



Centraal Planbureau
Planbureau voor de Leefomgeving

CPB/PBL Achtergronddocument | 23 november 2016

WLO-klimaatscenario's en de waardering van CO₂-uitstoot in MKBA's

WLO-klimaatscenario's en de waardering van CO₂- uitstoot in MKBA's

Auteurs: Rob Aalbers, Gusta Renes en Gerbert Romijn

**Opgesteld op verzoek van de Begeleidingscommissie werkwijzer
MKBA milieubeleid**

Samenvatting

De klimaatscenario's van de Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (WLO: CPB en PBL, 2015a) hebben gevolgen voor de manier waarop in een MKBA met CO₂-baten moet worden omgegaan. De klimaatscenario's kennen een CO₂-uitstootbudget¹ voor de rest van de eeuw en een daaraan gekoppelde uitstootreductie. Voor referentiescenario Hoog is het uitstootbudget lager en de uitstootreductie hoger dan in referentiescenario Laag. Naast deze twee referentiescenario's is ook nog een onzekerheidsverkenning gemaakt voor het tweegradendoel. In de WLO klimaatscenario's zijn voor Europa geldende uitstootbudgetten vastgesteld. Deze zijn in lijn met de uitstootbudgetten die wereldwijd gelden.

Om deze voor Europa geldende emissiereductie te halen, is zowel Europees als nationaal beleid nodig. Binnen een scenario wordt ervan uitgegaan dat dit beleid zo efficiënt mogelijk is. Dat wil zeggen dat klimaatbeleid zo is vormgegeven dat de emissiereductie tegen zo laag mogelijke (maatschappelijke) kosten wordt gehaald.² Dit omvat een efficiënte CO₂-prijs, maar impliciet ook ander efficiënt beleid, zonder dat beleid te specificeren. Een MKBA van een klimaatmaatregel laat zien of die maatregel efficiënt bijdraagt aan het halen van de emissiereductie in dat scenario, gegeven de efficiënte CO₂-prijs. De vraag die dan wordt beantwoord, is of een nieuwe maatregel of een nieuw project 'beter' is dan de in het scenario impliciet reeds meegenomen projecten.

De WLO presenteert alleen ETS-prijzen en die reflecteren niet de prijs waarbij CO₂-uitstootreductie efficiënt is. In deze notitie gaan we nader in op de invulling van die efficiënte CO₂-prijzen. Deze zijn bedoeld voor gebruik in een MKBA en zijn zo behulpzaam bij de bepaling van wat efficiënt klimaatbeleid betekent voor beleidsbeslissingen van de Nederlandse overheid. Deze notitie is daarmee een aanvulling op de WLO-scenario's (CPB en PBL, 2015a, b).

Voor het bepalen van de CO₂-baten van een maatregel ten behoeve van MKBA's moeten voortaan de efficiënte CO₂-prijzen worden gebruikt. Deze efficiënte prijzen staan vermeld in tabel S1. Het efficiënte prijspad geeft tussen nu en 2050 de CO₂-prijzen weer die nodig zijn om de cumulatieve CO₂-reductie in een scenario tegen de laagst mogelijke kosten te realiseren. Met een eventueel waterbedeffect hoeft bij gebruik van deze WLO-scenario's geen rekening te worden gehouden, mits gebruik gemaakt wordt van de efficiënte prijzen.

¹Het CO₂ uitstootbudget zegt hoeveel CO₂ er maximaal nog in de atmosfeer terecht mag komen om binnen de per scenario gestelde klimaatdoelstelling voor deze eeuw te blijven. Daarbij beperken we ons tot deze eeuw omdat we er rekening mee houden dat er daarna een backstoptechnologie beschikbaar komt die we nu nog niet kennen.

² Dit betekent dus niet automatisch dat dezelfde doelstellingen zouden moeten gelden voor verschillende landen. Naarmate verschillende landen gemakkelijker of moeilijker hun CO₂-uitstoot kunnen reduceren, vindt er zo vanzelf een verschuiving van CO₂-uitstoot plaats van de plekken of sectoren waar dat gemakkelijk is te reduceren, naar waar dat moeilijker of kostbaarder is.

