+	-
Passieve zonne-energie / omgevingsenergie	+	+
Fotovoltaïsche zonne-energie	-	+

In Vlaanderen wordt geen gebruik gemaakt van aardwarmte of geothermische warmte. Dit komt doordat de warmwaterhoudende grondlagen in Vlaanderen zich op grote dieptes (1.500 meter en meer) bevinden. Dit betekent dat de winning ervan zeer grote investeringen vergt. Er kan dus gesteld worden dat er momenteel voor deze technologie geen noemenswaardig industrieel potentieel bestaat in Vlaanderen.<sup>130</sup>

Met oog op de verre toekomst dient de techniek van kernfusie zeker vermeld te worden. Kernfusie is het proces waarbij lichte atoomkernen (isotopen van waterstof) samensmelten tot zwaardere. De energie die vrijkomt bij de fusie-reactie kan worden gebruikt om elektriciteit op te wekken, of om bijvoorbeeld waterstof te maken.

<sup>130</sup> ODE-Vlaanderen (2004). *Duurzame energie, wegwijzer 2004*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

Het is de energiebron van de zon en de sterren, en daarmee is kernfusie de grootste energiebron van het heelal. Veel wetenschappers doen onderzoek om fusie als veilige en onuitputtelijke energiebron op aarde te gebruiken.<sup>131</sup>

Momenteel zijn fusiereactors nog niet rendabel omdat ze nog meer energie nodig hebben dan ze produceren.

### 3.1. Windenergie

#### Inleiding

De mens maakt al eeuwen gebruik van windenergie. De traditionele windmolens zetten de energie van de wind om in mechanische energie voor het malen van graan en het oppompen van water. Ze leverden vermogens tussen de 5 en 10 kW.<sup>132</sup> Nu worden windturbines aangewend voor de aandrijving van elektrische generatoren. De eerste moderne windmolen werd reeds in 1888 gebouwd.<sup>133</sup>

*'Wind kan beschouwd worden als een indirecte vorm van zonnestraling. Zonnestrallen verwarmen de aarde; op haar beurt verwarmt de aarde de lucht. Aangezien lucht bij verwarming uitzet en dus een groter volume inneemt zal warme lucht lichter worden en opstijgen. Het omgekeerde geldt voor koude lucht; deze zal dus dalen. Verschillen in temperatuur van lucht veroorzaken dus verschillen in luchtdruk. De wind kan gedefinieerd worden als de stroming die de luchtdrukverschillen binnen de dampkring vereffent.'*<sup>134</sup>

De huidige windturbines bestaan uit een rotor met twee of drie wieken. Door de lucht die langs de vleugelvormige wieken van de molen stroomt, komt de as waarop de wieken zijn bevestigd, in beweging. De generator wordt aangedreven en levert vervolgens energie.

Het gebruik van deze vorm van hernieuwbare energie heeft in de laatste vijftientig jaar een zeer sterke ontwikkeling gekend. Begin jaren '80 hadden de windturbines diameters van 10-12 meter en vermogens van 50-75 kW. Nu zijn commerciële molens verkrijgbaar met een diameter van meer dan 100 meter en een vermogen tot 6 MW per turbine zijn haalbaar.

---

<sup>131</sup> Kernfusie (n.d.). Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.fusie-energie.nl/>

<sup>132</sup> ODE-Vlaanderen (2004). *Duurzame energie, wegwijzer 2004*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 27

<sup>133</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 72

<sup>134</sup> Bugge, J. (1981). *Windmolenboek*. Antwerpen: Kluwer Technische Boeken. Blz. 9

Een groot nadeel van het gebruik van windenergie, zowel op land als op zee, is de grote onvoorspelbaarheid van de wind. Wind vertoont geen dagcyclus, geen seizoenscyclus, alleen grote verschillen tussen jaren en zeer snelle veranderingen.

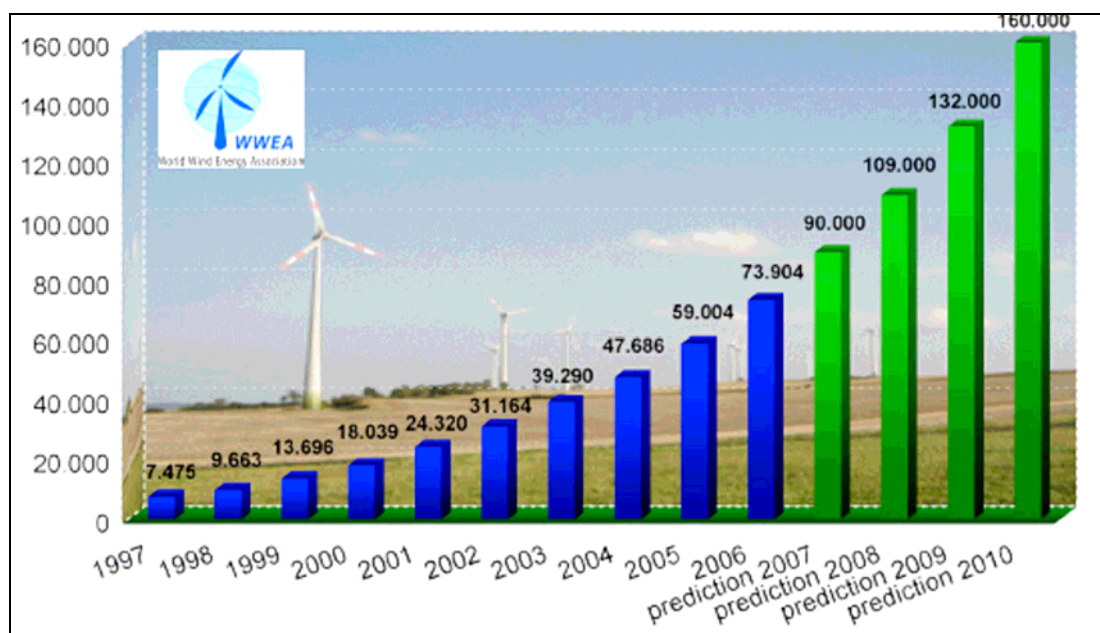
### 3.1.1. Belang van de windenergie

#### *Mondiaal*

De wereldwijde markt voor windenergie is harder gegroeid dan elke andere vorm van duurzame energie. Het is een trend die zich ongetwijfeld de komende jaren zal doorzetten. De totale geïnstalleerde wereldcapaciteit voor de productie van elektrische energie uit windenergie is tussen 1997 en 2005 toegenomen van 7.475 MW tot 59.004 MW. In 2006 is er 14.900 MW aan nieuwe capaciteit toegevoegd waarbij wereldwijd de totale windenergie capaciteit uitkomt op 73.904 MW. De nieuwe capaciteit komt overeen met een groei van 25% na een groei van 24% in 2005. De huidige hoeveelheid windenergie genereert meer dan 1% van de wereldwijde elektriciteitsvraag. Gebaseerd op de versnelde groei, heeft de WWEA haar verwachting voor 2010 bijgesteld en verwacht nu dat er 160.000 MW (160 GW) geïnstalleerd zal zijn in 2010.<sup>135</sup>

---

<sup>135</sup> World Wind Energy Association (WWEA) (2007, 29 januari). *Press Release: New world record in wind power capacity*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.wwea.org/home/images/stories/pdfs/pr\\_statistics2006\\_290107.pdf](http://www.wwea.org/home/images/stories/pdfs/pr_statistics2006_290107.pdf)



**Figuur 34: Totale windenergie capaciteit (MW) in de wereld en voorspelling (1997-2010)**

Bron: World Wind Energy Association (WWEA) (2007, 29 januari). *Press Release: New world record in wind power capacity*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/pr\\_statistics2006\\_290107.pdf](http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/pr_statistics2006_290107.pdf)

### Europa

De overgrote meerderheid (ongeveer 65%) van de windturbines staan in Europa. Eind 2006 stond in totaal 48.545 MW aan vermogen opgesteld. De belangrijkste windlanden in Europa zijn Duitsland (20.622 MW) en Spanje (11.615). Ook Denemarken met een vermogen van 3.136 MW is een belangrijk land. Zelfs Nederland heeft, in verhouding tot de grootte van het land, een grote capaciteit (1.560 MW). Onderstaande tabel geeft de vermogens van de Europese landen weer.

**Tabel 13: Overzicht vermogen windenergie in Europa (per land in MW)**

Bron: EWEA (2007). *European Capacity Map 2006*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/publications/statistics/070129\\_Wind\\_map\\_2006.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/statistics/070129_Wind_map_2006.pdf)

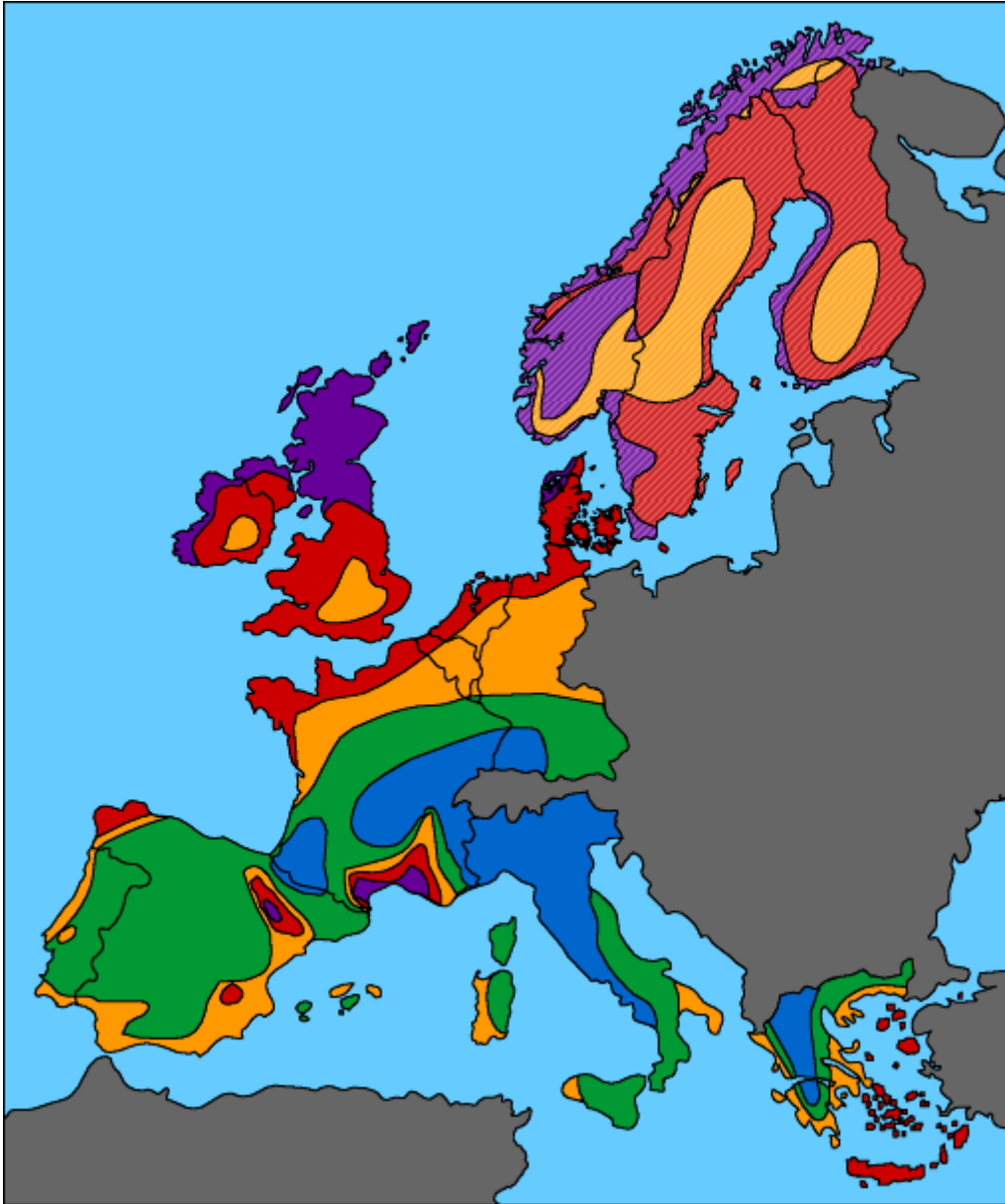
Landen	Totaal eind 2005	Geïnstalleerd in 2006	Totaal eind 2006
Oostenrijk	819	145,6	965
<b>België</b>	<b>167,4</b>	<b>26,3</b>	<b>193</b>
Bulgarije	10	22	32
Tsjechië	28	22	50
Denemarken	3.132	11,5	3.136
Estland	32	0	32
Finland	82	4	86
Frankrijk	757	810	1567
Duitsland	18.414,9	2.233,1	20.622
Griekenland	573,3	172,5	746

Hongarije	17,5	43,4	61
Ierland	495,5	249,9	745
Italië	1.718	417	2.123
Letland	27	0	27
Lithouwen	6,4	49,05	55,5
Luxemburg	35,3	0	35
Nederland	1.219	356	1.560
Polen	83	69,3	152,5
Portugal	1.022	694,4	1.716
Roemenië	1,69	1,3	3
Slowakije	5	0	5
Spanje	10.028	1.587,16	11.615
Zweden	509,5	62,15	572
Verenigd Koninkrijk	1.332	634,4	1.963
Kroatië	6	11,2	17,2
Turkije	20	30,85	51
Noorwegen	267	47	314
Zwitserland	11,6	0	11,6
Oekraïne	77,3	8,3	85,6
<b>Totaal</b>	<b>40.898</b>	<b>7.708,4</b>	<b>48.545</b>

De landen met de beste mogelijkheden om met windenergie te werken zijn ongetwijfeld de landen die over de grootste gemiddelde windsnelheden beschikken. De windsnelheden kunnen afgelezen worden op de isopletenkaart op de volgende pagina. Isopleten zijn lijnen van gelijke gemiddelde snelheden. De wind werd gemeten op een hoogte van 50 meter. Aangezien de ashoogte van de meeste windmolens hoger is (tot 100 meter) zijn de windsnelheden hier onderschat. De meest windrijke plaatsen zijn de Scandinavische landen, het Verenigd Koninkrijk, Ierland en de kustgebieden.

Wanneer tabel 13 en de windkaart van Europa met elkaar worden vergeleken, dan blijken er nog veel sterk windrijke plaatsen in Noorwegen, Ierland, Schotland onbenut te zijn. Het geïnstalleerde vermogen is natuurlijk niet afhankelijk van de windsnelheid alleen. Alles hangt natuurlijk af van de politieke en economische beslissingen van een land.





Opmerking: De gegevens voor Noorwegen, Zweden en Finland zijn afkomstig uit een andere studie en stellen windsnelheden op een hoogte van 45 meter voor.

m / s	Beschut terrein	Open vlakte	Kustzone	Open zee	Heuvels
	> 6,0	> 7,5	> 8,5	> 9,0	> 11,5
	5,0 – 6,0	6,5 – 7,5	7,0 – 8,5	8,0 – 9,0	10,0 – 11,5
	4,5 – 5,0	5,5 – 6,5	6,0 – 7,0	7,0 – 8,0	8,5 – 10,0
	3,5 – 4,5	4,5 – 5,5	5,0 – 6,0	5,5 – 7,0	7,0 – 8,5
	< 3,5	< 4,5	< 5,0	< 5,5	< 7,0
		> 7,5			
		5,5 – 7,5			
		< 5,5			

**Figuur 35: Windkaart van Europa (gemiddelde windsnelheid op 50 meter hoogte)**

Bron: Danish Wind Industry Association (1989). Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.windpower.org/en/tour/wres/euomap.htm>

*België*

De geïnstalleerde capaciteit in ons land is gering, zeker in vergelijking met onze buurlanden Duitsland en Nederland. Eind 2006 bedroeg het vermogen 193 MW. Het overgrote deel is daarvan in Vlaanderen opgesteld. Tabel 14 geeft een overzicht van de windturbines die actief zijn in Vlaanderen, hun locatie en hun totale capaciteit. Het opgesteld vermogen aan groene stroom uit windkracht bedroeg in augustus 2006 circa 131,3 MWe in Vlaanderen.

**Tabel 14: Windturbines in Vlaanderen, geïnstalleerd vermogen (toestand op 02/08/2006)**

Bron: Eigen verwerking naar Couder, J., Verbruggen, A. en Brouwers, J. (2006). *Milieurapport Vlaanderen MIRA, Achtergronddocument, Sector Energie*. Vlaamse Milieumaatschappij.

<b>Producent</b>	<b>Locatie</b>	<b>Aantal Turbines</b>	<b>Totaal Vermogen (kWe)</b>
(particulier)	Oudenburg	3	4,25
(particulier)	Zarren	1	1,5
Aspiravi	Puurs	2	4.000
Aspiravi Godsheide	Hasselt	3	1.200
Aspiravi Kapelle op den Bos	Kapelle op den Bos	3	1.200
Aspiravi Pathoekeweg	Brugge	7	4.200
Aspiravi Plus Transeeklo	Eeklo	1	1.800
Aspiravi Windturbinepark Middelwind	Lombardsijde	1	660
Aspiravi Windturbinepark Middelwind II	Lombardsijde	1	900
Aspiravi Zeebrugge	Zeebrugge	25 (3x0,6 + 12x0,4 + 10x0,2)	8.600
Beauvent	Diksmuide	2	1.600
Colruyt	Halle	1	1.600
De Boot vzw	Merken	1	1,4
Ecopower Honderdbundermolen	Eeklo	1	600
Ecopower Kluizendok Wind	Gent	14 (samen met SPE Kluizendok Wind)	4.384,6
Ecopower Leidijkmolen	Eeklo	1	1.800
Ecopower Verheylegatmolen	Eeklo	1	1.800
EGPF WHH	Hoogstraten-Meer	6	12.000
EGPF WHH	Lanaken	4	8.000
EGPF WHH	Wondelgem	2	4.000
EGPF WHH Bobbejaanland	Kasterlee	1	660
Electrabel Herdersbrug	Brugge	5	3.000
Electrabel Rodenhuize	Gent	2	4.000
Electrabel Schelle	Schelle	3	4.500
Electrawinds Plus Boels Beheer	Zedelgem	1	1.800
Electrawinds Plus Pathoekeweg Plus	Brugge	2	1.200
Electrawinds-Brugge	Brugge	7	12.600
Fortech (Kruibeke Wind)	Kruibeke	3	6.000
Gislom	Lommel	4	8.000
GRC Kallo	Kallo	1	600
Renson Ventilation	Waregem	3	15
SeeBA Windpark	Laakdal	6	9.000
SPE Kluizendok Wind	Gent	14 (samen met Ecopower Kluizendok Wind)	17.615,4
Vleemo Wind	Antwerpen	2	4.000
<b>Totaal:</b>			<b>131.342,2</b>

Momenteel bevinden zich nog een aantal windturbineprojecten in de realisatiefase. De parken van Ieper, Tielt en Gistel zullen in 2007 worden gerealiseerd. Daarnaast bevinden ook heel wat windparken zich in de vergunningsfase. Het gaat onder meer om windturbines te Antwerpen (Thijsmanstunnel en linkeroever), Boom (Rupeltunnel), Merksem, Kortrijk, Izegem, Nieuwpoort, Poperinge en Oostkamp. De vergunningen voor deze locaties werden aangevraagd of reeds verleend.

België heeft een pioniersrol gespeeld in de ontwikkeling van de windenergiesector. Ons land realiseerde immers het eerst onshore windturbinepark van de Europese Unie. Het gaat hier over het windturbinepark van Zeebrugge gesitueerd in de haven op de oostelijke strekdam en op de LNG-dam. ‘Door de geringe publieke en private interesse kon deze pioniersrol niet omgezet worden in de ontwikkeling van een nieuwe industriële sector zoals in Denemarken, Duitsland en Spanje.’<sup>136</sup>



**Figuur 36: Windturbinepark Zeebrugge**

Bron: Aspiravi (2007). Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.aspiravi.be/>

### 3.1.2. Windenergie op land

#### 3.1.2.1. Voor- en nadelen van onshore windenergie

##### *Voordelen*

- Windenergie is hernieuwbaar en daardoor een onuitputtelijke energiebron;
- Windenergie produceert geen directe CO<sub>2</sub>-emissies;
- Windenergie brengt tewerkstelling teweeg;
- Windenergie zorgt voor diversificatie van bronnen en maakt ons daardoor minder afhankelijk van het buitenland;

<sup>136</sup> Deroose, S. (2004). *Windenergie en technologische innovaties, een economische analyse*. Gent: Sine nomine. Blz. 75

- Windenergie kan snel geïmplementeerd worden (er dient wel rekening te worden gehouden met langlopende en complexe procedures op vlak van vergunningen);
- Windenergie kan decentraal energie verwekken.

*Nadelen:*

- Problemen met de aansluiting op het elektriciteitsnet;
- Impact op de omgeving (geluidshinder, visuele hinder, invloed op de natuur e.a.);
- Nood aan centrales voor opslag → extra ruimtegebruik;
- Veiligheid.

Bovenstaande voor- en nadelen die invloed hebben op ruimtelijk vlak worden verder in dit hoofdstuk uitgewerkt.

### **3.1.2.2. Locatiekeuze voor een windenergieproject**

Het is duidelijk dat het niet evident is om windturbines in te planten. Om de maatschappelijke aanvaardbaarheid te verzekeren wordt dus met een aantal criteria rekening gehouden. De Vlaamse Overheid wil dus niet dat de windturbines op een ongecoördineerde manier ingeplant worden en zo ons landschap vervuilen. Een aantal omzendbrieven en een windplan geven aan dat de Vlaamse Overheid streeft naar een gecoördineerde aanpak op basis van elementen van ruimtelijke en andere ecologische en economische randvoorwaarden.

#### **3.1.2.2.1. Omzendbrief (EME/2006/01 – RO/2006/02), Afwegingskader en randvoorwaarden voor de inplanting van windturbines - 12 mei 2006<sup>137</sup>**

Het kader voor de inplanting werd eerder vastgelegd in een vorige omzendbrief (EME/2000.01 van 17 juli 2000). De aanleiding voor een vervolg kwam dan ook door de stijgende aandacht voor het klimaat, de groeiende markt en de beperkte ruimte in Vlaanderen. De ervaring die met de eerste omzendbrief werd verworven moet dan ook de basis vormen voor een verdere uitbouw van de gecoördineerde aanpak. ‘Deze gecoördineerde aanpak stoelt op elementen vanuit sectorale afwegingen en randvoorwaarden vertrekkend van de ruimtelijke ontwikkelingsperspectieven uit het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen, onder

---

<sup>137</sup> Leterme, Y., Van Mechelen, D. en Peeters, K. (2006). *Omszendbrief (EME/2006/01 – RO/2006/02) - Afwegingskader en randvoorwaarden voor de inplanting van windturbines*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article.pl>

meer rekening houdend met de invalshoeken natuur, landbouw, woon- en leefmilieu, economie, geluid, landschap, veiligheid, recreatie, energierendabiliteit en best beschikbare technologie, luchtvaart, radar- en andere golvenverstoring,...<sup>138</sup>

De ruimtelijke implicaties van bovenstaande criteria worden verder behandeld in 3.1.2.3.2..

### **3.1.2.2.2. Windplan Vlaanderen**<sup>139</sup>

Ter ondersteuning van de uitbouw van windenergie in Vlaanderen heeft de Vlaamse Overheid ook de uitwerking van een windplan mogelijk gemaakt. Het Windplan Vlaanderen is een onderzoek naar mogelijke locaties voor windturbines. De aspecten die aan bod komen, zijn het wind aanbod, de ruimtelijke inpassing, en de economische haalbaarheid van windenergieprojecten.

Het doel van het plan is tweeledig:

- de beschikbare ruimte voor windenergie in Vlaanderen inventariseren;
- een beleidsinstrument ontwikkelen voor een verantwoorde toepassing van windenergie in Vlaanderen.

Belangrijk in het kader van een windplan is het maken van een kaart. De windkaart van Vlaanderen werd gemaakt met behulp van onderstaande gegevens:

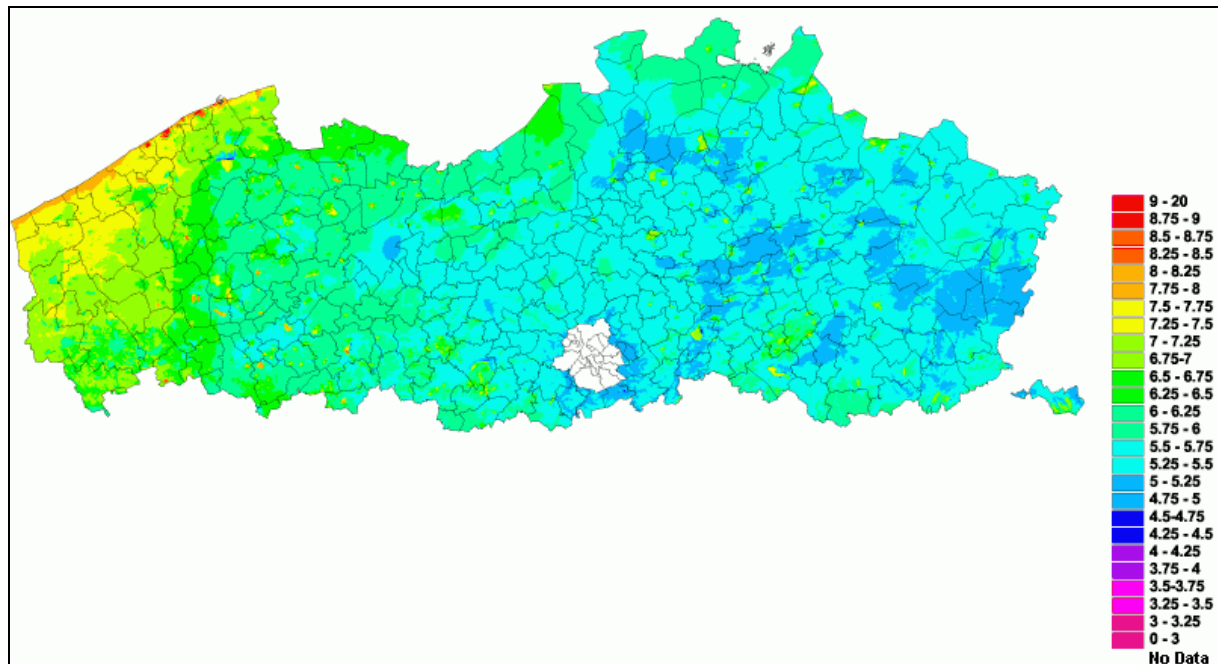
- orografische kaarten;
- ruwheidskaarten;
- meteo-gegevens: meetgegevens aangaande windsnelheid en windrichting.

De windkaart voor Vlaanderen werd berekend voor twee hoogtes, namelijk op 50 en 75 meter. De hoogte van 75 m is de belangrijkste vermits de turbines altijd maar grotere hoogtes aannemen en de windsnelheden hier dus ook onderschat worden.

---

<sup>138</sup> Leterme, Y., Van Mechelen, D. en Peeters, K. (2006). *Omzendbrief (EME/2006/01 – RO/2006/02) - Afwegingskader en randvoorwaarden voor de inplanting van windturbines*. Blz. 3  
Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article.pl>

<sup>139</sup> Cabooter, Y., Dewilde, L. en Langie, M. (2000). *Een windplan voor Vlaanderen. Een onderzoek naar mogelijke lokaties voor windturbines*. Brussel: VUB, ODE.



**Figuur 37: Windkaart Vlaanderen: Gemiddelde windsnelheid (m/s) op 75 m ashoogte**

Bron: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Administratie Economie. Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (2001). Windplan Vlaanderen: een onderzoek naar mogelijke locaties voor windturbines. Brussel (CD-ROM)

Op ruimtelijk vlak werd een zonering van de gewestplannen toegepast. De verschillende bestemmingen van de gewestplannen werden onderverdeeld in vier verschillende klassen, elk met een eigen prioriteit wat betreft de toepassing van windenergie.

- Klasse 0: gebieden die niet in aanmerking komen voor de toepassing van windenergie en dus worden uitgesloten (bvb. woongebieden, natuurgebieden, beschermde landschappen);
- Klasse 1: gebieden die zeker in aanmerking komen voor windenergie, met hoogste prioriteit (bvb. industriegebieden, gebieden voor gemeenschapsvoorzieningen en openbaar nut);
- Klasse 2: gebieden die ook in aanmerking komen voor windenergie, maar waar toch eerder een beperking kan optreden dan voor de gebieden met prioriteit 1 (bvb. agrarische gebieden, recreatiegebieden);
- Klasse 3: gebieden waar de toepassing van windenergie eventueel kan, mits een goede afweging met de andere, belangrijkere functies van het gebied (bvb. landschappelijk waardevolle agrarische gebieden).

In tabel 15 is een overzicht van het ruimtelijk potentieel voor het opstellen van windturbines in Vlaanderen weergegeven. Er moet wel op gewezen worden dat de correctheid van de hierna volgende cijfers niet altijd even hoog is, ze moeten dus gerelativeerd benaderd worden.

Verder is het, zoals reeds eerder vermeld, niet duidelijk hoeveel ruimte nog werkelijk bouwvrij en beschikbaar is in de berekende overblijvende oppervlaktes. Dit zal telkens per project en per locatie moeten geëvalueerd worden op het terrein. De hierna volgende getallen kunnen dus niet als absoluut realiseerbaar potentieel beschouwd worden, maar moeten eerder bekeken worden als richtwaarden. De oppervlaktes zijn berekend per provincie en voor de verschillende klassen.

**Tabel 15: Overzicht ruimtelijk potentieel in Vlaanderen (km<sup>2</sup>)**

Bron: Cabooter, Y., Dewilde, L. en Langie, M. (2000). *Een windplan voor Vlaanderen. Een onderzoek naar mogelijke lokaties voor windturbines*. Brussel: VUB, ODE.

	West-Vlaanderen	Oost-Vlaanderen	Antwerpen	Vlaams-Brabant	Limburg	Totaal
<b>Klasse 0</b>	1.473,30	2.016,11	2.048,05	1.586,20	1.895,12	9.018,76
<b>Klasse 1</b>	112,69	107,45	147,55	45,96	74,14	487,75
<b>Klasse 2</b>	692,93	502,48	389,32	291,42	238,23	2.114,75
<b>Klasse 3</b>	855,56	343,72	200,80	181,44	118,56	1.700,02
<b>Totaal</b>	3.134,48	2.969,76	2.785,72	2.105,02	2.325,90	13.320,88

### 3.1.2.2.3. Duurzame ruimtelijke ontwikkeling

Windturbines moeten zorgvuldig worden ingeplant met respect voor de omgeving, dit wil zeggen op een duurzame manier. In het vorige subhoofdstuk werden de effecten van windmolens op de site en de ruime omgeving behandeld. Het is dan ook vanzelfsprekend dat men bij de inplanting van een turbine ruimtelijke kwaliteit moet nastreven en dat duurzaamheid een onderdeel dient te zijn van een goede ruimtelijke ordening.

Bij de locatiekeuze van windmolens wordt ‘gedeconcentreerde bundeling’ als fundamenteel uitgangsprincipe gebruikt. Voor de precieze inplanting wordt dit nog verfijnd tot het principe van plaatsdeling (site sharing). Het is de bedoeling om windmolens zoveel mogelijk te bundelen waardoor het behoud van de nog resterende open ruimte in het sterk verstedelijkte Vlaanderen kan worden gegarandeerd. ‘Windturbines en windturbineparken dienen voor de energiebevoorrading van gezinnen en bedrijven, en ze kunnen dus het best geclusterd worden bij stedelijke gebieden en bij stedelijke kernen in het buitengebied ofwel bij industriegebieden.’ Dergelijke clustering is wegens de ruimtelijke impact van windturbines niet altijd mogelijk. Wanneer windturbines toch in de open ruimte worden ingeplant, worden

ze geplaatst langs infrastructuren zoals autosnelwegen, verkeersknooppunten, spoorwegen en kanalen.<sup>140</sup>

### 3.1.2.3. Ruimtegebruik

Wanneer alleen die plaatsen die een economisch interessant windklimaat hebben beschouwd worden, dan dient deze oppervlakte nog gereduceerd te worden omdat niet overal windturbines kunnen worden geplaatst.

Het is met andere woorden dus niet op iedere plaats mogelijk om een windturbine te bouwen. In sommige gebieden is de ruimte reeds fysiek ingenomen (bijvoorbeeld door bebouwing). In andere gebieden is het niet wenselijk wegens mogelijke last voor mens en dier. Belangrijkste hinderpalen bij de mens zijn geluidshinder en visuele hinder. Hierdoor worden woongebieden met een bufferzone zeker uitgesloten, zodat de plaatsing van windmolens geen effect zou hebben op de woonkwaliteit van de omwonenden. Gebieden waar zeker windturbines kunnen worden ingeplant zijn bijvoorbeeld industriezones, KMO-zones en havengebieden. Hier dient ook altijd een bufferzone in acht genomen te worden, zodoende de hinder te beperken en de kans op gewonden bij een ongeval (vb. breuk) te reduceren. Of windturbines in landbouwgebieden kunnen geplaatst worden, is soms een punt van discussie en hangt af van geval tot geval. De belangrijkste klacht hierbij is natuurlijk de vervuiling van het zicht. Vooral in vlakke gebieden heeft dit een grote impact.

Voor de fauna is de geluidshinder de belangrijkste beperkende factor en voor vogels komt daarbij nog het aanvaringsaspect. Hiervoor worden ook natuurgebieden, habitatgebieden en beschermde landschappen plus een bufferzone uitgesloten als mogelijke zone voor de inplanting van windenergiesystemen.<sup>141</sup>

Een windturbinepark beslaat een groot oppervlak. Hiervan wordt slechts een heel klein deel effectief bebouwd, het direct ruimtegebruik is dus beperkt. De resterende impact op de omgeving (indirect ruimtegebruik) is dus veel hoger.

---

<sup>140</sup> N.N. (2004). *Windenergie in Vlaanderen. Beleid – wetgeving – financiën*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 36

<sup>141</sup> Oyaert, P. (2005). *Haalbaarheid van windmolenparken in België*. Brussel: VUB. Blz. 106, 107



### 3.1.2.3.1. Direct ruimtegebruik

Het directe ruimtegebruik van windmolens op zich is gering. De voetplaat (funderingssokkel) van de molens heeft meestal een oppervlakte van 100 tot 300 m<sup>2</sup> afhankelijk van de grootte van de turbine.<sup>142</sup>

Het is natuurlijk nodig om windmolens ver genoeg uit elkaar te plaatsen.

*Een weerstand die de lucht afremt, veroorzaakt een opeenhoping van lucht. Achter de weerstand ontstaan wervelingen. De opeenhoping veroorzaakt een stijging van de druk, waardoor de aanvoer van lucht wordt beperkt, tot er een evenwicht is ontstaan tussen aan- en afvoer. Bij elke weerstand ontstaat dus een zodanige afname van de aangevoerde luchthoeveelheid, zodat een deel van de wind geheel om de weerstand heen wordt geleid.<sup>143</sup>*

Dit verklaart waarom het niet zinvol is om molens vlak naast elkaar te zetten, wiek aan wiek. Een dergelijk dichtgepakt windmolenpark zou namelijk als één grote weerstand werken en de wind doen uitwijken. Daarom moeten windmolens zoveel mogelijk vrijstaand worden gebouwd, opdat elke molen werkt als een enkel obstakel in een overigens ongestoord windpatroon.

Volgens sommige studies moet voor een goede werking een afstand van 5 diameters<sup>144</sup> worden gerespecteerd. De minimaal vereiste oppervlakte is dan  $0,65L^2$ , waarbij L de afstand tussen de turbines is.

Steeds vaker worden windmolens gegroepeerd. Dit heeft zowel esthetische als economische (één grote transformator i.p.v. vele kleintjes, 1 netaansluiting ...) redenen. Zoals hierboven zijn er echter ook enkele nadelen aan verbonden: het probleem is dat de opbrengst per molen lager is indien de molen alleen staat. De windsnelheid is immers gewijzigd, als het de turbine gepasseerd is. In een park zullen de turbines aan de lijzijde dus een lagere opbrengst hebben dan deze aan de loefzijde. Om dit fenomeen te beperken steunt men vaak op de  $4\Phi - 7\Phi$  regel.<sup>145</sup>

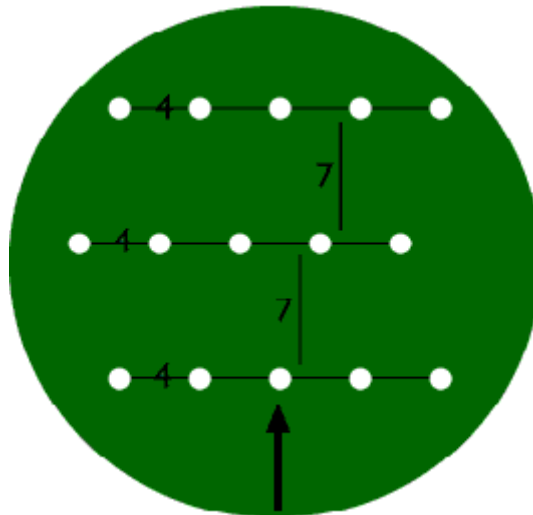
---

<sup>142</sup> Letermé, Y., Van Mechelen, D. en Peeters, K. (2006). *Omzendbrief (EME/2006/01 – RO/2006/02) - Afwegingskader en randvoorwaarden voor de inplanting van windturbines*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article.pl>

<sup>143</sup> Bugge, J. (1981). *Windmolenboek*. Antwerpen: Kluwer Technische Boeken. Blz. 9

<sup>144</sup> Wanneer het woord diameter wordt gebruikt gaat het hier om de diameter van de wieken van de windmolen.

<sup>145</sup> Deroose, S. (2004). *Windenergie en technologische innovaties, een economische analyse*. Gent: Sine nomine. Blz. 31



**Figuur 38: De minimaal te respecteren afstand tussen turbines in een park**

Bron: Danish Wind Industry Association (2003, 1 juni). *Park Effect*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.windpower.org/en/tour/wres/park.htm>

Bovenstaande figuur illustreert deze regel. Men bepaalt eerst de dominante windrichting, dan houdt men minimaal 4 keer de diameter tussen de verschillende turbines loodrecht op die windrichting. In de richting evenwijdig met de dominante winden, houdt men minimaal zeven keer de rotordiameter van de windturbines.<sup>146</sup>

### 3.1.2.3.2. Indirect ruimtegebruik

Windmolens hebben ook een indirect ruimtegebruik. Dit heeft vooral te maken met de invloed die ze hebben op het landschap, de luchtvaart, de natuur en op een aantal milieuaspecten zoals geluid, veiligheid en slagschaduw.

