CE
Oplossingen voor milieu, economie en technologie

Oude Delft 180
2611 HH Delft
tel: 015 2 150 150
fax: 015 2 150 151
e-mail: ce@ce.nl
website: www.ce.nl
Besloten Vennootschap
KvK 27251086

Nieuwe elektriciteitscentrale in Nederland

De ‘vergeten’ kosten in beeld

SAMENVATTING VOOR OPINIE- EN BELEIDSMAKERS

Samenvatting

Delft, april 2007

Opgesteld door: M.N. (Maartje) Sevenster
H.J. (Harry) Croezen

Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

M.N. (Maartje) Sevenster, H.J. (Harry) Croezen
Nieuwe elektriciteitscentrale in Nederland
De ‘vergeten’ kosten in beeld
Delft, CE, 2006

Elektriciteitscentrales / Maatschappelijke factoren / Economische factoren / Productie / Kosten / Milieu / Risico’s /

VT:
Externe kosten

Publicatienummer: 07.6016.10a

Alle CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Opdrachtgever: Stichting Greenpeace Nederland
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Maartje Sevenster.

© copyright, CE, Delft

CE
Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl.

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

GREENPEACE

"Voorwaarts is niet vergeten!" [1]

Het bestrijden van 'gevaarlijke' klimaatverandering vergt een energierevolutie, onder andere bij de productie en het gebruik van elektriciteit. In ons Greenpeace-scenario[2] gaat de Nederlandse elektriciteitssector binnen veertig jaar over van verspilling en vervuiling naar een schone elektriciteitsvoorziening. Een combinatie van slimmer omgaan met energie, hyperefficiënt stroomgebruik (apparaten en processen) en een pakket duurzame stroomproductie uit hernieuwbare duurzame bronnen (zonnestroom, windenergie, biomassa, waterkracht) maken nieuwe kolen- en kerncentrales overbodig. Dat is de uitdaging om klimaatontwrichting te voorkomen.

Echter, de prikkels voor die energierevolutie ontbreken nog. Sterker nog, de financiële prikkels van nu zijn 'contrarevolutionair': vuile stroomproductie wordt niet alleen direct, maar ook indirect gesubsidieerd. Indirect, omdat de milieu- en risicokosten van de fossiele en nucleaire ketens worden afgewenteld op overheid en samenleving. Het gaat daarbij om de kosten van klimaatontwrichting, luchtvervuiling (fijn stof), herstel, gezondheidsschade, sociale misstanden, radioactief afval en schade als gevolg van calamiteiten en (dodelijke) ongevallen bij gaswinning, mijnbouw of bij kerncentrales.
Deze zogenaamde externe kosten worden dus wel betaald, maar niet door de stroomproducent, die ze veroorzaakt. Afwenteling van milieu- en risicokosten op overheid en samenleving is in strijd met het (Europese) principe *'de vervuiler betaalt'*, dat ook is vastgelegd in het nieuwe regeerakkoord.
Eerlijke doorberekening van alle 'vergeten' kosten aan de stroomproducent maakt bijvoorbeeld kolenstroom en kernenergie duurder en het prijsverschil met stroom, geproduceerd door een biomassacentrale kleiner.
Dankzij een gelijker speelveld groeit het concurrentievermogen van schone energie, waarvan de externe kosten immers veel geringer of nihil zijn. Positief neveneffect is dat schone energie minder subsidie nodig heeft om snel en fors te groeien.

De actualiteit: stroomproducenten Nuon, Essent, E.on, Electrabel en RWE willen vijf nieuwe grote kolencentrales bouwen en Delta spreekt zelfs van een tweede kerncentrale.
Deze plannen frustreren elke verduurzaming van het Nederlandse stroomproductiepark en de ambities van het nieuwe regeerakkoord. Daarom vroeg Greenpeace aan CE Delft om alle 'vergeten' kosten zichtbaar te maken van twee typen kolencentrales, een gasgestookte centrale, een biomassacentrale en van een kerncentrale.
Uit het CE-onderzoek kunnen we bijvoorbeeld leren dat een kolenvergasser, zoals Nuon in de Eemshaven wil bouwen, een schade van minstens €130 miljoen per jaar afwentelt op onze samenleving. Gerekend over een levensduur van dertig jaar bezorgt een eventuele investeringsbeslissing van Nuon de samenleving een schadepost van ruim €4 miljard.

---

[1] "Voorwaarts is niet vergeten!" parafraseert het revolutionaire strijdlied 'Vorwärts und nicht vergessen, die Solidarität' van Bertold Brecht/Hans Eisler
[2] The Energy Revolution – A sustainable pathway to a clean energy future for the Netherlands, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, September 2006

STICHTING GREENPEACE NEDERLAND • Postbus 3946 • 1001 AS Amsterdam • T 020 626 18 77 • F 020 622 12 72
Informatielijn 0800 422 33 44 • info@greenpeace.nl • www.greenpeace.nl • Postbank 44 • Bank 39 37 60006

Gedrukt op 100% gerecycled en chloorvrij geproduceerd papier

Uit het onderzoek blijkt verder dat een biomassacentrale de laagste externe kosten heeft en dat de eerlijke toedeling van onverzekerbare risicokosten een nieuwe kerncentrale onbetaalbaar maakt.
En dit alles nog los van de directe subsidies die vooral de fossiele en nucleaire industrie 'genieten'.

De kolenplannen van de energiebedrijven zijn ook strijdig met het nieuwe regeerakkoord, waarin is vastgelegd dat Nederland in 2020 haar CO_2-uitstoot met 30% reduceert, jaarlijks 2% energie gaat besparen en 20% van de energie duurzaam zal worden opgewekt (geschat aandeel duurzame elektriciteit: >30%). Die doelstellingen voor 2020 zijn noodzakelijke tussenstappen op weg naar een uitstootreductie van broeikasgassen van 80% in 2050.[3] Alleen zo kan klimaatverandering binnen relatief veilige grenzen blijven en wordt klimaatontwrichting voorkomen.
Echter, als alle vijf thans geplande kolencentrales worden gebouwd, stijgt de totale CO_2-uitstoot in Nederland in 2020 met circa 12% en van de elektriciteitssector met circa 60% ten opzichte van nu. En uitgaande van een levensduur van dertig tot wellicht veertig jaar worden de nu geplande kolencentrales pas in 2050 weer buiten bedrijf gesteld.
Aan de vooravond van de investeringsbeslissingen van de stroomproducenten staat onze samenleving op een historisch kantelpunt wat betreft de inrichting van ons toekomstige stroomproductiepark.
De overheid moet volgens Greenpeace dan ook alles doen om de bouw van nieuwe kolen- en kerncentrales onmogelijk en overbodig te maken.

Volgens Greenpeace kan (interim)wetgeving op zeer korte termijn de nieuwbouw van vervuilende elektriciteitcentrales voorkomen. Ook moet de overheid eisen stellen aan de maximale uitstoot van CO_2 en andere broeikasgassen, gemeten over de technologische en brandstofketens.
Maar bovenal is doorberekening van alle 'vergeten' kosten aan nieuwe én bestaande elektriciteitscentrales geboden om uit de opbrengst van bijvoorbeeld een heffing de versnelde overgang naar een duurzame efficiënte energievoorziening te financieren.