Tabel S1 Efficiënte en ETS-prijs van een ton CO₂ (in euro per ton) in de twee scenario's en de tweegradenonzekerheidsverkenning.

		2015	2030	2050
Hoog	Efficiënte prijs	48	80	160
	ETS-prijs	5	40	160
Laag	Efficiënte prijs	12	20	40
	ETS-prijs	5	15	40
2°C	Efficiënte prijs	60-300	100-500	200-1000
	ETS-prijs	5	100-500	200-1000

De te gebruiken CO₂-prijzen en de omgang met het waterbedeffect zijn belangrijke onderwerpen voor de bepaling van de effecten van klimaatmaatregelen. Hoe MKBA's voor klimaat- en energiebeleid moeten worden opgesteld, valt echter buiten de scope van deze notitie. Dat is een onderwerp dat moet worden uitgewerkt in een werkwijzer als aanvulling op de Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyses (Romijn en Renes, 2013; ministerie van Financiën, 2013)

Verder is bij het opstellen van de WLO-klimaatscenario's uitgegaan van het bestaande luchtkwaliteitsbeleid. Een verdere aanscherping van dit beleid is denkbaar.³ Strenger luchtkwaliteitsbeleid verlaagt vaak ook de CO₂-uitstoot en leidt dus tot lagere efficiënte CO₂-prijzen. Het betekent tegelijkertijd hogere prijzen voor de uitstoot van NO_x, SO₂ en fijnstof. Dit betekent dat bij MKBA's voor klimaat- of energiebeleid waar tevens luchtkwaliteit belangrijk is, in gevoeligheidsanalyses het effect van strenger luchtkwaliteitsbeleid inzichtelijk moet worden gemaakt. De prijzen voor CO₂, NO_x, SO₂ en fijnstof die dan gehanteerd moeten worden, zijn nog niet bepaald.⁴ Ook dit valt verder buiten de scope van deze notitie.

1 WLO-klimaatscenario's en MKBA

Om klimaatmaatregelen met een MKBA te kunnen beoordelen, is het nodig om precies aan te geven hoe veranderingen in de uitstoot van broeikasgassen bepaald en gewaardeerd moeten worden. In het Rapport Werkgroep Discontovoet 2015 is vastgelegd dat daarvoor de klimaatscenario's in de Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (WLO: CPB en PBL, 2015a) de basis vormen. Deze klimaatscenario's beschrijven de toekomstige ontwikkeling van de totale uitstoot van broeikasgassen in Nederland en de prijs van een ton CO₂ in het EU-

³ Zo bereikten de lidstaten van de EU op 30 juni 2016 een akkoord over een nieuwe richtlijn om hun nationale uitstootplafonds voor schadelijke stoffen te verlagen.

⁴ Om deze prijzen te bepalen is het nodig om de WLO-scenario's uit te breiden met luchtkwaliteitsscenario's. Net als bij klimaat omvat dit de vaststelling van haalbare internationale doelen in de context van een internationaal coördinatieprobleem. Dit vergt een zorgvuldige analyse die vooralsnog niet beschikbaar is. Daarnaast geldt bij de bepaling van de betekenis van die doelen voor emissiereducties en daarbij horende prijzen een gelijksoortige problematiek als voor CO₂: in welke mate wordt daarmee een sociaal optimum bereikt en wat is de rol van preventiekosten en betalingsbereidheid (zie paragraaf 2.3).

emissiehandelsstelsel (ETS).⁵ Hiervoor zijn twee referentiescenario's beschikbaar, te weten het referentiescenario Hoog en het referentiescenario Laag. De CO₂-prijzen in Hoog en Laag zijn consistent met de veronderstelde CO₂-uitstootreductie binnen het ETS.⁶

Tabel 1 CO₂-uitstootvermindering t.o.v. 1990 en CO₂-prijzen in het ETS in de WLO-referentiescenario's

	Hoog		Laag	
	2030	2050	2030	2050
Emissiereductie	40%	65%	30%	45%
CO ₂ -prijs (euro/ton)	40	160	15	40

Deze twee referentiescenario's vormen de achtergrond voor het bepalen van de CO₂-prijzen die voor alle MKBA's gebruikt moeten worden. Dit betekent dat in een MKBA een klimaatmaatregel moet worden beoordeeld voor *beide* referentiescenario's. Op die manier wordt naast de efficiëntie van de maatregel ook de toekomstige onzekerheid over deze aspecten in beeld gebracht.