Sommige van deze zaken kunnen aanleiding geven tot het zogenaamde NIMBY-gedrag (not in my backyard)

#### A. Landschap – visueel aspect

‘Windturbines zijn groot, hoog en ze bewegen. Hierdoor trekken ze de aandacht en hebben ze een grote impact op het landschap. Daarom moeten turbines op een verantwoorde manier landschappelijk worden ingepast. Vanuit landschappelijk oogpunt gaat de voorkeur voor de inplanting van windturbines uit naar plekken waar al een grote dynamiek aanwezig is, zoals

<sup>146</sup> Danish Wind Industry Association (2003, 1 juni). *Park Effect*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.windpower.org/en/tour/wres/park.htm>

industriegebieden, havenlandschappen, grootschalige infrastructures en locaties waar structures in het landschap kunnen worden geaccentueerd.<sup>147</sup>

‘Er zijn geen 'objectieve' maatstaven voor wat in het landschap past en wat niet. Wel is het zo dat windturbines hier en daar protesten oproepen. Veel mensen ervaren ze als storend in het landschap. Of deze windmolens hinderlijk zijn of niet is voornamelijk een persoonlijke, subjectieve perceptie. Wel is het zo dat de positie van de molens zeer belangrijk is en er dus met een aantal zaken dient rekening gehouden te worden.’<sup>148</sup>

- Zo blijkt een willekeurige plaatsing van windturbines een chaotische en daarmee storende aanblik te geven. Ze kunnen ook het landschapsbeeld versterken, door te kiezen voor lijnopstellingen, waarbij de lijnen eventueel gebogen mogen zijn. Elementen zoals autostrades, dijken en kanalen kunnen dan geaccentueerd worden.
- Ook is het best dat turbines van verschillende hoogte en ontwerp niet door elkaar geplaatst worden, dit geeft een rommelige en daarmee onrustige aanblik. Verder geldt: hoe langzamer de wieken ronddraaien, des te beter. Nu is er een verband tussen turbinegrootte en omwentelingstijd: hoe groter de turbine, hoe langer de omwentelingstijd. Daardoor doen grote turbines het visueel beter dan kleine. De grote turbines met hun langzame draaisnelheid doen 'statig' aan, de kleine eerder 'zenuwachtig'.
- Hetzelfde onderscheid geldt voor turbines met twee en met drie wieken. Voor het oog lijkt het van opzij bezien of de wieken van een twebladige turbine voortdurend versnellen en vertragen, wat dus een onrustig beeld opwekt. De driebladige turbine oogt steeds min of meer hetzelfde, wat dus een rustig beeld scheidt. Bijna alle moderne grote turbines zijn driebladig.

‘Uit landschapsstudie is gebleken dat windturbines, ondanks de aanzienlijke hoogte ervan, vanaf zes kilometer vervagen in het landschap. Op korte afstand kan de dominante zichtbaarheid van windturbines verminderd worden door schermwerking. Hiermee worden onder meer bomen en andere landschapselementen op de voorgrond in het landschap bedoeld.’<sup>149</sup>

---

<sup>147</sup> N.N. (2004). *Windenergie in Vlaanderen. Beleid – wetgeving – financiën*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 28

<sup>148</sup> Beurskens, J. en van Kuik, G. (2004). *Alles in de wind: Vragen en antwoorden over windenergie*. Maastricht: Daedalus. Blz. 19

<sup>149</sup> N.N. (2004). *Windenergie in Vlaanderen. Beleid – wetgeving – financiën*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 28

‘Een deel van het nieuwe windvermogen in Europa komt tot stand door het vervangen van kleine, inmiddels verouderde, turbines door grotere turbines; dit heet 'repowering'. Hiermee neemt het vermogen aanzienlijk toe zonder dat dit tot een wezenlijke vermeerdering van de aantasting van het landschap leidt.’<sup>150</sup>

### *B. Impact van windturbines op de avifauna*

Windturbines kunnen een hinder zijn voor vogels. Het hoeft niet te verwonderen dat de impact sterk afhankelijk is van de locatie van de windturbines. De hinder voor vogels doet zich voor op twee vlakken<sup>151</sup>:

- Aanvaringsaspect: indien vogels in aanvaring komen met de windturbine (meestal de wieken) kunnen ze daarbij gedood of gewond worden.
- Verstoringaspect: door de aanleg van windturbines kunnen broed- of rustgebieden verloren gaan door ruimtebeslag, maar er bestaat ook indirecte hinder door de aanwezigheid van beweging of geluid van de windmolens.

De slachtoffers die vallen als gevolg van windturbines zijn gering ten opzichte van het aantal vogels dat jaarlijks wordt doodgeschoten bij de jacht, omkomt door hoogspanningsleidingen of sterft in het verkeer. Bij windturbines vallen de meeste slachtoffers 's nachts, tijdens schemering of bij slecht weer.

Om risico's te vermijden moeten turbines niet worden geplaatst in vogeltrekgebieden en in belangrijke broed- en voedselgebieden. In gebieden waar risico's niet bekend zijn, kan het nodig zijn extra waarnemingen te doen om deze in kaart te brengen.<sup>152</sup>

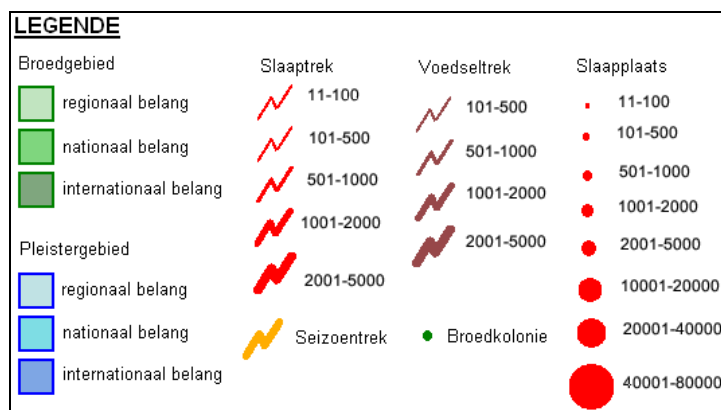
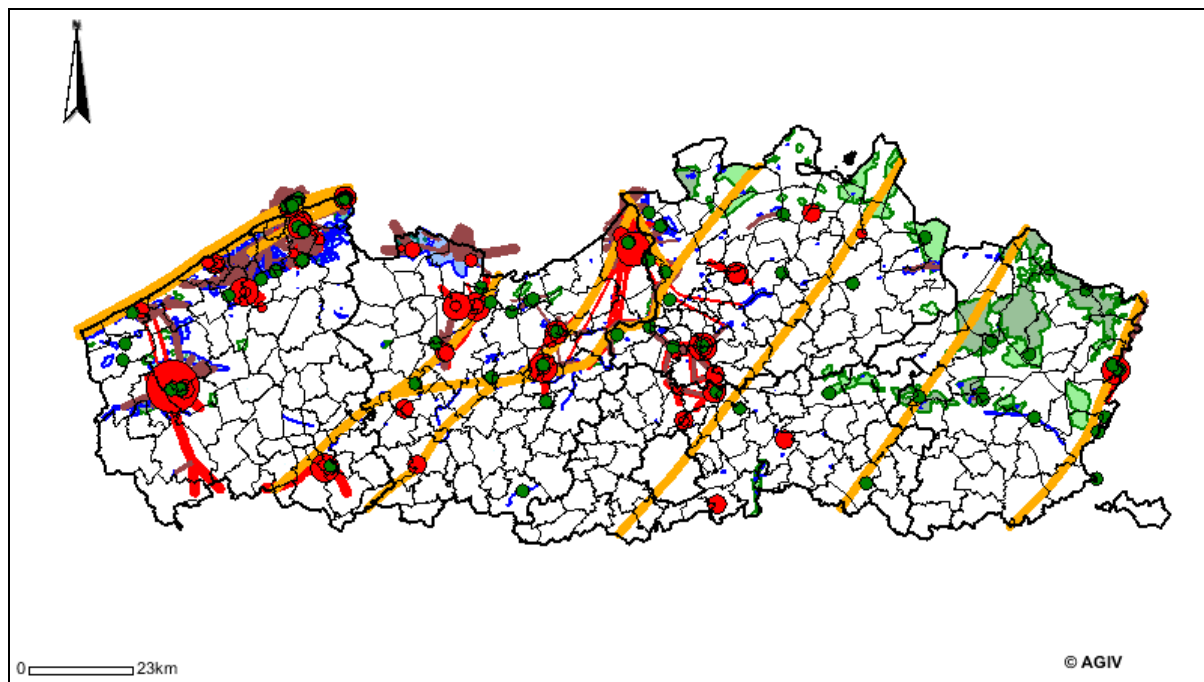
Onderstaande overzichtskaart (figuur 39) geeft de belangrijkste trekroutes en pleisterplaatsen voor vogels weer.

---

<sup>150</sup> Beurskens, J. en van Kuik, G. (2004). *Alles in de wind: Vragen en antwoorden over windenergie*. Maastricht: Daedalus. Blz. 20

<sup>151</sup> Oyaert, P. (2005). *Haalbaarheid van windmolenparken in België*. Brussel: VUB. Blz. 69 (naar Everaert et al. 2002)

<sup>152</sup> Beurskens, J. en van Kuik, G. (2004). *Alles in de wind: Vragen en antwoorden over windenergie*. Maastricht: Daedalus. Blz. 22, 23



**Figuur 39: Vogelatlas van Vlaanderen**

Bron: AGIV (2007). Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.agiv.be/gis/>

### C. Luchtvaart

Vanwege de ashoogte en de draaiende wieken van de windturbine moet een aantal veiligheidsmaatregelen in acht worden genomen ten aanzien van het vliegverkeer, namelijk de burger- en militaire luchtvaart.<sup>153</sup>

<sup>153</sup> N.N. (2004). *Windenergie in Vlaanderen. Beleid – wetgeving – financiën*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 27

#### *D. Milieuaspecten met ruimtelijke impact*

De exploitatie van een windturbine is onderworpen aan een voorafgaand milieuonderzoek voor het verkrijgen van een vergunning. Een aantal milieuaspecten dient daartoe te worden geëvalueerd:

- **Geluid<sup>154</sup>:**

Windturbines produceren geluid. Enerzijds zijn mechanische onderdelen in de gondel verantwoordelijk voor een deel van de geluidsproductie, anderzijds is er het aërodynamische geluid dat afkomstig is van de beweging van de wieken en de passage van de wieken langs de mast.

Het geluidsniveau van de turbines is de afgelopen decennia sterk verminderd. Dit komt hoofdzakelijk door gebruik te maken van geluidsisolerende materialen in de gondel en technologische verbeteringen aan diverse onderdelen van de windturbine.

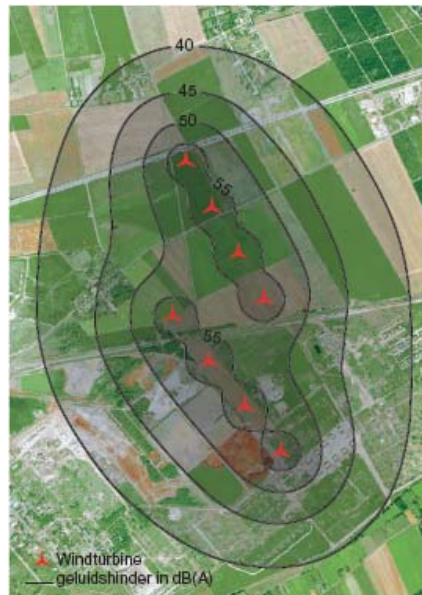
‘Het geluidsvermogen geproduceerd door een windturbine neemt toe met toenemende windsnelheid. De waarneembaarheid van geluid afkomstig van een windturbine is afhankelijk van het reeds aanwezige achtergrondgeluid en van de windsnelheid. Bij toename van de windsnelheid is de toename van het achtergrondgeluid vaak groter dan de toename van het geluid van de turbine. Tevens zijn de onderlinge opstelling van de turbines, de afstand en oriëntatie ten opzichte van gebouwen en woningen, en de aard van de ondergrond (land, water) van belang bij de inschatting van de geluidsproductie.’

In een Vlaamse omzendbrief uit 2000 wordt vanwege de geluidsimpact een afstand van 150 meter (voor type 600 kW-turbine) tot 250 meter (type 1500 kW-turbine) tot de dichtst bijgelegen woning die toebehoort aan derden, opgegeven.

Deze regeling heeft het aantal mogelijke locaties voor windturbines drastisch beperkt.

---

<sup>154</sup> N.N. (2004). *Windenergie in Vlaanderen. Beleid – wetgeving – financiën*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 32, 33



**Figuur 40: Geluidscontour rond een windpark van acht windturbines**

Bron: N.N. (2004). *Windenergie in Vlaanderen. Beleid – wetgeving – financiën*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 33 (naar Aspiravi (bewerking: ANRE))

‘De projectontwikkelaar moet zich dus steeds de vraag stellen of het geproduceerde geluid aanvaardbaar is binnen de specifieke situatie van de omgeving waar de turbines worden opgesteld. Aangezien het antwoord op deze vraag niet zonder meer door afstandsregels kan worden bepaald, moet bij de milieuvergunningaanvraag voor de plaatsing van één of meerdere windturbine(s) telkens een geluidsstudie, opgemaakt door een erkend geluidskundige, worden bijgevoegd.’

- Slagschaduw<sup>155</sup>:

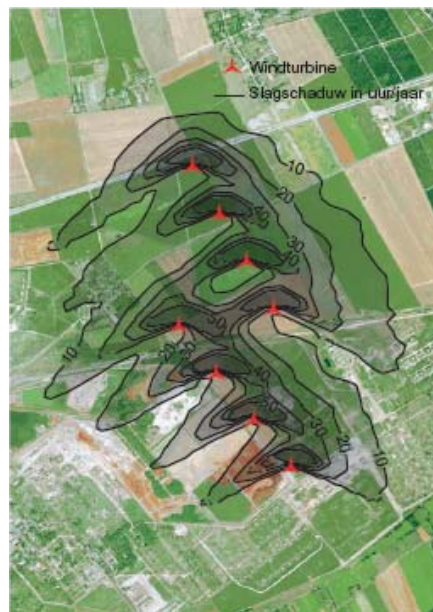
Als gevolg van de draaiende wieken ontstaat een bewegende schaduw met een afwisselend licht-schaduw-effect. Dit fenomeen kan een hinderlijke flikkering veroorzaken bij omwonenden.

‘De impact van de slagschaduw kan met behulp van specifieke simulatieprogramma’s en rekening houdend met de omgevingsfactoren van de geplande locatie voorspeld worden. Die voorspelling gaat uit van een aantal randvoorwaarden, zoals gemiddeld aantal zonne-uren per jaar en de afwezigheid van schermwerking.’

Het aanvaardbare criterium werd vastgelegd op een maximum van 30 uur slagschaduw per jaar en 30 minuten per dag per woning. Als deze norm overschreden wordt, kan

<sup>155</sup> N.N. (2004). *Windenergie in Vlaanderen. Beleid – wetgeving – financiën*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 34, 35

het gebruik van zonnewering of een slagschaduwensor een oplossing bieden. Die sensor zet de windturbine stil op het moment dat de meeste slagschaduw optreedt.



**Figuur 41: Schaduwcontour rond windmolenpark van 8 windturbines**

Bron: N.N. (2004). *Windenergie in Vlaanderen. Beleid – wetgeving – financiën*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 35 (naar Aspiravi)

### 3.1.3. Windenergie op zee

In de landen die voorop lopen op vlak van windenergie, zijn de plaatsingsmogelijkheden op het land vrijwel uitgeput. Ook Vlaanderen is dicht bevolkt en heeft heel wat verkeerswegen en een groot industrieel areaal. Hierdoor en de slechte erfenis inzake ruimtelijke ordening in het verleden is het niet wenselijk om zomaar overal windturbines te plaatsen. Daarom worden dan ook windparken in zee ontwikkeld.

Offshore windturbines kan men nog eens onderverdelen in nearshore- en farshore molens. Farshore windparken zijn verder van de kust verwijderd, terwijl nearshore windparken in ondiep water worden gebouwd. Het maakt een nearshore park een stuk goedkoper, maar niet steeds geliefd bij het publiek omdat ze goed zichtbaar zijn vanaf de kust.

#### 3.1.3.1. Voor- en nadelen van offshore windenergie<sup>156</sup>

*Voordelen:*

- Er is een grote beschikbaarheid aan grote, aaneengesloten gebieden zonder obstakels voor de constructie van grote projecten;

<sup>156</sup> Oyaert, P. (2005). *Haalbaarheid van windmolenparken in België*. Brussel: VUB. Blz. 53, 54



- Op zee is gemiddelde windsnelheid hoger dan op het land;
- Op zee is de windsnelheid meer constant, dat als gevolg van een kleinere turbulentie. Daardoor wordt de energieopbrengst verhoogd en het belastingspatroon voor de turbine verminderd. Dit is gunstig voor de levensduur van de turbines;
- Als gevolg van de lagere terreinruwheid van de zee wordt de wind niet zoveel afgeremd als op het land. Daardoor kunnen kleinere turbines worden gebruikt, wat leidt tot een verminderde visuele impact;
- Hoe verder in zee hoe minder last van visuele hinder.

#### *Nadelen:*

- Wegens de relatief kleine oppervlakte van de Belgische territoriale zee en het grote aantal beperkende factoren, zijn het aantal mogelijke locaties voor offshore windenergieparken sterk gelimiteerd. (zie verder)
- Windmolenparken in zee hebben een meer beperkte toegankelijkheid. Dit kan zijn als gevolg van weersomstandigheden die bijvoorbeeld restricties veroorzaakt voor onderhoudsdoeleinden e.d.;
- Zeer groot ruimtebeslag van kabels en leidingen. Dit komt enerzijds door de grotere afstand tussen de turbines op zee. Anderzijds zijn offshore windparken soms tot 30 km buiten de kust gelegen. Infrastructuren (kabels en leidingen) dienen vandaar uit de windenergie naar land te leiden;
- Hogere investeringskosten zijn nodig als gevolg van de duurdere funderingen, hogere installatiekosten, extra kost voor bekabeling en eventuele investeringen ter versterking van het elektriciteitsnet.

### **3.1.3.2. Ruimtegebruik**

Niet alleen op het land maar ook op zee gelden restricties voor de bouw van windturbines. Als België een offshore windmolenpark wil realiseren, dan moet het gebruik maken van het Belgisch continentaal plat (BCP) ook wel de Exclusieve Economische Zone genoemd. Deze EEZ is het Belgische gedeelte buiten de 12 mijlszone waar België exclusieve rechten bezit boven die van andere staten. Het zijn soevereine rechten die verband houden met activiteiten zoals exploratie en ontginning van de zone voor economische doeleinden, zoals de opwekking van energie door middel van water, stromingen en wind.

Het Belgisch deel van de Noordzee heeft ongeveer een oppervlakte van 3.600 km<sup>2</sup> (inclusief de 12 mijlszone), wat amper een half procent van de oppervlakte van de Noordzee is. Dit is een klein gebied in vergelijking met de 56.000 m<sup>2</sup> van ons buurland Nederland.

Slechts een klein deel van de EEZ kan voor de exploitatie van windturbineparken worden gebruikt. Binnen deze zone zijn reeds tal van andere gebruiksdoeleinden toegekend. Daardoor wordt de beschikbare oppervlakte voor windmolenparken sterk gelimiteerd. Dergelijke factoren zijn: natuurzones, visgronden, militaire oefenzones, scheepvaartroutes, communicatieve kabels, gasleidingen, zand- en grindwinningsgebieden.<sup>157</sup> (Zie figuur 43)

De inplanting van windmolenparken op zee wordt dus bemoeilijkt door de vele verschillende ruimteclaims op zee. Als deze claims op zee zouden worden opgeteld, gaat het om meer dan 2,6 keer de beschikbare ruimte. Een actualisatie van de claims en het ontwerp van een ordenend en structurerend plan dat eveneens zee-geïntereerd is, zou een beter zicht op de situatie kunnen geven (het GAUFRE-onderzoek is hier mee bezig).<sup>158</sup>

De Noordzee heeft voor de onze 66 km lange kust slechts een geringe diepte. Het gemiddelde is ongeveer 20 m diep en het maximum ligt op 35 m. Natuurlijk dient rekening te worden gehouden met de aanwezigheid van een complex systeem van zandbanken die bijna evenwijdig met de kust georiënteerd zijn en waarvan sommige bloot komen te liggen bij extreme laagtijden.<sup>159</sup>

Net zoals op het land hebben offshore windturbines een invloed op de omgeving. De visuele hinder, die windmolens op zee zouden teweegbrengen, gaf reeds menigmaal aanleiding tot disputen omdat veel mensen het zeezicht als een bijzonder waardevol landschap beschouwen. Projecten voor de inplanting van windmolens op de Wenduinebank (5-8 km van de kust) en op de Vlakte van Raan kregen geen milieuvergunning als gevolg van de vermoedelijke visuele hinder die ze zouden veroorzaken. Gebaseerd op deze ervaringen werd aangenomen dat, voor de evaluatie van het potentieel van windenergie op zee, het niet realistisch zal zijn om windparken te plaatsen in gebieden dichter dan 3 zeemijl (5,5 km) van de kust. Deze zone

---

<sup>157</sup> Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (BMM) (2006). *De Noordzee: Feiten van het Belgische deel van de Noordzee*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.mumm.ac.be/NL/NorthSea/geography.php>

<sup>158</sup> GAUFRE-project (2005). *Een zee van ruimte. Naar een ruimtelijk structuurplan voor het duurzaam beheer van de Noordzee*. Federaal Wetenschapsbeleid.

<sup>159</sup> Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (BMM) (2006). *De Noordzee: Feiten van het Belgische deel van de Noordzee*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.mumm.ac.be/NL/NorthSea/geography.php>

is geheel uitgesloten voor de productie van windenergie. Projecten voor windenergie verder in zee, zullen geval per geval moeten beoordeeld worden.<sup>160</sup>

Ook offshore windenergieparken kunnen avifauna en andere maritieme organismen hinderen. Maar er zijn ook positieve effecten te noteren. Bij windparken in zee mag er niet gevaren worden en is de visvangst ook verboden. ‘Zeebiologen verwachten dat zulke gebieden zich zullen ontwikkelen tot kraamkamers van diverse vissoorten, met een gunstig effect op de visstand als geheel.’ Onderzoek bij Horns Rev, het eerste windpark in de Noordzee (Denemarken), doet onderzoek naar de effecten.<sup>161</sup>



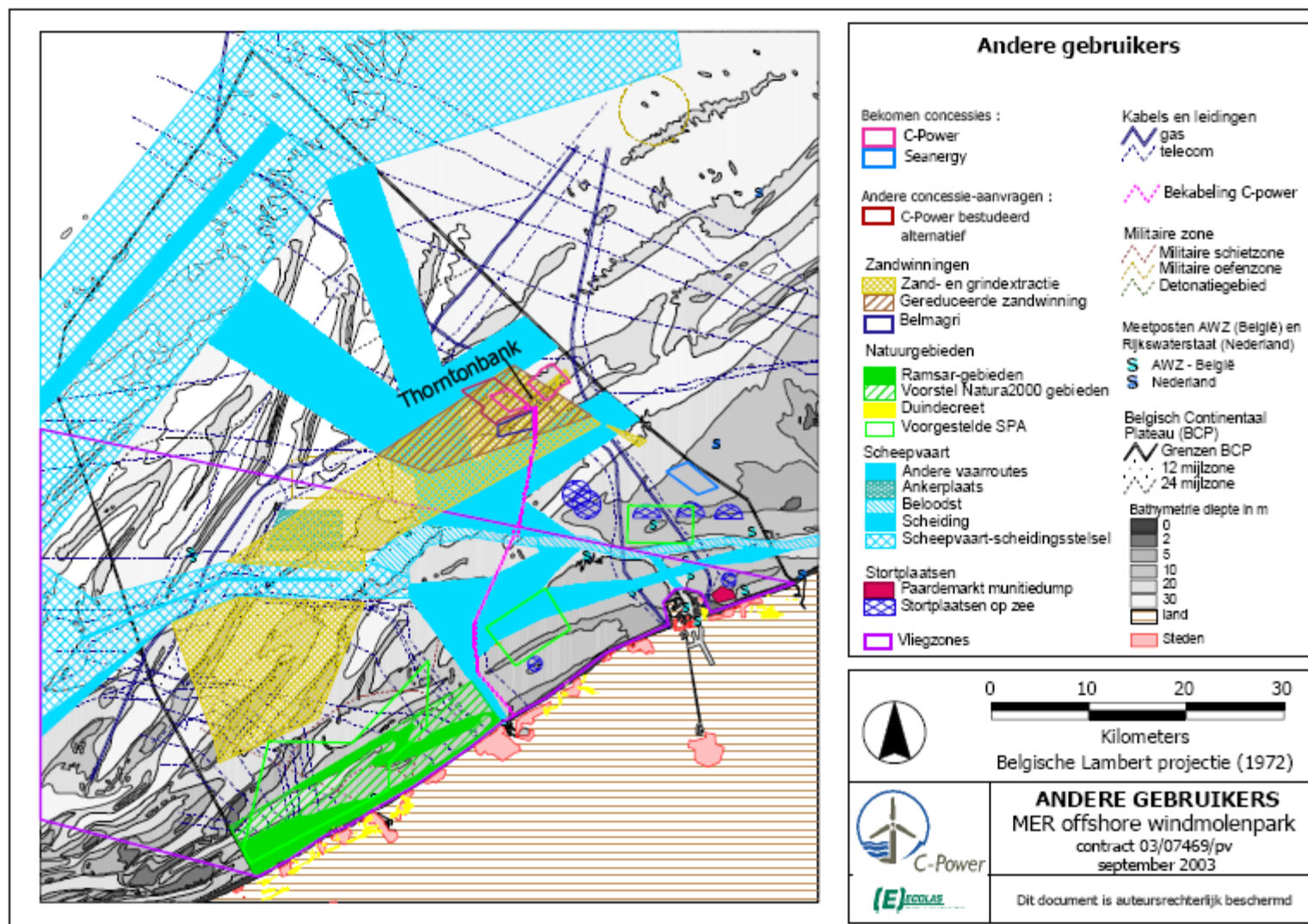
**Figuur 42: Windpark bij Horns Rev: Denemarken**

Bron: Horns Rev (n.d.). Geraadpleegd april, 2007 op <http://www.hornsrev.dk/>

---

<sup>160</sup> Van Hulle, F., Le Bot, S., Cabooter, Y., Soens, J., Van Lanker, V., Deleu, S., Henriët, J.P., Palmers, G., Dewilde, L., Driesen, J., Van Roy, P. en Belmans, R. (2004). *Optimal Offshore Wind Energy Developments in Belgium*. Brussel: Belgian Science Policy. Blz. 49

<sup>161</sup> Beurskens, J. en van Kuik, G. (2004). *Alles in de wind: Vragen en antwoorden over windenergie*. Maastricht: Daedalus. Blz. 23



**Figuur 43: Kaart van de verschillende gebruikers van het BCP**

Bron: C-Power N.V. (2003). Milieueffectenrapportering voor een Offshore Windturbinepark op de Thorntonbank; Deel 3: Hoofddocument figuren. Antwerpen: Ecolas.

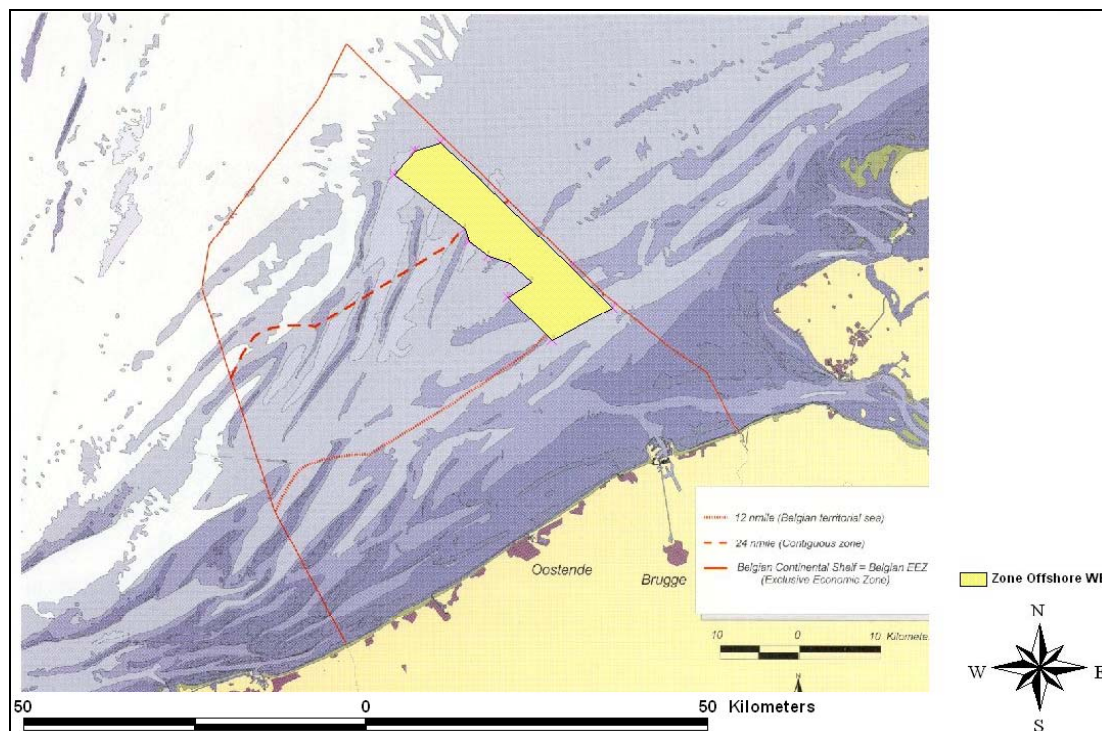
### 3.1.3.3. Toegewezen zone voor offshore windenergie ontwikkelingen in België <sup>162</sup>

De beschikbare ruimte voor offshore windenergie projecten werd voorgesteld in een koninklijk besluit. Onderstaande tabel en figuur geven de eigenschappen van de voorgestelde zone weer.

**Tabel 16: Eigenschappen van de aangewezen zone voor offshore windenergie ontwikkelingen in België**

Bron: Devriendt, N., Dooms, G., Liekens, J., Nijs, W. en Pelkmans, L. (2005). *Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020*. VITO-3E.

<b>Totale oppervlakte</b>	267,2 km <sup>2</sup>
<b>Potentieel geïnstalleerd vermogen</b>	2672 MW (10 MW/km <sup>2</sup> )
<b>Afstand tot de kust</b>	22 km tot 55 km (gemiddelde afstand 38 km)
<b>Dichtstbijzijnde netkoppelpunt</b>	Zeebrugge – afstand: 30 km en 72 km (gemiddeld 50 km)



**Figuur 44: Aangewezen zone voor offshore windenergie ontwikkelingen in België**

Bron: Devriendt, N., Dooms, G., Liekens, J., Nijs, W. en Pelkmans, L. (2005). *Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020*. VITO-3E.

<sup>162</sup> Devriendt, N., Dooms, G., Liekens, J., Nijs, W. en Pelkmans, L. (2005). *Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020*. VITO-3E. Blz. 47

### 3.1.3.4. Voorbeeld: C-power project op de Thorntonbank

#### 3.1.3.4.1. Inhoud

De n.v. C-Power zal ter hoogte van de Thorntonbank een farshore windturbinepark bouwen om elektrische energie op te wekken. De gewonnen elektrische energie kan dan aangesloten worden op het elektriciteitsnet. C-Power zal het park uitbaten voor 20 jaar. Het project omvat de constructie, exploitatie en ontmanteling van het windturbinepark op de Thorntonbank en de noodzakelijke bijbehorende infrastructuur (transformatorplatform, bekabeling en windmeetmasten). Het is de bedoeling 60 turbines met elk een vermogen van minimaal 3,6 MW tot maximaal 5 MW te plaatsen. Het totaal geïnstalleerde vermogen zal dan van 216 tot 300 MW gaan. De jaarlijkse energieproductie wordt geschat op 710 tot 1.000 GWh, wat ongeveer overeenkomt met het gemiddelde verbruik van 180.000 tot 255.000 gezinnen. Het transport van de elektrische energie naar het distributienet zal enerzijds gebeuren via een onderzeese kabelverbinding die voorzien is tussen de windturbines en een afzonderlijk offshore-platform ingepland binnen de omtrek van het windturbinepark. Anderzijds zal vanaf het transformatorplatform ook een onderzeese verbinding worden gemaakt met de aansluitingspost op land in Bredene.<sup>163</sup>

Het project wordt gerechtvaardigd in het kader van een aantal internationale conventies en afspraken. De vergunningen voor de realisatie van het project zijn reeds in orde. In 2007 en 2008 zou een demonstratiefase van start moeten gaan met de bouw van 6 windturbines, een eerste windmeetkast en een eerste aanlandingskabel.<sup>164</sup>

#### 3.1.3.4.2. Ruimtelijke situering

‘Het windturbinepark wordt ingepland op de Thorntonbank, één van de buitenste zandbanken van het Belgische Continentaal Plat. De Thorntonbank behoort tot de Zeelandbanken en is quasi parallel georiënteerd met de kustlijn. De bank heeft een typische langwerpige vorm met een NO-ZW oriëntatie en vertoont een verbreding ter hoogte van de bekomen concessie. Verder naar het noordoosten gaat de bank over in de Rabsbank gelegen op het Nederlands Continentaal Plat.’<sup>165</sup>

---

<sup>163</sup> C-Power N.V. (2003). *Milieueffectenrapportering voor een Offshore Windturbinepark op de Thorntonbank; Deel 1: niet-technische samenvatting*. Antwerpen: Ecolas. Blz. 3

<sup>164</sup> C-Power N.V. (n.d.). Bouwfasen. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.c-power.be/applet\\_mernu\\_nl/index01\\_nl.htm](http://www.c-power.be/applet_mernu_nl/index01_nl.htm)

<sup>165</sup> C-Power N.V. (2003). *Milieueffectenrapportering voor een Offshore Windturbinepark op de Thorntonbank; Deel 1: niet-technische samenvatting*. Antwerpen: Ecolas. Blz. 4



**Tabel 17: Gegevens over de Thorntonbank**

Bron: C-Power N.V. (2003). *Milieueffectenrapportering voor een Offshore Windturbinepark op de Thorntonbank; Deel 1: niet-technische samenvatting*. Antwerpen: Ecolas. Blz. 4

<b>Thorntonbank</b> (cijfers volgens de begrenzing van de -20 m dieptelijn)
Lengte: 18 km
Minimale breedte: 2 km
Maximale breedte: 4,5 km
Totale oppervlakte: 57,3 km <sup>2</sup>
Afstand tot de kust: 27 tot 30 km

### 3.1.3.4.3. Enkele ruimtelijke aspecten

#### A. De bekomen concessie<sup>166</sup>

Er werd dus een concessie verworven voor de inplanting van 60 windturbines, een transformatorplatform en twee windmeetmasten.

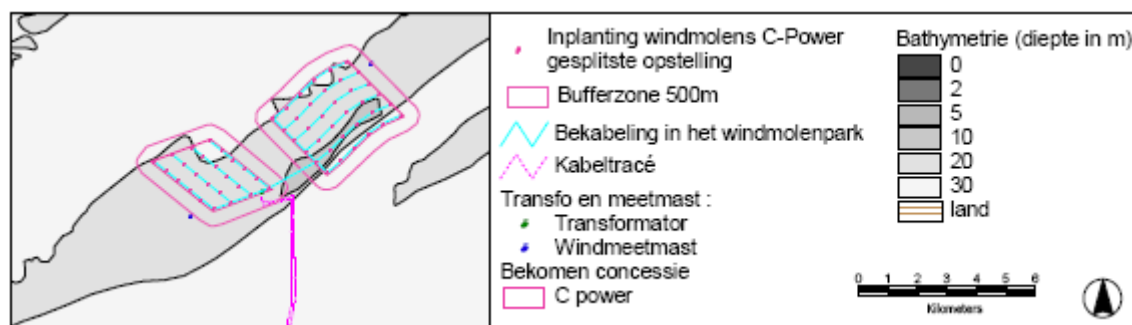
De bekomen concessie op de Thorntonbank wordt opgesplitst in twee gebieden:

- Westelijke concessie (A): 24 turbines  
5,0 km<sup>2</sup>
- Oostelijke concessie (B): 36 turbines  
8,8 km<sup>2</sup>

‘Beide gebieden vormen een technisch en economisch geheel met één aanlandingskabeltracé, één transformatorplatform en twee windmeetmasten. Het transformatorplatform is gelegen op de zuidrand van het deelgebied A, terwijl de windmeetmasten buiten het afgebakende gebied gelegen zijn.

Indien rekening gehouden wordt met een veiligheidszone van 500 m rondom de windturbines wordt een oppervlakte van 26,4 (10,7 + 15,7) km<sup>2</sup> ingenomen. Deze inplanting resulteert in een geïnstalleerd vermogen per oppervlakte van 15,7 tot 21,7 MW/km<sup>2</sup>, en indien de veiligheidszone meegerekend wordt, van 8,2 tot 11,4 MW / km<sup>2</sup>.

<sup>166</sup> C-Power N.V. (2003). *Milieueffectenrapportering voor een Offshore Windturbinepark op de Thorntonbank; Deel 1: niet-technische samenvatting*. Antwerpen: Ecolas. Blz. 4



**Figuur 45: Thorntonbank: opstelling van de bekomen concessie**

Bron: C-Power N.V. (2003). *Milieueffectenrapportering voor een Offshore Windturbinepark op de Thorntonbank; Deel 3: Hoofddocument figuren*. Antwerpen: Ecolas.

### *B. Aansluiting van de turbines op het stroomnetwerk*

De verbindingkabels vertrekken in lussen per 6 windturbines naar het transformatieplatform dat zich op de Thorntonbank bevindt. Hier wordt de verzamelde energie getransformeerd naar een hogere spanning van 150.000 V om verlies van energie tijdens het transport tegen te gaan. De twee zeekeblen verbinden het transformatiestation over een afstand van 38,7 km naar de kust. Deze kabels worden minstens twee meter in de zeebodem ingegraven. Het transport van de opgewekte energie verloopt vanaf het transformatiestation via twee onderzeese kabelverbindingen met een dwarsdoorsnede van 22cm. Ter hoogte van de kustlijn worden de zeekeblen door middel van een gestuurde boring vanaf 4 meter onder de waterlijn onder de duinengordel aan land gebracht. In het aanlandingspunt worden de zeekeblen met de landkabels verbonden. De landkabels worden volledig ondergronds aangelegd tussen het aanlandingspunt over een afstand van 3,8 km tot aan de eindbestemming, het hoogspanningsstation ‘Sas Slijkens’ in Bredene. Niettegenstaande de afstand naar Zeebrugge korter is, is het niet mogelijk om de aansluiting in Zeebrugge te maken, aangezien er geen aansluitingscapaciteit voorhanden is. In Slijkens worden de hoogspanningskabels dus gekoppeld aan het openbare elektriciteitsnet. Het transport- en distributienet brengen vervolgens de op zee opgewekte energie tot bij de verbruikers.<sup>167</sup>

<sup>167</sup> C-Power N.V. (n.d.). Bouwfasen. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.c-power.be/applet\\_menu\\_nl/index01\\_nl.htm](http://www.c-power.be/applet_menu_nl/index01_nl.htm)



### 3.1.3.5. Andere voorbeelden<sup>168</sup>

- Eldepasco is een projectgroep (joint-venture) die een windturbinepark op de Bank Zonder Naam in de Noordzee wil bouwen. Deze bank ligt ter hoogte van Zeebrugge, circa 38 kilometer uit de kust. Het is de bedoeling om 36 turbines met een vermogen van elk 6 MW of meer te plaatsen. Eldepasco is een samenwerkingsverband tussen Electrawinds, Depret/Artes-groep, Aspiravi en WE-Power.
- Belwind, een onderdeel van de Econcern-groep, wil een offshore windmolenpark bouwen op de Bligh Bank, op 46 kilometer van de kust van Oostende. Er worden 66 windturbines van elk 5 MW voorzien.