Het CE-rapport *Nieuwe elektriciteitcentrale in Nederland - de 'vergeten' kosten in beeld* geeft politici daartoe de economische onderbouwing en rechtvaardiging.

Voorwaarts met de verduurzaming van onze stroomproductie gaat volgens Greenpeace niet samen met het negeren van de 'vergeten' kosten: *"Voorwaarts is niet vergeten!"*.

Greenpeace, april 2007

---

[3] IPCC, 2007

Een nieuwe elektriciteitscentrale in Nederland?

Deze notitie geeft een samenvatting voor beleidsmakers van het rapport “Nieuwe elektriciteitscentrale in Nederland: de ‘vergeten’ kosten in beeld” dat CE in opdracht van Greenpeace heeft opgesteld. Doel van de opdracht was om de milieudruk van productie- en brandstofketens van energiebronnen voor elektriciteit in kaart te brengen en te vertalen naar externe kosten. Voor details verwijzen we naar het hoofdrapport. In deze notitie schetsen we de hoofdlijnen wat betreft aanleiding, aanpak, resultaten en interpretatie van de uitkomsten.

Eerlijk speelveld
Investeringsbeslissingen worden genomen aan de hand van een vergelijking van kosten en baten. Er zijn verschillende manieren om investeringen af te wegen tegen verwachte toekomstige baten. Wat de methoden gemeen hebben is dat de baten groter moeten zijn dan de kosten. Wanneer dat niet zo is, is de investering niet de moeite waard. Maar is het plaatje wel compleet als alleen naar investerings- en exploitatiekosten en bedrijfsinkomsten wordt gekeken?

Met elk productieproces of activiteit gaan externe effecten gepaard. Dit zijn neveneffecten van die activiteit waarvan de kosten niet terechtkomen bij degene die de effecten veroorzaakt. Externe kosten zijn dan niet verwerkt in productiekosten en prijs, maar worden door andere partijen gedragen.

Externe effecten van elektriciteitopwekking zijn onder andere klimaatverandering en verzuring als gevolg van allerlei emissies, gezondheidseffecten van radioactieve straling en fijn stof, ongevallen in mijnen of in de centrale zelf, sociale misstanden die vaak optreden in landen waar grondstoffen gewonnen worden, et cetera. Verreweg de meeste van de kosten die met deze effecten samenhangen worden niet in de uiteindelijke elektriciteitprijs verdisconteerd: ze zijn niet *geïnternaliseerd*.

Dit betekent niet dat de markt voor elektriciteit vanuit maatschappelijk economisch oogpunt perse inefficiënt is. Wel is er sprake van oneerlijke verdeling van kosten en baten – kosten voor de maatschappij, baten voor een private investeerder – en van verkapte subsidiering van vormen van elektriciteit die gepaard gaan met hoge externe kosten. De kosten van de vervuiling worden afgewenteld op de belastingbetaler, met wiens geld de vervuiling wordt opgeruimd, of op de burger, die ziek wordt, en zijn werkgever of nog weer op andere partijen. Als we als maatschappij een echt ‘eerlijk speelveld’ willen creëren binnen de elektriciteitsector dan moeten we de externe kosten internaliseren.

In deze studie worden voor een aantal mogelijke nieuwe centrales de externe kosten bepaald, als input voor het totale kostenplaatje bestaand uit:
- ‘directe kosten’ : investeringskosten en exploitatiekosten;
- ‘milieukosten’: externe effecten van normale exploitatie;
- ‘risicokosten’: externe effecten van calamiteiten.

Subsidies kunnen nog als extra 'externe' kostenpost worden gezien. Deze vallen echter buiten de reikwijdte van deze studie.

Externe kosten
In deze studie bepalen we de externe kosten van vijf verschillende centrales, namelijk:

- volledig biomassa;
- poederkool, met en zonder biomassa bijstook;
- kolenvergassing;
- aardgas (STEG);
- kerncentrale.

Hoewel gasvermogen op dit moment vrijwel nooit voor basislast worden gebruikt, kunnen ze wel als zodanig functioneren. Uitgangspunt is daarom bij elke centrale dat deze als basislast (vollast) centrale zal worden gebruikt.

Kader van deze studie is als gezegd invulling van nieuw basislast vermogen bij gebleken behoefte daaraan vanuit de markt. Er wordt in deze studie daarom geen vergelijking gemaakt met energiebesparing - die deze behoefte teniet zou doen - en andere vormen van duurzame energie dan biomassa omdat deze niet voor basislastvraag geschikt is (wind, PV, etc.) of omdat er in Nederland onvoldoende potentieel beschikbaar is (geothermische energie, waterkracht)[1].

Bij de centrales met verbranding wordt steeds ook de optie CO_2-afvang en -opslag bekeken. Afvang zal echter in de praktijk bij de meeste van de beschouwde typen energiecentrales pas vanaf 2015 of later kunnen worden geïmplementeerd (zie ook pagina 11).

Voor een goede vergelijkbaarheid nemen we voor alle centrales een vermogen van 1.000 MW en een jaarproductie van 7.500 GWh. We bekijken de effecten voor twee locaties: Eemshaven en Maasvlakte. Met name in verband met kolenaanvoer zijn dit de meest voor de hand liggende locaties. Daarnaast kunnen de locaties worden beschouwd als in algemenere zin representatief voor dichtbevolkte en minder dichtbevolkte locaties. Rotterdam ligt – letterlijk – onder de rook van de Maasvlakte en dit heeft invloed op de hoogte van de externe kosten voor met name een kolencentrale. Tabel 1 geeft de gebruikte rendementen en brandstoffen.

[1] Hierbij zij opgemerkt dat externe kosten van wind- en waterkracht per kWh in het algemeen laag zijn maar niet nihil (zie bijvoorbeeld http://externe.jrc.es/, in de rapporten voor Denemarken, Noorwegen, Spanje, Oostenrijk, Zweden en Groot-Brittannië) en de externe kosten van energiebesparing in de meeste gevallen verwaarloosbaar.

Tabel 1 Overzicht parameters

	Brandstof	Elektrisch rendement	
		Zonder CO_2-afvang	Met CO_2-afvang
Biomassacentrale	Houtpellets van resthout houtindustrie	42%	34%
Gascentrale	Nederlands aardgas	58%	52%
Kolencentrale			
- geen bijstook	Kolen uit mix van zes landen	47%	39%
- maximale bijstook (70% op energie-inhoud))	Kolen uit mix van zes landen, houtpellets van resthout houtindustrie	47%	39%
Kolenvergasser	Kolen uit mix van zes landen	42%	37%
Kerncentrale (EPR, derde generatie)	Uranium, mijnbouw 'worst case' en 'best case'	37%	n.v.t.