### 3.1.4. Kleine windturbines

Ook kleine windturbines maken een enorme evolutie door. Vooral in Amerika en in onze buurlanden Groot-Brittannië en Nederland wordt hard gewerkt aan nieuwe, innovatieve toepassingen van kleine windturbines op gebouwen of op masten: de zogenaamde ‘urban turbines’.<sup>169</sup>

‘Het onderscheid tussen grote en kleine windturbines kan gemaakt worden op basis van het vermogen van de turbine. Grote turbines hebben een vermogen vanaf 200 kW tot enkele MW, kleine turbines voor de gebouwde omgeving hebben een vermogen van enkele kilowatt. Een ander verschil is de omvang: de “grootste kleine” windturbines zijn momenteel twaalf meter hoog, terwijl grote turbines een ashoogte hebben van tachtig meter of meer.’<sup>170</sup>

---

<sup>168</sup> Couder, J., Verbruggen, A. en Brouwers, J. (2006). *Milieurapport Vlaanderen MIRA, Achtergronddocument, Sector Energie*. Vlaamse Milieumaatschappij. Blz. 125

<sup>169</sup> ODE-Vlaanderen (n.d.). *Windenergie: techniek*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.ode.be/index.php?option=com\\_content&task=view&id=93&Itemid=355](http://www.ode.be/index.php?option=com_content&task=view&id=93&Itemid=355)

<sup>170</sup> Neyens, J., Devriendt, N., Dewilde, L., Dooms, G. en Nijs, W. (2004). *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deeloprapport: potentieelanalyse*. Brussel: viWTA. Blz. 91



**Figuur 46: Voorbeelden van kleine windturbines**

Figuur A: Eyetap (2004). *Urban Turbine*. Geraadpleegd april, 2007 op <http://www.eyetap.org/urbine/>

Figuur B: Neyens, J., Devriendt, N., Dewilde, L., Dooms, G. en Nijs, W. (2004). *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deelrapport: potentieelanalyse*. Brussel: viWTA. Blz. 94

Figuur C: Renewable Energy Access (2007). *Urban Turbine*. Geraadpleegd april, 2007 op <http://www.renewableenergyaccess.com/rea/news/productstory?id=45976>

Veel verschillende types worden ontwikkeld en aangepast voor specifieke situaties. ‘Er zijn turbines die er net zo uitzien als de grote turbines, alleen in een kleiner formaat, met een mast van 10 tot 15 meter. Er zijn ook turbines die er uitzien als een windvaan, met een langwerpige gondel en met twee tot veel wieken of bladen. Er zijn ook kleine turbines ontwikkeld die gewoon aan de nok, tegen een zijgevel kunnen bevestigd worden. Al deze turbines hebben een horizontale draaiaxis. Daarnaast zijn er ook turbines ontwikkeld met wieken, schoepen of bladen die rond een verticale as draaien. Deze turbines zijn meestal minder groot. Het zijn dikwijls prachtig uitzierende kunstwerken die bovendien duurzame energie produceren. Bepaalde types zijn langwerpig en speciaal ontwikkeld voor de installatie op platte daken van industriële gebouwen.’<sup>171</sup>

Kleine windturbines zitten nog in een experimenteel stadium. Ze zijn slechts hier en daar zichtbaar in ons landschap. In stedelijke gebieden hebben ze een groter visuele impact en ook de kans op een groter nimby-verschijnsel. Momenteel is er nog geen certificering voor dit type turbines en is de stedenbouwkundige regelgeving nog niet voorzien op integratie van windturbines in de gebouwde omgeving. In Vlaanderen zijn talrijke particulieren geïnteresseerd in kleine windturbines, maar de overheid ligt dwars.

Een Nederlandse studie kwam tot een technisch realiseerbaar potentieel van 5 W/m<sup>2</sup> oppervlak. Er werd rekening gehouden met beschikbare technologie en afstandregels. ‘Op een

<sup>171</sup> ODE-Vlaanderen (n.d.). *Windenergie: techniek*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.ode.be/index.php?option=com\\_content&task=view&id=93&Itemid=355](http://www.ode.be/index.php?option=com_content&task=view&id=93&Itemid=355)

geschat dakoppervlak van 800 km<sup>2</sup> levert dat een geïnstalleerd technisch potentieel op van ongeveer 4.000 MW in 2020.<sup>172</sup>

### 3.1.5. Potentieel windenergie in België - Vlaanderen

Dit subhoofdstuk geeft een overzicht van enkele belangrijke potentieelstudies met betrekking tot windenergie. Deze studies werden geselecteerd omwille van het aan bod komen van de randvoorwaarde ‘beschikbare geografische ruimte’. In deze rapporten werd nog geen rekening gehouden met het KB uit 2004 waarin de toegewezen zone voor offshore windenergie ontwikkelingen in België geraamd werd op 267,2 km<sup>2</sup>.

#### ***A. ‘De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen’ ODE-Vlaanderen<sup>173</sup>***

Deze studie uit 1997 maakt een raming van het technisch realiseerbaar potentieel. Het is gebaseerd op een aantal verschillende potentieelstudies. Er wordt zowel een inschatting gemaakt op korte termijn gedaan voor 2000 als een inschatting van het potentieel op middellange-termijn, voor 2020.

- Het rapport schat een totaal opgesteld vermogen van 2.100 MW, wat overeenkomt met een jaarlijkse productie van 5.700 GWh. Daarvan wordt 1.200 GWh op land geproduceerd. Er wordt geen exact vermogen vermeld voor windturbines op land maar uit eigen berekeningen wordt een waarde van circa 440 MW gevonden.
- Het grootste potentieel voor windenergie bevindt zich op zee. De studie bekomt een beschikbare oppervlakte van 328 km<sup>2</sup> binnen de Belgische territoriale wateren. Het gaat om gebieden die een kleinere diepte hebben dan 20 m en meer dan 10 km van de kust verwijderd zijn. Samengevat betreft het dus zandbanken die verder voor geen andere activiteiten in gebruik worden genomen. Op de totaal beschikbare ruimte zou 2.500 MW aan vermogen kunnen geïnstalleerd worden, waarvan 1.500 MW (4.500 GWh/j) tegen 2020.

---

<sup>172</sup> Neyens, J., Devriendt, N., Dewilde, L., Dooms, G. en Nijs, W. (2004). *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deelrapport: potentieelanalyse*. Brussel: viWTA. Blz. 93

<sup>173</sup> ODE-Vlaanderen (1997). *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen. Eindrapport ter voorbereiding van een "Duurzaam Energieplan voor Vlaanderen"*. Leuven. Blz. 47

Opmerking: Het is niet realistisch aan te nemen dat de vooropgestelde 328 km<sup>2</sup> volledig zal worden volgebouwd met windmolenparken.

Wanneer we het ruimtegebruik van het windmolenpark op de Thorntonbank in acht nemen kan er op deze oppervlakte tot 3.740 MW<sup>174</sup> opgewekt worden. Dit is inclusief de veiligheidsmarge.

### ***B. 'Hernieuwbare en alternatieve energieën' Ampère Commissie<sup>175</sup>***

Dit rapport is deels gebaseerd op voorgaande studie en een studie uitgevoerd door Tractebel Energy Engineering (TEE). TEE beschouwt alle locaties die overeen komen met het een windsnelheid boven de 7 m/s op 50 m hoogte als economisch interessant.

- Volgens TEE is het potentieel voor België ongeveer 380 km<sup>2</sup> op land, wat overeenkomt met ongeveer 4.000 MW. Met potentieel is bedoeld alle oppervlakte die niet a priori ongeschikt is door gebruik of bestemming en waarvoor de afstand tot het hoogspanningsnet niet te groot is. Wanneer verder nog rekening wordt gehouden met beperkende voorwaarden (die niet nader verklaard worden) kan slechts een fractie van de volledige 380 km<sup>2</sup> gebruikt worden. De oppervlakte die men toen bruikbaar achtte was 43 km<sup>2</sup>. Dit correspondeert met ongeveer 500 MW.
- Voor het bepalen van het potentieel aan windenergie op zee wordt rekening gehouden met afstanden vanaf 10 tot 30 km tot de kustlijn. Het TEE schatte hiermee de oppervlakte op 124 km<sup>2</sup> waarop ongeveer 1.000 MW kan worden geïnstalleerd.

De Ampère-commissie raamde in een besluit de mogelijkheden voor de verdere uitbreiding van windenergie in België tegen 2020:

- Op land: 500 tot 1.000 MW met de productie van 1.200 tot 2.400 GWh/jaar
- Op zee: 1.000 MW met de productie van 3.000 GWh/jaar

---

<sup>174</sup> Er wordt uitgegaan van windturbines van 5 MW.

<sup>175</sup> Ampère Commissie (2000). *Rapport van de Commissie voor de analyse van de productiemiddelen van elektriciteit en de reoriëntatie van de energievectoren - Sectie F1: Hernieuwbare en Alternatieve Energieën*. Brussel.

### C. 'Optimal Offshore developments in Belgium' Belgian Science Policy<sup>176</sup>

Deze studie gaat er over een potentieel te bepalen voor offshore windenergie op de Belgische Continentale Shelf (BCS). Het gaat om het fysisch, technisch en economisch potentieel gebaseerd op technologische evoluties.

- **Maximaal Potentieel**

Niet alle ruimte van het BCS is geschikt voor de plaatsing van windturbines. Wanneer rekening gehouden wordt met lokaties voor andere activiteiten, socio-economische beperkingen en beperkingen om de natuur te beschermen, bekomt men een maximaal beschikbare oppervlakte van 2.101 km<sup>2</sup>. Een gemiddelde waarde van 10 MW/km<sup>2</sup> zou dan een potentieel geïnstalleerd vermogen geven van 21 GW.

- **Economisch Potentieel**

Het zijn slechts de plaatsen met een maximale diepte van 20 m en gelegen op minder dan 40 km van de kustlijn die economisch kunnen worden geëxploiteerd. Dit komt overeen met 15% tot 30% van de oppervlakte en een potentieel vermogen tussen 2,1 en 4,2 GW.

- **Potentieel 2004**

Het geïnstalleerde vermogen wordt ook gelimiteerd door de beperkingen van het elektriciteitsnet. Het elektriciteitsnet in België liet in 2004 niet meer dan 0,5 GW aan geïnstalleerd vermogen toe. Grote investeringen zijn nodig om meer offshore windenergievermogen te installeren.

**Tabel 18: Overzicht van het offshore windenergie potentieel**

Bron: Van Hulle, F., Le Bot, S., Cabooter, Y., Soens, J., Van Lanker, V., Deleu, S., Henriët, J.P., Palmers, G., Dewilde, L., Driesen, J., Van Roy, P. en Belmans, R. (2004). *Optimal Offshore Wind Energy Developments in Belgium*. Brussel: Belgian Science Policy.

	Geïnstalleerd Vermogen (GW)	Elektriciteitsproductie (TWh/j)	Beperkingen
Maximum Potentieel	21	66 - 79	Rekening houden met plaatsbeperkingen
Economisch Potentieel	2,1 - 4,2	6,3 – 12,6	15% tot 30% van alle gebieden met een maximale waterdiepte van 20 m en een

<sup>176</sup> Van Hulle, F., Le Bot, S., Cabooter, Y., Soens, J., Van Lanker, V., Deleu, S., Henriët, J.P., Palmers, G., Dewilde, L., Driesen, J., Van Roy, P. en Belmans, R. (2004). *Optimal Offshore Wind Energy Developments in Belgium*. Brussel: Belgian Science Policy.

			maximale afstand van 40 km tot de kust
Potentieel 2004	0,5	-	Rekening houden met de beperkingen van het elektriciteitsnet; O.a. in de aanlandingspunten Zeebrugge en Slijkens

#### **D. Besluit**

Verschillende studies hebben ongelijke resultaten afhankelijk van de gekozen randvoorwaarden en beperkingen. De beschikbare ruimte voor het plaatsen van windturbines is en blijft een essentiële voorwaarde. De schaarste van geschikte ruimte zal in de toekomst alleen nog maar toenemen.

## **3.2 Zonne-energie**

### **Inleiding**

De zon is een onuitputtelijke en overvloedige bron van energie. Deze zonne-energie kan omschreven worden als een verzamelnaam voor verschillende manieren die gebruik maken van de straling (licht) en de warmte van de zon. De zonne-energie die iedere dag op de aarde afkomt is veel meer dan de mens zou kunnen verbruiken. Een klein deel daarvan is winbaar, maar zelfs dat is voldoende om iedereen van energie te voorzien. Het is dan ook van groot belang aan deze energiebron de nodige aandacht te besteden.

#### **3.2.1. Algemeen**

##### **3.2.1.1. De zon als energiebron**

De zon straalt energie uit onder de vorm van elektromagnetische golven, anders gezegd stralingsenergie. Deze straling ontwikkelt zich als gevolg van kernfusiereacties in de kern van de zon. Aan de bovenste lagen van de atmosfeer is de totale instraling en dus het energetisch vermogen gelijk aan  $1.353 \text{ W/m}^2$ , hetgeen de zonneconstante genoemd wordt.<sup>177</sup> ‘De zon straalt in één jaar 170.000 TW energie naar de aarde, waarvan 140.000 TW door de atmosfeer en het wolkendek dringt. De zon levert daarmee in één uur tijd evenveel energie als alle

<sup>177</sup> De Vos, A. (1996). *Zonnecellen*. Gent: Elis. Blz. 19

mensen samen in een heel jaar verbruiken (16 TW).<sup>178</sup> ‘De hoeveelheid jaarlijks ingestraalde zonne-energie varieert per regio van meer dan 2.000 kWh per vierkante meter in de Sahara tot circa 1.000 kWh per vierkante meter in meer gematigde streken zoals West-Europa en Noord-Amerika.’<sup>179</sup> De hoeveelheid ontvangen zonne-energie op een bepaalde plaats op het oppervlak op een bepaald tijdstip hangt dus enerzijds af van de breedtegraad. Hoe hoger de breedtegraad, hoe minder energie de zonnestraling levert per vierkante meter. Anderzijds hangt de hoeveelheid energie ook af van de toestand van de atmosfeer. De veel voorkomende bewolking verstrooit de zonnestraling tot diffuus licht. Dit licht maakt jaarlijks circa 60% uit van de totale zoninstraling.

Er kan gesteld worden dat de beschikbaarheid en het aanbod van zonne-energie variabel is. Het is enerzijds onvoorspelbaar wegens de afhankelijkheid van de graad van bewolking; anderzijds voorspelbaar omwille van het feit dat voor een waarnemer de positie ten opzichte van de zon meetkundig kan berekend worden, en dit in functie van de dag en het uur.<sup>180</sup> In België is er een aanzienlijk verschil tussen opbrengsten in de winter en in de zomer. Ook de dag-nacht cyclus is een fundamenteel probleem waardoor het rendement veel verlaagt.

België ontvangt jaarlijks gemiddeld zo’n 1.000 kWh/m<sup>2</sup> ingestraalde zonne-energie, waarbij de kustgebieden iets meer zonnestraling ontvangen dan de landinwaarts gelegen gebieden. Er dient natuurlijk rekening te worden gehouden met het feit dat deze waarden gelden voor een plat vlak. De Europese Commissie<sup>181</sup> produceert kaarten met de verdeling van de straling over het oppervlak. Onderstaande kaart bevat gemiddelde waarden uit de periode 1981 tot 1990 (kWh/m<sup>2</sup>) en toont de jaarlijkse som van de globale irradiatie ontvangen door optimaal gehelde PV-modules in België. Dit wil dus zeggen dat de oppervlakte van België voorgesteld wordt door PV-panelen die allen optimaal zijn georiënteerd om zo veel mogelijk energie te leveren. Met andere woorden, om een maximum aan elektriciteit te genereren op iedere locatie, dient de optimale hoek te worden gekozen.

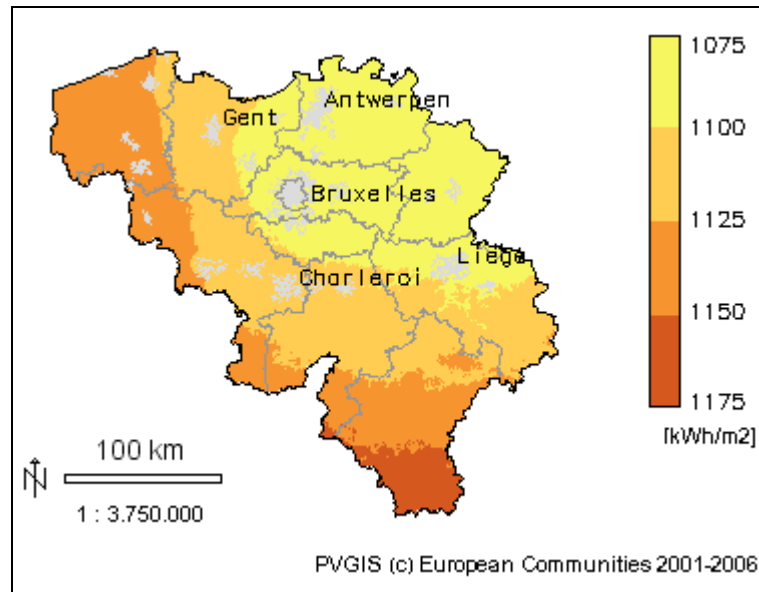
---

<sup>178</sup> De Decker, K. (2007). Energie in overvloed – Waarom kerncentrales op aarde bouwen als er een nucleaire reactor aan de hemel hangt? *Knack*, 37 (4), 69-70.

<sup>179</sup> Bouwmeester, H. en Van Ijken, J. (1999). *Bouwen op de zon: Nieuwland, Amersfoort: eindeloze energie in een duurzame wijk = Building solar suburbs: renewable energy in a sustainable city*. Boxtel: Aeneas. Blz. 20

<sup>180</sup> ODE-Vlaanderen (2004). *Elektriciteit uit zonlicht*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 4

<sup>181</sup> Europese Commissie (2007). *Solar Electricity Action SOLAREC*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://re.jrc.ec.europa.eu/solarec/index.htm>



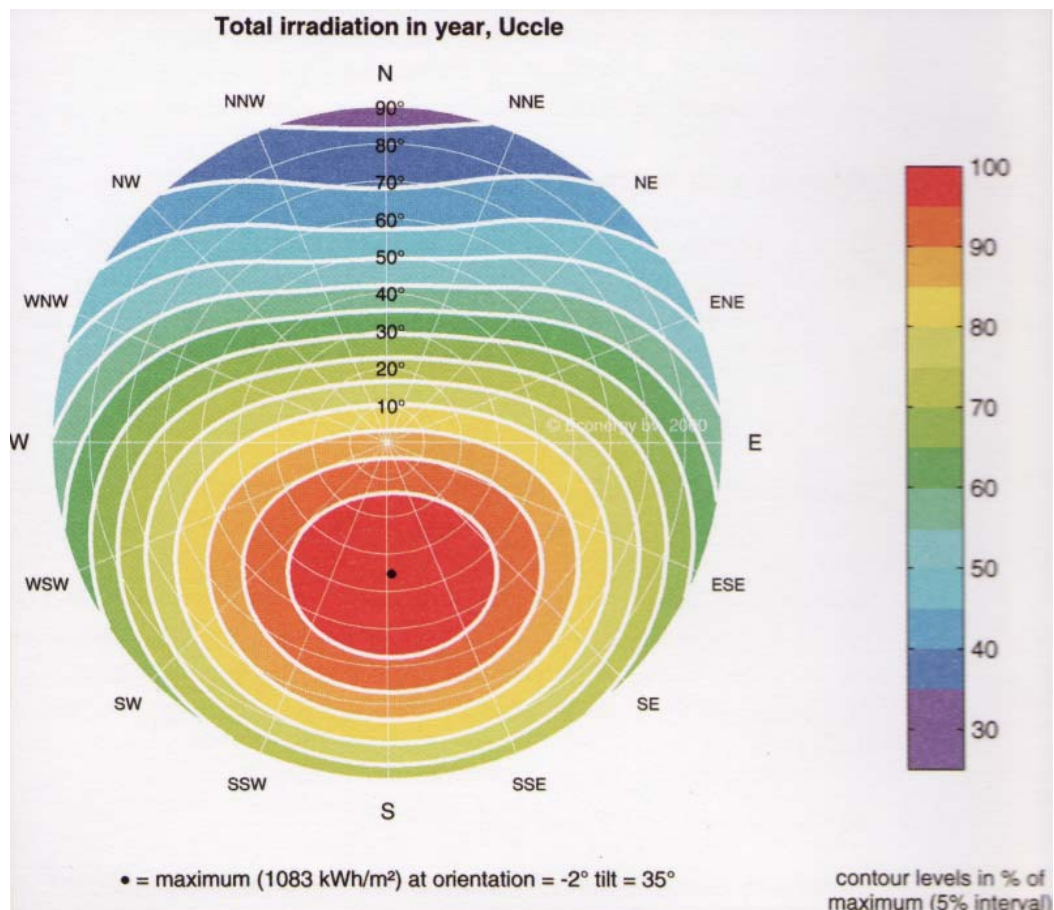
**Figuur 47: Jaarlijkse som van de globale irradiatie ontvangen door optimaal gehelde PV-modules in België**

Bron: Suri, M. (2006). Geraadpleegd maart, 2007 op <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/pv/>

Om zoveel mogelijk zonlicht op te vangen moeten zonnepanelen opgesteld zijn volgens een optimale hellingshoek en oriëntatie. Dit kan aan de hand van een instralingdiagram. Dit diagram geeft de gemiddelde jaarlijkse zoninstraling weer voor de verschillende vaste hellingshoeken en oriëntaties, uitgedrukt in percentages van de maximale instraling.<sup>182</sup> Zo is af te lezen dat de instraling op een plat vlak (het middelpunt van de cirkel) tussen de 85% en 90% van de maximale instraling bedraagt. Per kleurband ligt de totale lichtinstraling 5% lager.

<sup>182</sup> ODE-Nederland (n.d.). *Zelf zonnestroom opwekken*. Utrecht. Blz. 13





**Figuur 48: Instralingdiagram Ukkel**

Bron: ODE-Vlaanderen (2004). *Bouwen met fotovoltaïsche zonne-energie*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

In België (Ukkel) wordt het maximum,  $1.083 \text{ W/m}^2$ , bereikt onder een hoek van  $35^\circ$  en  $2^\circ$  oostelijk van het zuiden.

### 3.2.1.2. Toepassingen van zonne-energie

Zonne-energie kan in drie verschillende toepassingen ingedeeld worden:

- Fotovoltaïsche zonne-energie

Door het gebruik van fotovoltaïsche zonnecellen<sup>183</sup> kan zonlicht worden omgezet in elektriciteit. Deze cellen worden geschakeld in modules die stroom leveren aan batterijen of via omvormers stroom op het net zetten. Een fotovoltaïsch systeem is dus het geheel van modules en randapparatuur.

<sup>183</sup> In veel studies wordt gewerkt met de termen PV of PV-cellen. Deze afkortingen zijn afgeleid van het Engelse woord 'photovoltaic'.

*'In een fotovoltaïsche zonnecel wordt licht rechtstreeks omgezet in elektriciteit door absorptie van licht in een halfgeleidermateriaal. Daardoor worden elektronen vrijgemaakt, die aan de belichte voorkant door een fijnmazig metalen vingerstructuur verzameld worden. Aan de achterkant zorgt een volle metalen rugplaat ervoor dat de elektronen in de positief geladen onderste laag van de zonnecel geleid worden. Bij lichtinval ontstaat er tussen de voor- en achterzijde van de zonnecel een elektrische spanning, die gebruikt kan worden voor het voeden van een batterijlader, een lamp,...'*<sup>184</sup>

Siliciumdioxide vormt de basisgrondstof voor de productie van zonnecellen. Men haalt dit silicium uit kwartssteen en kwartzand dat dan verder gezuiverd wordt tot monokristallijn, polykristallijn en amorf silicium. Door verdere studie en onderzoek worden nu ook reeds andere materialen gebruikt en dit zal in de toekomst alleen nog maar toenemen.

- Thermische zonne-energie

Zonlicht kan ook omgezet worden in warmte. Dergelijke thermische omzetting gebeurt door een zonnecollector, die bestaat uit een metalen plaat die heet wordt als de zon er op schijnt. Zonnecollectoren warmen zo, met het invallende licht via een transportvloeistof, het watervolume in een opslagvat op waaruit het warm water dan kan worden afgetapt voor sanitaire doeleinden. Hoe groter het oppervlak van de collectoren, hoe meer er kan verwarmd worden. Zo kunnen ze ook voor ruimteverwarming gebruikt worden door warmteopslag in vloer- of wandverwarming. Zonnecollectoren kunnen zelfs elektriciteit opwekken via een stoomturbine. Hiervoor zijn wel hoge-temperatuur-collectoren nodig waarbij het zonlicht via spiegels of lenzen wordt geconcentreerd op een warmtetransporterende vloeistof.<sup>185</sup> (zie verder CSP) Wegens te weinig direct zonlicht komen dergelijke systemen komen in België niet voor.

- Passieve zonne-energie

Zonlicht kan ook zonder tussenkomst van installaties een deel van de warmtebehoefte verzorgen. Door een goed uitgekend bouwkundig ontwerp kan optimaal gebruik

---

<sup>184</sup> Ecopower (n.d.). *Fotovoltaïsche zonne-energie*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.ecopower.be/fotovolt.htm>

<sup>185</sup> ODE-Vlaanderen (2004). *Elektriciteit uit zonlicht*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 5

worden gemaakt van daglicht of kan rechtstreekse bezonning bijdragen aan de ruimteverwarming. De belangrijkste zaken hierbij zijn: een goede isolatie, zuidelijk georiënteerde beglazing, kleine openingen naar het noorden en zonnewering.

Deze toepassingen van het gebruik van zonne-energie werken zowel bij diffuus als direct zonlicht. Bij directe instraling is de opbrengst natuurlijk wel hoger.

**Tabel 19: Zonne-instraling en diffuus deel bij verschillende weersomstandigheden**

Bron: ODE-Vlaanderen (2004). *Elektriciteit uit zonlicht*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 5

Weersomstandigheden	Globale straling (W/m <sup>2</sup> )	Diffuus deel (%)
Blauwe hemel, zonder wolken	600 - 1.000	10 - 20
Mistig bewolkt (zon zichtbaar als gele schijf)	200 - 400	20 - 80
Zwaar bewolkt	50 - 150	80 - 100

### 3.2.1.3. Implementatie van zonnestroom

‘Zonnecellen worden aan elkaar geschakeld in modules, en modules op hun beurt in serie (of parallel) geschakeld en gekoppeld aan batterijen of via omvormers aan het stroomnet.’<sup>186</sup> Fotovoltaïsche systemen kunnen principieel in twee groepen ingedeeld worden.

#### 3.2.1.3.1. Autonome systemen

Autonome fotovoltaïsche systemen produceren elektriciteit voor elektriciteitsverbruikers die niet gekoppeld zijn aan het elektriciteitsnet; ze staan dus niet in verbinding met andere energiesystemen. Dergelijke modules kunnen enerzijds rechtstreeks aangesloten worden voor elektriciteitsverbruikers, anderzijds zijn modules vaak verbonden via batterijen. Bij zonnige omstandigheden levert de PV-module rechtstreeks elektriciteit aan de energieverbruiker, de rest wordt dan opgeslagen in de accu. Bij lage zoninstraling kan dan energie geput worden uit de batterij.<sup>187</sup>

Autonome systemen worden gebruikt in mobiele toepassingen en op plaatsen waar andere stroombronnen moeilijk voorhanden zijn. In onze streken worden ze bijvoorbeeld gebruikt voor praatpalen, verlichtingspalen, zeeboeien, weidedrinkbakken en parkeerautomaten. Ook particulieren maken gebruik van autonome systemen bijvoorbeeld in hun caravans en zomerhuisjes.

<sup>186</sup> ODE-Vlaanderen (2004). *Elektriciteit uit zonlicht*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 14

<sup>187</sup> ODE-Vlaanderen (2004). *Elektriciteit uit zonlicht*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 4



**Figuur 49: Voorbeelden autonome PV-installaties**

Bron: ODE-Vlaanderen (2004). *Bouwen met fotovoltaïsche zonne-energie*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

Nog voorbeelden van kleinschaligere toepassingen zijn horloges, zaklantaarns, radio's en mobiele telefoons. In meer zuidelijker streken in de wereld kunnen toepassingen zoals waterpompen, communicatiestations en koelsystemen rendabel worden gebruikt.<sup>188</sup> 'In ontwikkelingslanden biedt autonome zonnestroom vaak een oplossing, omdat op het platteland zelden een openbaar elektriciteitsnet aanwezig is. Zonnepanelen leveren er elektriciteit aan woningen, ziekenhuizen en scholen. Inmiddels hebben een aantal miljoen huishoudens wereldwijd een solar home system, een klein autonoom zonne-energiesysteem dat bestaat uit een zonnepaneel, een accu en een laadregelaar waarmee stroom wordt opgewekt voor onder meer verlichting, koeling, televisie en radio.'<sup>189</sup>

### 3.2.1.3.2. Netgekoppelde systemen

Netgekoppelde systemen leveren elektriciteit aan het net. Dit gebeurt met een spanningsomvormer om de door de zonnepanelen geleverde gelijkspanning om te zetten in de (230 volt, 50 Hz) wisselspanning van het elektriciteitsnet. Momenteel groeit het aantal netgekoppelde systemen sterk. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen decentrale en gecentraliseerde systemen.

<sup>188</sup> Bouwmeester, H. en Van Ijken, J. (1999). *Bouwen op de zon: Nieuwland, Amersfoort: eindeloze energie in een duurzame wijk = Building solar suburbs: renewable energy in a sustainable city*. Boxtel: Aeneas. Blz. 21

<sup>189</sup> van Roekel, A. (2002). Zonnestroom, duurzame energie voor morgen. *Eos*, 19 (12), 60-66.

Bij decentrale netgekoppelde zonnestroominstallaties zijn de zonnepanelen veelal geplaatst in de bebouwde omgeving. De panelen zijn aangesloten op het net, zodat het gebruik van elektriciteit los kan staan van de productie door de zonnepanelen.

Gecentraliseerde netgekoppelde systemen komen ook voor. Voorbeelden van gecentraliseerde zonnecentrales bevinden zich in Duitsland en Spanje.

De TU Delft publiceerde in 2006 een interessante studie over de realisatie van grootschalige thermische zonnecentrales als onderdeel van de Europese energievoorziening.<sup>190</sup> Er bestaan momenteel een groot aantal plannen voor CSP-installaties (Concentrated Solar Power) maar de meeste projecten bevinden zich echter nog in de ontwikkelingsfase. Het gaat hierbij om projecten die enkele honderden MW zouden produceren. In Californië staat reeds een thermische centrale die tot 350 MW elektriciteit levert.

**Tabel 20: Implementatie van zonne-energie**

Bron: Bouwmeester, H. en Van Ijken, J. (1999). *Bouwen op de zon: Nieuwland, Amersfoort: eindeloze energie in een duurzame wijk = Building solar suburbs: renewable energy in a sustainable city*. Bostel: Aeneas. Blz. 21

Potentieel voor zonne-energie-toepassingen		
Autonoom	Huishoudelijk	Solar home systemen, vakantiehuisjes, caravans, ...
	Niet-huishoudelijk	Praatpalen, verlichtingspalen, lichtboeien, elektrische stuwen en sluizen, weidedrinkbakken, parkeerautomaten, waterpompen, navigatiebakens, communicatiestations, koelsystemen, ...
Netgekoppeld	Decentraal	Zonnepanelen op daken en langs gevels van huizen en gebouwen, ...
	Centraal	Zonnestroomcentrales en ondersteuningspunten voor versterking van distributienetten.

### 3.2.1.4. Milieu-impact

Kan er gesteld worden dat zonne-energie ‘een onuitputtelijke bron van schone energie’ is? Het antwoord hierop is niet eenduidig ‘ja’. Na de installatie van de zonnecellen komen geen negatieve milieuaspecten meer aan bod. Zo komen geen CO<sub>2</sub> of andere schadelijke gassen vrij, is er geen lawaaihinder en worden geen afvalstoffen meer geproduceerd. Maar toch zijn de minder gunstige milieueffecten ten gevolge van de productie van zonne-energie niet onbelangrijk. Het produceren van zonnecellen vergt veel energie. De energierugverdiendtijd

<sup>190</sup> Bouwmans, I., Carton, L.J., Dijkema, G.P.J., Stikkelman, R.M. en de Vries, L.J. (2006). *Concentrated Solar Power als onderdeel van de Europese energievoorziening - De realisatie van grootschalige zonnecentrales: mogelijkheden, obstakels en advies*. TU Delft.

wordt in België geschat op maximum 5 jaar, dit op een levensduur van minimum 25 jaar. Daarnaast wordt bij de productie van zonnecellen ook gebruik gemaakt van toxische materialen en worden schadelijke stoffen zoals cadmium en arseen geproduceerd. Er wordt gesteld dat ‘voor de huidige productieprocessen van zonnecellen en de daarbij vereiste energie de equivalente CO<sub>2</sub>-uitstoot niet onbelangrijk en gevoelig hoger is dan bij windenergie, waterkracht of nucleaire centrales’.<sup>191</sup>

### 3.2.2. Belang van zonne-energie

#### 3.2.2.1. PV

Het huidig geïnstalleerde vermogen voor energieproductie door fotonvoltaïsche omzetting is zeer beperkt. Op wereldschaal bedroeg dit vermogen eind 2005 zo'n 5,4 GW, waarvan 3,1 GW aan het net gekoppeld en 2,3 GW autonoom. Duitsland en Japan zijn de wereldleiders op vlak van deze technologie.<sup>192</sup>

Ook de Europese fotonvoltaïsche markt vertoont de laatste jaren sterke groeicijfers. In 2005 werd 645,3 MWp<sup>193</sup> aan zonnecellen geïnstalleerd in de E.U. 25, tegenover 546 MWp in 2004. Dit stelt een groei van 18,2% voor. De totaal geïnstalleerde capaciteit eind 2005 kwam neer op 1.793,5 MWp. Dit totaal vermogen kan 600.000 gezinnen voorzien van elektriciteit wanneer er van uit gegaan wordt dat een gezin een jaarlijks gemiddeld verbruik heeft van ongeveer 3.000 kWh.

**Tabel 21: Overzicht vermogen fotonvoltaïsche energie in de Europese Unie in 2004-2005 (MWp)**

Bron: Euroobserver (2006). *Photovoltaic energy barometer*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro172.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro172.pdf)

Landen	2004			2005*		
	Netgekoppeld	Autonoom	Totaal	Netgekoppeld	Autonoom	Totaal
Duitsland	908,000	26,000	934,000	1508,000	29,000	1537,000
Spanje	23,800	13,700	37,500	42,500	15,200	57,700
Nederland	44,300	4,800	49,100	46,300	4,900	51,200
Italië	18,500	12,500	31,000	23,000	13,000	36,000
Frankrijk	8,000	18,300	26,300	13,800	18,867	32,667
Luxemburg	23,200	0,000	23,200	23,266	0,000	23,266
Oostenrijk	16,493	2,687	19,180	18,223	3,207	21,430
Verenigd Koninkrijk	7,386	0,778	8,164	9,786	0,878	10,664

<sup>191</sup> D'haeseleer, W. (Ed.) (2005). *Energie vandaag en morgen: Beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven: Acco. Blz. 223

<sup>192</sup> REN21 (2006). *Renewables, global status report, update 2006*. Paris: REN21 Secretariat, Washington, DC: Worldwatch Institute. Blz. 17

<sup>193</sup> Wp = Wattpeak. Het piekvermogen is het maximale elektrische vermogen dat een zonnepaneel kan leveren. Dat maximum wordt bereikt bij volle zon.

Griekenland	1,257	3,288	4,545	1,412	4,032	5,444
Zweden	0,194	3,672	3,866	0,254	3,922	4,176
Finland	0,193	3,509	3,702	0,223	3,779	4,002
Portugal	0,500	2,200	2,700	0,600	2,700	3,300
Denemarken	2,035	0,255	2,290	2,335	0,305	2,640
<b>België</b>	<b>1,210</b>	<b>0,053</b>	<b>1,263</b>	<b>1,712</b>	<b>0,053</b>	<b>1,765</b>
Cyprus	0,255	0,090	0,345	0,490	0,135	0,625
Tsjechië	0,269	0,147	0,416	0,380	0,150	0,530
Polen	0,069	0,165	0,234	0,085	0,232	0,317
Ierland	0,000	0,100	0,100	0,000	0,300	0,300
Slovenië	0,006	0,094	0,100	0,118	0,098	0,216
Hongarije	0,055	0,083	0,138	0,085	0,091	0,176
Slowakije	0,000	0,060	0,060	0,000	0,060	0,060
Lithouwen	0,000	0,017	0,017	0,000	0,017	0,017
Malta	0,006	0,000	0,006	0,015	0,000	0,015
Letland	0,000	0,004	0,004	0,000	0,005	0,005
Estland	0,000	0,002	0,002	0,000	0,003	0,003
<b>Totaal</b>	<b>1055,728</b>	<b>92,504</b>	<b>1148,232</b>	<b>1692,584</b>	<b>100,934</b>	<b>1793,518</b>

\* voorlopig

Opmerkelijk is de capaciteit in Duitsland. Dit land verstevigde in 2005 zijn leiderspositie met een vooruitgang van 603 MWp geïnstalleerd vermogen ten opzichte van 2004. Daarnaast vertonen ook Spanje en Italië sterke vooruitgang. Ons buurland Nederland doet het ook zeer sterk op deze markt.

In België was eind 2005 een capaciteit van 1,765 MWp aanwezig. Ten opzichte van 2004 betekende dit een stijging van meer dan 49%. Dit lijkt groot, maar deze inbreng is verwaarloosbaar klein vergeleken met het totale energieverbruik. Het opgestelde vermogen in Vlaanderen (80%) overstijgt wel de capaciteit van deze in Wallonië (20%).

De meest recente cijfers in verband met het geïnstalleerd vermogen van PV systemen in Vlaanderen zijn afkomstig van het VREG.<sup>194</sup> Volgens deze organisatie is het geïnstalleerd vermogen eind 2006 gelijk aan 3.673 kWp. Tijdens 2006 werd 1.150 kWp op woningen geplaatst, het gaat om kleine systemen tot 3 kWp. Ook werd 600 kWp op bedrijven bevestigd, dit zijn grotere systemen die gaan van 10 kWp tot 330 kWp. Teruggerekend naar eind 2005 stellen we een cumulatief opgesteld vermogen van 1.923 kWp vast. Dit is een hogere capaciteit dan wordt weergegeven in bovenstaande tabel. De verklaring hiervoor kan gezocht worden bij de voorlopige aard van de gegevens.

<sup>194</sup> Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) (2007, 5 februari). *Productie-installaties in Vlaanderen waarvoor groenestroomcertificaten worden toegekend*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/19497.pdf>

### 3.2.2.2. Thermisch

Het gebruik van thermische zonne-energie voor elektriciteitsproductie is op dit ogenblik beperkt. Zo was er op wereldvlak eind 2005 400 MW geplaatst.

Thermisch gebruik van zonne-energie voor verwarming van gebouwen en water bedroeg eind 2005 88 GWth, wat overeenstemt met 125 miljoen m<sup>2</sup>.<sup>195</sup> De totaal geïnstalleerde capaciteit voor thermische zonne-energie in de Europese Unie werd geschat op 12.087,3 MWth voor 2005. Ook hier neemt Duitsland het voortouw met 4.976,3 MWth, dit is equivalent met een ruimtegebruik van 7.109.000 m<sup>2</sup>.

Wanneer de oppervlakte of de geïnstalleerde capaciteiten worden bekeken ten opzichte van het aantal inwoners, dan geeft dit een goede weergave van de ontwikkeling van deze zonenergetische sector. Deze indicator (zie tabel op de volgende pagina) geeft aan dat Cyprus leider is met 642,2 m<sup>2</sup> per 1.000 inwoners, gevolgd door Oostenrijk en Griekenland.<sup>196</sup>

**Tabel 22: Cumulatieve capaciteit van zonnecollectoren geïnstalleerd in de E.U. in 2005 (MWth) en Thermale capaciteit in werking per 1000 inwoners in 2005 (m<sup>2</sup>/ 1000 inw. en kWth/1000 inw.)**  
Euroobserver (2006). *Solar thermal barometer*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro175.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro175.pdf)

Landen	2005		m <sup>2</sup> /1000 inwoners	kWth/1000 inwoners
	m <sup>2</sup>	MWth		
Duitsland	7.109.000	4.976,3	85,9	60,1
Griekenland	3.047.200	2.133,0	274,3	192,0
Oostenrijk	2.598.785	1.819,1	319,1	223,4
Frankrijk*	913.868	639,7	14,5	10,2
Spanje	547.036	382,9	13,2	9,2
Nederland	536.229	375,4	32,7	22,9
Italië	529.711	370,8	9,2	6,4
Cyprus	500.200	350,1	642,2	449,5
Denemarken	347.520	243,3	64,1	44,9
Zweden	257.864	180,5	28,6	20,0
Verenigd Koninkrijk	201.160	140,8	3,4	2,4
Portugal	125.200	87,6	11,8	2,7
Polen	122.240	85,6	3,2	2,2
Slovenië	106.300	74,4	53,2	37,2
<b>België</b>	<b>79.549</b>	<b>55,7</b>	<b>7,6</b>	<b>5,3</b>
Tsjechië	68.780	48,1	11,9	4,7
Slowakije	64.170	44,9	0,1	8,3
Hongarije	49.000	34,3	4,8	3,4
Malta	19.360	13,6	47,9	33,5
Finland	14.250	10,0	2,7	1,9
Luxemburg	13.400	9,4	29,4	20,6

<sup>195</sup> REN21 (2006). *Renewables, global status report, update 2006*. Paris: REN21 Secretariat, Washington, DC: Worldwatch Institute. Blz. 17

<sup>196</sup> Euroobserver (2006). *Solar thermal barometer*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro175.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro175.pdf)



Ierland	11.096	7,8	2,7	1,9
Letland	2.650	1,9	1,2	0,8
Lithouwen	2.150	1,5	0,6	0,4
Estland	820	0,6	0,6	0,4
<b>Totaal E.U. 25</b>	<b>17.267.538</b>	<b>12.087,3</b>	<b>37,6</b>	<b>26,3</b>

\* inclusief overzeese departementen

### 3.2.3. Ruimtegebruik

Het gebruik van zonne-energie zal in de toekomst nog stijgen. Het is daarom belangrijk ruimte te reserveren om deze energie op te vangen en te benutten. Het voordeel van zonnepanelen is dat ze gemakkelijk op daken en gevels kunnen worden geplaatst, waardoor ze de schaarse ruimte goed gebruiken. Woonhuizen, appartementsgebouwen en kantoorgebouwen, maar ook bijvoorbeeld geluidswallen en beglaasde daken zijn ideaal voor de opstelling van zonnepanelen. Door zonnepanelen op platte daken te zetten worden ze aan het oog onttrokken. Tegenwoordig vormt de integratie van zonnepanelen een uitdaging voor architecten.<sup>197</sup> Het vergt creativiteit en variatie wanneer men zonne-energiesystemen wil laten samengaan met gebouwen en publieke infrastructuur. De Nederlandse Prof. Sinke stelt dat ‘de ruimte voor zonnestroom een proces is dat een basis legt voor een multidisciplinaire en gezamenlijke opzet van een programma voor grootschalig gebruik van zonne-energie’.<sup>198</sup>

Het benutten van zonne-energie in Vlaanderen gaat in de meeste gevallen om meervoudig ruimtegebruik. De netto ruimtebehoefte is dus vrijwel nul. Ook voor transport is geen bijkomend ruimtegebruik nodig.



**Figuur 50: Ruimtegebruik door zonnecellen**

Bron: ODE-Vlaanderen (2004). *Bouwen met fotovoltaïsche zonne-energie*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

<sup>197</sup> van Roekel, A. (2002). Zonnestroom, duurzame energie voor morgen. *Eos*, 19 (12), 60-66.

<sup>198</sup> Sinke, W.C. (2001). *Ruimte voor zonnestroom is een programma voor grootschalig gebruik van zonne-energie*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.zonnestroom.net/studie.html>

Wel is er indirect ruimtegebruik. Het gaat om de schittering als gevolg van zonnereflectie op de panelen.<sup>199</sup> PV-systemen hebben meestal geen bewegende delen en zijn stil. Omwille van deze kenmerkende eigenschappen kan zonne-energie op een aanvaardbare en aantrekkelijke wijze aangewend worden.<sup>200</sup>

Indien 0,16 % van het landoppervlak op de wereld zou bedekt worden met zonnepanelen, die een rendement hebben van 10%, levert dat 20 TW aan energie op; daarmee kan de huidige mondiale energiebehoefte ruimschoots worden bevredigd. Zo'n 240.000 km<sup>2</sup> zou dan ingenomen worden door zonnepanelen. Dat is ongeveer acht keer de oppervlakte van België.<sup>201</sup>

Ook België zou al de nodige energie uit de zon kunnen halen. Daarvoor zouden 600 tot 900 km<sup>2</sup> zonnepanelen moeten geplaatst worden, dit is 2 à 3% van ons grondgebied.<sup>202</sup>

Zoals eerder vermeld bedraagt het aanbod van zonne-instraling in Vlaanderen gemiddeld circa 1.000 kWh/m<sup>2</sup>/jaar. Met een oppervlakte van 13.522 km<sup>2</sup> geeft dit een fysisch potentieel van 13.522 TWh/jaar. Momenteel worden met PV-systemen rendementen gehaald van 5 tot 25%. Als men heel Vlaanderen zou bedekken met fotonvoltaïsche cellen zou men per jaar 670 tot 3.380 TWh per jaar kunnen opwekken. Uiteraard is dit niet mogelijk.

In Vlaanderen is het geïnstalleerd vermogen van fotonvoltaïsche zonne-energie installaties waarvoor een groenestroomcertificaat werd toegekend ongeveer 3.673 kWp.<sup>203</sup> Volgens het Vlaams Energieagentschap is de oppervlakte afhankelijk van het rendement van de zonnepanelen. Een fotonvoltaïsche installatie van 1 kWp heeft dus een oppervlakte van

---

<sup>199</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 81

<sup>200</sup> Sinke, W.C. (n.d.). *De zon als bron: een verkenning van feiten en ficties*. Geraadpleegd maart 2007 op <http://www.zonnestroom.net/04vers250401.html>

<sup>201</sup> De Decker, K. (2007). Energie in overvloed – Waarom kerncentrales op aarde bouwen als er een nucleaire reactor aan de hemel hangt? *Knack*, 37 (4), 69-70.

<sup>202</sup> De Decker, K. (2007). Energie in overvloed – Waarom kerncentrales op aarde bouwen als er een nucleaire reactor aan de hemel hangt? *Knack*, 37 (4), 69-70.

<sup>203</sup> Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) (2007, 5 februari). *Productie-installaties in Vlaanderen waarvoor groenestroomcertificaten worden toegekend*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/19497.pdf>

ongeveer 7,5 tot 10 vierkante meter.<sup>204</sup> Daaruit kan berekend worden dat de oppervlakte die in Vlaanderen ingenomen wordt door zonnepanelen tussen 27.548 m<sup>2</sup> en 36.730 m<sup>2</sup> ligt.

Eind 2005 stond in België reeds 79.549 m<sup>2</sup> aan zonnecollectoren opgesteld, met een gezamenlijk vermogen van 55,7 MWth. Dit komt neer op 7,6 m<sup>2</sup> per 1.000 inwoners.<sup>205</sup>

Wanneer in de toekomst de techniek van CSP-installaties meer en meer toegepast zal worden, zal men rekening moeten houden met het ruimtegebruik daarvan. Enerzijds vergen de panelen een zeker direct ruimtebeslag. Ze worden meestal geplaatst in gebieden waar voldoende direct zonnestraling aanwezig is en de ruimte niet intensief voor iets anders wordt gebruikt. Het meest gunstige perspectief voor elektriciteitsopwekking biedt zich aan voor landen en regio's in aride klimaatzones welke zich tussen de 20<sup>ste</sup> en 40<sup>ste</sup> breedtegraad bevinden, zoals Noord-Afrika, het Midden-Oosten, het zuidwesten van de Verenigde Staten.<sup>206</sup> In België ligt de toepassing niet voor de hand als gevolg van de lage directe instraling van zonlicht.

Met oog op de toekomst zou CSP een middel kunnen zijn om energie in te voeren maar aangaande voorzieningszekerheid is CSP voor België minder gunstig dan hernieuwbare energieopties zoals fotovoltaïsche zonne-energie en windenergie. De duidelijke oorzaak daarvan is dat bij CSP de productie niet gesitueerd zal zijn op ons eigen grondgebied, maar waarschijnlijk ergens in Noord-Afrika. Daardoor worden we opnieuw afhankelijk van andere landen. Daarnaast heeft dit vanzelfsprekend ook een grote ruimtelijke impact wegens het transport van de elektriciteit over grote afstand. 'Het ziet er niet naar uit dat transmissie van elektriciteit over grote afstanden van grootschalige CSP-installaties vóór 2020 tot stand zal komen.' Daarvoor zijn de kosten veel te hoog en het rendement te laag.<sup>207</sup>

### 3.2.4. Potentieel PV in België - Vlaanderen

De aandacht in dit subhoofdstuk gaat uit naar wat men in de toekomst verwacht van PV systemen. Dit is de meest aantrekkelijke aanwending van zonne-energie. Vlaanderen heeft

---

<sup>204</sup> Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *Fotovoltaïsche zonnepanelen*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.energiesparen.be/duurzame\\_energie/zon/pv.php](http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/zon/pv.php)

<sup>205</sup> Euroobserver (2006). *Solar thermal barometer*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro175.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro175.pdf)

<sup>206</sup> Lako, P. en de Vries, H.J. (2006). *Stand van de techniek van elektriciteitsopwekking op basis van zonthermische centrales*. ECN. Blz. 4

<sup>207</sup> Lako, P. en de Vries, H.J. (2006). *Stand van de techniek van elektriciteitsopwekking op basis van zonthermische centrales*. ECN. Blz. 4

momenteel een capaciteit van 3,7 MWp. In een aantal studies die handelen over duurzame energie wordt het potentieel van zonne-energie in ons land besproken. Hier volgen een aantal van de belangrijkste.

Het rapport van de Ampère-commissie<sup>208</sup> bekamt op basis van enkele andere studies waarden voor België die variëren van 10 tot 20 TWh/jaar. Hierbij werd rekening gehouden dat in de praktijk slechts een gering percentage van het oppervlak aan zonne-infrastructuur kan besteed worden. De nota wijst er op dat dit potentieel veruit het grootste potentieel is van hernieuwbare energie in België en een significant deel zou kunnen zijn van de totale productie.

Een andere studie die vermeld wordt in het rapport van de Ampère-commissie behandelt het 'potentieel van PV systemen in OECD landen'. De nota stelt een totale geschikte oppervlakte voor PV-systemen van 173 km<sup>2</sup>. Het gaat om 43 km<sup>2</sup> daken van woningen, 20 km<sup>2</sup> kantoren, 14 km<sup>2</sup> industriegrond en 96 km<sup>2</sup> braakgrond. In het totaal bekamt men dan een geïnstalleerd vermogen van 17.300 MWp.

ODE-Vlaanderen schat in hun rapport het praktisch realiseerbaar potentieel voor 2020 450 GWh/jaar.<sup>209</sup> Daartoe dient aan twee cruciale voorwaarden te zijn voldaan. Enerzijds is er een betere mogelijkheid voor energieopslag nodig, anderzijds is er stijgende nood aan onderzoek en ontwikkelingen.<sup>210</sup>

In het ODE-rapport verwijst men naar een studie van de 'Europese Fotovoltaïsche Industrie Federatie' (EPIA). Deze studie vindt voor België een oppervlakte van 77 km<sup>2</sup> aan gunstig georiënteerde daken en gevels. Het gaat om 43 km<sup>2</sup> op huizen, 20 km<sup>2</sup> op kantoren, scholen e.d. en 14 km<sup>2</sup> op industriële gebouwen. Met inbegrip van nog een aantal andere randvoorwaarden bekamt men een technisch realiseerbaar potentieel van op gebouwen in België van 11,55 TWh/jaar.<sup>211</sup>

---

<sup>208</sup> Ampère Commissie (2000). *Rapport van de Commissie voor de analyse van de productiemiddelen van elektriciteit en de reoriëntatie van de energievectoren - Sectie F1: Hernieuwbare en Alternatieve Energieën*. Brussel.

<sup>209</sup> ODE-Vlaanderen (1997). *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen. Eindrapport ter voorbereiding van een "Duurzaam Energieplan voor Vlaanderen"*. Leuven. Blz. 47

<sup>210</sup> D'haeseleer, W. (Ed.) (2005). *Energie vandaag en morgen: Beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven: Acco. Blz. 228

<sup>211</sup> ODE-Vlaanderen (1997). *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen. Eindrapport ter voorbereiding van een "Duurzaam Energieplan voor Vlaanderen"*. Leuven. Blz. 47

In het rapport ‘Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen’ wordt een belangrijk werkstuk voor Vlaanderen, de VLAZON-studie, belicht. Hierin wordt het technisch potentieel ingeschat. Het gaat er om dat de beschikbare oppervlakte in het Vlaams Gewest voor deze studie beperkt gehouden wordt tot de beschikbare oppervlakte op gebouwen. Er bestaan natuurlijk ook nog andere mogelijkheden om fotovoltaïsche panelen te installeren. Het gaat over geluidsschermen, parkeerterreinen, sportstadia, enz., die zouden kunnen benut worden. Er wordt berekend dat ongeveer 20% van de geschikte dakoppervlakte kan genegeerd worden door concurrerende (thermische) zonne-energie toepassingen. Daardoor wordt het technisch potentieel voor fotovoltaïsche zonne-energie op gebouwen in Vlaanderen ingeschat op 12 TWh/jaar.<sup>212</sup>

Het is duidelijk te stellen dat er geen eenduidig antwoord bestaat op de vraag wat het potentieel aan zonne-energie is voor België of Vlaanderen. De waarden zijn afhankelijk van de randvoorwaarden die in de verschillende studies werden meegerekend. Wel kan gesteld worden dat de oppervlakte en dus het ruimtegebruik opnieuw een doorslaggevende factor is.

### 3.3. Waterkracht

#### Inleiding

Waterkrachtcentrales maken gebruik van de kinetische energie van water om deze om te zetten in elektriciteit. ‘Dit kan gebeuren met stromend water in waterlopen of met vallend water waarbij de potentiële energie ten gevolge van de zwaartekracht eerst wordt omgezet in kinetische energie.’<sup>213</sup> Er wordt een onderscheid gemaakt tussen kleinschalige en grootschalige waterkracht. Men spreekt van kleinschalige waterkracht als het vermogen kleiner is dan 10 MW.<sup>214</sup>

Onder het begrip waterkracht verstaat men zowel waterloop- en stuwdamcentrales, maar ook pompcentrales. Zo’n pompcentrale, ook wel een accumulatiecentrale met oppomping genoemd, kan niet geklasseerd worden als hernieuwbare energiebron. Dit komt daardat er water tijdens de daluren naar een hoger gelegen reservoir wordt opgepompt. Tijdens de piekuren, wanneer de vraag naar stroom het grootst is, stroomt het water opnieuw naar

---

<sup>212</sup> Neyens, J., Devriendt, N., Dewilde, L., Dooms, G. en Nijs, W. (2004). *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deelrapport: potentieelanalyse*. Brussel: viWTA. Blz. 49

<sup>213</sup> D’haeseleer, W. (Ed.) (2005). *Energie vandaag en morgen: Beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven: Acco. Blz. 219

<sup>214</sup> 10 MW is de norm aanvaard door ESHA, de Europese Commissie en UNIPeDE.

beneden en drijft de turbines aan. Bij dit oppompen wordt elders opgewekte elektriciteit gebruikt.

### 3.3.1. Belang van waterkracht

#### 3.3.1.1. Algemeen

Wereldwijd is waterkracht een belangrijke bron van energie. Het aandeel van waterkracht in de totale primaire energievoorziening werd voor 2004 geschat op 2,2% of 2.808 TWh.<sup>215</sup> Het Worldwatch Institute raamt het geïnstalleerd vermogen eind 2005 op 816 GW, waarvan 66 GW kleine waterkracht.<sup>216</sup> De bijdrage van waterkracht in de energievoorziening daalt, als gevolg van de sterke opkomst van andere duurzame energiebronnen, zoals windenergie, zonne-energie en biomassa, en van het stagnerende waterkrachtvermogen. De belangrijkste landen voor de productie van waterkracht zijn China (354 TWh), Canada (341 TWh) en Brazilië (321 TWh).

In Europa wordt ongeveer 15 à 20 % van de elektriciteit opgewekt door hydro-installaties. Vooral in Noorwegen, IJsland, Oostenrijk, Zwitserland en Zweden is dit het geval. In Noorwegen (109 TWh) verzorgt waterkracht voor 98,8% de huishoudelijke vraag naar elektriciteit.<sup>217</sup>

Het gebruik van waterkracht in België is zeer beperkt. Het productievermogen eind 2004 bedroeg 1.414,6 MW. Daarvan is ruim 1.300 MW geïnstalleerd in de pompcentrales van Coe en Boussu, waar de geproduceerde energie dus niet als hernieuwbaar mag beschouwd worden. In 2004 haalde men 1,9% van de netto elektriciteitsproductie of 1.560,5 GWh uit hydraulische kracht. Daarvan werd 1.250,1 GWh geproduceerd in pompcentrales en 310,4 GWh in waterloop- en stuwdamcentrales.<sup>218</sup> Deze laatste zijn vooral in Wallonië gesitueerd.

---

<sup>215</sup> International Energy Agency (2006). *Key World Energy Statistics*. Parijs

<sup>216</sup> REN21 (2006). *Renewables, global status report, update 2006*. Paris: REN21 Secretariat, Washington, DC: Worldwatch Institute. Blz. 17

<sup>217</sup> International Energy Agency (2006). *Key World Energy Statistics*. Parijs

<sup>218</sup> Beroepsfederatie van de Elektriciteitssector (BFE) (2005). *Statistieken 2004*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.synergriid.be/index.cfm?PageID=16830#>

### 3.3.1.2. Geïnstalleerd vermogen in Vlaanderen

In Vlaanderen bevinden zich slechts enkele waterkrachtcentrales. Het potentieel is marginaal als gevolg van het vlakke karakter en de beperkte hoogteverschillen in onze streken.

Het opgesteld vermogen aan groene stroom uit waterkracht bedroeg 863 kWe op 05/02/2007.<sup>219</sup> Onderstaande tabel geeft een overzicht van de belangrijkste waterkrachtcentrales in Vlaanderen.

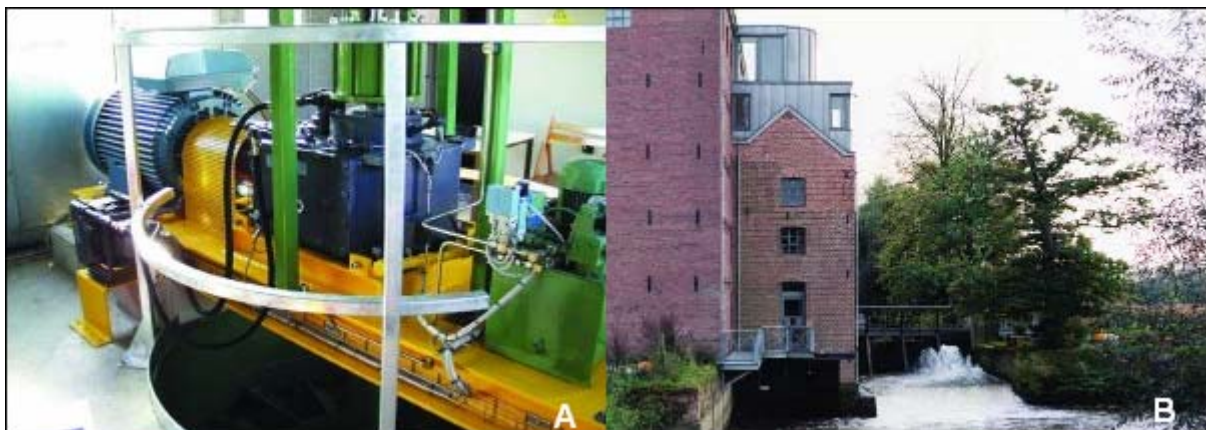
**Tabel 23: Waterkracht in Vlaanderen, geïnstalleerd vermogen (toestand op 02/08/2006)**

Bron: Couder, J., Verbruggen, A. en Brouwers, J. (2006). *Milieurapport Vlaanderen MIRA, Achtergronddocument, Sector Energie*. Vlaamse Milieumaatschappij.

Producent	Locatie	Installatie	Totaal Vermogen (kWe)
Aspiravi	Bocholt	Waterkrachtcentrale Bocholt	60
Aspiravi	Lozen	Waterkrachtcentrale Lozen	100
Ecopower	Overijse	Watermolen Overijse	12
Ecopower	Rotselaar	Waterkrachtcentrale Molen Van Doren	88
Ecopower	Hoegaarden	Waterkrachtcentrale Grote Molen	20
Ecopower	Leuven	Waterkrachtcentrale Sluismolen	33
De Scheepvaart NV	Wijnegem	Waterkrachtcentrale De Scheepvaart	330
<b>Totaal:</b>			<b>643</b>
		40 kleine watermolens (a)	285

(a) Gebaseerd op een schatting van het aantal maalvaardige watermolens met een eigen elektriciteitsopwekking.

De tabel bevat nog geen gegevens over de laatste maanden van 2006 en het begin van 2007. Wel worden tegen 2008 nog twee waterkrachtcentrales (Ecopower) verwacht, in Gent (28 kWe) en in Aarschot (18 kWe).



**Figuur 51: Waterkrachtcentrales in Vlaanderen**

A: Turbine van de waterkrachtcentrale van Bocholt

B: Molen van de waterkrachtcentrale van Rotselaar

Bron: Vlaams Energieagentschap (n.d.). Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.energiesparen.be/school/installaties/installatie.php?loc=bocholt>

<sup>219</sup> Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) (2007, 5 februari). *Productie-installaties in Vlaanderen waarvoor groenestroomcertificaten worden toegekend*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/19497.pdf>

### 3.3.1.3. Potentieel in Vlaanderen

Vlaanderen heeft wegens het kleine verval van de rivieren slechts alleen maar potentieel voor kleinschalige waterkracht. In 1996 heeft de vzw TSAP een inventarisatie van het waterkrachtpotentieel voor Vlaanderen opgemaakt.

Enerzijds zijn klassieke molensites bestudeerd waar zich waterkrachtinstallaties bevinden. Anderzijds werden bestaande stuwen bestudeerd waar, op twee uitzonderingen na, geen waterkrachtinstallaties aanwezig zijn, maar waar de mogelijkheid tot exploitatie bestaat.<sup>220</sup>

#### A. Molensites

Vlaanderen bezit op vandaag ongeveer 315 watermolens. De meeste van deze molens hebben een valhoogte tussen 1 en 3 meter. Deze hoogte is zelden meer dan 5 meter. Onderstaande tabel geeft per provincie een overzicht en het totaal van de beschikbare vermogens weer. De meeste molens hebben vermogens die kleiner zijn dan 5 kW. Het totaal voor Vlaanderen is 4.106 kW.<sup>221</sup>

**Tabel 24: Aantal molens in de verschillende Vlaamse provincies verdeeld naar beschikbaar vermogen\*, en totaal potentieel per provincie**

Bron: ODE-Vlaanderen (1997). *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen. Eindrapport ter voorbereiding van een "Duurzaam Energieplan voor Vlaanderen"*. Leuven. Blz. 86

	< 5 kW	5 - 10 kW	10 - 15 kW	15 - 40 kW	> 40 kW	Totaal potentieel vermogen (kW)
Antwerpen	7	1	-	2	5	<b>380</b>
Limburg	48	33	13	12	4	<b>1.126</b>
Oost-Vlaanderen	63	3	5	-	-	<b>361</b>
Vlaams-Brabant	64	23	1	18	7	<b>1.877</b>
West-Vlaanderen	4	-	-	-	2	<b>362</b>
Totaal aantal molens <b>Totaal potentieel in Vlaanderen</b>	186	60	19	32	18	<b>4.106</b>

\* Het vermogen is berekend uit de valhoogte en het debiet

#### B. Stuwen

De tabel geeft een overzicht van de bestaande stuwen waar exploitatie van waterkracht reeds gebeurt (slechts 1 geval) of mogelijk is. Stuwen met een valhoogte minder dan 1 m zijn niet opgenomen in de inventarisatie.

<sup>220</sup> ODE-Vlaanderen. (1999). Kleine waterkracht. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 6

<sup>221</sup> ODE-Vlaanderen. (1999). Kleine waterkracht. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 7



Wederom heeft de meerderheid van de molens een valhoogte variërend tussen de 1 en 3 meter. Valhoogtes groter dan 5 m komen slechts op 8 locaties voor. Dit zijn de stuwen op het Albertkanaal (valhoogte 10 m).

Onderstaande tabel toont de verdeling van de stuwen naar beschikbaar vermogen maar geeft ook het totaal installeerbaar vermogen per provincie weer. De meeste locaties hebben een vermogen tussen 100 kW en 500 kW. Het totaal voor Vlaanderen is 10,83 MW.<sup>222</sup>

**Tabel 25: Verdeling van stuwen naar vermogen, en totaal potentieel vermogen voor stroomopwekking met waterkracht per provincie**

Bron: ODE-Vlaanderen. (1999). Kleine waterkracht. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 8

	< 100 kW	100 - 500 kW	> 500 kW	Totaal nog niet gebruikt vermogen per provincie (kW)
Antwerpen	2	10	3	2.495
Limburg	1	2	6	5.030
Oost-Vlaanderen	1	8	1	1.635
Vlaams-Brabant	4	2	-	590
West-Vlaanderen	1	2	1	1.080
<b>Totaal</b>	9	24	11	10.830

De studie van de TSAP behandelt dus het potentieel aan kleine waterkracht in Vlaanderen. Er is ook nog een mogelijk om een grote waterkrachtcentrale op te richten op de Maas. Er zou een stuw van 10 MW kunnen gebouwd worden in de buurt van Maaseik.

**Tabel 26: Overzicht van de gekende technisch realiseerbare uitbreidingsmogelijkheden voor waterkracht in Vlaanderen**

Bron: ODE-Vlaanderen. (1999). Kleine waterkracht. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 6-8

	Potentieel (MW)	Mogelijke elektriciteitsproductie (GWh/jaar)
Molens 40-...kW	4,1	16,4
Stuwen 50-...kW	10,8	43,3
Stuw 10 MW	10	40
<b>Totaal</b>	<b>24,9</b>	<b>91,7</b>

### C. Getijdencentrale

Niet alleen met behulp van rivieren en kanalen kan waterkracht opgewekt worden, ook de zee heeft wat te bieden. In zeeën en oceanen schuilt een enorme kracht in de getijden, golfslag en thermische gradiënten.

In Vlaanderen zou kunnen gebruik gemaakt worden van getijdenverschillen. De bewegingsenergie van het wassende (vloed) en zich terugtrekkende (eb) water in de monding

<sup>222</sup> ODE-Vlaanderen. (1999). Kleine waterkracht. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 6

van een rivier of baai kan gebruikt worden voor de opwekking van elektriciteit in zogenaamde getijdencentrales. In Vlaanderen bestaat de mogelijkheid tot de installatie van zo'n centrale op de spuikom van Oostende. Deze zou ongeveer 3,4 MW kunnen opleveren.<sup>223</sup>

### 3.3.2. Ruimtegebruik

Waterkrachtcentrales zelf zijn beperkt qua omvang. Verder kan bij grootschalige waterkracht ruimte ingenomen worden door stuwdammen die de breedte van de rivier of het stuwmeer overspannen. Dit kan ingrijpende gevolgen hebben op sociaal en ecologische vlak. Stuwmeren kunnen geklasseerd worden als indirect ruimtegebruik.

Vaak moeten voor de aanleg van deze meren dorpen, landbouwgrond en bossen onder water gezet worden. Waterkracht heeft dus enorme invloed op kostbare natuurgebieden zoals in Canada of Brazilië. In de waterkrachtcentrales van Balbina en Sobradinho realiseert men een vermogen van minder dan 2,5 kW per overstroomde hectare, terwijl met een PV-systeem men daar per 25m<sup>2</sup> ongeveer hetzelfde vermogen zou kunnen opwekken. Daarmee zou men 250.000 hectare tropisch regenwoud kunnen redden.<sup>224</sup>

Anderzijds kunnen stuwdammen en stuwmeren ook benut worden voor irrigatie, waterbeheersing, recreatie en transport over water. Spanje en Portugal zijn in belangrijke mate afhankelijk van stuwdammen voor hun landbouw en drinkwatervoorziening.<sup>225</sup>

#### *Milieu-impact*

Kleinere waterkrachtcentrales hebben slechts een geringe negatieve invloed op het milieu. Indien men dergelijke installaties voorziet van passagemogelijkheden voor vissen is er aan het gebruik van kleine waterkracht weinig of geen negatieve milieu-impact verbonden.<sup>226</sup> Het zijn vooral de zeer grote waterkrachtcentrales die negatieve milieueffecten hebben en dus een ingrijpende verstoring van de menselijke samenleving, de fauna en de flora kunnen veroorzaken.

---

<sup>223</sup> ODE-Vlaanderen. (1999). Kleine waterkracht. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 9

<sup>224</sup> ODE-Vlaanderen (1997). *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen. Eindrapport ter voorbereiding van een "Duurzaam Energieplan voor Vlaanderen"*. Leuven. Blz. 8

<sup>225</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 82

<sup>226</sup> ODE-Vlaanderen (1997). *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen. Eindrapport ter voorbereiding van een "Duurzaam Energieplan voor Vlaanderen"*. Leuven. Blz. 9

Een wereldbekend voorbeeld is de Drie-Kloven-Dam in de rivier de Yangtze in China. De bouw van deze grootste waterkrachtcentrale (18.200 MW) van de wereld heeft impact op heel wat diverse ecosystemen. Het woongebied van meer dan 1,2 miljoen mensen, de leefomgeving van tal van fauna en flora en 333.000 hectare vruchtbare landbouwgrond kwamen onder water te staan. Het vruchtbaar slib zal in de toekomst door de dam worden tegengehouden waardoor de kwaliteit van de landbouwgronden stroomafwaarts sterk zal dalen. Ook de kwaliteit van het water en het grondwaterniveau kan beïnvloed worden.



**Figuur 52: Drie-Kloven-Dam (China)**

Bron: A: Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.denniscox.com/lightbox.htm>

B Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.chinaodysseytours.com>

D'haeseleer stelt: 'Het is dan ook belangrijk bij planning van een waterkrachtproject de invloed op natuur en milieu grondig te bestuderen en maatregelen te nemen om nadelige effecten te beperken.'<sup>227</sup>

In hoeverre vorming van methaangas, als gevolg van rottingsprocessen in de stilstaande stuwmeren, een wezenlijk probleem is, is onbekend. Methaangas draagt bij aan de versterking van het broeikaseffect.

### 3.4. Biomassa

#### Inleiding

Hout, planten en mest vormen in veel ontwikkelingslanden nog steeds de belangrijkste energiebron voor verwarming, verlichting en culinaire doeleinden. Ook in de geïndustrialiseerde landen was dit ooit het geval. Door gebruik van fossiele brandstoffen kon aan de stijgende vraag naar energie worden voldaan. Het laatste decennium wordt in de

---

<sup>227</sup> D'haeseleer, W. (Ed.) (2005). *Energie vandaag en morgen: Beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven: Acco. Blz. 220

Westerse landen de aandacht opnieuw meer en meer op de energiewinning uit hout en plantenmateriaal gevestigd.<sup>228</sup>

### 3.4.1. Algemeen

#### 3.4.1.1. Wat is biomassa?

Het begrip biomassa is veelomvattend. Het is niet altijd duidelijk wat onder deze term kan worden verstaan. In het algemeen wordt biomassa gedefinieerd als ‘alle organische materialen en hernieuwbare grondstoffen van plantaardige of dierlijke oorsprong die bestemd zijn voor industriële toepassingen (niet-voeding gebruik) of voor energieopwekking (warmte, elektriciteit, motorbrandstof)’<sup>229</sup>

In het kader van de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen hanteert de Vlaamse regering de volgende definitie voor biomassa: ‘producten, bestaande uit plantaardige materialen of delen daarvan van landbouw of bosbouw, die kunnen worden gebruikt om de energie-inhoud terug te winnen, evenals de volgende afvalstoffen:

- plantaardig afval van land- en bosbouw;
- plantaardig afval van de voedingsmiddelenindustrie;
- vezelachtig plantaardig afval afkomstig van het sorteren, ziften en wassen bij de rauwe pulp en de papierproductie;
- houtafval, met uitzondering van houtafval dat als gevolg van een behandeling met houtbeschermingsmiddelen of door het aanbrengen van een beschermingslaag gehalogeneerde organische verbindingen dan wel zware metalen kan bevatten en met inbegrip van dergelijk houtafval afkomstig van bouw- en sloopafval;
- kurkafval.<sup>230</sup>

Het is niet altijd vanzelfsprekend een consensus te bereiken rond wat onder biomassa kan en mag geplaatst worden.

---

<sup>228</sup> Ceulemans, R. en Deraedt, W. (1997). Snelgroeiende energie. *Natuur & Techniek*, 65 (10), 22-31.

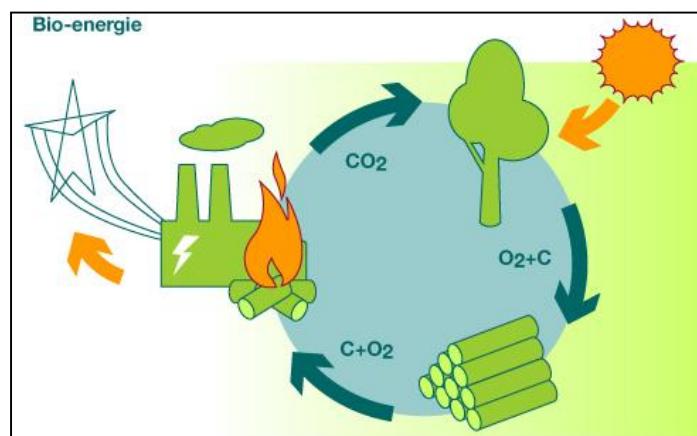
<sup>229</sup> ODE-Vlaanderen (2004). *Biomassa*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 4

<sup>230</sup> ODE-Vlaanderen (2004). *Biomassa*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 4

### 3.4.1.2. Wat is bio-energie?

Het inzetten van biomassa voor de opwekking van duurzame energie is een recente ontwikkeling.

Bio-energie is de hernieuwbare energie die vrijgemaakt wordt uit biomassa. Via fotosynthese zetten groene planten lichtenergie om in biochemische energie. De atmosferische CO<sub>2</sub> wordt in plantaardig materiaal (biomassa) vastgelegd. Bij dit proces komt zuurstof vrij (O<sub>2</sub>).<sup>231</sup> ‘Het gebruik van biomassa is in principe CO<sub>2</sub>-neutraal; planten nemen dus CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer op en bij verbranding komt die CO<sub>2</sub> weer vrij. Dit in tegenstelling tot de verbranding van fossiele brandstoffen, waarbij koolstof dat gedurende miljoenen jaren is opgeslagen in korte tijd weer in de atmosfeer belandt.’<sup>232</sup>



**Figuur 53: Bio-energie**

Bron: Milieu Centraal (2007). Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.duurzame-energie.nl/images/algemeen/DE-Tekening\\_Bio-energie.jpg](http://www.duurzame-energie.nl/images/algemeen/DE-Tekening_Bio-energie.jpg)

In het proces om energie uit biomassa op te wekken zijn globaal gezien drie stappen te onderscheiden:

- de productie van de biomassa (energieteelten en organische afvalstromen);
- het oogsten, drogen, transporteren en de opslag van het materiaal;
- de omzetting in bio-energie.<sup>233</sup>

Biomassa is dus afkomstig van twee principieel verschillende bronnen:

- Energieteelten:
  - Bosbouwproducten, korte-omloop hout (vb. populieren, wilgen)

<sup>231</sup> Garcia Cidat, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D. (2003). *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Publicatie 1. Gontrode: Steunpunt Duurzame Landbouw. Blz. 1

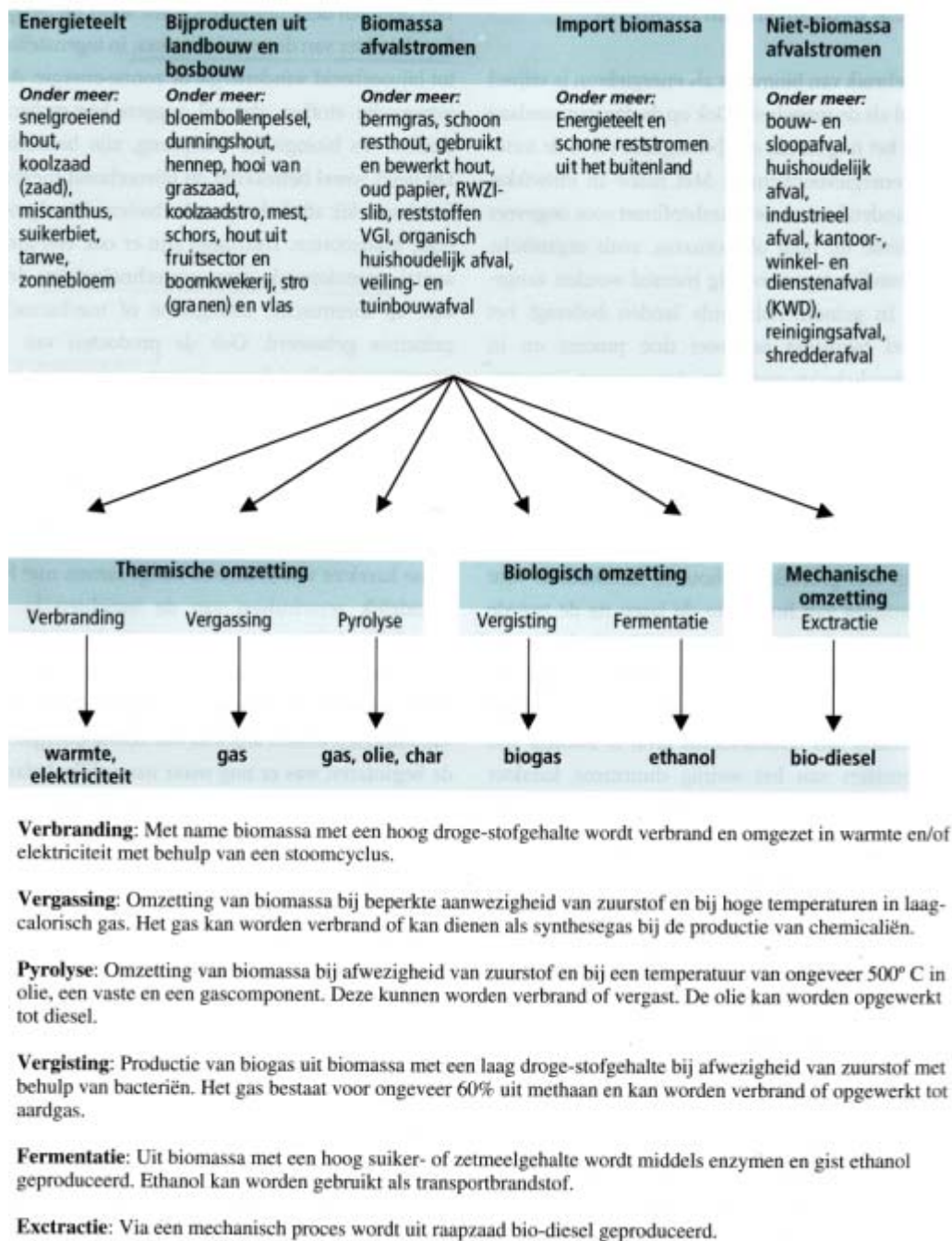
<sup>232</sup> Ceulemans, R. en Deraedt, W. (1997). Snelgroeïende energie. *Natuur & Techniek*, 65 (10), 22-31. Blz. 23

<sup>233</sup> ODE-Vlaanderen (2004). *Biomassa*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 6

- Energiegewassen (vb. koolzaad, miscanthus)
- Micro – algen
- Afvalproducten:
  - Landbouw (vb. mest)
  - Industrie (vb. waterzuiveringsslib)
  - Huishoudens (vb. organisch afval)

Biomassa kan op veel verschillende manieren worden omgezet in bruikbare energievormen zoals elektriciteit, warmte, biogas, biodiesel en bio-ethanol.