Er wordt niet alleen naar emissies op de locatie van de centrale gekeken. De hele keten van brandstofproductie via vervoer en stroomopwekking tot en met afvalopslag wordt meegenomen. Ook de directe kosten, zoals brandstofprijs, zijn immers cumulatief over de hele keten. Bovendien geldt voor een aantal effecten dat de stroomopwekking zelf niet de belangrijkste schakel in de keten is.

De externe kosten worden bepaald volgens de methodiek van ExternE (2005, update van het NewExt programma). Dit betekent dat de volgende effecten worden meegenomen in de externe kosten:

- gezondheid- en economische effecten van luchtvervuilende emissies;
- klimaateffecten van emissies van broeikasgassen;
- gezondheideffecten van radioactieve straling;
- dodelijke slachtoffers en lange termijn economische en gezondheidschade als gevolg van ongevallen.

Deze methodiek gaat in principe uit van schadekosten, maar wijkt hier op een paar punten van af. Eén van deze punten betreft de financiële waardering van klimaatverandering, de andere het bepalen van de gevolgen van ongevallen.

Klimaatverandering

Klimaatverandering is het milieueffect dat wordt veroorzaakt door de emissie van broeikasgassen. Hoewel dit milieuthema op dit moment zeer veel aandacht krijgt in zowel wetenschap als beleid blijkt het nog heel lastig om de schade die met de emissie van een kilogram broeikasgas gepaard gaat te bepalen. Wat wordt de gemiddelde temperatuurstijging, hoe beïnvloedt dit weerextremen, zeespiegelniveau en de verspreiding van ziektes? Welke schades en kosten zullen hiermee gemoeid zijn? Zijn doden bij overstromingen in Bangladesh goedkoper dan doden bij overstromingen in Nederland?

De bepalingen van schadekosten per ton CO_2 lopen dan ook uiteen van € -2[2] tot zo'n € 70 (Tol, 2005). In ExternE (2005) worden schadekosten van € 9/ton CO_2 berekend, maar hierbij worden terecht vraagtekens gezet. De uitkomsten van dergelijke berekeningen zijn niet alleen sterk afhankelijk van aangenomen waar-

[2] Er zijn studies die uitkomen op een positieve impact van broeikasgassen, denk bijvoorbeeld aan verhoogde landbouwopbrengsten.

den voor de fysieke veranderingen die zullen optreden maar ook van aannames op het gebied van bijvoorbeeld verdiscontering van toekomstige schades en het meewegen van de toegenomen kansen op extreme weersomstandigheden.

De aanbeveling is daarom om met *preventiekosten* te werken ter hoogte van € 19/ton, met onder- en bovenwaarde voor eventuele gevoeligheidanalyse € 9/ton en € 50/ton (zie ExternE 2005). De externe kostenbepalingen voor klimaatverandering zijn daarom intrinsiek anders dan die voor de andere milieueffecten. Het gaat er niet zozeer om welke schades wel en niet meegenomen zijn in de prijs, maar hoeveel geld de maatschappij (politiek) er voor over heeft om klimaatverandering met alle (onbekende) risico's van dien te voorkomen. Rechtvaardiging hiervoor ligt in het feit dat het effect zelf ook intrinsiek anders is dan de andere en dat door ontbrekende kennis de schadekostenberekeningen op dit moment waarschijnlijk systematisch te lage uitkomsten geven.

Behalve aan preventie, gericht op het verminderen van huidige en toekomstige emissies, geeft de maatschappij ook geld uit aan adaptatie. De effecten van emissies uit het verleden dwingen ons nu al tot het nemen van adaptatiemaatregelen. De kosten hiervan zijn dus geen onderdeel van preventiekosten. In Nederland is bijvoorbeeld € 2 miljard gereserveerd voor het programma 'Ruimte voor de rivier' dat er op is gericht beter bestand te zijn tegen extreme wateroverlast. Als dergelijke maatregelen niet zouden worden genomen, dan zou mogelijk € 4 biljoen aan investeringen (vervangingswaarde) blootgesteld worden aan de kans op overstroming. Wereldwijd is recent een aantal rapporten verschenen waaruit blijkt dat de adaptatiekosten buitengewoon hoog kunnen worden als de uitstoot van broeikasgassen niet of onvoldoende wordt gereduceerd. Wereldwijd wordt gesproken over US$ 74 biljoen (Ackerman en Stanton, 2006) of over 5% tot 20% vermindering van BBP (Stern Review, 2006). Stern zet dit af tegen kosten voor preventie van 1% van BBP.

Ongevallen

In alle energieketens kunnen ernstige ongevallen voorkomen. De meest bekende voorbeelden zijn waarschijnlijk die in kerncentrales en kolenmijnen en bij oliebranden of gasexplosies. Energiegerelateerde ongelukken worden in databestanden bijgehouden en hieruit kan worden afgeleid hoe groot kansen op ongelukken met een bepaalde omvang (d.w.z. aantal doden / gewonden) zijn. Deze kansen zijn belangrijk in de bepaling van het risico. In het algemeen wordt in externe kostenbepalingen uitgegaan van een technische ofwel neutrale risicomaat:

risico = kans x omvang gevolgen

Een deel van het risico wordt hierbij gedekt door verzekeringen en is dus niet langer extern, maar geïnternaliseerd. Het is echter de vraag of de technische risicomaat wel voor alle ongevallen een juiste weergave geeft van de effecten. Dit geldt met name voor risico's met zeer kleine kans maar zeer groot gevolg, ook wel *Damocles* risico genoemd, zoals een ongeval in een nucleaire centrale. Als gekeken wordt naar verzekeringen dan blijkt dat voor dergelijke risico's hoge-

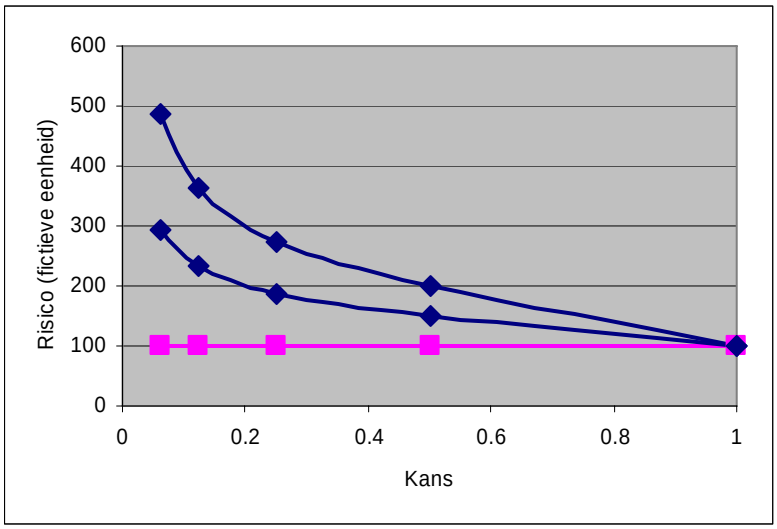
re premies worden betaald ook al is het risico in technisch opzicht even groot als een ander risico.