Onderstaand kader geeft een overzicht van de verschillende grondstoffenstromen, omzettingstechnologieën en producten.



**Figuur 54: Biomassa: grondstoffen, conversie en producten**

Bron: Verbong, G., Van Selm, A., Knoppers, R. en Raven, R. (2001). *Een kwestie van lange adem – De geschiedenis van duurzame energie in Nederland*. Boxtel: Aeneas. Blz. 238

### 3.4.1.3. Mestbewerking

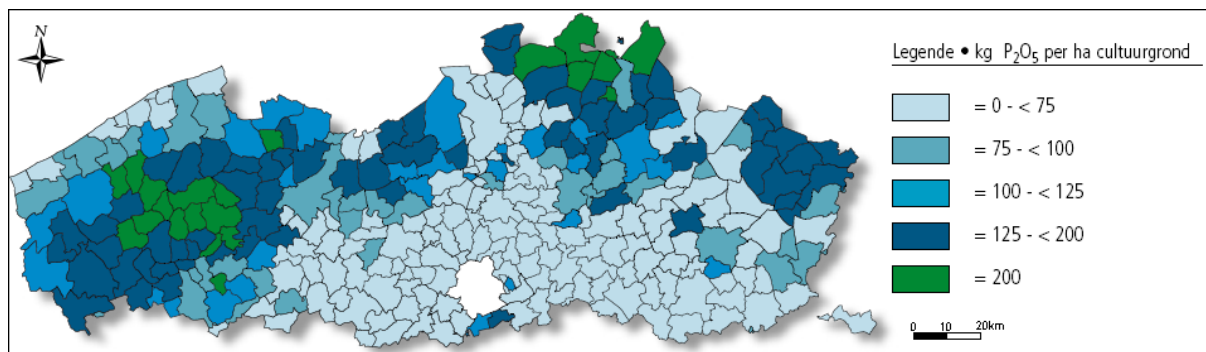
#### 3.4.1.3.1. Aanleiding

Eind jaren '60 kwam het maatschappelijk bewustzijn rond het thema 'milieuvuiling' tot stand. De mestproblematiek was daar één van de belangrijkste elementen van. 'De

mestoverschotten in Vlaanderen waren een gevolg van de explosieve groei van het veebestand, de concentratie van de veebedrijven, de wijziging in de bedrijfsstructuur, het verlies aan landbouwgrond en het toenemend gebruik van kunstmest.' Ze veroorzaken niet alleen een afvalprobleem, maar veroorzaakten ook bodem- en waterverontreiniging.<sup>234</sup>

Vele acties en plannen hadden niet de gewenste uitkomst. Het mestprobleem blijft na meer dan een decennium mestbeleid actueel en een complete oplossing is er nog niet. Vlaanderen kampt met een zodanig groot mestoverschot dat de uitspreiding ervan op akkers en weiden niet langer volstaat.<sup>235</sup> Volgens de nitraatrichtlijn is Vlaanderen volledig afgebakend als kwetsbare zone. Mestbe- en verwerking dient dus een belangrijke piste te vormen om het mestoverschot te elimineren.<sup>236</sup>

De mestoverschotten kunnen op kaart worden voorgesteld. Onderstaande figuur geeft de productie van fosfaten uit dierlijke mest weer. Fosfaten komen naast nitraten veelvuldig voor in mest en zijn bijgevolg een goede indicator voor mestoverschotten. De gemeentes met de grootste productie van meststoffen hebben dus te kampen met mestoverschot. Deze situeren zich voornamelijk in de provincies Oost- en West-Vlaanderen en Antwerpen.



**Figuur 55: Productie van fosfaat uit dierlijke mest in Vlaanderen ( $P_2O_5$ -productiedruk per fusiegemeente)**  
Bron: Vlaamse Landmaatschappij (2000). *Jaarverslag 1999*. Brussel.

<sup>234</sup> Dejongh, G. en Van Windekens, P. (2002). *Van kleine landeigendom tot Vlaamse landmaatschappij: vijftig jaar werking op het Vlaamse platteland, 1935-2001*. Brussel: Vlaamse landmaatschappij. Blz. 20

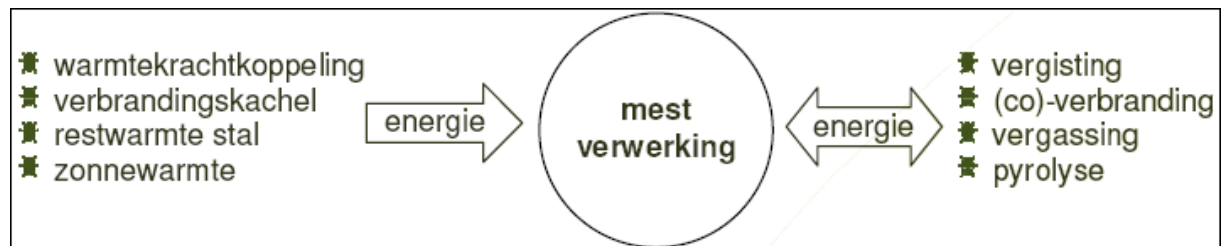
<sup>235</sup> Van Mechelen, D. (2000, december). *Omzendbrief RO/2000/02 met richtlijnen voor de beoordeling van aanvragen om een stedenbouwkundige vergunning voor bedrijfsgebonden mestbe- en mestverwerkingsinstallaties of voor mestbe- en mestverwerkingsinstallaties van beperkte schaal in agrarisch gebied*. Ministerie van de Vlaamse gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article.pl>

<sup>236</sup> Leterme, Y., Van Mechelen, D., Peeters, K. (2006, mei). *Omzendbrief RO/2006/01 betreffende het afwegingskader en de randvoorwaarden voor de inplanting van installaties voor mestbehandeling en vergisting*. Vlaamse Overheid, Ruimtelijke Ordening, Woonbeleid en Onroerend Erfgoed. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article.pl>



### 3.4.1.3.2. Mest als groene energiebron

Mest kan ook gebruikt worden als energiebron. De Vlaamse Overheid ziet mest als hernieuwbare bron die voor een deel van de elektriciteitsproductie zou kunnen instaan. Onderstaand schema geeft een overzicht van de belangrijkste energetische aspecten bij mestverwerking.



**Figuur 56: Energetische aspecten bij mestverwerking**

Bron: VCM (n.d.). *Mestverwerking en energie*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vcm-mestverwerking.be/fiche-energie.pdf>

De verschillende technieken die gebruikt worden voor de verwerking en bewerking van mest werden uitgelegd in figuur 156. Bij mestverwerkingstechnieken zoals vergisting en verbranding kan de vrijgekomen energie dus gerecupereerd en gebruikt worden voor de opwekking van elektriciteit. De energetische valorisatie van mest door vergisting is een sterk opkomende trend. Dit gebeurt meestal met behulp van een biogasinstallatie. De dagelijkse mestproductie, al dan niet aangevuld met ander organisch materiaal, wordt op temperatuur gebracht en gaat dan vanzelf gisten. Door de vergisting ontstaat gas dat via een motor wordt omgezet in elektriciteit. Deze stroom wordt weer dan op het net geplaatst. De boeren ontvangen dan groenestroomcertificaten naargelang de opgewekte elektriciteit. Ook kunnen subsidies worden verkregen voor de bouw van de nodige installaties voor mestverwerking.<sup>237</sup>

Belangrijk om te vermelden is dat vergisting van mest geen mestverwerking maar mestbewerking is. Naast het gas ontstaat door gisting ook een digestaat (eindproduct na vergisting). Een verdere behandeling van het digestaat is noodzakelijk om van verwerking (droging, biothermisch drogen,...) te kunnen spreken. In het kader van mestverwerking kan vergisting wel een waardevolle tussenstap zijn waarbij de geproduceerde warmte en

<sup>237</sup> Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking (VCM vzw). Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vcm-mestverwerking.be/index.htm>

elektriciteit aangewend kunnen worden voor de verdere behandeling en verwerking van het digestaat.<sup>238</sup>

Wanneer mest zou worden verbrand, kan dit enkel gecentraliseerd gebeuren wegen de hoge eisen qua rookgasreiniging en rookgasmonitoring.<sup>239</sup>

De biogassen die afkomstig zijn van de bewerking van mest kunnen ook gebruikt worden in een zogenaamde warmtekrachtkoppeling (Meer info in Deel IV), waar zowel elektrische energie als nuttige thermische energie wordt geproduceerd.

In een studie van het VITO komt men tot de conclusie dat energiewinning uit mest mogelijk is, doch dat de gewonnen energie minstens gedeeltelijk gebruikt wordt om de overige behandelingsstappen van energie te voorzien. ‘Op basis van de theoretische beschouwingen kan geen duidelijke voorkeur worden uitgesproken voor energiewinning door middel van verbranding van gedroogde mest van stalluchtdroging, of voor energiewinning door middel van biogasproductie en –verbranding. De hoeveelheid te winnen energie is in beide gevallen van gelijkaardige grootte-orde.’<sup>240</sup>

Het feit dat Vlaanderen kampt met een mestoverschot en tracht de vooropgestelde doelstelling (6 % van het elektriciteitsverbruik uit hernieuwbare bronnen) te halen valt goed te combineren. Het vormt zowel een oplossing voor de landbouwsector als voor de energetische sector. De subsidies voor de productie van groene stroom zouden dus kunnen gebruikt worden voor de mestproblemen in de landbouw.

Natuurlijk dient ook kritisch te worden nagedacht bij deze productie van energie. Misschien is de energie die geproduceerd wordt in een vergistingsinstallatie niet zo duurzaam? Het dieet van varkens of koeien bestaat uit gras, bieten, maïs, gemalen meel, aardappelen en krachtvoer. Het gras komt doorgaans van het eigen bedrijf, maar de rest moet van buiten worden aangevoerd. Bij de productie en het vervoer daarvan worden immers grote hoeveelheden fossiele energie gebruikt.

---

<sup>238</sup> Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking (VCM vzw). Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vcm-mestverwerking.be/index.htm>

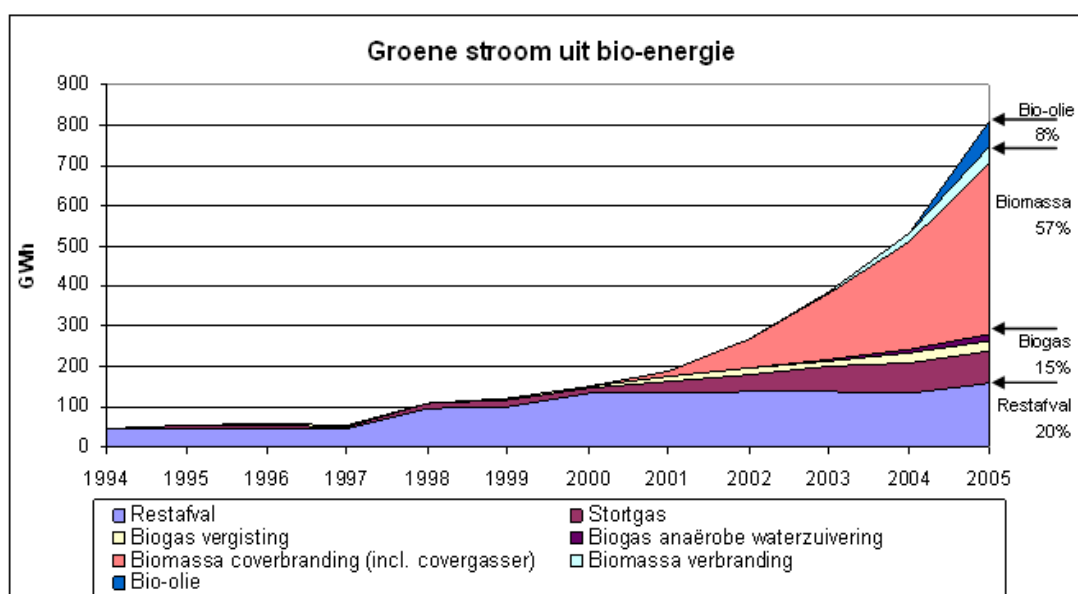
<sup>239</sup> Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking (VCM vzw). Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vcm-mestverwerking.be/index.htm>

<sup>240</sup> Lemmens, B., Ceulemans, J., Elslander, H., Vanassche, S., Brauns E. en Vrancken, K. (2007). *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor mestverwerking (derde editie)*. Vito i.o.v. Vlaams Gewest.

### 3.4.2. Belang van biomassa

De laatste jaren zijn energiegewassen en biomassa in het algemeen sterk in opmars. Op wereldvlak vormt biomassa de meest gebruikte bron voor hernieuwbare energie. De geïnstalleerde capaciteit op basis van biomassa bedroeg eind 2005 264 GW. Daarvan was het grootste deel van deze energie, 240 GWth, omgezet in warmte. Daarnaast is er nog het huishoudelijk gebruik van biomassa (hout, mest, biogas, ...) voor verwarming en verlichting. Deze 'off-grid' energie werd dus niet in deze cijfers meegerekend.<sup>241</sup>

Momenteel vervult biomassa 4% van de energiebehoeften van de EU. In 2003 werd ongeveer 2.888,9 PJ uit biomassa gehaald. Wanneer het potentieel van de EU volledig wordt benut, kan het gebruik van biomassa tegen 2010 naar 7.745,6 PJ stijgen. Dit is mogelijk zonder afbreuk te doen aan de goede landbouwpraktijken, duurzame productie van biomassa en zonder noemenswaardige vermindering van de plaatselijke voedselproductie. Met de toetreding van Bulgarije en Roemenië in 2007 werd nog meer biomassa beschikbaar en dit biedt ook de invoer nog extra potentieel.<sup>242</sup>



**Figuur 57: Hoeveelheid groene stroom uit bio-energie in Vlaanderen**

Bron: Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *De productie van groene stroom uit bio-energie*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.energiesparen.be/duurzame\\_energie/biomassa/groenestroom.php](http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/biomassa/groenestroom.php)

<sup>241</sup> REN21 (2006). *Renewables, global status report, update 2006*. Paris: REN21 Secretariat, Washington, DC: Worldwatch Institute. Blz. 17

<sup>242</sup> Europese Commissie (2005). *Mededeling van de Commissie: Actieplan biomassa*. Brussel.

Ook in Vlaanderen wordt de grootste hoeveelheid groene stroom geproduceerd uit bio-energie. Het zijn slechts de cijfers met betrekking tot de elektriciteitsproductie die vrij nauwkeurig zijn. ‘In 2005 werd er in Vlaanderen 809 GWh groene stroom of 84% van de totale groenestroomproductie in biomassa-installaties opgewekt.’ De productie nam in 2005 met de helft toe. Dezelfde groei werd ook in 2006 verwacht.<sup>243</sup>

Op voorgaande bladzijde is een grafiek te zien die de evolutie van de groei van biomassa weergeeft. Duidelijk te zien is de spectaculaire stijging sinds 1997.

Tabel 27 geeft het aantal productie-installaties en geïnstalleerd vermogen van biomassa waarvoor groenestroomcertificaten werden toegekend. Sinds 2002 werden er voor 73 verschillende productie-installaties voor biomassa GSC verleend.

Het aandeel van biomassa in de toewijzing van groenestroomcertificaten is aanzienlijk. Als het gaat over het geïnstalleerd vermogen van de productie-installaties uit biomassa in Vlaanderen waarvoor GSC worden toegekend gaat het over 358.615 kWe, namelijk 66,5% van het totaal aantal geïnstalleerd vermogen dan in aanmerking komt voor GSC.

**Tabel 27: Aantal productie-installaties en geïnstalleerd vermogen van biomassa waarvoor groenestroomcertificaten worden toegekend, per technologie (05/02/2007)**

Bron: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) (2007, 5 februari). *Productie-installaties in Vlaanderen waarvoor groenestroomcertificaten worden toegekend*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/19497.pdf>

	Aantal installaties in Vlaanderen waarvoor GSC worden toegekend	Geïnstalleerd vermogen in Vlaanderen waarvoor GSC worden toegekend (kWe)
Slibgas-installaties	13	3.680
Stortgas-installaties	14	1.362
GFT-gas-installaties	3	3.430
Overige biogasinstallaties (*)	19	2.500
Restafval-installaties	9	67.828
Overige Biomassainstallaties (**)	15	279.815
<b>Totaal biomassa</b>	<b>73</b>	<b>358.615</b>
Algemeen Totaal	1270	539.271

(\*) ‘Overig Biogas’ houdt in: waterzuivering-, vergisting- en houtgas

(\*\*) ‘Overige Biomassa’ houdt in: houtstof, olijfpulp, palmolie, dierlijke en plantaardige vetten, koffiedik en slib

<sup>243</sup> Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *De productie van groene stroom uit bio-energie*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.energiesparen.be/duurzame\\_energie/biomassa/groenestroom.php](http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/biomassa/groenestroom.php)

### 3.4.3. Ruimtegebruik

De biomassa die in België gebruikt wordt, is meestal een restproduct. Dit vergt dus bijna alleen maar ruimte voor opslag van dergelijke restfracties.

Wanneer biomassa speciaal voor de energievoorziening wordt geproduceerd, vergt dit erg veel ruimte. Vanuit ruimtelijk oogpunt gezien is het dan ook belangrijk dat, als energieteelten geproduceerd worden, ruimte-efficiëntie een prioriteit is.

Men dient ook nog het ruimtebeslag van de energiecentrales (verbrandingsinstallaties, vergistingsinstallaties e.a.) in acht te nemen. Deze zijn immers heel verschillend qua ruimtegebruik. Ze kunnen heel compact zijn, maar kunnen ook uitgestrekte opslagterreinen bezitten. Belangrijk is ook de ruimte die nodig is voor het transport van afval en geogoste energieteelten naar de verbrandingsovens.

#### 3.4.3.1. Ruimte voor mestverwerking

Vergisting op boerderijschaal, al of niet in combinatie met mestverwerking, wordt steeds belangrijker als methode voor de opwekking van hernieuwbare energie. Het is duidelijk een ontwikkeling die bijdraagt tot de realisatie van de Vlaamse doelstellingen op het gebied van hernieuwbare elektriciteitsproductie.

Er kan gesteld worden dat de ruimtelijke impact van mestverwerking en vergisting ongeveer gelijkaardig is. Daardoor dient het nieuwe wettelijke kader eveneens vanuit het oogpunt van de energetische valorisatie van bepaalde agrarische producten bekeken worden.

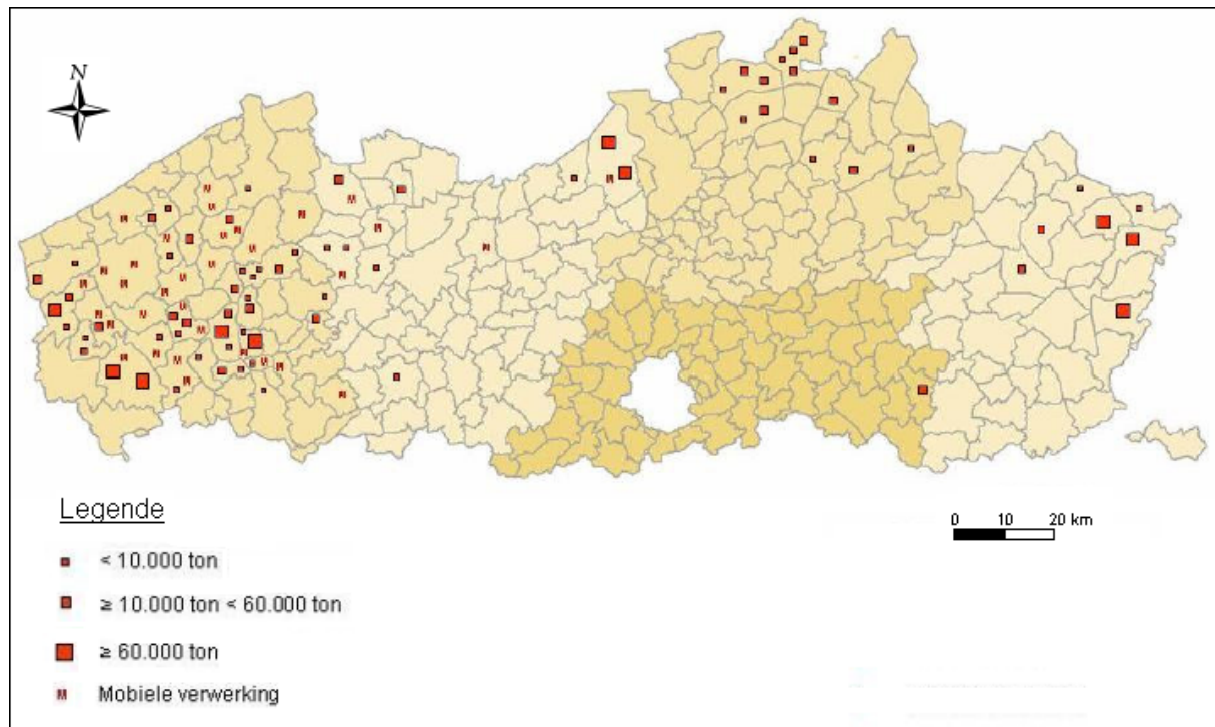
‘Mestbehandeling en vergisting dienen als agrarische activiteit in de ruime zin erkend te worden in het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen. Mestbehandeling is immers een noodzakelijke schakel in het agrarisch gebeuren en zal dit ongetwijfeld blijven. Vergisting op boerderijschaal is een nieuwe ondersteunende activiteit bij het normale bedrijfsgebeuren. Als agrarisch bedrijf in de ruime zin moeten mestbehandelings- en vergistingsinstallaties zich kunnen inplanten in het agrarisch gebied met de nodige aandacht voor een goede ruimtelijke ordening.’<sup>244</sup>

Op onderstaande figuur is een overzicht te zien van diverse operationele mestverwerkingsinstallaties in Vlaanderen. Als deze figuur wordt vergeleken met de kaart uit punt 3.4.1.3.1., dan kan er een overeenkomst waargenomen worden tussen de plaatsen waar er

---

<sup>244</sup> Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking (VCM vzw) (2005, augustus). *Visietekst: Inplanting installaties voor mestbehandeling en vergisting*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vcm-mestverwerking.be/VCM-visietekst%20inplanting%20installaties%20voor%20mestbehandeling%20en%20vergisting.pdf> Blz. 4, 5

mestoverschotten zijn en de locaties van mestverwerkingsinstallaties. Wanneer deze installaties zouden gebruikt worden voor het produceren van stroom, dan zouden, als gevolg van de spreiding van deze installaties, deze kunnen worden ingepast in een decentraal productiesysteem (zie Deel IV).



**Figuur 58: De geografische situering van de diverse operationele mestverwerkingsinstallaties in Vlaanderen**

Bron: VCM (2006). *VCM-Enquete operationele stand van zaken mestverwerking in Vlaanderen, 1 juli 2005 – 30 juni 2006*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vcm-mestverwerking.be/N-VCM-ENQUETE%20OPERATIONELE%20STAND%20VAN%20ZAKEN%20MESTVERWERKING%20IN%20VLAANDEREN%202005-2006.pdf>

#### **3.4.3.1.1. Omzendbrief RO/2000/02 met richtlijnen voor de beoordeling van aanvragen om een stedenbouwkundige vergunning voor bedrijfsgebonden mestbe- en mestverwerkingsinstallaties of voor mestbe- en mestverwerkingsinstallaties van beperkte schaal in agrarisch gebied - 6 december 2000<sup>245</sup>**

Deze omzendbrief is een richtkader en geeft richtlijnen weer met betrekking tot locaties voor mestbe- en mestverwerkingsinitiatieven in Vlaanderen. De mogelijke inplantingsplaatsen worden ingedeeld in drie categorieën:

<sup>245</sup> Van Mechelen, D. (2000, december). *Omszendbrief RO/2000/02 met richtlijnen voor de beoordeling van aanvragen om een stedenbouwkundige vergunning voor bedrijfsgebonden mestbe- en mestverwerkingsinstallaties of voor mestbe- en mestverwerkingsinstallaties van beperkte schaal in agrarisch gebied*. Ministerie van de Vlaamse gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article.pl>

- Bedrijfsgebonden mestverwerking: dergelijke installaties zijn gerelateerd aan één bedrijfseenheid en gebonden aan het landbouwproductieproces. Ze kunnen dus bij de bestaande bedrijfsgebouwen in het agrarisch gebied worden toegestaan met uitsluiting van een aantal ruimtelijk kwetsbare gebieden.
- Kleinschalige mestverwerkingsinstallaties: dergelijke installaties hebben geen substantiële relatie met een individueel landbouwbedrijf horen in principe thuis op een lokaal bedrijventerrein. Wanneer geen ruimte meer beschikbaar is op een lokaal bedrijventerrein in de omgeving en het vanuit het oogpunt van een goede ruimtelijke ordening verantwoord lijkt, kan de inplanting van een kleinschalige installatie in agrarisch gebied worden onderzocht.
- Grootschalige mestverwerkingsinstallaties: dergelijke installaties moeten om wille van hun aard, omvang en verkeersgenererende impact worden ingeplant op gemengde regionale bedrijventerreinen of op een specifiek regionaal bedrijventerrein voor afvalverwerking en -recyclage.

#### **3.4.3.1.2. VCM-visietekst 'Inplanting installaties voor mestbehandeling en vergisting'<sup>246</sup>**

Het vinden van geschikte inplantingsplaatsen in Vlaanderen voor mestbehandeling en vergisting is niet evident. De omzendbrief uit 2000 bood enkel een richtkader en had geen juridische draagkracht. Het Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking (VCM) maakte daarom een visietekst op voor de inplanting van installaties voor mestbehandeling en vergisting om zo een meer aangepast strategie te ontwikkelen die beter past bij de huidige omstandigheden. Onderstaande punten geven een overzicht van wat allemaal in deze visietekst staat vermeld:

Voor de inplanting in agrarisch gebied wordt de aandacht gevestigd op volgende punten<sup>247</sup>:

- de erkenning van mestverwerking en vergisting als 'agrarische activiteiten in de ruime zin' in het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen;

---

<sup>246</sup> Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking (VCM vzw) (2005, augustus). *Visietekst: Inplanting installaties voor mestbehandeling en vergisting*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vcm-mestverwerking.be/VCM-visietekst%20inplanting%20installaties%20voor%20mestbehandeling%20en%20vergisting.pdf>

<sup>247</sup> Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking (VCM vzw). Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vcm-mestverwerking.be/index.htm>

- de inplanting in agrarisch gebied door loonwerkers of coöperatieven van installaties voor mestbehandeling en vergisting in de nabijheid van een agrarisch bedrijf moet mogelijk zijn;
- de globale benadering en de pro-actieve onderbouwing van het mobiliteitsaspect;
- de begrenzing van de capaciteit in agrarisch gebied tot een realistisch absoluut maximum van 60.000 ton inputmateriaal per jaar;
- toelaten dat bepaalde 'stromen niet afkomstig van land- en tuinbouw' behandeld worden in installaties in agrarisch gebied tot een maximum van 40 % op gewichtsbasis;
- de rechtszekerheid voor bestaande installaties;
- de evaluatie van de ruimtelijke verenigbaarheid met de agrarische omgeving.

Tegenwoordig ligt de nadruk in de praktijk op klein- of middenschalige installaties, waardoor de afbakening van specifieke bedrijventerreinen of speciaal voorbehouden zones voor mestbehandelings- of vergistingsinstallaties minder prioritair zijn.

In 2006 werd deze visietekst als uitgangspunt gebruikt bij de uitwerking van een nieuwe omzendbrief RO/2006/01.

### **3.4.3.2. Ruimte voor energiegewassen**

#### **3.4.3.2.1. Algemeen**

Gewassen vergen naast zonne-energie ook nog inbreng van andere energiebronnen. De mens investeert energie in de productie van zijn gewassen. Die input varieert van gewas tot gewas en in functie van het landbouwsysteem en de gekozen teelttechnieken. Er ligt een hele weg tussen het telen van een energiegewas en het winnen van de energie die gewassen kunnen leveren. Als men energie wil produceren uit gewassen, moet men rekening houden met de hoeveelheid energie die nodig is voor het telen van gewassen en deze te vervoeren naar een verwerkingseenheid. Daarnaast eist ook de transformatie van de energie opgeslagen in de biomassa tot een bruikbare energievorm.

‘Omdat alle tussenstappen dus energie kosten, is de energieopbrengst per oppervlakte-eenheid van een gewas geen goede maat voor de uiteindelijke bruikbare energie. Zo kunnen bepaalde gewassen wel per oppervlakte-eenheid veel energie leveren, maar het kost ook veel energie om ze te produceren en/of te transformeren. Vandaar dat het beter is rekening te houden met de potentiële energieopbrengst per oppervlakte-eenheid als met de energetische



efficiëntie, nl. de verhouding van bruikbare of nuttige energie<sup>248</sup> tot de door de mens geïnvesteerde energie.<sup>249</sup>

De productie van biomassa kreeg eind de jaren '80 een nieuwe impuls vanuit de Europese Unie. Door de aanhoudende productie van landbouwoverschotten was er nood aan een alternatieve invulling van overbodige landbouwarealen. De EU moedigde met braakleggingspremies en bebossingspremies landbouwers aan om een deel van hun grond niet te gebruiken voor voedselproductie of om er bomen op te planten. In 1996 keurde de Vlaamse regering deze EU-steunregeling voor bosbouwmaatregelen in de landbouw goed. Deze schikking opende perspectieven om in de landbouw hernieuwbare energie te produceren vanuit houtachtige biomassa naast de bio-ethanol van suikerbieten en biodiesel van koolzaad.<sup>250</sup>

Als gevolg van de 'set-aside' politiek van de EU kwam ongeveer 4.000 ha braak te liggen. Dit bood mogelijkheden voor de productie van energiegewassen en energiebossen. Daarnaast is er de 10.000 ha die door het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen voor tijdelijk bos wordt voorbehouden.<sup>251</sup> Wanneer deze ruimte zou benut worden voor de teelt van korte-omloophout, zou een netto potentiële elektriciteitsproductie van 130 GWhe en een mogelijke warmterecuperatie van 675 TJ mogelijk zijn.<sup>252</sup>

Als alternatief voor de plaatsing van energieteelten kunnen (midden)bermen van wegen en autosnelwegen gebruikt worden. Daarnaast kan ook gebruik gemaakt worden van vervuilde gronden, bijvoorbeeld oude stortplaatsen.<sup>253</sup>

De keuze voor een geschikte aanplanting is vanzelfsprekend niet evident. De beschikbare ruimte in Vlaanderen is enerzijds beperkt maar anderzijds ook sterk versnipperd. Voor de productie van biomassa is het beter dat het om aaneengesloten arealen gaat om milieu- en productiekosten (onder andere transport) te beperken.

Bij de inplanting dient ook aandacht te worden besteed aan het ecologische aspect. Energiebossen mogen 'echte bossen' bijvoorbeeld niet vervangen wegens de hoge

---

<sup>248</sup> Nuttige energie: energie die de gebruiker benut in de vorm van kracht, licht, verwarming of beweging.

<sup>249</sup> Garcia Ciudad, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D. (2003). *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Publicatie 1. Gontrode: Steunpunt Duurzame Landbouw. Blz. 27

<sup>250</sup> Ceulemans, R. en Deraedt, W. (1997). Snelgroeiende energie. *Natuur & Techniek*, 65 (10), 22-31.

<sup>251</sup> N.N. (2001). Maken energiebossen het toekomstig landschap uit in Vlaanderen? *De Milieukrant*, 12 (14).

<sup>252</sup> Laureysens, I. (2001). Het eerste energiebos in Vlaanderen geogst. *Nieuwsbrief Duurzame Energie*, 5 (1), 2-3.

<sup>253</sup> Ceulemans, R. en Laureysens, I. (2002). Energieteelt, populieren leveren groene stroom. *Universiteit Antwerpen*, 16 (51), 20-22.

biodiversiteit. Ze zouden wel kunnen dienen als buffer tussen intensieve landbouwgebieden en waardevolle natuur- en bosgebieden en daardoor bijdragen tot een grotere landschapsdiversiteit.<sup>254</sup>

### 3.4.3.2.2. Ruimte voor elektriciteitsopwekkende energiegewassen

Het kweken van energieteelten voor de productie van stroom helpt mee aan het streefdoel om 6% elektriciteit uit hernieuwbare bronnen te halen tegen 2010. Er wordt gesteld dat het elektriciteitsverbruik in Vlaanderen in 2010 gelijk is aan dat in 2000: 268,6 PJ. Dat betekent na berekening 16,1 PJ. Daarnaast wordt aangenomen dat de berekende hoeveelheid netto bruikbare elektrische energie gelijk is aan 48 GJ/ha.<sup>255</sup> Dit resulteert in een te betalen oppervlakte van 335.750 ha, wat meer is dan de helft van het Vlaamse landbouwareaal.<sup>256</sup>

**Tabel 28: Vereist areaal om 6% van het elektriciteitsverbruik in te vullen met stroom via energiegewassen**

Bron: Garcia Cidat, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D. (2003). *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Publicatie 1. Gontrode: Steunpunt Duurzame Landbouw. Blz. 48

Gewas	<u>Areaal</u>		
	ha	% t.o.v. oppervlakte cultuurgrond	% t.o.v. Vlaanderen
Olifantengras	322.320	50,75	23,84
Wilg	342.894	53,99	25,36
Populier	358.133	56,39	26,49
Kuilmaïs	366.273	57,67	27,09

Opmerking: deze berekeningen werden gemaakt op basis van de bruikbare energie per ha (zie bron)

Indien al het braakland in Vlaanderen (7.440 ha in 2006) gebruikt wordt voor de teelt van bovenstaande energiegewassen die elektriciteit leveren, dan brengt die oppervlakte: 7.440 ha \* 48 GJ/ha = 357.120 GJ elektriciteit op. Deze fractie representeert 0,022% van de voorgestelde 6%.

Wanneer men het meest efficiënt energie wil produceren in de vorm van elektriciteit moet geopteerd worden voor (co-) verbranding van wilg en/of populier afkomstig van korte-omloop bossen, of voor het vergassen van olifantgras.<sup>257</sup>

<sup>254</sup> N.N. (2001). Maken energiebossen het toekomstig landschap uit in Vlaanderen? *De Milieukrant*, 12 (14).

<sup>255</sup> Deze hoeveelheid energie wordt verkregen via co-verbranding uit 1 ha wilgenstammetjes.

<sup>256</sup> Garcia Cidat, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D. (2003). *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Publicatie 1. Gontrode: Steunpunt Duurzame Landbouw. Blz. 48

<sup>257</sup> Garcia Cidat, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D. (2003). *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Publicatie 1. Gontrode: Steunpunt Duurzame Landbouw. Blz. 47

In april 1996 werd door een onderzoeksteam van de Universiteit van Antwerpen het eerste energiebos in Vlaanderen aangeplant op een industrieterrein (voormalige stortplaats) van de gemeente Boom. Een duizendtal populierenstekken werden aangeplant op een terrein van 6.500 m<sup>2</sup>. Het was niet de bedoeling om hoogstammen te kweken maar wel om een zo groot mogelijke opbrengst van biomassa te genereren. Na de oogst werd het hout telkens versnipperd, en de snippers werden vervolgens omgezet in bio-energie (elektriciteit). De plantage levert gemiddeld tien ton droog hout op. Tien ton droog hout komt overeen met een jaar elektriciteit voor drie gezinnen.<sup>258</sup>

Ook de Universiteit van Gent verricht onderzoek naar biomassaproductie. Het gaat over koolstofvastlegging in bodem en plantbiomassa. Daartoe heeft ze in 2001 een energieplantage met wilg, populier, esdoorn en berk aangelegd te Zwijnaarde.

Daarnaast heeft de Vereniging voor Bos in Vlaanderen en het Innovatiesteunpunt Landbouw en Platteland voor een demonstratieproject in het voorjaar van 2004 2 energiebossen laten aanleggen: 2 ha in Rijckevelde (Brugge) en 2 ha in Dorne (Maaseik). Beide terreinen werden beplant met wilg en populier.

Deze experimenten tonen aan dat bio-energie een deeloplossing kan bieden voor het energievraagstuk.

In Zweden is meer dan 10.000 ha bestemd voor de productie van energieteelten. In het stadje Enköping (15.000 inwoners) levert wilgenhout meer dan 90% van de warmte en elektriciteit.<sup>259</sup>

#### **3.4.3.2.3. Ruimte voor biobrandstoffen**

Koolzaadolie is een van de gewassen die kan gebruikt worden voor het produceren van biobrandstoffen. De productie van koolzaadolie vergt geen grote hoogtechnologische installaties dus een landbouwer die een paar hectaren grond heeft braak liggen, kan zo koolzaad gaan telen en verkopen. Per hectare grond kan ongeveer 4.500 kilogram winterkoolzaad worden verkregen waaruit ongeveer 1.600 liter olie geperst kan worden.

---

<sup>258</sup> Laureysens, I. (2001). Het eerste energiebos in Vlaanderen geoogst. *Nieuwsbrief Duurzame Energie*, 5 (1), 2-3.

<sup>259</sup> ODE-Vlaanderen (2004). *Biomassa*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Blz. 13

Hoewel deze teelt de meest interessante is voor de productie van vloeibare brandstoffen, toch is deze in Vlaanderen niet echt rendabel. Om een vrachtwagen één jaar te laten rijden, is ongeveer 30.000 liter biodiesel nodig waarvoor dus een oppervlakte van circa 20 hectaren koolzaad dient verbouwd te worden.<sup>260</sup>

De opkomst van de biobrandstoffen kadert natuurlijk binnen een Europese doelstelling. Men wil 5,75% diesel en benzine substitueren door biobrandstoffen. Er wordt gesteld dat de hoeveelheid verkochte brandstof in Vlaanderen in 2010 gelijk is aan het energieverbruik door het wegvervoer in de vorm van diesel of benzine in 2004: 202,3 PJ<sup>261</sup>. Onderstaande tabel geeft dan het areaal weer die nodig is om die 5,75% te halen.