De meeste economische spelers zijn *risico avers*, niet risiconeutraal. Bij individuen geldt dat dit nog extra als het risico onvrijwillig is. Waar de mate van risicoaversie per individu zeer kan verschillen, hanteren verzekeringsmaatschappijen hiervoor een rationele benadering. Een mogelijke risico averse maat is:

risiconeutrale maat + *standaarddeviatie*.

De standaarddeviatie[3] geeft invulling aan het idee dat hoe minder voorspelbaar de gevolgen zijn waar je 'morgen' mee geconfronteerd zult worden, hoe zwaarder ze mee moeten tellen. Figuur 1 geeft weer hoe met een dergelijke maat het risico groter wordt naar mate de kans op het ongeval kleiner wordt, maar de gevolgen (evenredig) groter. De onderste lijn in de figuur geeft het neutrale risico weer, dat in dit theoretisch voorbeeld dus gelijk blijft met steeds kleinere kans en evenredig groter gevolg.

Figuur 1 Weergave van het effect van verschillende sterkte van 'risico aversie' (blauwe curven) op ongevallen met gelijkblijvend *technisch* risico (roze curve)



In ExternE wordt risicoaversie wel genoemd, maar niet uitgebreid meegenomen. In deze studie kijken we in meer detail wat het effect zou zijn van deze theoretische maat op de schadewaardering van ongevallen.

De ketens

Een uitgebreide beschrijving van de ketens is te vinden in de bijlagen van het rapport. Voor elk van de vijf typen centrales wordt langs de hele keten bepaald hoeveel emissies (CO_2, CH_4, N_2O, NO_x, SO_2, NH_3, PM_{10}, VOS) optreden. Hierbij is in principe uitgegaan van best beschikbare technieken en waar nodig zijn aan-

[3] In praktijk vermenigvuldigd met een eventuele factor.

names gemaakt voor te verwachten situaties voor nieuw te bouwen centrales. De externe kosten zullen dus in het algemeen lager liggen dan die voor bestaande (gemiddelde) elektriciteitopwekking. Data betreffende ongevallen in de energieketens zijn overgenomen uit bronnen gebaseerd op empirische gegevens.

Wat betreft de emissies is een aantal zaken hier het vermelden waard:

- Het resthout dat wordt ingezet in de biomassacentrale zou anders ter plekke vergaan. Dit betekent dat het gebruik ervan methaanemissies voorkomt, maar tegelijkertijd ook vastlegging van koolstof in de bodem. Vanuit klimaatoogpunt dus een negatief en een positief effect, dat netto positief uitpakt voor het klimaat. Dit effect is in de standaardberekening niet meegenomen, omdat hierbij ook aspecten als bodemverarming kunnen meespelen.
- Bij op- en overslag van kolen bij de centrale treden verwaaiingsemissies op van fijn stof (PM_{10}) die zeer lokale effecten hebben. Hierbij is de bevolkingsdichtheid in de buurt van de centrale dus een belangrijke factor en deze emissies geven dan ook potentieel het grootste verschil tussen locatie Eemshaven en Maasvlakte. De specifieke gezondheidschade van deze emissies is waarschijnlijk echter lager dan van verbrandingemissies van PM_{10}. Het effect is ingeschat op 10%.
- In de keten van kernenergie is wel degelijk sprake van uitstoot van kooldioxide. In deze studie gaan we uit van verrijking van uranium door middel van centrifugeren, hetgeen minder energie kost dan alternatieve methodes die nu (nog) wel gebruikt worden. Daarnaast is de beschouwde centrale een ‘derde generatie’ centrale waarvoor aanzienlijk minder brandstof nodig is per op te wekken kWh. Al met al is daarom de CO_2-uitstoot per kWh voor kernenergie in deze studie relatief laag. Voor bestaande centrales zal deze aanzienlijk hoger liggen.

Ongevallen in energieketens worden bijgehouden in een Zwitserse database[4]. Ze treden met name op bij gaswinning, kolenmijnbouw en bij calamiteiten in nucleaire centrales. Bij mijnbouw van kolen gaat het om frequente ongevallen (vele tientallen per jaar wereldwijd) met een direct dodental tot 400. Voor de gasketen zijn zowel het jaarlijks aantal ongelukken als het maximaal aantal slachtoffers per ongeluk lager. Wat betreft de nucleaire keten is in de 30 jaar tot het jaar 2000 maar één ongeval bekend met meer dan 5 directe doden (en een nog onbekend aantal ‘latente’ doden - zie pagina 9): Tsjernobyl[5]. Hoe vaak een groot ongeval statistisch gezien zal voorkomen is niet bekend; er is immers maar één voorbeeld. De ontwerpeisen voor de nieuwe EPR-centrale in Finland zijn zo dat de kans op een ramp kleiner moet zijn dan eens per miljoen jaar. De ‘kans’ op Tsjernobyl wordt ingeschat op ongeveer eens per 10.000 jaar (per centrale). In de analyse is de schade van de ramp in Tsjernobyl het uitgangspunt en kijken we naar de invloed van verschillende (theoretische) kansen op de risicokosten.

[4] ENSAD: zie http://gabe.web.psi.ch/research/ra.

[5] Het aantal ongevallen met directe doden geeft in geval van kernenergie een vertekend beeld, omdat de schade zich veelal pas na verloop van tijd manifesteert. Er zijn naast Tsjernobyl wel andere nucleaire ongelukken geweest met 'latente' doden en niet-dodelijke ziekten en erfelijke afwijkingen als gevolg.

Resultaten

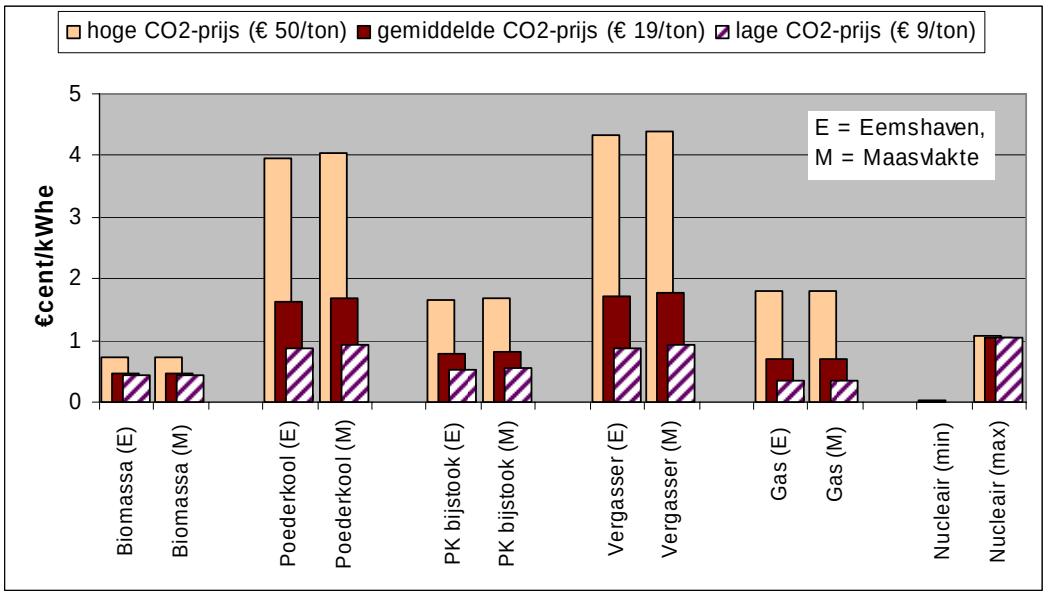
Op basis van de ExternE methodiek komen we op schaduwprijzen voor de verschillende emissies die over de ketens zijn geïnventariseerd. Gezondheidschade is gewaardeerd met een 'Value for Statistical Life' van € 1 miljoen. Tabel 2 geeft een compleet overzicht van de schaduwprijzen.

Tabel 2 Schaduwprijzen in €/ton en €/kg gebruikt voor de basisvergelijking en de bandbreedte voor broeikaseffect

	Keten	Eemshaven	Maasvlakte	
Emissies				*bandbreedte*
CO_2 (€/ton)	19	19	19	9-50
CH_4 (€/ton)	437	437	437	207-1150
N_2O (€/ton)	5624	5624	5624	2664-14800
SO_2 (€/kg)	3,2	6,6	9,8	
NO_x (€/kg)	3,2	3,2	3,2	
NH_3 (€/kg)	6,5	13	20	
PM_{10} (€/kg)	7,9	16,5	38	
PM_{10} op grondniveau (€/kg)		39	773	
VOC (€/kg)	0,57	1,0	1,0	
Radiologische emissies				
€/man Sievert	90.000	90.000	90.000	

Figuur 2 geeft een beeld van de externe kosten als gevolg van emissies. Hierin zijn de risicokosten nog niet meegenomen. De milieukosten van kernenergie kunnen laag zijn, omdat in de keten relatief weinig CO_2 vrijkomt en de kosten vooral bepaald worden door de herkomst van uranium. Voor alle zijn drie CO_2-prijzen onderscheiden – zie Tabel 2. Als hoogste prijs is een waarde van € 50/ton gehanteerd in overeenstemming met ExternE (2005).

Figuur 2 Externe kosten van emissies (exclusief risicokosten) van elektriciteitsproductie op basis van deze studie met voor kernenergie een variant met minimale en maximale emissies van radioactieve stoffen bij mijnbouw



In de middenberekening, zonder kosten van ongevallen, lopen de externe kosten 0,45 tot 1,8 €cent/kWh voor de vijf types verbrandingcentrale zonder CO_2 afvang. De resultaten worden in hoge mate bepaald door de effecten van de uitstoot van broeikasgassen. In het middenresultaat is de bijdrage hiervan tussen de 30% à 40% - voor de biomassacentrale en de kerncentrale[6] - en ongeveer 90% - voor de kolengestookte centrales. Voor een gasgestookte centrale is de bijdrage van klimaatverandering zelfs ruim 95%. Zodoende zijn vooral de resultaten voor gas en kolen afhankelijk van de gehanteerde CO_2-prijs. Met de hoge variant (50 €/ton CO_2-equivalent) worden de externe kosten per kWh uiteraard nog meer gedomineerd door klimaatverandering. De externe kosten voor de kolencentrales lopen dan op tot ruim 4 €cent/kWh.

Voor de kerncentrale liggen de kosten van emissies tussen de 0,01 en 1,05 €cent/kWh. Hierbij worden de externe kosten in hoge mate beïnvloed door de herkomst van het uranium en de mate van goed beheer van de betreffende mijn.

Risicokosten

Van de beschouwde ketens is het aantal directe doden gemiddeld per opgewekte kWh het hoogste voor kolen (mijnbouw, met name in China). De slachtoffers zijn hoofdzakelijk werknemers en door middel van verzekeringen komen de 'externe kosten' hiervan deels[7] al voor rekening van de werkgever en zijn zo geïnternaliseerd. De externe risicokosten bedragen in de gas- en kolenketens een paar procent van de externe milieukosten.

---

6 Dit geldt voor de minimum variant; de bijdrage van klimaatverandering aan de maximum variant is verwaarloosbaar.

7 Welk deel daadwerkelijk is verzekerd hangt af van regelgeving e.d in het land waar de mijnbouw plaatsvindt. In de studie zijn hiervoor bepaalde aannames gemaakt op basis van recente bronnen.

Voor een ongeval met een kernreactor geeft het aantal directe doden echter maar een deel van de schade weer. Er is namelijk ook sprake van dodelijke ziekten op langere termijn ('latente' doden) en daarnaast niet-dodelijke ziekten, erfelijke afwijkingen en schade aan landbouw et cetera. Deze schades tezamen leiden tot astronomische schadebedragen over de tientallen jaren na het ongeval. Een omslag van de geschatte totale schade in Wit Rusland en Oekraïne als gevolg van Tsjernobyl (US$ 436 miljard) over de wereldwijde productie van kernenergie in 30 jaar levert een gemiddelde schade van ongeveer 0,5 €cent/kWh (5 €/MWh) op. Door risico's op deze manier te kwantificeren wordt echter voorbij gegaan aan het feit dat risico's met zeer kleine kans maar grote gevolgen een andere aanpak vergen dan risico's met grotere kans en kleinere gevolgen.
Een marktconforme (risico averse) verzekeringspremie zou zeker tot 10 keer hoger kunnen liggen, maar zelfs in het geval van wereldwijde 'pool' verzekering is dit waarschijnlijk nog onrealistisch. Meer onderzoek naar wat dit in de praktijk zou betekenen is essentieel.

Behalve bij de centrale bestaat ook nog het risico dat er op een eindopslag- of tailingopslaglocatie[8] iets mis gaat waarbij radioactieve emissies vrijkomen. Deze risico's zijn in deze studie niet gekwantificeerd.

Jaarlijkse en totale kosten
In termen van totale maatschappelijke kosten per jaar als gevolg van één 1.000 MW centrale leiden de berekeningen tot de volgende resultaten (zie Tabel 3).

Tabel 3 Totale externe kosten per jaar per centrale (basisberekening; lage waarde = Eemshaven, hoge = Maasvlakte, behalve voor kerncentrale). Ongevallen op basis van risicoaverse maat voor 'grootste' ongeval wereldwijd in de betreffende keten[9]

	Standaard emissies	Ongevallen
	Miljoen €/jaar	Miljoen €/jaar
Biomassa	35-36	
Poederkool	121-127	± 3,5
Poederkool met max bijstook	59-61	± 1,0
Kolenvergassing	129-134	± 3,5
STEG	53	± 1,0
Kernenergie	1-79	~36-360?