**Tabel 29: Vereist areaal om 5,75% van de brandstof voor wegvervoer te leveren via energiegewassen**

Bron: Eigen berekeningen op basis van Garcia Ciudad, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D. (2003). *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Publicatie 1. Gontrode: Steunpunt Duurzame Landbouw. Blz. 49, 94

Gewas	Areaal		
	ha	% t.o.v. oppervlakte cultuurgrond	% t.o.v. Vlaanderen
Winterkoolzaad	264.369	42,3	19,6
Suikerbieten	106.718	17,1	7,9
Wintertarwe	200.556	32,1	14,8
Aardappel	100.278	16,0	7,4

Opmerking: deze berekeningen werden gemaakt op basis van de bruikbare energie per ha (zie bron)

Wanneer het braakland in Vlaanderen (7.440 ha in 2006) gebruikt wordt voor de teelt van bovenstaande energiegewassen, dan kan tussen 0,16% en 0,42% van het energiegebruik door het wegvervoer in de vorm van diesel of benzine komen uit biomassa.

Er dient wel rekening gehouden te worden met de opvolging van de gewassen. Het verbouwen van winterkoolzaad zorgt er bijvoorbeeld voor dat er geen suikerbieten meer kunnen worden geteeld. Winterkoolzaad kan dan wel weer aanzien worden als meest interessantste energieteelt voor de productie van vloeibare brandstoffen in de vorm van koolzaadolie of biodiesel.<sup>262</sup>

<sup>260</sup> Lamont, J-L. en Lambrechts, Y. (2005). *Koolzaad : het nieuwe goud? Teelttechniek van koolzaad*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Beheer en Kwaliteit Landbouwproductie (ABKL), Afdeling Voorlichting. Blz. 32

<sup>261</sup> Aernouts, K. en Jespers, K. (2006). *Energiebalans Vlaanderen 2004: onafhankelijke methode*. VITO.

<sup>262</sup> Garcia Ciudad, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D. (2003). *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Publicatie 1. Gontrode: Steunpunt Duurzame Landbouw. Blz. 47, 49

### 3.4.3.3. Concurrentie met voedselvoorziening, ontbossing en ruimtelijke impact

Wegens het groot gebruik van ruimte zouden energieteelten voor de productie van stroom en biobrandstoffen in Vlaanderen, België en Europa voor problemen kunnen zorgen. ‘De realisatie van de Europese doelstelling zou beslag leggen op 14% tot 27% van de beschikbare landbouwgrond in de Europese Unie.’

De westerse landen, waaronder België, kunnen onmogelijk aan de vooropgestelde quota voldoen met teelt uit eigen land. ‘Het Vlaams parlement stelt dan ook dat ‘als we willen dat biobrandstoffen een deel van de oplossing vormen voor de milieuproblemen die door de transportsector veroorzaakt worden, dan zullen we hoe dan ook een deel van de nodige biomassa van buiten Vlaanderen en zelfs van buiten de EU moeten invoeren.’<sup>263</sup>

Heel wat landen in Latijns-Amerika en Zuidoost-Azië spelen daarop in en kappen daarom miljoenen hectaren tropisch regenwoud om er energieplantages in te richten. De ruimtelijke transformatie is hier enorm. Wereldwijd geldt Brazilië als voorbeeld voor het potentieel van biobrandstoffen. De helft van de suikeroogst wordt omgezet in ethanol, goed voor 40% van het binnenlands brandstofverbruik. Het milieuvriendelijk imago van het land is echter schijn. 80% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in Brazilië wordt veroorzaakt door ontbossing. Een eind maken aan de ontbossing zou veel meer zoden aan de dijk zetten dan wat er ooit met biobrandstoffen mogelijk is.<sup>264</sup> Daarnaast mag ook het transport van de gewassen naar de westerse landen niet vergeten worden. Onze havens zouden dan een overslagpunt kunnen vormen, gebruik makende van de bestaande infrastructuur voor graan, olie of steenkool.

Belangrijk punt is ook dat we hierdoor opnieuw afhankelijk zijn van andere landen.

Wegens het beperkte (Vlaamse) landbouwareaal is het mogelijk dat de introductie van energiegewassen in competitie dreigt te treden met het telen van voedingsgewassen. In ons land wordt daar weinig aandacht aan besteed en het Belgische en Vlaamse beleid moedigt dan ook nog steeds de productie en het gebruik van biobrandstoffen uit teeltgewassen aan.

### 3.4.4. Potentieel biomassa in België - Vlaanderen

Het ODE situeert het potentieel van de biomassaproductie ergens tussen 1 en 2 TWh. Daarmee kunnen 280.000 à 570.000 gezinnen voorzien worden van stroom, dit stelt enkele

---

<sup>263</sup> Glorieux, E., Daems, R., Dua, V., Stassen, J., Tavernier, J. en Vogels, M. (2007, maart). *Voorstel van resolutie betreffende de invoering van duurzaamheidscriteria voor biobrandstoffen en groene stroom*. Vlaams parlement. Geraadpleegd april, 2007 op <http://jisp.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2006-2007/g1132-1.pdf>

<sup>264</sup> De Decker, K., 2007. Rijden of eten. *Knack*, 37 (6), 46-47.

procenten van het totaal verbruik van elektrische energie voor. Daarnaast kan nog een thermische valorisatie gebeuren met 5 à 10 PJ per jaar.<sup>265</sup>

De ampère-commissie raamt het potentieel in België voor elektriciteitsproductie tussen 100 en 500 MW met een mogelijke jaarproductie van 0,5 tot 2,5 TWh.<sup>266</sup>

Het viWTA stelt in een studie dat ‘onze maatschappij zich vandaag bevindt aan het begin van de overgang van een fossielgebaseerde economie naar een biogebaseerde economie. In dergelijke biogebaseerde economie worden behoeften grotendeels gedekt door hernieuwbare grondstoffen, die in bioraffinaderijen worden omgezet tot chemische stoffen, materialen en energie.’

Vlaanderen is een dichtbevolkte regio met een beperkt landbouwareaal. Daardoor kan aan de vraag naar hernieuwbare grondstoffen onmogelijk zelf voldaan worden. ‘De inherente kleinschaligheid en ruimtelijke versnippering van het Vlaamse landbouwareaal hoeven geen beperking te vormen. De sterkte van Vlaanderen ligt in de centrale ligging in Europa, vlotte verbindingen en infrastructuur geschikt voor de doorvoer van grondstoffen en producten. De hernieuwbare grondstoffen kan men invoeren uit de buurlanden, Oost-Europa, Amerika en misschien zelfs Afrika.’<sup>267</sup>

---

<sup>265</sup> ODE-Vlaanderen (1997). *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen. Eindrapport ter voorbereiding van een "Duurzaam Energieplan voor Vlaanderen"*. Leuven.

<sup>266</sup> Ampère Commissie (2000). *Rapport van de Commissie voor de analyse van de productiemiddelen van elektriciteit en de reoriëntatie van de energievectoren - Sectie F1: Hernieuwbare en Alternatieve Energieën*. Brussel.

<sup>267</sup> Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek (viWTA), (2006). *Dossier 4: Witte biotechnologie: Stand van zaken*. Brussel: Vlaams Parlement.

## 4. Samenvatting van de belangrijkste kenmerken van hernieuwbare energiebronnen met nadruk op het ruimtelijke aspect

In dit subhoofdstuk worden de belangrijkste aspecten die een rol spelen bij de productie van hernieuwbare energie samengevat en hier en daar gestaafd met cijfermateriaal.

Onderstaande tabel werd opgesteld met gegevens uit de vorige hoofdstukken over de verschillende hernieuwbare energiebronnen. Het is belangrijk te beseffen dat deze energiebronnen veel meer energie leveren dan de mens kan verbruiken. Ze zijn ook zo goed als onuitputtelijk en bijna overal ter wereld beschikbaar (uiteraard niet in dezelfde mate). Deze bronnen gaan in de toekomst een meer beduidende rol spelen in het energieverhaal en daardoor is het belangrijk om in te gaan op de ruimtelijke aspecten.

Om het ruimtebeslag van enkele hernieuwbare energieopties te vergelijken werd het vermogen per vierkante kilometer weergegeven. Wind op zee laat een groter ruimtebeslag zien dan wind op land omdat windturbines op zee op grotere afstanden van elkaar worden geplaatst vanwege de hogere snelheden. Het gebruik van fotovoltaïsche zonnecellen (PV) laat het minste ruimtebeslag zien. Biomassa verschilt dan weer per energieteelt.

**Tabel 30: Overzichtstabel van de kenmerken van hernieuwbare energiebronnen**

Bron: Eigen bewerking (bron (b))

		Zon	Wind		Biomassa	Kleinschalige waterkracht
<b>Energiebron</b>	<b>Omvang</b>	Enorm	Groot		Zeer groot	Groot
	<i>Verspreiding</i>	Wereldwijd	Kusten, bergen en vlakten		Wereldwijd	Bergachtige gebieden
	<b>Variabiliteit</b>	Dagelijks, seizoens- en weersafhankelijk	Zeer variabel		Afhankelijk van seizoenen en klimaat	Seizoensafhankelijk
	<b><u>Vermogen</u></b> [MWe/km <sup>2</sup> ]	105 - 125	onshore 16	offshore 8,2 – 11,4 (a)	-	
	<b><u>Bedrijfstijd</u></b> [uren/jaar]	750 – 800	1.500	3.000	-	
	<b><u>Productie</u></b> [MWh/km <sup>2</sup> /jaar]	80.000 – 100.000	24.000	24.600 – 34.200	Hangt af van het soort energieteelt Vb. Wilg: 1.333	
<b>Technologie</b>	<b>Opties</b>	PV, thermisch,	Windturbines		Verbranding,	Verschillende types

		passief, lage tot hoge temperatuur, diffuus licht		vergassing, pyrolyse, vergisting, fermentatie, extractie	turbines, dammen en stuwen
<b>Milieukeurmerken</b>		Zeer schoon, visuele impact, plaatselijk klimaat, productie van PV, soms schadelijke stoffen	Zeer schoon, visuele impact, lawaai, vogelsterfte	Schoon, impact op fauna en flora, toxische residu's	Zeer schoon, impact op het plaatselijk aquatisch milieu, landbeslag

(a) waarden C-Power project op de Thorntonbank inclusief veiligheidszone van 500 m

(b) Bron: Jacobson, C. (1997). Duurzame energiebronnen. *Leefmilieu*, 20 (1), middenkatern.

### *Biomassa*

Momenteel is biomassa de meest gebruikte hernieuwbare bron voor de opwekking van elektriciteit. De verwerking van reststromen neemt het grootste aandeel voor zich. De productie van energieteelten zoals koolzaad en korte-omloop hout (wilg, populier) vergt een veelvoud van het ruimtebeslag van andere opties. Om dit toe te lichten wordt gebruik gemaakt van een voorbeeld.

1 ha wilgenstammetjes bevat 187 GJ/ha energie. Na verbranding in een centrale van 5 MWe kan daaruit 159 GJ/ha verkregen worden. Wanneer met co-verbranding wordt gewerkt, is de bruikbare energie per ha te verdelen als 68 GJ bruikbare elektrische energie en 91 GJ warmte.<sup>268</sup> De geïnvesteerde energie bedraagt 20 GJ/ha. Netto bruikbaar blijft er dan 48 GJ/ha over.<sup>269</sup> Omgerekend komt dit overeen met 1.333 MWh/km<sup>2</sup>.

Een windmolen met een vermogen van 1,8 MW levert in een jaar gemiddeld 12.400 GJ elektriciteit. Uit bovenstaande berekening kan daaruit afgeleid worden dat er een wilgenplantage van 258 ha nodig is om dezelfde hoeveelheid elektriciteit op te wekken. In tegenstelling tot windenergie kan de aanvoer van hout wel een constante zijn.

1 m<sup>2</sup> zonnecellen levert 80 tot 100 kWh per jaar (zie tabel). Dit komt overeen met 288 tot 360 MJ. De vergelijking met de netto bruikbare elektrische energie uit 1 ha wilg via co-verbranding laat zien dat 1 ha wilg equivalent is met 133 tot 167 m<sup>2</sup> zonnepanelen.

### *PV*

De voor PV benodigde ruimte moet gevonden worden op daken en gevels van gebouwen, geluidswallen of andere infrastructuur. Een groot deel van deze oppervlakken zal echter niet

<sup>268</sup> Conversierendement van co-verbranding: 37% elektrisch + 50% thermisch

<sup>269</sup> Garcia Ciudad, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D. (2003). *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Publicatie 1. Gontrode: Steunpunt Duurzame Landbouw. Blz. 47



beschikbaar zijn vanwege de oriëntatie, beschaduwing en andere gebruiksfuncties. Momenteel worden PV systemen nog niet grootschalig in woningbouw toegepast vanwege de hoge investeringen. Dit is wel een belangrijke mogelijkheid voor de toekomst om zo particulieren mee in te schakelen. Veel KMO's investeren tegenwoordig in een PV installatie. Zo liet het Glaswerken Ceysens uit Heusden-Zolder in mei 2007 een installatie plaatsen van 2.760 m<sup>2</sup>, goed voor zo'n 300 MWp.<sup>270</sup> In tabel 30 is te zien dat PV cellen een veel grotere ruimteproductiviteit hebben in vergelijking met de andere bronnen.

### *Waterkracht*

Het gebruik van kleine waterkracht voor elektriciteitsproductie in Vlaanderen is marginaal, dit als gevolg van de kleine hoogteverschillen. Veel ruimtebeslag is er dus niet.

### *Windenergie*

Voor windenergie op land is het moeilijk om locaties te vinden. Vele initiatieven voor het plaatsen van windturbines stranden omdat ze in strijd zijn met de bestemming van het gewestplan of het verordenend plan alsmede door de ruime mogelijkheden voor bezwaarprocedures. Om dit probleem enigszins op te lossen werd in 2006 een omzendbrief opgesteld voor de snellere afhandeling van dossiers met betrekking tot windturbines. Door deze nota kan nu de hoofdbestemming van de gewenste zones aangepast worden of kan boven de bestaande gewestplanbepaling een overdruk 'gebied voor windturbines' opgelegd worden, waarbij de onderliggende bestemming behouden blijft. Daarnaast werd ook het onderscheid tussen gewestelijke en provinciale planningsinitiatieven opgeheven, waardoor bepaalde projecten sneller tot stand kunnen komen.<sup>271</sup>

Het realiseren van een windmolenpark op land is geen sinecure. Vele regels en concurrerende ruimteclaims brengen problemen teweeg. Daardoor wordt voor België de Noordzee een belangrijke optie. De bouw van het windmolenpark op de Thorntonbank zal het eerste Belgische offshore project worden. Maar uiteindelijk is ook de Noordzee niet helemaal vrij voor windenergie. Naast de ruimte die ingenomen wordt voor andere gebruiksfuncties is er wel ruimte voor potentieel aan windenergie.

---

<sup>270</sup> Dupont, P. (2007, 10 mei). Heusden heeft monumentale zonnenschans - Provincie wordt voorbeeld van groene energie. *Het Nieuwsblad*.

<sup>271</sup> Van Mechelen, D. en Peeters, K. (2006, mei). *Snellere afhandeling dossiers en meer windturbines door actualisatie omzendbrief*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/doc/wind\\_omzendbrief\\_pers.pdf](http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/doc/wind_omzendbrief_pers.pdf)

In een studie met betrekking tot de ‘Haalbaarheid van windmolenparken in België’<sup>272</sup> werden enkele opmerkelijke cijfermatige voorbeelden uitgewerkt.

- Er werd berekend hoeveel turbines en welke oppervlakte er nodig zouden zijn om de 6% elektriciteit uit hernieuwbare bronnen te halen met behulp van de wind. Hiervoor werd het elektriciteitsverbruik in 2004 als startpunt genomen. Inclusief de verwachte groei zou twee derde van de hernieuwbare productie afkomstig zijn van windenergie. Er werd rekening gehouden met capaciteiten van 20%-25% (binnenland) en 30%-35% (offshore) terwijl de gemiddelde capaciteit van de Belgische windmolens van 2000 tot 2004 slecht 16,5% was. Voor de berekening van de oppervlakte werd gebruik gemaakt van de 5 Φ - 7 Φ regel. Onderstaande tabel was het resultaat.

**Tabel 31: Aantal windmolens en oppervlakte bij 4% windenergie in 2010**

Bron: Oyaert, P. (2005). *Haalbaarheid van windmolenparken in België*. Brussel: Sine nomine. Blz. 119

Capaciteitsfactor		onshore		Offshore	
		20%	25%	30%	35%
2 MW 80 m diameter	# turbines	1009	807	673	577
	Oppervlakte (km <sup>2</sup> )	160	130	150	130

Bovenstaande tabel is niet realistisch omwille van het feit dat er in werkelijkheid een mengeling van offshore en onshore zal zijn. Het geeft wel aan hoeveel molens er ongeveer zouden nodig zijn om de 6% doelstelling te halen.

- Een andere vraag is: hoeveel windmolens zijn nodig voor de sluiting van Doel 1? Deze kernreactor heeft een vermogen van 392,5 MW en een capaciteitsfactor van 89%. Om dezelfde hoeveelheid energie op te wekken zijn er 874 windmolens van 2 MW nodig (capaciteit van 20%). Deze zouden op land een oppervlakte van 140 km<sup>2</sup> innemen.

<sup>272</sup> Oyaert, P. (2005). *Haalbaarheid van windmolenparken in België*. Brussel: VUB. Blz. 118-121

## Besluit

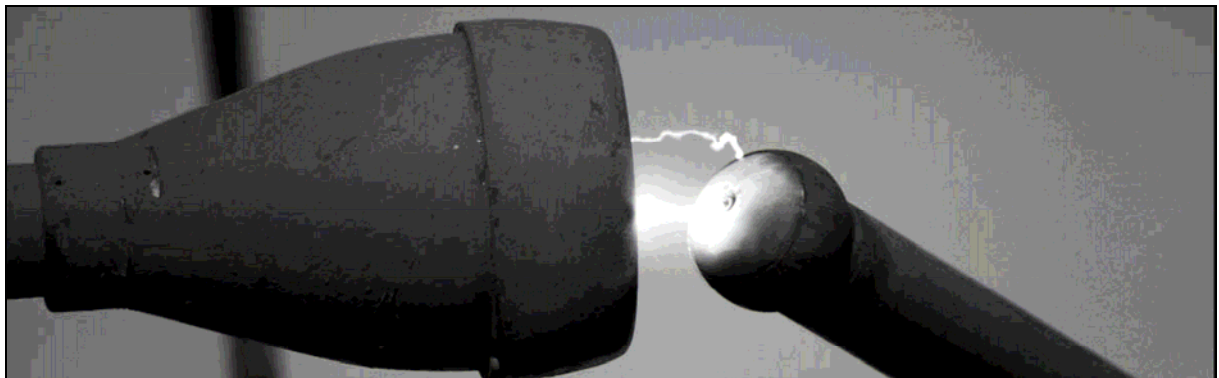
Toekomstscenario's met betrekking op het energiegebruik tonen aan dat deze zal stijgen. Olie, gas en steenkool blijven de belangrijkste bronnen. Kernenergie zal in de verre toekomst afnemen als gevolg van veiligheidsaspecten. Daarnaast is het huidig beleid gericht op het stimuleren van hernieuwbare energievormen. Deze laatste vertonen dan ook sterke groeipercentages de laatste jaren. In dit hoofdstuk werd het ruimtegebruik van deze bronnen dan ook geanalyseerd.

- Windenergie: Vlaanderen, en dan vooral de kustgebieden en de Noordzee bezitten potentieel voor windenergie. De vele verschillende ruimteclaims maken de inplanting van windturbines moeilijk. Daarnaast is er het feit dat deze grote machines in belangrijke mate het landschap domineren. Mooi of niet, feit is dat windturbines veel ruimte innemen in vergelijking met andere productiebronnen voor eenzelfde productieoutput. Daarnaast dient men nog rekening te houden met heel wat indirecte invloeden zoals geluidshinder, slagschaduw en hinder voor avifauna.
- Zonne-energie: Het gebruik van fotovoltaïsche cellen voor de productie van elektriciteit is ruimte-efficiënt. Zonnepanelen kunnen op daken, gevels en geluidsbermen worden gepositioneerd. Bij het gebruik van zonne-energie in Vlaanderen zou het dus bijna uitsluitend gaan over meervoudig ruimtegebruik, waardoor de netto ruimtebehoefte dus vrijwel nul is.
- Waterkracht: In Vlaanderen bevinden zich slechts enkele waterkrachtcentrales. Het potentieel is marginaal als gevolg van het vlakke karakter en de beperkte hoogteverschillen.
- Biomassa: In Vlaanderen levert de verwerking van reststromen zoals landbouwresiduen, organisch afval, houtafval en slib de belangrijkste bijdrage aan de elektriciteitsopwekking. Het benutten van deze stromen brengt weinig ruimtebeslag voor de energievoorziening met zich mee. Voor de productie van energieteelten zoals koolzaad en hout is de ruimte in Vlaanderen te beperkt. Vlaanderen is een dichtbevolkte regio met een te gering landbouwareaal waardoor deze productie onmogelijk is. Wel kan Vlaanderen gebruik maken van de aanwezige infrastructuur en

haar centrale ligging in Europa om te fungeren als doorvoerland van dergelijke producten.

# DEEL IV

# DECENTRALE ENERGIEPRODUCTIE



## **Inleiding: Decentrale energieproductie: een verdergaande trend in de toekomstige energieproductie**

Het is belangrijk om in het kader van de toekomstige energievoorziening het begrip ‘decentrale energieproductie’ te verklaren. In dit subhoofdstuk wordt niet alleen aandacht besteed aan de hernieuwbare energiebronnen maar ook aan de energieopwekking via warmtekrachtkoppeling (WKK) en waterstof (brandstofcellen). Eerst wordt de energiedrager elektriciteit zowel algemeen als ruimtelijk besproken. Daarna wordt meer uitleg gegeven over centrale en decentrale systemen. Tenslotte wordt in een synthese de schaalgrootte van de verschillende centrale en decentrale energiesystemen nader uitgewerkt.

# 1. Elektriciteit

## 1.1. Algemeen

Elektriciteit is geen primaire bron, maar wel een energiedrager. Ze wordt meestal opgewekt met behulp van elektromechanische alternatoren of generatoren. Deze zetten mechanische energie om in elektrische energie. Fotovoltaïsche zonnecellen en brandstofcellen zijn uitzonderingen daarop.

Een generator bestaat uit een roterend deel (de *rotor*) waarin een magnetisch veld wordt opgewekt en die ronddraait in een vast deel van magnetisch materiaal dat geleidende wikkelingen bevat (de *stator*). Door de ronddraaiende beweging van het magnetisch veld wordt elektrische spanning opgewekt in de wikkelingen van de stator, die verbonden zijn met het elektriciteitsnet.<sup>273</sup>

Naargelang het type centrale worden verschillende technieken toegepast om de rotor aan te drijven. In klassieke thermische centrales, kerncentrales en (gedeeltelijk) in STEG-centrales produceert men stoom, die een turbine doet draaien. Bij waterkrachtcentrales wordt een rad door vallend water in beweging gebracht. Bij windmolens brengt de wind de wieken in beweging waardoor een turbine wordt aangedreven.

In bijlage 2 staan de Belgische elektriciteitscentrales vermeld samen met hun netto ontwikkelbaar vermogen en de brandstoffen die ze verbruiken. Deze productie-installaties worden meestal dicht bij de grote verbruikersconcentraties gepositioneerd. Daarmee worden de grote steden, industriegebieden en havens bedoeld. De reden daarvoor is dat er door transport energie verloren gaat.

## 1.2. Ruimtegebruik

Niet iedere elektriciteitscentrale heeft dezelfde hoeveelheid ruimte nodig. De ligging, de grondprijs en de gebruikte brandstof kunnen hier de oorzaak van zijn. Gascentrales zijn het meest flexibel en hebben een minder groot ruimtebeslag omdat het gas geleverd wordt via

---

<sup>273</sup> Couder, J., Verbruggen, A. en Brouwers, J. (2006). *Milieurapport Vlaanderen MIRA, Achtergronddocument, Sector Energie*. Vlaamse Milieumaatschappij.

leidingen en hiervoor dus geen opslagplaats dient voorzien te worden. Kolen en olie vergen opslag ter plekke en soms een haven of spooraansluiting.<sup>274</sup>

Een centrale neemt gemiddeld 20 ha in per MW vermogen. Daarnaast wil het toeval dat de opgestelde capaciteit in MW vrijwel overeen komt met het aantal hoogspanningsmasten.<sup>275</sup>

Uitzondering daarop zijn natuurlijk de kerncentrales, die een enorme productie hebben op een betrekkelijk kleine oppervlakte. Zo produceert de kerncentrale van Doel circa 18 MW per hectare.

Elektrische energie kan (behalve in batterijen) moeilijk worden opgeslagen. De enige oplossing in het voorzien van de verbruikers is ze rechtstreeks te verbinden met de productieplaatsen van elektriciteit. Het transmissie- en distributienet voert de elektriciteit vanuit de productiecentrales tot de gebruikers. Om de energieverliezen tot een minimum te beperken wordt voor het transport van elektriciteit over lange afstanden gebruik gemaakt van hoogspanningslijnen (spanning van 380 tot 26 kV). De distributie naar de verbruikers gebeurt echter in midden- en laagspanning (spanning van 26 kV tot 230 V). Een transformator kan het spanningsniveau wijzigen.

Begin 2006 bedroeg de lengte van het Belgische hoogspanningsnetwerk 8.367 km. Voor het vervoer van elektriciteit over dit net zorgt in België één bedrijf, de transmissienetbeheerder Elia.<sup>276</sup> Daarnaast is ook het distributienet nog meer dan 110.000 km lang.

Hoogspanningsmasten hebben een beperkt direct ruimtegebruik. De vier steunpunten nemen een oppervlakte tussen de 2 en 4 m<sup>2</sup> in. Het oppervlak beslaat oppervlakte tussen de 40 en 100 m<sup>2</sup>.<sup>277</sup> Hoogspanningsmasten hebben een enorme visuele impact. Niet alleen zijn het hoge structuren, er zijn er ook een groot aantal van. Net als bij de inplanting van windturbines verschilt de appreciatie van deze torens van persoon tot persoon. Wel lijkt het zo dat hoogspanningsmasten al beter zijn ingeburgerd. Daarnaast is er ook de indirecte impact van de masten en de transformatorstations als gevolg van de veiligheidsrisico's.

---

<sup>274</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 47

<sup>275</sup> Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers. Blz. 47

<sup>276</sup> Elia (2007, april). *Jaarverslag 2006*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.elia.be/documents.aspx#>

<sup>277</sup> Idem voetnoot 3



Ook het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen heeft nota gemaakt van de ruimtelijke aspecten van hoogspanningsleidingen. ‘Het 380kV en 150kV-hoogspanningsnet evenals de transformatorstations voor het 380kV-net worden beschouwd als structuurbepalend op Vlaams niveau omwille van de transportfunctie voor elektriciteit en de ruimtelijke impact vooral op de landschappelijke structuur (visueel) en de nederzettingsstructuur (o.a. bebouwingvrij houden onder hoogspanningsleidingen om milieuhygiënische redenen).

De structuur van het net hangt samen met:

- de productieplaatsen met name de elektrische centrales;
- de plaatsen met aanbod aan koelwater;
- de grote verbruiksgebieden van elektrische stroom door particulieren, met name de grote en regionale steden;
- de lokalisatie van specifieke economische activiteiten met een grote elektriciteitsbehoefte met name de N.M.B.S., de industriële activiteiten in de omgeving van Kortrijk, de industriële activiteiten in de zeehavens van Antwerpen en Gent, de industriële activiteiten langsheen het Albertkanaal en de industriële activiteiten in de omgeving van Genk en Hasselt;
- de inplanting van de nucleaire centrales is veeleer geopolitiek van aard.<sup>278</sup>

---

<sup>278</sup> Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2004). *Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen*. Brussel: Afdeling Ruimtelijke Planning. Blz. 183, 184

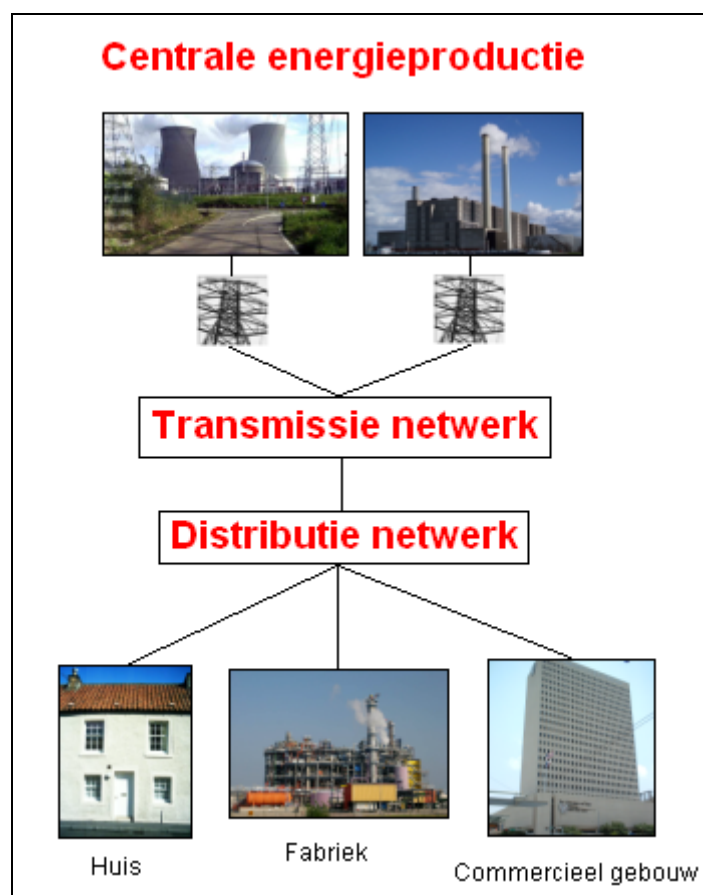
## 2. Centrale energieproductie

In onze maatschappij wordt elektriciteit grotendeels centraal geproduceerd. ‘Het huidige gecentraliseerde distributiesysteem gaat uit van een ‘top down’ systeem van energiestromen waarbij de distributie gecontroleerd wordt door de bekende grote kapitaalondernemingen.’<sup>279</sup> In dit systeem wordt elektriciteit hoofdzakelijk geproduceerd in grote krachtcentrales. In klassieke centrales wordt elektriciteit opgewekt door verbranding (van kolen, olie of gas) of in nucleaire centrales door middel van kernreacties. Van hieruit wordt dan de elektriciteit via hoogspanningskabels over enorme afstanden vervoerd naar de eindverbruikers, die zich soms honderden kilometers verder bevinden. Transformatoren zorgen ervoor dat dit elektriciteitstransport over lange afstand onder hoge spanning gebeurt. Daarna dienen ze ook om de spanning stapsgewijs te verlagen om de regionale en lokale distributienetten te voeden.

In dit model stroomt de energie maar in één enkele richting: van de centrale krachtcentrale naar het netwerk en naar de consumenten. Onderstaande figuur stelt dit schematisch voor.

---

<sup>279</sup> Allaert, G. (2005). *Wegwijs in Ruimtelijke Economie. Doorkijk naar planning en management van ruimte*. Gent: Academia Press. Blz. 232



**Figuur 59: Gecentraliseerde energieopwekking**

Bron: Eigen verwerking naar Europese Commissie (n.d.). *Introduction to Distributed Generation*. Geraadpleegd mei, 2006 op [http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn\\_rt/nn\\_rt\\_dg/article\\_1158\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn_rt/nn_rt_dg/article_1158_en.htm)

## 3. Decentrale energieproductie

### 3.1. Wat is decentrale energieproductie?

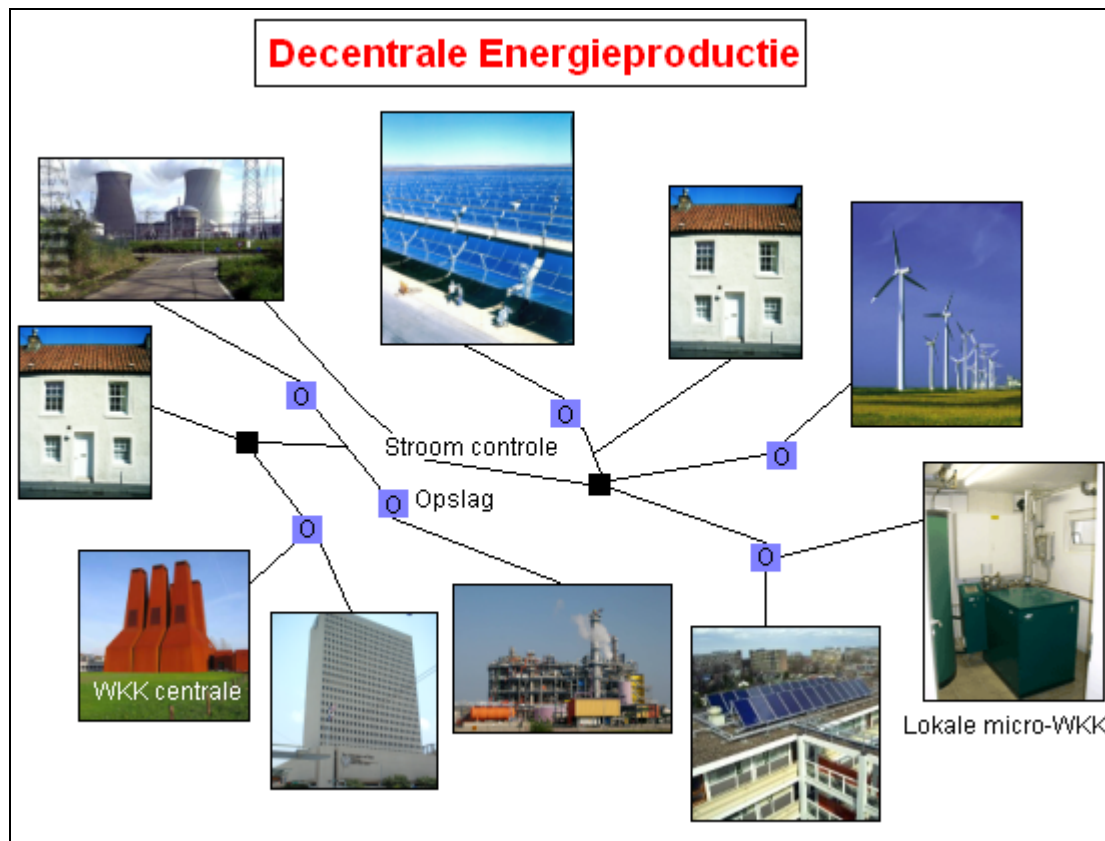
Eenvoudig verwoord is decentrale energie, energie die lokaal wordt opgewekt. Het gaat om systemen op kleinere schaal die energie (elektriciteit) produceren en waar de energie opnieuw kan opgewekt worden op de plaats waar het ook weer wordt verbruikt. Dergelijke decentrale energiesystemen zijn bijvoorbeeld warmtekrachtkoppeling, energieproductie met bio-energie, benutting van windenergie, zonne-energie en andere.

Bij decentrale energieproductie gaat het dus om meer kleinschalige technologieën. In plaats van enkele centrales die voor het gehele land grote hoeveelheden elektriciteit produceren, zorgen in het decentrale systeem vele duizenden units elk voor een klein deel van onze energiebehoefte. Decentrale opwekking doorbreekt echter het lineaire model: niet langer is het zo dat elektrische stroom eenzijdig één kant op vloeit, van producent naar klant. En even belangrijk: ook de financiële stroom vloeit niet meer eenzijdig van klant naar producent. Onderstaande figuur toont aan dat intelligente schakelingen een toenemende rol zullen spelen bij het combineren van afzonderlijke, decentrale energiebronnen tot één virtuele centrale.

‘Een optimale inschakeling van decentrale hernieuwbare energieproductiesystemen vereist dus een herdenken van de netopbouw, nieuwe vormen van netbeheer en de noodzakelijke introductie van energie-opslagtechnieken. Dit is niet vanzelfsprekend in een centraal opgevat elektriciteitsnet, maar biedt anderzijds wel opportuniteiten voor kennisopbouw en industriële innovatie – twee speerpunten van het huidige Vlaamse economische beleid.’<sup>280</sup>

---

<sup>280</sup> Neyens, J., Devriendt, N., Dewilde, L., Dooms, G. en Nijs, W. (2004). *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deelrapport: niet-technologische belemmeringen en maatschappelijk draagvlak*. Brussel: viWTA. Blz. 9



**Figuur 60: Decentrale energieopwekking met geïntegreerd netwerkmanagement**

Bron: Eigen verwerking naar Europese Commissie (n.d.). *Introduction to Distributed Generation*. Geraadpleegd mei, 2006 op [http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn\\_rt/nn\\_rt\\_dg/article\\_1158\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn_rt/nn_rt_dg/article_1158_en.htm)

Het is duidelijk dat decentrale energiesystemen in vergelijking met klassieke centrale productie verscheidene troeven in handen hebben.

### 3.2. Voor- en nadelen van decentrale energieproductie

*Voordelen:*

- Het modulair karakter waardoor een graduele en flexibele uitbouw van vermogen mogelijk is;
- Transmissie- en distributiekosten worden grotendeels vermeden;
- Onafhankelijkheid van netgebonden energievoorziening;
- Mogelijkheid tot diversificatie van bronnen;
- Energie kan op gecontroleerde wijze geproduceerd worden: m.a.w. rendabele maatoplossingen zijn mogelijk;
- De inzet van hernieuwbare energiebronnen is mogelijk;
- Hogere energie-efficiëntie waardoor er een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot is;

- De betrouwbaarheid en de kwaliteit van de stroom worden verhoogd;
- Het teveel aan elektrische energie of warmte kan verkocht worden;
- Er is een beperkter investeringsrisico voor energieproducenten.

*Nadelen:*

- Concurrentie met de centraal geproduceerde elektriciteit;
- Dure investeringen;
- Er zijn veel verschillende standaarden en aansluitregels;
- Meer kans op NIMBY-reacties.

## 4. Ruimte voor decentrale energieproductie<sup>281</sup>

Het realiseren van grootschalige energieprojecten, zoals het bouwen van grote krachtcentrales en het realiseren van netwerkuitbreidingen, wordt wegens het gebrek aan ruimte alsmaar moeilijker. De stijgende elektriciteitsvraag zorgt ervoor dat er toch nood is aan nieuwe productie-eenheden. Kleinschalige eenheden bezitten daarbij enkele voordelen:

- Door te kiezen voor meerdere kleine productie-eenheden in plaats van één grote heeft men met minder partijen en conflicterende belangen te maken. Hierdoor komt de realisatie sneller tot stand;
- Bij het realiseren van decentraal vermogen dient geen langdurige en kostbare procedure te worden doorlopen. Het plaatsen van windturbines vormt hierop een uitzondering;
- De verbinding van decentraal vermogen aan het net zal de behoefte aan meer hoogspanningslijnen doen afnemen;
- Door het ‘modulair’ karakter van decentrale energie-eenheden is het mogelijk vermogen meer op maat te plaatsen waardoor dure overcapaciteit kan worden vermeden en efficiënter met onzekerheden kan worden omgegaan. Indien een groot aantal decentrale eenheden aan het net verbonden zijn, kan eveneens de hoeveelheid reservecapaciteit verminderd worden. Dit doordat een uitval minder verstreckende gevolgen zou hebben.

De vereiste reservecapaciteit verschilt per technologie. Een decentraal systeem, die voor een groot stuk gebaseerd is op weersafhankelijke bronnen zoals zonne-energie en windenergie, dient toch nog een behoorlijke hoeveelheid reservecapaciteit in acht te nemen.