Afhankelijk van de gekozen brandstof en techniek kunnen de totale maatschappelijke kosten van een nieuwe centrale met minimaal een factor 4 variëren. Voor de risicokosten zijn de verschillen nog groter. Merk op dat voor kernenergie hiervoor in de tabel de jaarlijkse kosten (gebaseerd op theoretische aannames) worden weergegeven van een verzekering met volledige dekking. Als een ramp zou optreden in afwezigheid van een dergelijke verzekering (zoals nu het geval is)

[8] Tailings zijn de restproducten van (uranium) mijnbouw: het gedolven gesteente waaruit uranium is geïsoleerd middels extractie (voor de leek, vergelijk extractie met koffie zetten).

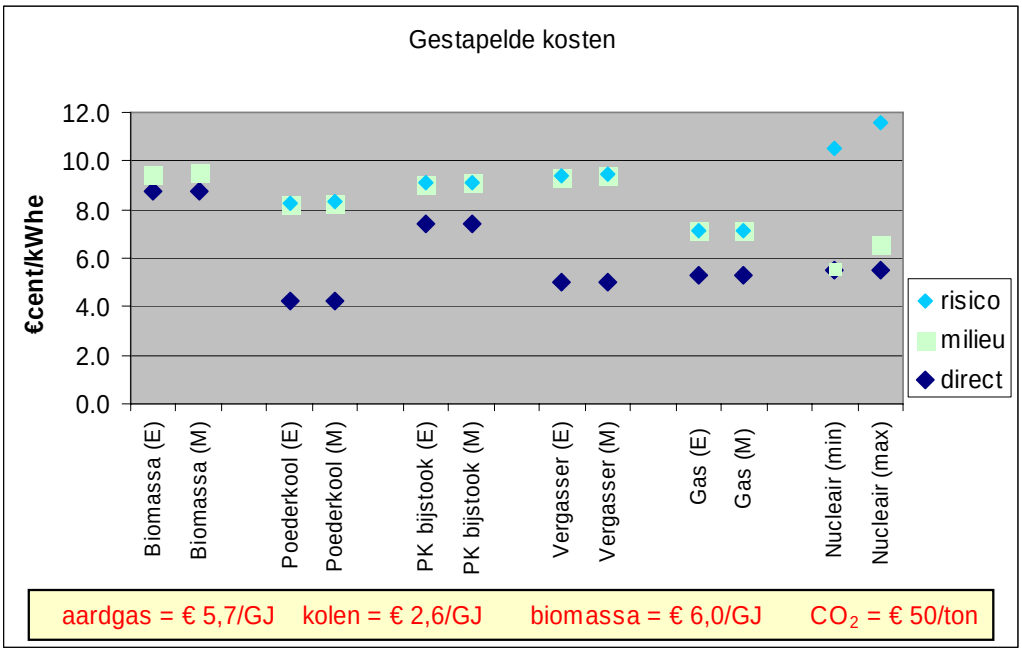
[9] De kostenschattingen voor emissies moeten worden beschouwd als een minimum waarde omdat niet alle emissies en impacts kunnen worden meegenomen. Ook de risicokosten geven een ondergrens omdat hier alleen gekeken is naar de schade (met risicoaverse maat) van het grootste ongeval in de betreffende keten en niet naar de totale 'kansverdeling' van ongevallen.

dan zijn de schadekosten per jaar eerder enkele miljarden euro's. Het is immers te verwachten dat een ongeval in Nederland minstens evenveel schade tot gevolg zou hebben als de ramp in Tsjernobyl in Oekraïne en Wit Rusland (US$ 436 miljard over 30 jaar).

De totale Nederlandse elektriciteitlevering (productie en import) in 2005 heeft naar schatting ruim € 1.400 miljoen aan externe kosten met zich meegebracht. Voor een levensduur van 30 jaar zijn de totale externe kosten per centrale € 1 miljard (biomassa) tot € 4 miljard (kolen) volgens de basisberekening

De keuze voor een bepaald type centrale heeft dus grote maatschappelijk gevolgen en op dit moment wordt hiermee nauwelijks rekening gehouden. De verhoudingen van de directe kosten per kWh voor de verschillende opties liggen namelijk heel anders dan de verhoudingen van de externe kosten. Kolen zijn de goedkoopste optie (Figuur 3 en 4) maar hebben de hoogste externe kosten.

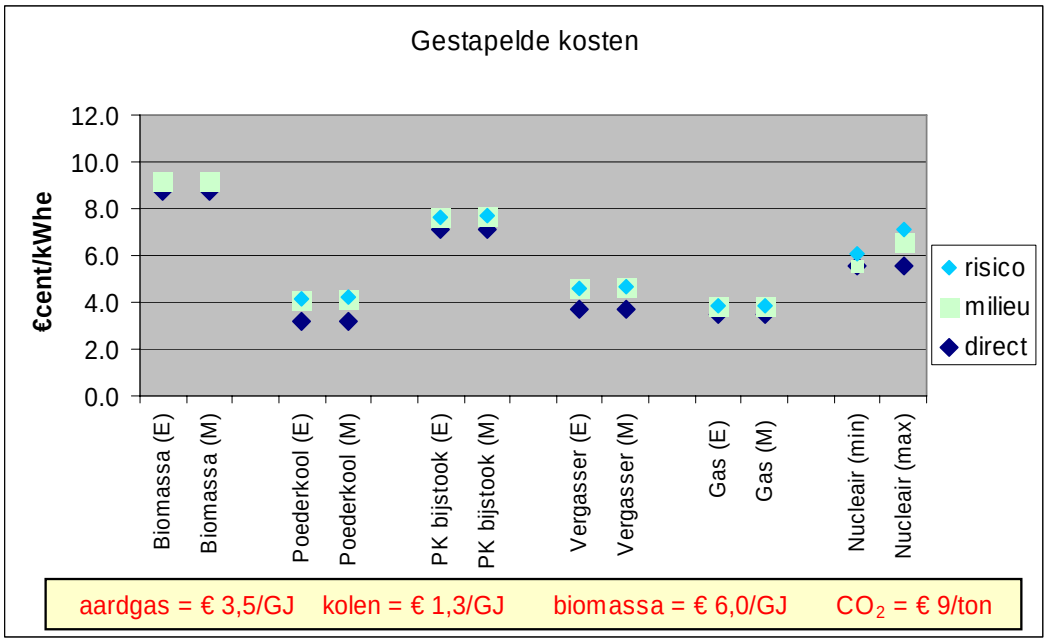
Figuur 3 Resultaten van deze studie (milieukosten en risicokosten) in verhouding tot directe kosten (productiekosten, bron CE, 2006) per type centrale in Eemshaven (E) en Maasvlakte (M) (hoge variant, opties zonder CO_2-afvang)



Biomassa is van de verbrandingscentrales de optie met de laagste externe kosten, maar duur wat betreft directe kosten. Wat betreft totale (externe plus directe) kosten komt gas in beide gevallen het laagst uit. Het feit dat bij de meeste types centrale de risicokosten gesuperponeerd lijken op de milieukosten wil zeggen dat ze erg klein zijn. Voor biomassa zijn geen ongevalgegevens bekend. Bij kernenergie is als eerder aangegeven een variatie in emissies van radioactieve stoffen bij uranium mijnbouw beschouwd. Deze bandbreedte is in beide figuren weergeven middels een minimum en een maximum variant waarbij de kwalificatie

van de omvang betrekking heeft op de emissies van radioactieve stoffen en daaraan gerelateerde milieu- en gezondheidsschade.

Figuur 4 Resultaten van deze studie (milieukosten en risicokosten) in verhouding tot directe kosten (productiekosten, bron CE, 2006) per type centrale in Eemshaven (E) en Maasvlakte (M) (lage variant, opties zonder CO_2-afvang)



CO_2-afvang en -opslag

Een nieuwe centrale, van welk type dan ook, zal volgens huidige politiek in ieder geval 'capture ready' moeten worden gebouwd. Op welke termijn CO_2-afvang en -opslag ook daadwerkelijk zal worden toegepast, en in welke omvang, is nog niet zeker. De techniek neemt in deze studie daarom een aparte positie in, omdat het de enige beschouwde technologie is die nog niet direct beschikbaar is. Het is niet zeker dat CCS (Carbon Capture and Sequestration) echt zal gaan plaatsvinden, zelfs als een centrale "capture ready" wordt gebouwd. Bovendien is onduidelijk welke partijen de verdere kosten van onderzoek en ontwikkeling op zich zullen nemen; deze zouden ten laste kunnen komen van de samenleving, maar dit is hier niet meegenomen.

De onzekerheid ligt deels in de nog benodigde technische ontwikkeling[10] en het nog niet beschikbaar en aanwijsbaar zijn van de nodige opslagcapaciteit[11]. Daar-

[10] Benodigde post-combustion afvang techniek is wel commercieel beschikbaar, maar op een tien keer kleinere schaalgrootte dan hier beschouwd. Opschalen vergt nog enige technische ontwikkeling. Daarnaast is optimalisatie qua operationele kosten en energiegebruik gewenst. De techniek voor afvang van CO_2 bij vergassing is overigens wél beschikbaar op de beschouwde schaalgrootte en wordt bijvoorbeeld toegepast bij de vijf ammoniakfabrieken in Nederland, alwaar per jaar 3,5 Mton aan zuivere CO_2 wordt afgescheiden.

[11] Afgevangen CO_2 zal waarschijnlijk worden opgeslagen in lege gasvelden vanwege bewezen integriteit, maar deze liggen iha niet in de buurt van beschouwde locaties en er zullen sowieso per centrale meerdere velden moeten worden benut. Afstanden in Rijnmond zullen variëren van 10 – 50 kilometer, in Eemshaven eerder tussen de 50 en 100 kilometer.

naast zal een aanzienlijke infrastructuur moeten worden aangelegd om meerdere megatonnen CO_2 per jaar te kunnen vervoeren naar de opslaglocaties. Wie de ontwikkeling van infrastructuur en opslaglocaties gaat betalen en wie ze vervolgens gaat beheren is nog niet in beeld. Een heel belangrijk punt is ook dat er nog onzekerheden zijn over vergunningtraject en juridisch kader. Onduidelijk is ook wie op de lange termijn verantwoordelijk is voor het opgeslagen CO_2. Het is dan ook uitsluitend op basis van de benodigde infrastructuur en opslagcapaciteit al niet te verwachten dat opslag voor 2020 reëel is.

Vanwege de belangrijke positie van CO_2-afvang en -opslag in het huidige klimaatdebat is wel gekeken naar de effecten van deze techniek. Hieraan zijn uiteraard extra directe kosten verbonden, maar de externe kosten worden er netto door verminderd. Voor kolen- en gascentrales kunnen de externe kosten netto met 70% tot 80% verminderen. Een interessant resultaat is dat de externe kosten wat betreft klimaatverandering voor energieopwekking uit biomassa bij toepassing van CO_2-afvang negatief zouden zijn. De koolstof in de biomassa zelf wordt als kortcyclisch beschouwd en er wordt dus effectief CO_2 uit de atmosfeer verwijderd als deze na de verbranding wordt afgevangen en opgeslagen.

Afwenteling
Bij de berekening van de externe kosten is uiteraard meegenomen wat de reikwijdte van bepaalde effecten is. Hierbij wordt in het algemeen niet apart gekeken naar in hoeverre sprake is ‘afwenteling’. Veel van de resulterende schade zal mogelijk buiten Nederland optreden en er is dus sprake van afwenteling naar het buitenland. Dit is het sterkst het geval voor klimaatverandering. Broeikasgassen die in Nederland worden uitgestoten leiden over de hele wereld tot klimaatverandering. Er is dus in hoge mate sprake van afwenteling van milieubelasting, onder andere op landen die de eventuele gevolgen hiervan moeilijk kunnen dragen. In hoofdstuk 2 van het hoofdrapport wordt besproken dat adaptatiekosten kunnen leiden tot een verlaging van het BBP met 5% tot 20%; er zijn zelfs bronnen die zeggen dat adaptatiekosten en BBP rond 2050 aan elkaar gelijk zouden kunnen zijn (NEF, 2004).

De meeste andere schoorsteenemissies hebben een regionaal effect. Verzuring, vermesting en gezondheidschade als gevolg van schoorsteenemissies in Eemshaven of op de Maasvlakte zijn merkbaar over heel Europa. Ook hier is sprake van afwenteling, maar dan voornamelijk naar geïndustrialiseerde landen. Op basis van berekeningen met het programma EcoSense blijkt dat minimaal twee derde van de schades van SO_2 en NO_x in het buitenland optreden.

Het belangrijkste lokale effect is dat van fijn stof, met name het stof dat verwaait bij op- en overslag van kolen bij de centrale. De fijn stof emissies zijn dan ook grotendeels verantwoordelijk voor het verschil in externe kosten tussen de twee locaties, hoewel ook lokale effecten van SO_2 een kleine rol spelen. Het verschil in nabije bevolkingsdichtheid tussen de twee locaties ligt hieraan ten grondslag. De totale schade is dus bij een centrale bij Eemshaven kleiner, maar voor een inwoner van Delfshaven is de toename van de kans op ziekte even groot als voor een

inwoner van Rotterdam. Het **individuele** effect is niet afhankelijk van de locatie van de centrale, maar het **collectieve** effect wel.

De radiologische emissies in de kernenergieketen treden, in het 'worst case' scenario, vooral op in het buitenland. Ook hier is dus sprake van belangrijke mate van afwenteling. De effecten van radioactiviteit bij de mijnbouw kunnen een factor 1.000 variëren en de externe kosten per kWh variëren als gevolg daarvan effectief met een factor 100. De herkomst van uranium is dan ook bepalend voor de externe kosten van kernenergie en de mate van afwenteling.