De ruimtelijke aspecten van de verschillende hernieuwbare decentrale energie-eenheden werden reeds in dit hoofdstuk uitgebreid besproken. Vooral de visuele impact en de geluidshinder van windturbines wekken veel misnoegen op bij de lokale gemeenschap. Ook de horizonvervuiling van grote centrales valt niet in goede aarde. Decentrale opwekkingseenheden zoals PV-panelen en micro-WKK zijn veel kleiner en staan verspreid

---

<sup>281</sup> de Jong, H.M. (2003). *Decentraal vermogen: een kansrijke optie? De theoretische en praktische mogelijkheden van een decentraal vermogen om bij te dragen aan een duurzame Nederlandse elektriciteitsvoorziening*. TU Delft. Blz. 32

opgesteld waardoor geen sprake is van horizonvervuiling of aantasting van het lokale landschap.



## 5. Welke technologieën ondersteunen decentrale energieopwekking?

Verskillende technologieën, energiebronnen en energiedragers kunnen elkaar aanvullen bij decentrale energieopwekking.

### 5.1. Warmtekrachtkoppeling

De term warmtekrachtkoppeling (WKK) is een verzamelnaam voor een aantal verschillende manieren om de restwarmte die bij elektriciteitsproductie vrijkomt nuttig te gebruiken. Warmte en elektriciteit worden dus in éénzelfde installatie opgewekt. Daardoor dient bij de inpassing van een dergelijke installatie rekening te worden gehouden met de ruimtelijke positie. Aangezien warmte zo moeilijk te transporteren is, moet de installatie zich dicht bij de warmteverbruiker bevinden. ‘De hoogwaardige warmte (circa 1200°C) die vrijkomt bij het verbranden van de brandstof wordt dan eerst gebruikt voor het produceren van mechanische energie, die dan verder via een alternator wordt omgezet in elektriciteit.’ De resterende laagwaardige warmte kan dan gebruikt om te voldoen aan de specifieke warmtevraag van een bedrijf, kantoor, zwembad of ziekenhuis. De warmtevraag staat normaal gesproken voorop bij WKK, zodat de gebruikte brandstof veel beter wordt benut en vernietiging van warmte nauwelijks voorkomt.

Het brandstofverbruik voor de gecombineerde productie van elektriciteit en warmte in een WKK is dus een stuk lager dan het verbruik voor de productie van eenzelfde aantal eenheden elektriciteit en warmte afzonderlijk in elektriciteitscentrale en c.v.-ketel.<sup>282</sup>

Het principe van WKK is brandstof-onafhankelijk. Er wordt gewerkt met restwarmte uit kolen- of gasgestookte elektriciteits centrales, maar ook met biomassa of uranium als brandstof voor energieconversie. Gas is de aangewezen bron bij industriële processen, waar meestal grote vermogens nodig zijn en warmte in de vorm van stoom wordt gevraagd.<sup>283</sup>

Gas is een belangrijke krachtbron voor WKK toepassingen. ‘Een voordeel van gasgestookte WKK is dat het een transitie naar andere soorten gas dan aardgas (menggas, waterstof)

---

<sup>282</sup> Cogen Vlaanderen (n.d.). *Wat is WKK?* Geraadpleegd april, 2007 op <http://www.cogenvlaanderen.be/>

<sup>283</sup> Energieprojecten (n.d.). *WKK (Warmte-KrachtKoppeling)*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.energieprojecten.nl/edu/ut\\_wkk.html](http://www.energieprojecten.nl/edu/ut_wkk.html)

mogelijk maakt. Gasgestookte WKK lijkt daarmee de aangewezen, flexibele weg naar decentrale energieconversie systemen.<sup>284</sup>

## 5.2. Waterstof

Waterstof staat momenteel volop in de belangstelling als de energiedrager van de toekomst ter vervanging van de huidige fossiele brandstoffen. Waterstof is dus geen energiebron, zoals olie, steenkool, wind of zon, maar wel een energiedrager zoals elektriciteit of benzine. Ons universum bestaat voor 75 procent uit waterstof maar deze komt niet voor in vrije vorm. Het moet (met behulp van elektriciteit) bevrijd worden uit andere chemische componenten waar het aan vast zit. Waterstof kan uit vrijwel elke energiebron gemaakt worden: water, aardgas, olie, biomassa en andere koolwaterstoffen.

Samengevat werkt het basisprincipe van een waterstofeconomie als volgt. Met elektrische energie wordt water gesplitst in waterstof en zuurstof (elektrolyse). Deze waterstof kan opgeslagen en vervoerd worden om op een andere tijd en plaats als energiebron gebruikt worden. Waterstof kan dus gebruikt worden voor verschillende doeleinden: voor elektriciteitsopwekking met brandstofcellen, voor verwarming of als motorbrandstof.<sup>285</sup>

Op internationaal vlak stijgt de aandacht voor een economie die gebaseerd is op waterstof. In de Verenigde Staten werd reeds een ‘Roadmap to Hydrogen’ ontwikkeld en op Europees niveau werd ook reeds het rapport ‘Hydrogen Energy and Fuel Cells, a vision of our future’ uitgebracht. Binnen het Belgische energiebeleid is het inzicht in waterstof als energiedrager nog zeer beperkt. Wel was het project ‘Ontwikkeling van instrumenten ter evaluatie van het potentieel voor duurzame waterstof in België’ de eerste stap in een te ontwikkelen wetenschappelijke beoordeling van waterstof in de Belgische context.<sup>286</sup>

De invoering van een waterstofeconomie zou een enorme impact hebben op onze maatschappij. Dit niet alleen op economisch en sociaal vlak, maar ook op ruimtelijk vlak. Tegenwoordig gaan vele subsidies naar onderzoek in verband met waterstoftechnologie.

---

<sup>284</sup> Den Blanken, K. (2004). *WKK en decentrale energie systemen, in Nederland*. Cogen Nederland.

<sup>285</sup> SenterNovem (2006). *Waterstof, Brandstof voor Transitie*. Advies van het Platform Nieuw Gas Werkgroep Waterstof. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.senternovem.nl/mmfiles/Waterstof%20brandstof%20voor%20transities%2027-10-06\\_tcm24-200339.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/Waterstof%20brandstof%20voor%20transities%2027-10-06_tcm24-200339.pdf)

<sup>286</sup> Martens, A., Germain, A., Proost, S. en Palmers, G. (2006). *Development of tools to evaluate the potential of sustainable hydrogen in Belgium*. Brussel: Belgisch Wetenschapsbeleid.

Velen bepleiten de vele troeven die deze techniek bezit. Bij sommige visies is een kritische noot wel op zijn plaats.

Eén van de belangrijkste standpunten voor de overschakeling naar een waterstofgebaseerde maatschappij is 'milieuvriendelijkheid'. Wanneer waterstof verbrand wordt ontstaat alleen waterdamp en is er geen andere schadelijke uitstoot. Hierbij dient opgemerkt te worden dat vrijgekomen water en waterstof ergere broeikasgassen zijn dan koolstofdioxide.

Ook het feit dat waterstof nog moet geproduceerd worden met behulp van elektriciteit is niet zo milieuvriendelijk. Alleen als waterstof wordt aangemaakt met hernieuwbare energiebronnen komt er geen CO<sub>2</sub> en andere gassen vrij.<sup>287</sup>

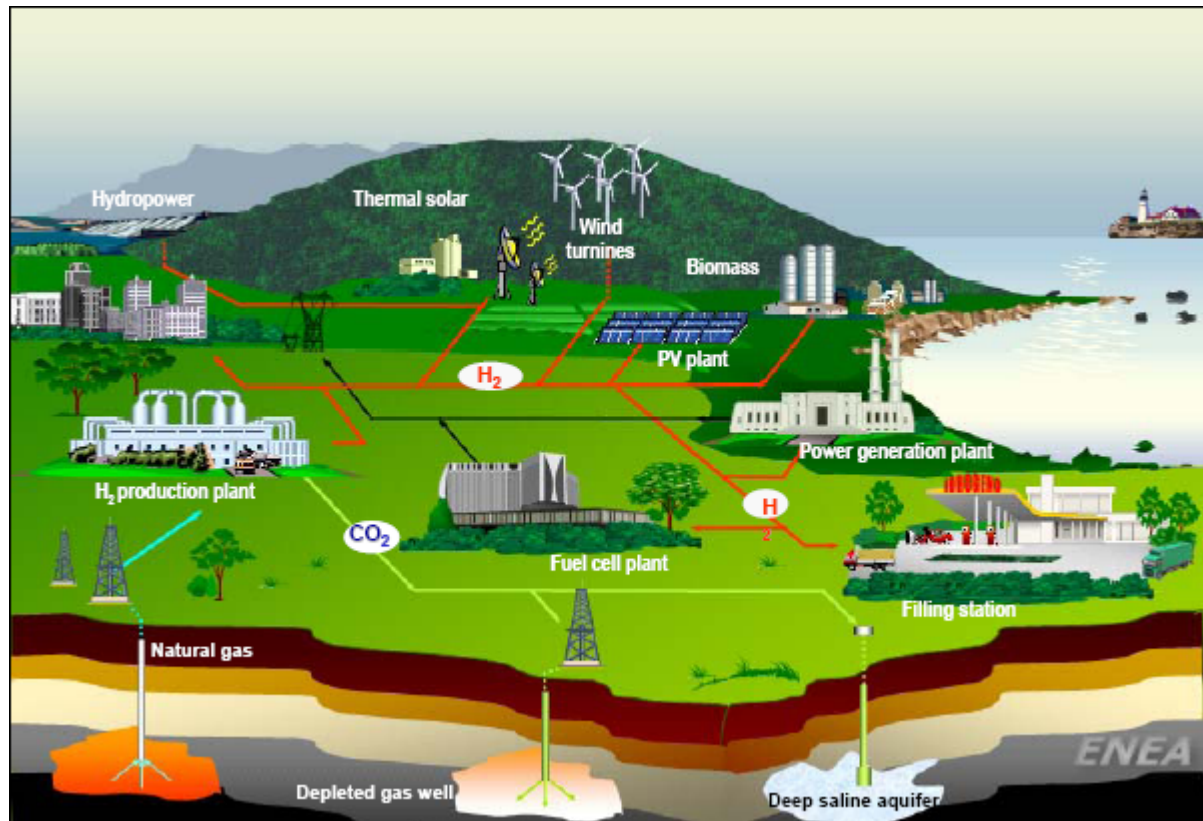
Duidelijk is dat de toekomstige implementatie van een waterstofeconomie een serieuze impact zal hebben op de maatschappijstructuur. De ontwikkeling van dergelijke economie kan een belangrijke doorbraak teweegbrengen in alternatieve distributiesystemen voor energie. Hierdoor kunnen regionaal en zelfs lokaal gestuurde distributiesystemen opgang maken waardoor lokale energieproductie mogelijk wordt.<sup>288</sup>

Onderstaande figuur toont hoe een geïntegreerd energiesysteem er in de toekomst kan uitzien. Hierin worden kleine en grote brandstofcellen gecombineerd voor huiselijke en gecentraliseerde warmte- en elektriciteitsproductie. Lokale waterstofnetwerken zouden kunnen gebruikt worden voor conventionele brandstof of voor motorbrandstof.

---

<sup>287</sup> Kroon, M.C. (2005). *Geen toekomst voor waterstofeconomie. Lang leve het elektriciteitsimperium*. TU Delft.

<sup>288</sup> Allaert, G. (2005). *Wegwijs in Ruimtelijke Economie. Doorkijk naar planning en management van ruimte*. Gent: Academia Press. Blz. 233



**Figuur 61: De Waterstofvisie**

Bron: Vellone, R. (2005, maart 16). *Hydrogen and Fuel Cell Project*. ENEA. Geraadpleegd april 2007 op <http://www.hy-co-era.net/datapool/page/47/IT160305.pdf>

Waterstof vergt een eigen infrastructuur. Wanneer men dergelijke technologie zal willen exploiteren is er nood aan een totaal ander distributiesysteem. Er werd reeds nagegaan of het huidige leidingsysteem voor aardgas ook zou kunnen gebruikt worden om waterstof te transporteren. Doordat waterstof makkelijk door deze leidingen heen kan diffunderen, werden verliezen van 20% waargenomen. ‘Er is dus een ander leidingsysteem met dikkere wanden, andere afsluitkleppen en sterkere compressoren nodig. Een andere mogelijkheid voor distributie van waterstof is het vershippen of het wegtransport van vloeibare waterstof naar de juiste locaties.’<sup>289</sup>

Naar de ruimtelijke consequenties van de waterstofeconomie werd nog niet veel research gedaan. Daaruit kunnen dan ook geen besluiten worden getrokken. Wel is duidelijk dat de invoering ervan zeker een invloed zou hebben op de ruimtelijke structuur door de nood aan nieuwe voorzieningen.

<sup>289</sup> Kroon, M.C. (2005). *Geen toekomst voor waterstofeconomie. Lang leve het elektriciteitsimperium*. TU Delft.

IJsland heeft zich als doel gesteld om als eerste land een waterstofeconomie uit te bouwen en zo onafhankelijk te worden van olie-import. Het is ook het enige land in de EU waar een overgang naar een waterstofeconomie interessant zou zijn. Het eiland beschikt over heel wat geothermale bronnen en waterkrachtcentrales en kan deze makkelijk aanwenden voor de productie van elektriciteit en in de toekomst voor de verdere productie van waterstof. Samen met de hulp van Shell, Norsk Hydro en Daimler-Chrysler wil IJsland de komende 50 jaar alle fossiele brandstoffen vervangen door waterstof. In 2003 werd reeds het eerste waterstoftankstation geopend om bussen op waterstof te laten rijden.<sup>290</sup>

Ook in Vlaanderen worden inspanningen geleverd om mee te evolueren met deze nieuwe ontwikkelingen. Zo heeft het Instituut voor Duurzame Mobiliteit (IDM) van de Gentse Universiteit begin 2005 in Plassendale een afgedankte bus van De Lijn laten ombouwen. De bus rijdt op een mengsel van 80% aardgas en 20% waterstof. Dergelijke ontwikkelingen passen binnen het kader van de waterstofvisie. In de toekomst is het de bedoeling om waterstofprojecten te koppelen aan de bouw van windenergieparken in de Noordzee. Een dergelijk windmolenpark zal dan een constant debiet van haar elektrische vermogen naar het elektriciteitsnet sturen terwijl het variabele debiet kan worden aangewend om via elektrolyse water te ontleden in zuurstof en waterstof. Er is de intentie om het Oostendse industriepark Plassendale binnen ettelijke jaren om te bouwen tot waterstofcentrum. De samenwerking tussen de havens van Oostende en Zeebrugge (ZEEBROOS) zou hierbij onmisbaar zijn.<sup>291</sup>

### 5.3. Hernieuwbare energiebronnen

Hernieuwbare energiebronnen zouden beter tot hun recht komen in een decentrale productiesysteem. Hernieuwbare energiebronnen dragen een enorm potentieel aan autonomie en zelfbeschikking in zich en zouden bij een lokale of regionale economie kunnen dienen als vormen van zelfvoorziening voor gezinnen, bedrijven, wijken en regio's.

Zoals daarnet vermeld, dient rekening gehouden te worden met de onvoorspelbaarheid van sommige hernieuwbare bronnen. Zo hoeft men in een decentraal systeem, die grotendeels is

---

<sup>290</sup> Mols, B. (2003). Onderweg naar een schone economie. *Natuurwetenschap en Techniek*, (10). Geraadpleegd april, 2007 op <http://noorderlicht.vpro.nl/dossiers/11867650/hoofdstuk/14251272/>

<sup>291</sup> Allaert, G., Sierens, R., Grillaert, K., Pecqueur, M. en Vandenberghe, E. (2005). *Clean Technology for Public Transport - Waterstof als milieuvriendelijk alternatief voor diesel en benzine*. Afdeling Mobiliteit & Ruimtelijke Planning.

gebaseerd op weersafhankelijke bronnen (zonne-energie en windenergie), toch nog een behoorlijke hoeveelheid reservecapaciteit in acht te nemen.

Wanneer we nu een energiesysteem zouden baseren op zonne-energie, dan zou alleen het tegenargument van de dag- en nacht-cyclus geldig zijn. Een voorstel zou kunnen zijn: overdag gebruik maken van de zon en 's nachts vertrouwen op traditionele energiebronnen. Positief aan deze optie is dan de vermindering in het gebruik van fossiele brandstoffen. Maar er dient rekening te worden gehouden met het feit dat bijvoorbeeld een kerncentrale niet iedere dag de productie kan stilleggen en opnieuw opnemen. De opstart van zo'n centrale duurt immers enkele dagen. Een andere optie is opslag van de overdag opgewekte energie, zodanig dat deze ook 's nachts zou kunnen gebruikt worden. Wegens de technische beperking van opslagbatterijen is dit slechts op kleine schaal mogelijk en dus niet geschikt voor massale opslag van energie. Juist in deze zin zit de kern van het decentrale verhaal. De energie zou lokaal kunnen opgeslagen worden. Net zoals op figuur 60 zou een zonnecentrale overdag energie kunnen leveren via het elektriciteitsnetwerk. Particulieren en bedrijven zouden dan deze energie kunnen verbruiken om apparaten en machines te doen werken, maar ook om een batterij op te laden. Deze technologie is reeds voorhanden.

Zonne-energie wordt algemeen beschouwd als de hernieuwbare energiebron die de komende jaren nog fors zal stijgen. De belangrijkste reden daarvoor is dat zonlicht overal beschikbaar is en iedereen dus ter plekke zijn energie kan opwekken. Zonne-energie kan dus een zeer belangrijke schakel vormen in een decentraal energiesysteem.

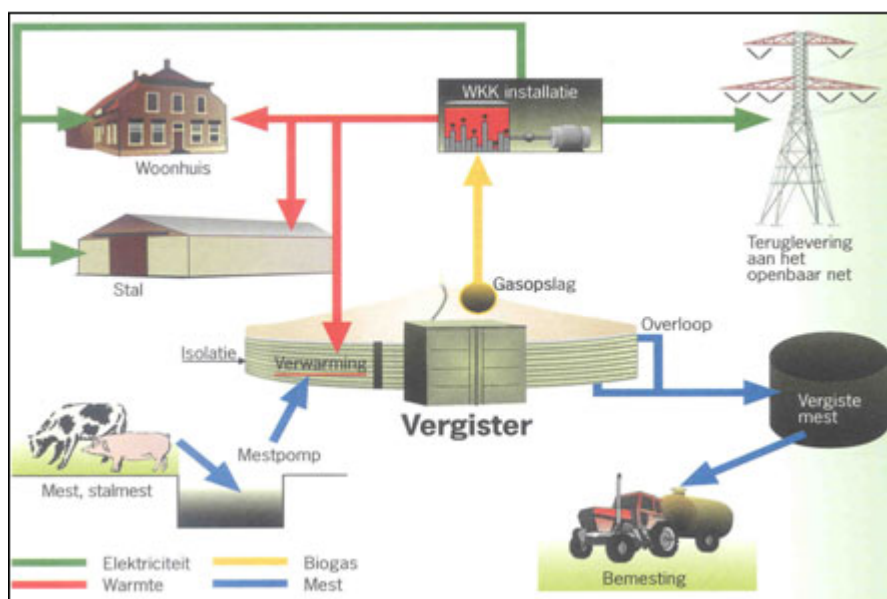
Het is belangrijk om even kritisch na te denken waarom de productie van decentrale energie niet sneller tot stand komt. Is het niet zo dat wanneer decentrale productie tot stand zou komen de woekerwinsten van de grote kapitaalondernemingen grotendeels zouden wegvallen. Vreemd genoeg vormt het bestaande stroomnet de sleutel tot de doorbraak van zonne-energie: particuliere zonne-installaties worden in meer dan 90% van de gevallen aan het net gekoppeld, zodat de overtollig geproduceerde energie aan het net wordt geleverd en de meter terugloopt. Dit systeem werkt echter alleen maar zolang hernieuwbare energiebronnen een relatief klein deel van de elektriciteit opwekken. Het systeem kan niet werken als de helft van de elektriciteit wordt opgewekt door zonne-energie, anders is er 's nachts te weinig elektriciteit.<sup>292</sup>

---

<sup>292</sup> De Decker, K. (2007). Energie in overvloed – Waarom kerncentrales op aarde bouwen als er een nucleaire reactor aan de hemel hangt? *Knack*, 37 (4), 69-70.

Het feit dat Vlaanderen zo goed als volgebouwd is, speelt helemaal in de kaart van deze decentrale productie. Zo kan ook het geval van energieteelten (biomassa) en WKK belicht worden. De aanplanting van dergelijke teelten en bossen is onmogelijk omwille van de beperkte ruimte. Een grote verbrandings- of vergassingsinstallatie met honderden hectaren energiebos of –teelt eromheen, zoals in Engeland, Canada of Zweden is niet haalbaar in Vlaanderen. Wat wel mogelijk is, is een netwerk van kleinschalige, gedecentraliseerde installaties die samen toch een redelijk vermogen kunnen bereiken.<sup>293</sup>

Verder biedt mestbewerking een mogelijkheid tot de productie van biogas die kan verbrand worden in een WKK. Onderstaande figuur toont hoe deze productie in zijn werk gaat.



**Figuur 62: Decentrale energieproductie door mestvergisting**

Bron: SenterNovem (2006, 4 december). *Achtergrondinformatie mestverwerking*. Geraadpleegd mei, 2007 op [http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/Aan\\_de\\_slag/Aan\\_de\\_slag\\_Bio-energie/Vergunningverlening/Vergunningverlening\\_mestvergisting/achtergrondinformatie.asp](http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/Aan_de_slag/Aan_de_slag_Bio-energie/Vergunningverlening/Vergunningverlening_mestvergisting/achtergrondinformatie.asp)

<sup>293</sup> N.N. (2001). Maken energiebossen het toekomstig landschap uit in Vlaanderen? *De Milieukrant*, 12 (14).






## 6. Schaalgrootte: centraal vs. decentraal

Door hun schaalgrootte enerzijds en hun centrale of decentrale karakter anderzijds onderscheiden verschillende energiesystemen van elkaar. Bij de aanschouw van onderstaande tabel dient in gedachten te worden gehouden dat een grootschalige centrale toepassing van een hernieuwbare technologie niet dezelfde vermogensconcentratie per oppervlakte-eenheid heeft als een systeem voor conventionele energieopwekking.

Ook de koppeling van grootschalig met centraal enerzijds en kleinschalig met decentraal anderzijds is ook niet inherent. Er bestaan tussenvormen die een aanzienlijke schaal hebben maar toch decentraal staan opgesteld.<sup>294</sup>





**Tabel 32: Samenvattend schema: schaalgrootte van diverse energiesystemen**

Bron: Eigen bewerking

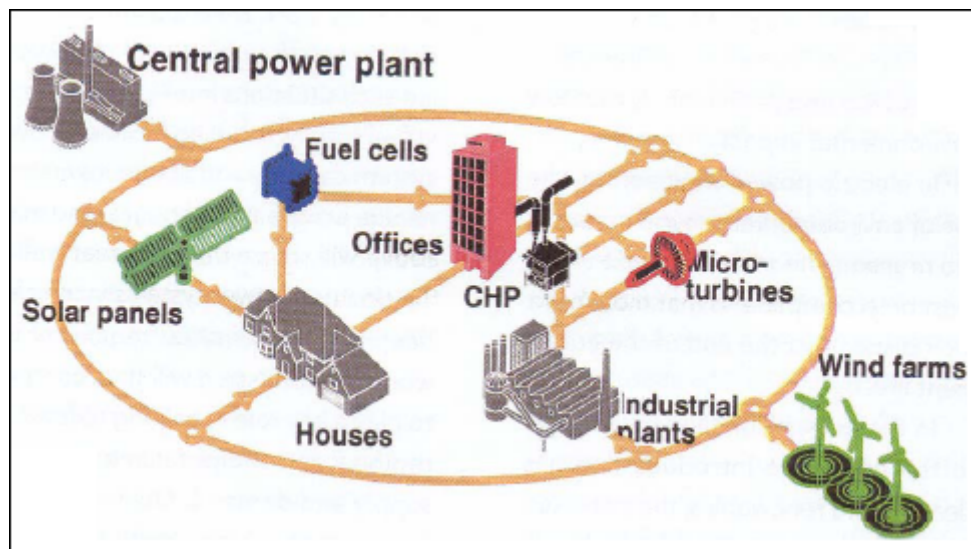
	<b>CENTRAAL</b>	<b>DECENTRAAL</b>	
	Grootschalig	Middenschalig	Kleinschalig
<u>Wind</u> 	Windturbinepark: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ op land</li> <li>▪ op zee</li> </ul>	Geïsoleerde windturbine	Kleine windmolens 'Urban Turbines'
<u>Netgekoppelde fotovoltaïsche zonne-energie</u> 	Zonnestroomcentrale vanaf 1 MWp + ondersteuningspunten voor de versterking van distributienetten  (Niet aanwezig in Vlaanderen)	PV-systeem vanaf 50 kWp ook op daken  (Ook decentrale systemen groter dan 1 MWp voor industriële toepassingen. )	Individueel PV-systeem op dak en langs gevels van huizen en gebouwen
<u>Thermische zonne-energie</u> 	Thermale zonnecentrale  (Niet aanwezig in Vlaanderen)	Middelgroot collectoroppervlak	Individuele zonne-boiler
<u>Biomassa</u> 	Grote biomassacentrale Vb. biomassacentrale Electrawinds in Plassendale (Oostende)	Kleine vergistingsinstallatie	Cv-ketel op houtpellets
<u>Water</u> 	Grootschalige waterkrachtcentrale  (Niet aanwezig in Vlaanderen)	Kleine waterkrachtcentrales: matig verval	Kleine waterkrachtcentrales: gering verval

<sup>294</sup> Neyens, J., Devriendt, N., Dewilde, L., Dooms, G. en Nijs, W. (2004). *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deelrapport: niet-technologische belemmeringen en maatschappelijk draagvlak*. Brussel: viWTA.



<u>WKK</u>	Grote WKK's (vergelijkbaar met een klassieke centrale op gas of steenkool) Vb. Tate and Lyle in Aalst (48 MW)	WKK voor zwembaden, appartementsgebouwen en industrieel gebruik	Micro-WKK: huiselijk gebruik, vb. gasmotor die elektriciteit maakt en die gekoeld wordt door het water van de centrale verwarming.
<u>Steenkool</u> 	Elektriciteitscentrales op steenkool. Vb. klassieke thermische centrale in Rodenhuize (526 MW)	-	-
<u>Olie</u> 	Elektriciteitscentrales en turbojets op stookolie. Vb. turbojet in Beerse (32 MW)	-	-
<u>Gas</u> 	Elektriciteitscentrales op gas. Dit zijn gasturbines en STEG centrales. Vb. STEG-centrale in Drogenbos (460 MW) (Gas wordt ook meestal gebruikt bij WKK's (zie hoger in tabel))	-	-
<u>Kernenergie</u> 	Kerncentrale Vb. Doel (2.759 MW)	-	-

Zoals reeds vermeld wordt elektrische energie in België hoofdzakelijk centraal opgewekt, in grote elektriciteitscentrales geografisch verspreid over het grondgebied. De centrales zijn rechtstreeks met het transportnet verbonden. De laatste jaren wordt steeds meer geopperd voor de overschakeling op een meer decentraal systeem. Daarvoor is een reorganisatie van de energie-infrastructuur natuurlijk een must. Decentrale opwekking op grote schaal vereist dan ook de uitbouw van zogenaamde 'smart grids' of intelligente netten waardoor vraag en aanbod beter op elkaar kunnen worden afgestemd. Dergelijke opbouw zou kunnen vergeleken worden met de structuur van het internet. Gebruikers kunnen dan niet alleen stroom afhaken ('downloaden') maar ook opladen ('uploaden'). Het gaat dus over tweerichtingsverkeer, zowel top-down als bottom-up. Momenteel spendeert de media zeer veel aandacht aan de productie van energie uit hernieuwbare energiebronnen. Deze bronnen worden meer en meer benut en zouden dan ook perfect passen in dergelijke netwerkstructuur. De voordelen van een dusdanige structuur werden in 3.2 besproken.



**Figuur 63: Decentrale energiestructuur**

Bron: Blom, J.H. (2007, 24 april). Wat is de lading van een electron waard? Technische Universiteit Eindhoven. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.fuelthefuture.nl/Jan%20Blom%20-%20Ladingv4.pdf>

Voor een goede beeldvorming van het onderscheid tussen centrale en decentrale productie dient het volgende in acht te worden genomen. Een strikt centrale elektriciteitsvoorziening kan voorgesteld worden als een systeem dat bestaat uit 4 centrales van 4.000 tot 5.000 MW opgesteld in de hoeken van een land. Van daaruit zou door koppeling op het hoogste netvlak en door middel van stervormige netten elektriciteit getransporteerd en gedistribueerd worden. ‘Dergelijke kwetsbare structuren van productie, transport en distributie zijn in de Verenigde Staten, Polen, Rusland en vele andere – geografisch grote – landen te vinden.’<sup>295</sup> Daaruit kan geconcludeerd worden dat de elektriciteitsvoorziening reeds voor een klein gedeelte een gemengd centraal/decentraal karakter heeft.

<sup>295</sup> Den Blanken, K. (2004). *Brief directeur Cogen Nederland aan Dienst uitvoering en toezicht Energie*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.cogen.nl/decopw/cn040318.pdf>

## **7. Conclusie: potentieel voor decentrale energieproductie in Vlaanderen**

In Deel III van deze scriptie werden de verschillende hernieuwbare energiebronnen uitgebreid besproken. Daarin werd niet alleen aandacht besteed aan het ruimtegebruik van de bronnen maar ook aan het potentieel die ze hebben in Vlaanderen. Het is dan ook interessant om nu de mogelijkheden voor decentrale energiesystemen te bekijken op geografisch vlak. Er dient rekening te worden gehouden dat decentrale energieproductie niet alleen gericht is op de productie van elektriciteit maar ook van warmte.

### *Waterkracht*

In Vlaanderen zijn slechts enkele waterkrachtcentrales aanwezig. Het verval van de rivieren is gering en daardoor is er slechts potentieel voor enkele kleinschalige waterkrachtprojecten. Hier en daar kunnen dergelijke projecten een bijdrage leveren en decentraal energie produceren. Het grootste potentieel voor waterkrachtinstallaties in molensites bevindt zich in Vlaams-Brabant. Het grootste potentieel voor stuwen bevindt zich in Limburg. Daarnaast zou ook nog een stuw van 10 MW kunnen worden gebouwd op de Maas in de buurt van Maaseik. Al bij al kunnen we zeggen dat Limburg het grootste potentieel bevat voor de uitbouw van decentrale waterkracht.

### *Biomassa*

Biomassa is momenteel de belangrijkste decentrale energiebron. In Vlaanderen zijn grootschalige aanplantingen van energiegewassen (hout en teelten) onmogelijk. Om toch een redelijk vermogen te bereiken is het wel mogelijk om een netwerk van kleinschalige, gedecentraliseerde installaties voor energieproductie aan te leggen. Dergelijke installaties kunnen dan vlakbij de energievelden ingeplant worden om zo ook het energieverbruik door transport te reduceren.

Wanneer in Deel III het belang en het ruimtegebruik van mestbewerking werd toegelicht kon op basis van kaartmateriaal de relatie gelegd worden tussen mestoverschotten en mestverwerkingsinstallaties. Deze relatie was vooral duidelijk voor centraal West Vlaanderen, het noorden van Oost-Vlaanderen en Antwerpen. In de toekomst zou nog meer de nadruk kunnen gelegd op het bewerken van mest voor de productie van biogas, bijvoorbeeld door

vergisting. Daardoor zouden deze regio's door decentrale energieproductie in WKK's in hun elektriciteit kunnen voorzien.

### *Zonne-energie*

Zonne-energie heeft in Vlaanderen nog heel wat potentieel. Bijna iedere plek waar daglicht vrij spel heeft is geschikt voor de plaatsing van een zonnestelsel, óók als er op die plek al gebouwd is. Het meervoudig ruimtegebruik van zonnepanelen (PV) en zonnecollectoren is dus een zeer belangrijke troef. Decentrale netgekoppelde systemen worden veelal geplaatst in de gebouwde omgeving. In tabel 32 is te zien dat kleinschalige decentrale zonnestelsels vooral bij particulieren in gebruik worden genomen. Verder is de plaatsing van middenschalige decentrale zonnepanelen door KMO's een trend die het laatste jaar sterk opkomt.

Geografisch bekeken ontvangt het zuiden van België iets meer straling dan de rest van het land. Ook het kustgebied ontvangt meer straling dan het binnenland. Grote verschillen in ontvangen straling zouden de productie van decentrale energie in bepaalde streken kunnen bevoordelen, maar er kan gesteld worden dat deze verschillen binnen ons land te verwaarlozen zijn. Zonne-energie kan dus op iedere plaats in Vlaanderen worden gebruikt mits juiste oriëntatie en plaatsing.

Momenteel wordt zonne-energie beschouwd als de bron met de meeste kans op slagen om in de toekomst een belangrijke rol te spelen. Deze bron kan dan ook de doorslag geven in de verdere evolutie naar een decentraal energiesysteem. De technologie om op kleine schaal de lokaal opgewekte energie op te slaan, is reeds voorhanden. Overdag kunnen zonnestelsels energie leveren aan het elektriciteitsnetwerk. Deze energie kan geconsumeerd worden maar kan ook dienen om een batterij op te laden. 's Nachts zou deze opgeslagen energie dan kunnen gebruikt worden.

### *Windenergie*

Als gevolg van heel wat verschillende concurrerende ruimteclaims is het niet gemakkelijk om plaatsen te vinden om windturbines in te planten, zowel op land als op zee. Vanuit windtechnisch oogpunt bieden vooral locaties ten noordwesten van de as Kortrijk-Gent-Antwerpen het meeste potentie. Anders gezegd vormen het kustgebied en het noorden van de provincies West- en Oost-Vlaanderen en Antwerpen de beste mogelijkheden. Een blik op het Windplan Vlaanderen laat dit duidelijk zien. In deze gebieden zou decentrale elektriciteitsproductie met behulp van windturbines dan ook mogelijk zijn. Alles hangt af van

de toelating om windturbines te plaatsen. Op zee heersen grotere windsnelheden waardoor grotere rendementen kunnen worden gehaald. De bouw van het windmolenpark op de Thorntonbank kan in de toekomst meehelpen aan de decentrale uitbouw van het kustgebied. Plassendale (Oostende) zou daar opnieuw kunnen vermeld worden als centrum. Dit omwille van de aanlanding van de elektriciteit opgewekt door de windturbines op de Thorntonbank. Deze aanlanding zou de aanzet kunnen zijn om in de toekomst op deze plaats een waterstofcentrum te ontwikkelen. Het variabele debiet van het elektrische vermogen van het windmolenpark op de Thorntonbank (en in de toekomst nog andere) zou kunnen aangewend worden om via elektrolyse water te ontleden in zuurstof en waterstof. De samenwerking tussen de havens van Oostende en Zeebrugge (ZEEBROOS) zou hierbij onmisbaar zijn. Ten slotte zullen in de toekomst de zogenaamde ‘urban turbines’ in de gebouwde omgeving in Vlaanderen worden geïntroduceerd. Deze zullen dan ook een aandeel hebben in het decentrale verhaal.

## Algemene conclusie

### Besluit

Energie is de levensadem van elke maatschappij. Ze is noodzakelijk om aan de menselijke behoeften, de toenemende levensverwachting en de stijgende levensstandaard te blijven voldoen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat energie een invloed heeft op het ruimtegebruik en het landschap.

- In Deel I kon vastgesteld worden dat ontwikkelingen in de energievoorziening door de geschiedenis heen steeds ruimtelijke consequenties hebben gehad. In Vlaanderen heeft vooral de winning van steenkool in de Kempense mijnen zijn sporen nagelaten in het landschap. Zo werden de Kempen gevormd van een traditioneel landelijke tot een industriële regio. Het uitzicht werd bepaald door schoorstenen, schachtbokken, terrils, koeltorens en fabrieksgebouwen. Daarnaast werd ook heel wat verkeers- en vervoersinfrastructuur aangelegd zoals spoorwegen en kleine haventjes. Momenteel vormen al deze elementen een unieke geografische streek in Vlaanderen. Ook zijn hier en daar nog relictlandschappen en nederzettingsstructuren van veenontginningen in Vlaanderen te vinden.
- Fossiele energiebronnen hebben tegenwoordig het grootste aandeel in de energievoorziening en dat zal in de nabije toekomst niet veranderen. In Deel II werd aangetoond dat deze bronnen zeker een impact hebben op de ruimte. De kolenhavens in Gent en Antwerpen zijn voorzien van grote op- en overslagterreinen en infrastructuur voor de verwerking en vervoer van kolen. De Haven van Antwerpen vormt in Vlaanderen ook een groot petrochemisch complex met een verregaande economische betekenis. Infrastructuur voor de opslag, verwerking en gebruik van olie maken dan ook deel uit van dit industrielandchap. De enige invoer van olie gebeurt via de RAPL. Deze ondergrondse pijpleiding neemt dus geen directe ruimte in beslag maar de aanleg van dergelijke pijpleidingen gaat gepaard met restricties die het gebruik en de inrichting van de bovengrondse ruimte beïnvloeden. Ook het gasnetwerk in Vlaanderen ligt volledig ondergronds. De Haven van Zeebrugge vormt binnen dit netwerk de belangrijkste hub met de aanlanding van belangrijke Europese pijpleidingen (Zeepipe, Interconnector) en de aanwezigheid van een LNG-terminal.

Het gebruik van nucleaire energie is, van alle besproken bronnen in deze scriptie, het meest ruimte-efficiënt. Vanuit puur ruimtelijk standpunt gezien is deze bron ideaal. Toch zal het aandeel van deze energiebron afnemen als gevolg van de grote veiligheidsrisico's en de beperkte voorraad van uranium.

- Het Vlaams en Belgisch energiebeleid is gericht om meer energie te produceren met behulp van hernieuwbare energiebronnen. In Vlaanderen werd in de 20<sup>ste</sup> eeuw enkel steenkool ontgonnen. De winning daarvan vond grotendeels ondergronds plaats waardoor het bovengronds ruimtebeslag relatief beperkt bleef. Hernieuwbare bronnen zijn bovengrondse bronnen. Wanneer er in gedachten gehouden wordt dat een grootschalige centrale toepassing van een hernieuwbare technologie niet dezelfde vermogensconcentratie per oppervlakte-eenheid heeft als een systeem voor conventionele energieopwekking, kan er gesteld worden dat hernieuwbare energiebronnen in de toekomst heel wat ruimtelijke consequenties zullen hebben. In Deel III werden deze consequenties bron per bron uitgewerkt. Biomassa, windenergie en zonne-energie vormen de belangrijkste.

- Biomassa vormt in Vlaanderen de belangrijkste hernieuwbare energiebron. Momenteel levert deze bron ruim 70% van de duurzame energieopwekking. Het grootste deel van de energie wordt geleverd door rest- of afvalstromen zoals houtafval, landbouwoverschotten, waterzuiveringsslib, GFT, huishoudelijk afval, stortgas e.a.. De verwerking van deze stromen gebeurt op een zeer kleine oppervlakte en vergt dus weinig ruimte.