Andere effecten

Een aantal belangrijke effecten is moeilijk in kosten uit te drukken, maar geven wel degelijk onderscheid tussen de verschillende energieketens. We hebben hierover in het rapport het een en ander gezegd:

- Landgebruik: er kan wel geïnventariseerd worden hoeveel land nodig is voor de productie van een kWh, maar dit als externe kosten uitdrukken is lastig. In de doorgerekende ketens is landgebruik laag, maar voor sommige bronnen van biomassa kan dit anders liggen.
- Hernieuwbaarheid & voorzieningszekerheid: deze twee thema's zijn niet hetzelfde maar wel deels gerelateerd. Bij hernieuwbare bronnen is de voorzieningszekerheid op lange termijn per definitie hoger dan bij niet-hernieuwbare bronnen, daarnaast geldt in praktijk dat niet-hernieuwbare bronnen (grondstoffen) vaak uit minder stabiele geografische regio's afkomstig zijn.
- Afwenteling: in een externe kosten bepaling wordt schade in buitenland en schade in eigen land opgeteld. Voor sommige opties is er mogelijk minder sprake van afwenteling dan voor andere, hierop zou in discussies verder moeten worden ingegaan. Ook afwenteling naar toekomstige generaties, zoals bij klimaatverandering en opslag van radioactief afval, geeft een onderscheid tussen ketens.

Van rekenen tot verrekenen

Het feit dat er externe kosten optreden bij elektriciteitproductie op zich is geen reden om aan te nemen dat er sprake is van een niet economisch efficiënte situatie. Het is denkbaar dat de huidige regulering, waaraan alle beschouwde centrales in principe ruimschoots voldoen, al dusdanig is dat de maatschappelijke kosten (externe kosten plus productiekosten) ook voor een kolencentrale lager zijn dan de maatschappelijke baten. Dit kan echter alleen duidelijk worden als de externe kosten worden meegenomen in de beslissingen rond nieuwe centrales. Op dit moment is dat hooguit deels[12] het geval en daardoor *lijken* kolen de goedkoopste optie.

Afgezien van of de externe kosten al dan niet leiden tot een economisch inefficiente situatie, is er sprake van onrechtvaardige verdeling van kosten en baten, aangezien de externe kosten ten laste komen van de maatschappij en de baten niet. Dit is in feite een vorm van subsidiering, waardoor er geen sprake is van

[12] Bijvoorbeeld CO_2-emissiehandel zou mogelijk een deel van de externe kosten kunnen internaliseren. In hoeverre dat op dit moment echter het geval is, met gratis toedeling van rechten en een ruim emissieplafond, is zeer de vraag.

eerlijke concurrentie tussen verschillende centrales of andere mogelijkheden voor opwekking van elektriciteit. Er zijn verschillende mogelijkheden om de verdeling van kosten en baten te verbeteren, zoals bijvoorbeeld op goede manier teruggesluisde heffingen (op emissies) of verzekeringen (voor calamiteiten). Dit onderwerp vergt een studie op zich, maar gesteld kan worden dat bij volledige internalisering van externe kosten deze helemaal zouden terug komen in de productiekosten en dus de prijs van elektriciteit. Hiermee zou dan ook energiebesparing - uiteindelijk de meest effectieve manier om milieudruk te verminderen - financieel interessanter worden, evenals het gebruik van andere hernieuwbare energiebronnen zoals zon en wind. Een nieuwe centrale zal - hoe modern ook - een toename van emissies en impacts betekenen, terwijl dat bij energiebesparing niet het geval is. Ook op meer kwalitatieve punten ‘scoort’ energiebesparing goed: hernieuwbaarheid, voorzieningszekerheid, afwenteling, en dergelijke.

De manier waarop gewonnen gelden, in het geval van een heffing, worden ingezet is van belang voor de effectiviteit en de maatschappelijke acceptatie van het instrument. Zoals de gelden van de congestieheffing in Londen worden ingezet ter verbetering van openbaar vervoer, zouden heffingen op elektriciteitproductie kunnen worden ingezet bij het overbruggen van investeringsbarrières in duurzame energie.

Bij het opleggen van een eventuele heffing moet wel oog zijn voor het feit dat veel kostenposten nog ontbreken in de externe kosten berekeningen en dat ook dit tot ongewenste effecten kan leiden. Met vrij lage externe kosten per kWh kan bijvoorbeeld biomassa bij invoering van een dergelijke heffing nog interessanter worden als energiebron. Het ontbreken van financiële waardering van landgebruik en biodiversiteitverlies kan echter slechte gevolgen hebben voor het milieu. Hiervoor zouden extra randvoorwaarden kunnen worden gesteld, bijvoorbeeld door bepaalde gewassen of regio’s van herkomst uit te sluiten.

Ditzelfde geldt voor kernenergie. In de berekeningen in dit rapport is al expliciet ingegaan op het grote verschil in ketenimpact voor verschillende plaatsen van herkomst van uranium. Met één heffing voor een kWh kernenergie kan de markt geen rekening houden met deze verschillen en een daadwerkelijk gedifferentieerde heffing is in praktijk ingewikkeld. Randvoorwaarden kunnen hier een oplossing voor bieden. Hierbij valt te denken aan eisen aan tailingsmanagement of rehabilitatiefondsen voor mijnen waar uranium van betrokken.

Als CO_2-afvang en -opslag een reële optie wordt voor de nieuwe centrale rijst de vraag hoe dit mee te nemen in klimaatbeleid. Op dit moment is het geen onderdeel van het emissiehandelsysteem, maar het is zeker denkbaar dat dit in de toekomst wel zo zal zijn. In dat geval zou de logische consequentie zijn dat biomassa(bijstook)centrales met CO_2-afvang en -opslag voor effectief negatieve emissies gecrediteerd worden.

De in het rapport besproken risicokosten voor kernenergie lenen zich niet voor een heffing, omdat de schades onvoorspelbaar zijn (zowel qua tijdstip als qua omvang). De geëigende manier om de schadekosten echt te internaliseren is via (marktconforme) verzekering. Een andere optie is om de risico's door eisen aan het ontwerp dusdanig terug te brengen dat ze wel verzekerbaar zijn of maatschappelijk aanvaardbaar worden geacht. Of het een of het ander in praktijk haalbaar of betaalbaar is, is daarbij de vraag. Een andere optie is om te aanvaarden dat een deel van het risico een maatschappelijke kostenpost blijft; dit betekent een indirecte subsidiering van kernenergie.

Literatuur

Ackerman, 2006
F. Ackerman, E. Stanton
Climate change: the costs of inaction
Friends of the Earth, 2006

CE, 2006
H.J. Croezen, J.T.W. Vroonhof, F.J. Rooijers
Welke nieuwe energiecentrale in Nederland?
Delft : CE Delft, 2006

ExternE, 2005
P. Bickel, R. Friedrich
Externalities of Energy, Methodology 2005 update
2005

NEF, 2004
A. Simms, D. Woodward, P. Kjell
Cast adrift : How the rich are leaving the poor to sink in a warmer world
London UK : NEF, 2004

Stern review report, 2006
Prepublicatie beschikbaar op:
http://www.hmtreaury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm

Tol, 2005
R.S. Tol
The marginal damage costs of carbon dioxide emissions
In : Energy Policy 33, 2064-2074, 2005