Grootschalige aanplantingen van energiegewassen zijn in Vlaanderen onmogelijk. Of het nu gaat om energiebossen of energieteelten zoals koolzaad, deze productie kost erg veel ruimte; ruimte die schaars is in Vlaanderen en bovendien duur is. De energetische efficiëntie van energiegewassen is dus niet groot genoeg om een volwaardig potentieel te vormen. Daarnaast is er het nadeel dat energiegewassen in concurrentie treden met de voedselproductie. Thans worden wel energiebossen als proefprojecten aangelegd. Naast de productie van hout voor energie spelen deze bossen vaak een belangrijke rol op recreatief en toeristisch vlak. Verder kunnen energiebossen een belangrijke buffer vormen tussen intensieve landbouwgebieden en waardevolle natuur- en bosgebieden en bijdragen tot een grotere landschapsdiversiteit. Wanneer

dergelijke bossen aangelegd worden op vervuilde gronden zoals oude stortplaatsen hebben ze een bodemsanerende functie. Als mogelijk alternatief gebruikt men de (midden)bermen van wegen en autosnelwegen voor de plaatsing van energieteelten.

Omdat in Vlaanderen, als dichtbevolkte regio met een te gering landbouwareaal, de productie van biomassa onmogelijk is, kan gebruik gemaakt worden van de aanwezige infrastructuur en haar centrale ligging in Europa om te fungeren als doorvoerland.

- Op windtechnisch vlak hebben windturbines in Vlaanderen een aanzienlijk potentieel. Het probleem ligt echter bij het vinden van geschikte locaties. De economisch interessante oppervlakte voor de inplanting van een groot aantal molens is marginaal. Windturbines hebben een grote oppervlakte nodig. Slechts een heel klein deel van deze oppervlakte wordt ook effectief bebouwd, m.a.w. het direct ruimtegebruik is dus beperkt. De resterende impact op de omgeving (indirect ruimtegebruik) is veel hoger. De belangrijkste belemmeringen zijn de visuele – en geluidshinder.

Ook het Belgisch deel van de Noordzee bezit potentieel voor de bouw van windmolenparken. Momenteel is alleen de bouw van een park op de Thorntonbank zeker. De inplanting van dergelijke parken wordt bemoeilijkt door de vele verschillende ruimteclaims op zee. Als deze claims op zee zouden worden opgeteld, gaat het om meer dan 2,6 keer de beschikbare ruimte en in de toekomst zal de ruimtevraag enkel maar toenemen. Een actualisatie van de claims en het ontwerp van een ordenend en structurerend plan dat eveneens zee-geïntegreerd is, zou een beter zicht op de situatie kunnen geven (het GAUFRE-onderzoek is hier mee bezig).

Om de energie vanaf zee naar land af te voeren zal nieuwe infrastructuur in de vorm van leidingen worden aangelegd. Daarvoor is extra ruimte nodig. Ook dient voor de toekomst ruimte voorzien te worden voor de opslag van onderdelen, plaatsing, onderhoud en reparaties van windturbines op zee. Voor de bouw van het windturbinepark op de Thorntonbank zal hiervoor plaats voorbehouden zijn op het terrein van de Halve Maan naast de havengeul in de Haven van Oostende.



- Zonne-energie neemt momenteel slecht een gering deel in van de hernieuwbare energieproductie. Wel voorspellen meerdere studies dat deze technologie (PV) uiteindelijk de fakkel zal overnemen van olie en gas. Ook op ruimtelijk vlak biedt zonne-energie veel perspectief. Deze energiebron is de meest ruimte-efficiënte hernieuwbare bron. Zonnepanelen kunnen de schaarse ruimte goed gebruiken door geplaatst te worden op daken en gevels van gebouwen. Verder kunnen ze ook op geluidswallen langs autosnelwegen worden aangebracht. Uiteraard is een deel van deze oppervlakken niet beschikbaar vanwege de oriëntatie, beschaduwing en andere gebruiksfuncties. Het benutten van zonne-energie in Vlaanderen gaat in de meeste gevallen om meervoudig ruimtegebruik. De netto ruimtebehoefte is dus vrijwel nul. Het indirect ruimtegebruik als gevolg van schittering is te verwaarlozen.
- Deel IV ging verder in op de verdergaande evolutie naar een decentraal energiesysteem. In onze maatschappij wordt elektriciteit grotendeels centraal geproduceerd. Dergelijk distributiesysteem werkt alleen top-down waarbij de distributie wordt gecontroleerd door de grote kapitaalondernemingen. De laatste jaren wordt steeds vaker geopperd voor de overschakeling op een meer decentraal systeem. Daarvoor is het nodig om de energie-infrastructuur te reorganiseren. Decentrale opwekking op grote schaal vereist de uitbouw van zogenaamde ‘smart grids’ of intelligente netten waardoor vraag en aanbod beter op elkaar kunnen worden afgestemd. Dergelijke opbouw kan vergeleken worden met de structuur van het internet. Gebruikers kunnen dan niet alleen stroom afhalen (‘downloaden’) maar ook opladen (‘uploaden’). Het gaat dus over tweerichtingsverkeer, zowel top-down als bottom-up.

Door het modulair karakter van hernieuwbare energiebronnen kunnen ze gebruikt worden als decentrale energie-eenheden. Daardoor is het mogelijk vermogen meer op maat te plaatsen waardoor dure overcapaciteit kan worden vermeden en efficiënter met onzekerheden kan worden omgegaan. Naast hernieuwbare energiebronnen kunnen ook andere technieken aangewend worden om deel uit te maken van het decentraal energiesysteem. Warmtekrachtkoppelingen (WKK) kunnen bijvoorbeeld via een aantal verschillende manieren de restwarmte die bij elektriciteitsproductie vrijkomt nuttig gebruiken. Verder staat waterstof momenteel volop in de belangstelling als de

energiedrager van de toekomst ter vervanging van de huidige fossiele brandstoffen. De integratie hiervan vergt nog veel onderzoek.

Er dient ook rekening te worden gehouden met de verschillende schaalgroottes van energiesystemen. Zo is de koppeling van grootschalig met centraal enerzijds en kleinschalig met decentraal anderzijds niet inherent. Er bestaan tussenvormen zoals bijvoorbeeld middelgrote geïsoleerde windturbines die een aanzienlijke schaal hebben maar toch decentraal staan opgesteld.

Uit dit alles wordt afgeleid dat zonne-energie beschouwd wordt als de bron met de meeste kans op slagen om in de toekomst een belangrijke rol te spelen. Deze bron kan dan ook de doorslag geven in de verdere evolutie naar een decentraal energiesysteem. De technologie om op kleine schaal de lokaal opgewekte energie op te slaan, is reeds voorhanden. Overdag kunnen zonnepanelen energie leveren aan het elektriciteitsnetwerk. Deze energie kan geconsumeerd worden maar kan ook dienen om een batterij op te laden. 's Nachts zou deze opgeslagen energie dan kunnen gebruikt worden.

## Reflectie

Deze scriptie heeft niet de pretentie om volledig te zijn. De opzet was om de relatie tussen ruimte en energie in de aandacht te stellen. En deze is er zeker! Energie heeft altijd al een grote invloed gehad op de ruimte en zal dit ook in de toekomst hebben.

Jammer genoeg kan er gesteld worden dat bij de huidige discussies over hernieuwbare energie de ruimtelijke consequenties nog steeds onderbelicht blijven. Het is zeker dat deze bronnen in de toekomst een groter aandeel zullen hebben in de energievoorziening waardoor er ook meer ruimtebeslag zal zijn. Ruimte voor dergelijke ontwikkelingen is dus nodig en zal zich niet zomaar spontaan aanbieden. Een actieve langetermijnplanning met stabiele maatregelen en participatie is dus een must.

## Bronvermelding

- Abeelen, C. en Bosselaar, L. (2004). *Protocol Monitoring Duurzame Energie: Methodiek voor berekenen en registreren van de bijdrage van duurzame energiebronnen*. Utrecht: Senternovem.
- Aernouts, K. en Jespers, K. (2006). *Energiebalans Vlaanderen 2004: onafhankelijke methode*. VITO.
- Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen (2007). Geraadpleegd op <http://www.agiv.be/gis/>
- Allaert, G. (2003). *Structuur en werking van de Belgische Economie, Deel 1*. Gent: Academia Press.
- Allaert, G., Sierens, R., Grillaert, K., Pecqueur, M. en Vandenberghe, E. (2005). *Clean Technology for Public Transport - Waterstof als milieuvriendelijk alternatief voor diesel en benzine*. Afdeling Mobiliteit & Ruimtelijke Planning.
- Allaert, G. (2005). *Wegwijs in Ruimtelijke Economie. Doorkijk naar planning en management van ruimte*. Gent: Academia Press.
- Andrews, M. (1991). *De wording van Europa: verschuivende continenten en de ontwikkelingsgeschiedenis der naties*. Weert: M & P Uitgeverij.
- Antrop, M. (1989). *Het landschap meervoudig bekeken*. Kapellen: De Nederlandse Boekhandel - Uitgeverij Pelckmans.
- Ampère Commissie (2000). *Rapport van de Commissie voor de analyse van de productiemiddelen van elektriciteit en de reoriëntatie van de energievectoren - Sectie F1: Hernieuwbare en Alternatieve Energieën*. Brussel.
- Augustyn, B. en Thoen, E. (1987). Van veen tot bos. Krachtlijnen van de landschapsevolutie van het Noordvlaamse Meetjesland van de 12<sup>de</sup> tot de 19<sup>de</sup> eeuw. *Historisch Geografisch Tijdschrift*, (3), 97-112.
- Bastiaens, W. (2005). Uitbreiding van het ondergronds laboratorium HADES. *Geotechniek*, (1), 26-32.
- Bauters, P. (1978). *Vlaamse molens: wind- en watermolens in Vlaanderen, geschiedenis - bouw - werking - recht*. Antwerpen: Koninklijke vereniging voor natuur- en stedschoon.
- Bauters, P. (1989). *Kracht van wind en water: Molens in Vlaanderen*. Leuven: Davidsfonds.
- Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (BMM) (2006). *De Noordzee: Feiten van het Belgische deel van de Noordzee*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.mumm.ac.be/NL/NorthSea/geography.php>
- Beroepsfederatie van de Elektriciteitssector (BFE) (2005). *Statistieken 2004*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.synergid.be/index.cfm?PageID=16830#>

- Beurskens, J. en van Kuik, G. (2004). *Alles in de wind: Vragen en antwoorden over windenergie*. Maastricht: Daedalus.
- Bouwman, I., Carton, L.J., Dijkema, G.P.J., Stikkelman, R.M. en de Vries, L.J. (2006). *Concentrated Solar Power als onderdeel van de Europese energievoorziening - De realisatie van grootschalige zonnecentrales: mogelijkheden, obstakels en advies*. TU Delft.
- Bouwmeester, H. en Van Ijken, J. (1999). *Bouwen op de zon: Nieuwland, Amersfoort: eindeloze energie in een duurzame wijk = Building solar suburbs: renewable energy in a sustainable city*. Boxtel: Aeneas.
- BP (2006). *Statistical Review of World Energy*. London: BP p.l.c.
- Bugge, J. (1981). *Windmolenboek*. Antwerpen: Kluwer Technische Boeken.
- Cabooter, Y., Dewilde, L. en Langie, M. (2000). *Een windplan voor Vlaanderen. Een onderzoek naar mogelijke lokaties voor windturbines*. Brussel: VUB, ODE.
- Ceulemans, R. en Deraedt, W. (1997). Snelgroeiende energie. *Natuur & Techniek*, 65 (10), 22-31.
- Ceulemans, R. en Laureysens, I. (2002). Energieteelt, populieren leveren groene stroom. *Universiteit Antwerpen*, 16 (51), 20-22.
- Cogen Vlaanderen (n.d.). *Wat is WKK?* Geraadpleegd april, 2007 op <http://www.cogenvlaanderen.be/>
- Couder, J., Verbruggen, A. en Brouwers, J. (2006). *Milieurapport Vlaanderen MIRA, Achtergronddocument, Sector Energie*. Vlaamse Milieumaatschappij.
- C-Power N.V. (2003). *Milieueffectenrapportering voor een Offshore Windturbinepark op de Thorntonbank; Deel 1: niet-technische samenvatting*. Antwerpen: Ecolas.
- C-Power N.V. (n.d.). Bouwfasen. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.c-power.be/applet\\_mernu\\_nl/index01\\_nl.htm](http://www.c-power.be/applet_mernu_nl/index01_nl.htm)
- Danish Wind Industry Association (2003, 1 juni). *Park Effect*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.windpower.org/en/tour/wres/park.htm>
- Deblauwe, N. (1990). *Economisch-geografische evaluatie van aardgas in vergelijking met andere energiebronnen*. Gent: Sine nomine.
- De Decker, K. (2007). Energie in overvloed – Waarom kerncentrales op aarde bouwen als er een nucleaire reactor aan de hemel hangt? *Knack*, 37 (4), 69-70.
- De Decker, K., 2007. Rijden of eten. *Knack*, 37 (6), 46-47.

Dejongh, G. en Van Windekens, P. (2002). *Van kleine landeigendom tot Vlaamse landmaatschappij : vijftenzestig jaar werking op het Vlaamse platteland, 1935-2001*. Brussel: Vlaamse landmaatschappij.

de Jong, H.M. (2003). *Decentraal vermogen: een kansrijke optie? De theoretische en praktische mogelijkheden van een decentraal vermogen om bij te dragen aan een duurzame Nederlandse elektriciteitsvoorziening*. TU Delft.

Den Blanken, K. (2004). *Brief directeur Cogen Nederland aan Dienst uitvoering en toezicht Energie*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.cogen.nl/decopw/cn040318.pdf>

Den Blanken, K. (2004). *WKK en decentrale energie systemen, in Nederland*. Cogen Nederland.

Deroose, S. (2004). *Windenergie en technologische innovaties, een economische analyse*. Gent: Sine nomine.

De Vos, A. (1996). *Zonnecellen*. Gent: Elis.

Devriendt, N., Dooms, G., Liekens, J., Nijs, W. en Pelkmans, L. (2005). *Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020*. VITO-3E.

Dewilde, M., Gelorini, V. en Meersschaert, L. (2007). Veenwinningsporen in de Woumenbroek. Aanwijzingen voor een wijdverbreide activiteit. In: *Spaenhiers: Jaarboek 2006* (pp. 197-212).

D'haeseleer, W. (Ed.) (2005). *Energie vandaag en morgen: Beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven: Acco.

Distrigas (2006). *De Europese Markt: De Europese aardgasmarkt*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.distrigas.be/content/naturalgas/europeanmarket/europeanmarket\\_nl.asp](http://www.distrigas.be/content/naturalgas/europeanmarket/europeanmarket_nl.asp)

Dupont, P. (2007, 10 mei). Heusden heeft monumentale zonneschans - Provincie wordt voorbeeld van groene energie. *Het Nieuwsblad*.

Ecopower (n.d.). *Fotovoltaïsche zonne-energie*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.ecopower.be/fotovolt.htm>

Electrabel, (2004). *Kerncentrales, solide en veilig*. Geraadpleegd november, 2006 op [http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv\\_generation\\_nuclear\\_nl.pdf](http://www.electrabel.be/corporate/aboutelectrabel/documents/mmv_generation_nuclear_nl.pdf)

Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland N.V. (EPZ) (n.d.). *Kernenergie: voor- en nadelen: zuinig met grondstoffen*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.epz.nl/navigatie/frameset.asp?knop\\_id=10000060](http://www.epz.nl/navigatie/frameset.asp?knop_id=10000060)

Elia (2007, april). *Jaarverslag 2006*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.elia.be/documents.aspx#>

Energie Nederland (2005). *LNG*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.energie.nl/index2.html?evn/2005/evn05-121.html>

Energieprojecten (n.d.). *WKK (Warmte-KrachtKoppeling)*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.energieprojecten.nl/edu/ut\\_wkk.html](http://www.energieprojecten.nl/edu/ut_wkk.html)

Energy Information Administration (EIA) (2004). *International Outlook: Natural Gas*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/doc/fossiel\\_gasreserves.pdf](http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/doc/fossiel_gasreserves.pdf)

Energy Information Administration (2006, juni). *Natural Gas*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/nat\\_gas.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/nat_gas.html)

Euroobserver (2006). *Photovoltaic energy barometer*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro172.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro172.pdf)

Euroobserver (2006). *Solar thermal barometer*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro175.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro175.pdf)

Europees Parlement (2001). *Richtlijn 2001/77/EG van het Europees parlement betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://mineco.fgov.be/energy/renewable\\_energy/directive\\_2001\\_77\\_nl.pdf](http://mineco.fgov.be/energy/renewable_energy/directive_2001_77_nl.pdf)

Europese Commissie (1997). *Energie voor de toekomst: Duurzame energiebronnen – Witboek voor een communautaire strategie en een actieplan*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://ec.europa.eu/energy/library/599fi\\_nl.pdf](http://ec.europa.eu/energy/library/599fi_nl.pdf)

Europese Commissie (2005). *Mededeling van de Commissie: Actieplan biomassa*. Brussel.

Europese Commissie (2006). *Groenboek: Een Europese strategie voor duurzame, concurrerende en continu geleverde energie voor Europa*. Brussel.

Europese Commissie (2007). *België – Informatieblad hernieuwbare energie*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://ec.europa.eu/belgium/welcome/renewables\\_be\\_nl.pdf](http://ec.europa.eu/belgium/welcome/renewables_be_nl.pdf)

Europese Commissie (2007). *Solar Electricity Action SOLAREC*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://re.jrc.ec.europa.eu/solarec/index.htm>

Europese Commissie (2007). *Renewable Energy Road Map - Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future*. Brussel.

Europese Unie (2006, 3 maart). *Management of spent nuclear fuel and radioactive waste*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l27048.htm>

Europese Commissie (n.d.). *Introduction to Distributed Generation*. Geraadpleegd mei, 2006 op [http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn\\_rt/nn\\_rt\\_dg/article\\_1158\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn_rt/nn_rt_dg/article_1158_en.htm)

Fluxys (2006). *Jaarverslag 2005*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.fluxys.net/pdf/Fluxys\\_Jaarverslag\\_2005\\_Def.pdf](http://www.fluxys.net/pdf/Fluxys_Jaarverslag_2005_Def.pdf)

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie – Algemene Directie Energie, Afdeling Aardolie (2004). *Aardolie 2003: Feiten & Cijfers, Beleid en Gegevenstabellen*. Brussel

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2006). *Evolutie van de energiemarkt in 2005*. Brussel

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2007). *Panorama van de Belgische economie 2006*. Brussel.

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (n.d.). *Energie*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://mineco.fgov.be/menu/new\\_nl.asp](http://mineco.fgov.be/menu/new_nl.asp)

Garcia Ciudad, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D. (2003). *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Publicatie 1. Gontrode: Steunpunt Duurzame Landbouw.

Gassco (2006). Geraadpleegd oktober, 2006 op <http://gcweb04.gassco.no/sw3044.asp>

GAUFRE-project (2005). *Een zee van ruimte. Naar een ruimtelijk structuurplan voor het duurzaam beheer van de Noordzee*. Federaal Wetenschapsbeleid.

Gellynck, D. (2003). *De Kernstop in België: Een Economische Analyse*. Gent: Sine nomine.

Glorieux, E., Daems, R., Dua, V., Stassen, J., Tavernier, J. en Vogels, M. (2007, maart). *Voorstel van resolutie betreffende de invoering van duurzaamheidscriteria voor biobrandstoffen en groene stroom*. Vlaams parlement. Geraadpleegd april, 2007 op <http://jsp.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2006-2007/g1132-1.pdf>

Gordijn, H., Verwest, F. en van Hoorn, A. (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: Ruimtelijk Planbureau, Den Haag: NAI Uitgevers.

Haven Genk NV (2005, 15 september). *Historiek*. Geraadpleegd oktober 2006 op <http://www.havengenk.be/Oude%20site/historiek%20volledig.html>

Haven van Zeebrugge (n.d.). Geraadpleegd oktober, 2006 op <http://www.portofzeebrugge.be/>

Interconnector (2006). *Operations: The Interconnector System*. Geraadpleegd november, 2006 op <http://www.interconnector.com/index.html>

International Energy Agency (2002). *World Energy Outlook*. Parijs: OECD/IEA.

International Energy Agency (2004). *World Energy Outlook*. Parijs: OECD/IEA.

International Energy Agency (2006). *Key World Energy Statistics*. Parijs

International Energy Agency (2007). *Renewables in global energy supply, An IEA Fact Sheet*. Parijs: OECD/IEA.

Jacobson, C. (2006). *Kernenergie: een stralende toekomst tegemoet?* Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.argusmilieu.be/ONLINEDOCUMENTATIE/MF\\_OLD/Alles/2001/2001\\_1.htm](http://www.argusmilieu.be/ONLINEDOCUMENTATIE/MF_OLD/Alles/2001/2001_1.htm)

Kernfusie (n.d.). Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.fusie-energie.nl/>

Kroon, M.C. (2005). *Geen toekomst voor waterstofeconomie. Lang leve het elektriciteitsimperium*. TU Delft.

Laes, E., Chayapathi, L., Meskens, G. en Eggermont, G. (2004). *Kernenergie en Maatschappelijk Debat*. Brussel: viWTA.

Lako, P. en de Vries, H.J. (2006). *Stand van de techniek van elektriciteitsopwekking op basis van zonthermische centrales*. ECN.

Laméris, E.-J. (2005). Ruimte voor molens met geo-informatie. *Geo-informatie Nederland*, (6), 302-306.

Lamont, J.-L. en Lambrechts, Y. (2005). *Koolzaad : het nieuwe goud? Teelttechniek van koolzaad*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Beheer en Kwaliteit Landbouwproductie (ABKL), Afdeling Voorlichting.

Laureysens, I. (2001). Het eerste energiebos in Vlaanderen geoogst. *Nieuwsbrief Duurzame Energie*, 5 (1), 2-3.

Lemmens, B., Ceulemans, J., Elslander, H., Vanassche, S., Brauns E. en Vrancken, K. (2007). *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor mestverwerking (derde editie)*. Vito i.o.v. Vlaams Gewest.

Leterme, Y., Van Mechelen, D., Peeters, K. (2006, mei). *Omzendbrief RO/2006/01 betreffende het afwegingskader en de randvoorwaarden voor de inplanting van installaties voor mestbehandeling en vergisting*. Vlaamse Overheid, Ruimtelijke Ordening, Woonbeleid en Onroerend Erfgoed. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article.pl>

Leterme, Y., Van Mechelen, D. en Peeters, K. (2006). *Omzendbrief (EME/2006/01 – RO/2006/02) - Afwegingskader en randvoorwaarden voor de inplanting van windturbines*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article.pl>

Martens, A., Germain, A., Proost, S. en Palmers, G. (2006). *Development of tools to evaluate the potential of sustainable hydrogen in Belgium*. Brussel: Belgisch Wetenschapsbeleid.

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2004). *Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen*. Brussel: Afdeling Ruimtelijke Planning.

Minten, L., Raskin, L., Soete, A., Van Doorslaer, B. en Verhees, F. (1992). *Een eeuw steenkool in Limburg*. Tielt: Lannoo.

Mols, B. (2003). Onderweg naar een schone economie. *Natuurwetenschap en Techniek*, (10). Geraadpleegd april, 2007 op <http://noorderlicht.vpro.nl/dossiers/11867650/hoofdstuk/14251272/>

Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen (NIRAS) (2006, september). *Informatiedossier: Terugkeer van verglaasd afval vanuit Frankrijk naar België*.



Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.nirond.be/nederlands/PDF/12e-Informatiedossier\\_NL1.pdf](http://www.nirond.be/nederlands/PDF/12e-Informatiedossier_NL1.pdf)

Neyens, J., Devriendt, N., Dewilde, L., Dooms, G. en Nijs, W. (2004). *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deelrapport: niet-technologische belemmeringen en maatschappelijk draagvlak*. Brussel: viWTA.

Neyens, J., Devriendt, N., Dewilde, L., Dooms, G. en Nijs, W. (2004). *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deelrapport: potentieelanalyse*. Brussel: viWTA.

N.N. (2001). Maken energiebossen het toekomstig landschap uit in Vlaanderen? *De Milieukrant*, 12 (14).

N.N. (2004). *Windenergie in Vlaanderen. Beleid – wetgeving – financiën*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

N.N. (2006, 19 januari). Gazprom onderzoekt sites in Loenhout en Poederlee. *De Standaard*.

N.N. (n.d.). *Het nationaal klimaatplan 2002-2012*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://mineco.fgov.be/energy/climate\\_change/nationaal\\_klimaatplan\\_060302.doc](http://mineco.fgov.be/energy/climate_change/nationaal_klimaatplan_060302.doc)

ODE-Nederland (n.d.). *Zelf zonnestroom opwekken*. Utrecht

ODE-Vlaanderen (1997). *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen. Eindrapport ter voorbereiding van een "Duurzaam Energieplan voor Vlaanderen"*. Leuven.

ODE-Vlaanderen. (1999). *Kleine waterkracht*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

ODE-Vlaanderen (2004). *Biomassa*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

ODE-Vlaanderen (2004). *Bouwen met fotovoltaïsche zonne-energie*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

ODE-Vlaanderen (2004). *Duurzame energie, wegwijzer 2004*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

ODE-Vlaanderen (2004). *Elektriciteit uit zonlicht*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

ODE-Vlaanderen (n.d.). *Windenergie: techniek*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.ode.be/index.php?option=com\\_content&task=view&id=93&Itemid=355](http://www.ode.be/index.php?option=com_content&task=view&id=93&Itemid=355)

Oyaert, P. (2005). *Haalbaarheid van windmolenparken in België*. Brussel: VUB.

Peeters, K. (2004). *Beleidsnota 2004-2009: Energie en natuurlijke rijkdommen*. Brussel: Vlaamse Regering, Vlaams minister van Openbare Werken, Energie, Leefmilieu en Natuur.

Ponting, C. (1992). De tweede grote overgang. In: C. Ponting (Ed.), *Een groene geschiedenis van de wereld* (pp. 296-324). Amsterdam: Amber.

Reinquin, P. en Vanneste, D. (1995). Ruimtelijke impact van de productie, distributie en gebruik van steenkool op wereldvlak. *De Aardrijkskunde*, 19 (1), 29-33.

REN21 (2006). *Renewables, global status report, update 2006*. Paris: REN21 Secretariat, Washington, DC: Worldwatch Institute.

Reyns, J. (2007, 24 februari). Exmar toont zich meester in flexibel vloeibaar gas. *De Standaard*.

Rotterdam Antwerpen Pijpleiding N.V. (RAPL) (n.d.). *Geschiedenis*. Geraadpleegd februari, 2007 op <http://www.rapl.nl/>

Rotterdam Antwerpen Pijpleiding N.V. (RAPL) (n.d.). *Veiligheid en Milieu*. Geraadpleegd februari, 2007 op <http://www.rapl.nl/>

Ruimte voor molens met geo-informatie (n.d.) Geraadpleegd oktober 2006 op <http://molenbiotoop.tk/>

Schepmans, J.-L. (1997). Globale Ruimtelijke Visie op de Limburgse Mijnstreek. *Onderschreven Charter*.

Schepmans, J.-L., 1997. Globale Ruimtelijke Visie op de Limburgse Mijnstreek. *Opbouwende Informatie*.

Schepmans, J.-L., 1997. Globale Ruimtelijke Visie op de Limburgse Mijnstreek. *Vooropgestelde Visie*.

Sea-Invest (n.d.). *Stevedoring: Dry Bulk*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.sea-invest.be/sea-invest/home/sea-home.html>

SenterNovem (2006). *Waterstof, Brandstof voor Transities. Advies van het Platform Nieuw Gas Werkgroep Waterstof*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.senternovem.nl/mmfiles/Waterstof%20brandstof%20voor%20transities%2027-10-06\\_tcm24-200339.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/Waterstof%20brandstof%20voor%20transities%2027-10-06_tcm24-200339.pdf)

Sertyn, P. (2007, maart). Handige gasinkopen jagen winst Distrigas omhoog. *De Standaard*.

Simmons, I.G. (1989). *Changing the face of the Earth: culture, environment, history*. Oxford: Basil Blackwell.

Sinke, W.C. (2001). *Ruimte voor zonnestroom is een programma voor grootschalig gebruik van zonne-energie*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.zonnestroom.net/studie.html>

Sinke, W.C. (n.d.). *De zon als bron: een verkenning van feiten en ficties*. Geraadpleegd maart 2007 op <http://www.zonnestroom.net/04vers250401.html>

Sparnaay, M.J. (2002). *Van spierkracht tot warmtedood: Een geschiedenis van de energie*. 's-Hertogenbosch: Voltaire.

Statoil (2006). Geraadpleegd oktober, 2006 op <http://www.statoil.com/>

Studiecentrum voor Kernenergie (SCK-CEN) (2006). *Tsjernobyl, 20 jaar later*. Geraadpleegd februari, 2007 op [http://www.sckcen.be/sckcen\\_nl/publications/brochures/tsjernobyl/20jaar/tsjernobyl20\\_NL.pdf](http://www.sckcen.be/sckcen_nl/publications/brochures/tsjernobyl/20jaar/tsjernobyl20_NL.pdf)

Termont, D. (n.d.). *Haven van Gent Een bruisende haven in een bruisende stad: De Gentse Haven onder de loep*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.havengent.be/images/HAVEN%20P%201-10.pdf>

Vanbelleghem, D., (2006). Van boerenstiel naar agro-economie. In: P. Uyttenhove (Ed.), *Recollecting Landscapes (1904 – 1980 – 2004) Her-fotografie en transformatie* (pp. 163-199). Gent: A&S Books.

Van Doorslaer, B. (2001). Mijngebouwen op een tijdslijn naar de toekomst. In: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, *Een eeuw steenkool in Vlaanderen, Mijnpatrimonium scharniernote 2001* (pp. 11-16). Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Monumenten en Landschappen.

Van Hulle, F., Le Bot, S., Cabooter, Y., Soens, J., Van Lanker, V., Deleu, S., Henriët, J.P., Palmers, G., Dewilde, L., Driesen, J., Van Roy, P. en Belmans, R. (2004). *Optimal Offshore Wind Energy Developments in Belgium*. Brussel: Belgian Science Policy.

Van Mechelen, D. (2000, december). *Omzendbrief RO/2000/02 met richtlijnen voor de beoordeling van aanvragen om een stedenbouwkundige vergunning voor bedrijfsgebonden mestbe- en mestverwerkingsinstallaties of voor mestbe- en mestverwerkingsinstallaties van beperkte schaal in agrarisch gebied*. Ministerie van de Vlaamse gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article.pl>

Van Mechelen, D. en Peeters, K. (2006, mei). *Snellere afhandeling dossiers en meer windturbines door actualisatie omzendbrief*. Geraadpleegd maart 2007 op [http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/doc/wind\\_omzendbrief\\_pers.pdf](http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/doc/wind_omzendbrief_pers.pdf)

van Roekel, A. (2002). Zonnestroom, duurzame energie voor morgen. *Eos*, 19 (12), 60-66.

Verhulst, A. (1964). *Het landschap in Vlaanderen in historisch perspectief*. Antwerpen: De Nederlandse Boekhandel.

Verhulst, A. (1995). *Landschap en landbouw in Middeleeuws Vlaanderen*. Brussel: Gemeentekrediet.

Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking (VCM vzw). Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vcm-mestverwerking.be/index.htm>

Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking (VCM vzw) (2005, augustus). *Visietekst: Inplanting installaties voor mestbehandeling en vergisting*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vcm-mestverwerking.be/VCM-visietekst%20inplanting%20installaties%20voor%20mestbehandeling%20en%20vergisting.pdf>

Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) (n.d.). *Aardgas uit, CO<sub>2</sub> in de Kempense steenkool*. Geraadpleegd oktober, 2006 op <http://www.vito.be/materialen/materiaaltechnologie7e.htm>

Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *De productie van groene stroom uit bio-energie*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.energiesparen.be/duurzame\\_energie/biomassa/groenestroom.php](http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/biomassa/groenestroom.php)

Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *Eindige voorraden fossiele energiebronnen*. Geraadpleegd december, 2006 op [http://www.energiesparen.be/reg/fossiele\\_brandstoffen.php](http://www.energiesparen.be/reg/fossiele_brandstoffen.php)

Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *Fotovoltaïsche zonnepanelen*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.energiesparen.be/duurzame\\_energie/zon/pv.php](http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/zon/pv.php)

Vlaams Energieagentschap (VEA) (n.d.). *Groenestroomcertificaten*. Geraadpleegd april, 2007 op [http://www.energiesparen.be/duurzame\\_energie/groenestroomcertificaten.php](http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/groenestroomcertificaten.php)

Vlaamse Overheid: Kenniscentrum Statistiek (2006, 15 mei). *Pijpleidingen*. Geraadpleegd februari, 2007 op [http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat\\_cijfers\\_mobiliteit.htm](http://aps.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/stat_cijfers_mobiliteit.htm)

Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) (2007, 5 februari). *Productie-installaties in Vlaanderen waarvoor groenestroomcertificaten worden toegekend*. Geraadpleegd maart, 2007 op <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/19497.pdf>

Vlaams Informatiecentrum over Land- en Tuinbouw (VILT) (2007, 6 maart). *Vlaanderen haalde groenestroomdoelstelling in 2006*. Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.vilt.be/nieuwsarchief/detail.phtml?id=12947>

Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek (viWTA), (2006). *Dossier 4: Witte biotechnologie: Stand van zaken*. Brussel: Vlaams Parlement.

World Nuclear Association (2004, augustus). *Nuclear Power in Belgium*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.world-nuclear.org/info/inf94.html>

World Nuclear Association (2007, december). *Nuclear Power in the world today*. Geraadpleegd december, 2006 op <http://www.world-nuclear.org/info/inf01.htm>

World Wind Energy Association (WWEA) (2007, 29 januari). *Press Release: New world record in wind power capacity*. Geraadpleegd maart, 2007 op [http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/pr\\_statistics2006\\_290107.pdf](http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/pr_statistics2006_290107.pdf)

# Bijlagen

## Bijlage 1: Lijst van eenheden

### Eenheden

Symbol	Afkorting van:	Verklaring
J	Joule	eenheid van energie
W	Watt	eenheid van vermogen; $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
Wh	Wattuur	eenheid van energie; $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$ ; $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$
Wp	Wattpiek	eenheid van nominaal opgesteld vermogen (PV)
kWe	kilowatt	elektrisch eenheid van elektrisch vermogen (bvb. WKK-installatie)
kWth	kilowatt	thermisch eenheid van thermisch vermogen (bvb. WKK-installatie)
kWhe	kilowattuur	elektrisch eenheid elektrische energieproductie (bvb. WKK-installatie)
kWhth	kilowattuur	thermisch eenheid thermische energieproductie (bvb. WKK-installatie)
toe	ton olie equivalent	$1 \text{ toe} = 41\,868\,000\,000 \text{ J} = 41,868 \text{ GJ}$
Mtoe	megaton olie equivalent	$1 \text{ Mtoe} = 41,868 \text{ PJ}$

### Veelvouden

Symbol	Afkorting van:	Verklaring
k	kilo	eenheid x 1.000
M	mega	eenheid x $10^6$
G	giga	eenheid x $10^9$
T	tera	eenheid x $10^{12}$
P	peta	eenheid x $10^{15}$
E	exa	eenheid x $10^{18}$

Bron: Neyens, J., Devriendt, N., Dewilde, L., Dooms, G. en Nijs, W. (2004). *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen – deelrapport: potentieelanalyse*. Brussel: viWTA.

## Bijlage 2: Productie-installaties in België

Brandstoffen: Va = vaste brandstof (steenkool), Vl = vloeibare brandstof (stookolie), Ga = aardgas, Gc = hoogovengas, Gr = raffinaderijgas, Bm = biomassa.

### 1. Fossiele energie

<b>Conventionele Thermische Productie: 4.811,3</b>		
<i>Centrale</i>	<i>Netto ontwikkelbaar vermogen (MW)</i>	<i>Brandstoffen</i>
<b>Klassiek thermisch</b>		
Amercoeur	256	Va, Vl, Ga, Gc
Awirs	416	Va, Vl, Ga, Bm
Kallo	522	Vl, Ga
Langerlo	602	Va, Vl, Ga, Bm
Mol	255	Va, Vl, Ga, Bm
Monceau	92	Va, Vl, Ga, Gh
Rodenhuize	526	Va, Vl, Gh, Bm
Ruien	879	Va, Vl, Ga, Bm
Schelle	269	Vl, Ga, Bm
Verbrande Brug	352	Vl, Ga, Bm
<b>Gasturbines</b>		
Drogenbos	78	Ga
Mol	30	Ga
Monsin	70	Vl, Ga
<b>Stoomproductie</b>		
Aalst		Ga, Vl
Bekaert (Zwevegem)		Ga, Vl
<b>Turbojet</b>		
Aalter	18	Vl
Beerse	32	Vl
Buda	18	Vl
Cierreux	17	Vl
Deux-Acren	18	Vl
Elsene	18	Vl
Noordschote	18	Vl
Schaarbeek	18	Vl
Turon	17	Vl
Zedelgem	18	Vl
Zeebrugge	18	Vl
Zelzate	18	Vl
<b>Diesels</b>		
Gent	74	Vl
Harelbeke	87	Vl
<b>Energiereducatie</b>		
Indaver (Beveren)	18	
ISVAG (Wilrijk)	10,5	
Schaarbeek	45	
Stortplaats	1,8	

<b>STEG centrales: 2.929,5 MW</b>		
<i>Centrale</i>	<i>Netto ontwikkelbaar vermogen (MW)</i>	<i>Brandstoffen</i>
Angleur	158	VI, Ga
Drogenbos	460	Ga
Gent-Ringvaart	350	VI, Ga
Gent-Ham	54	VI, Ga
Herdersbrug	460	Ga
Saint-Ghislain	350	VI, Ga
Seraing	460	VI, Ga
Vilvoorde	385	Ga
Zandvliet Power	197,5	Ga
Kleine eenheden met motoren	55	Ga

<b>Warmtekrachtkoppeling: 708,6</b>		
<i>Centrale</i>	<i>Netto ontwikkelbaar vermogen (MW)</i>	<i>Brandstoffen</i>
BP Chembel (Geel)	43	Ga
Degussa (Antwerpen)	43	Ga
Esso (Antwerpen)	38,8	Ga, Gr
Fluxys (Zeebrugge)	40	Ga
Ineos Phenol (Beveren)	22,8	Ga
Langerbrugge	59	Ga
Lanxess (Lillo)	43	Ga
Monsanto (Antwerpen)	43	Ga
Oudegem Papier	14,5	Ga
Sappi (Lanaken)	43	Ga
Solvay (Jemeppe-sur-Sambre)	94	Ga
Tate & Lyle (Aalst)	48	Ga
Total Raffinaderij (Antwerpen)	154	Ga, Gr
Vandemoortele (Izegem)	22	Ga
Wanze	0,5	Ga

## 2. Nucleaire energie

<b>Kerncentrales: 5.182,1 MW</b>		
<i>Reactor</i>	<i>Netto ontwikkelbaar vermogen (MW)</i>	<i>Brandstoffen</i>
Doel 1	392,5	Splijtstof
Doel 2	433	Splijtstof
Doel 3	965,8	Splijtstof
Doel 4	967,7	Splijtstof
Tihange 1	481	Splijtstof
Tihange 2	967,7	Splijtstof
Tihange 3	974,4	Splijtstof

Bronnen:

Electrabel (2007). *Jaarverslag 2006*. Geraadpleegd mei, 2007 op

[http://www.electrabel.com/finance/annual\\_report/documents/mmvi\\_annualreport\\_nl.pdf](http://www.electrabel.com/finance/annual_report/documents/mmvi_annualreport_nl.pdf)

SPE (n.d.). Geraadpleegd mei, 2007 op <http://www.spe.be/>