Naast de referentiescenario's is een onzekerheidsverkenning ontwikkeld waarbij de temperatuurstijging beperkt blijft tot 2°C. In dat geval is de CO₂-uitstoot in 2050 80% lager dan in 1990. De CO₂-prijs bedraagt 100-500 euro per ton in 2030 en 200-1000 euro in 2050. Deze CO₂-prijzen zijn volgens de in de WLO gemaakte modelberekeningen afdoende om het tweegradendoel te bereiken. Bij MKBA's voor klimaatmaatregelen is het aan te bevelen om deze ook door te rekenen voor deze tweegradenverkenning.⁷

Om de emissiereducties te halen is beleid nodig, in Nederland, in de EU en in alle andere delen van de wereld. Binnen een scenario wordt ervan uitgegaan dat dat beleid zo efficiënt mogelijk is. Dat wil zeggen dat klimaatbeleid zo is vormgegeven dat de emissiereductie tegen zo laag mogelijke (maatschappelijke) kosten wordt gehaald. Een MKBA van een klimaatmaatregel laat zien of die maatregel efficiënt bijdraagt aan het halen van de emissiereductie in dat scenario, gegeven de efficiënte CO₂-prijs. De vraag die dan wordt beantwoord, is of het nieuwe project 'beter' is dan de in het scenario impliciet reeds meegenomen projecten.

⁵ Naast CO₂ bestaan er nog andere broeikasgassen zoals methaan (CH₄) distikstofoxide (N₂O = lachgas) en de gehalogeneerde koolwaterstoffen (een groep van gassen met fluor, chloor en broom). Deze broeikasgassen verschillen in hun broeikaswerking. Methaan heeft voor een gegeven concentratie een veel hogere broeikaswerking van CO₂. In deze notitie hanteren we de CO₂-prijs voor alle broeikasgassen waarbij we de algemene conventie volgen om de uitstoot van verschillende broeikasgassen om te rekenen naar CO₂-equivalenten op basis van hun broeikaswerking.

⁶ In Hoog verandert het ETS na 2030 in een economiebreed CO₂-emissiehandelssysteem.

⁷ De achtergronden bij de keuzes die tot de referentiescenario's en de onzekerheidsverkenning hebben geleid, staan beschreven in CPB en PBL (2015a). De rol van referentiescenario's en onzekerheidsverkenningen bij de beleidsvoorbereiding en van MKBA's wordt beschreven in CPB en PBL (2015b).

Deze notitie werkt uit hoe de uitkomsten van de WLO-klimaatscenario's gebruikt moeten worden bij een MKBA als het bepalen van CO₂-uitstootverminderingen van een maatregel een rol speelt.⁸ Daarbij zijn twee zaken van belang.

1. Welke CO₂-prijzen moeten worden gebruikt? Het probleem daarbij is dat de CO₂-prijzen in de WLO de ETS-prijzen betreffen en dat er ook beleidsmaatregelen buiten het ETS worden uitgevoerd. De ETS-prijzen in 2015 en 2030 reflecteren daardoor niet de prijs waarbij CO₂-uitstootreductie efficiënt is.
2. De bepaling van de mate waarin een maatregel de uitstoot vermindert en de rol van het zogeheten waterbedeffect daarbij. Dit waterbedeffect is het effect dat een uitstootvermindering als gevolg van de maatregel elders of later voor extra ruimte voor uitstoot binnen het ETS zorgt (het uitstootplafond van het ETS ligt immers vast), waardoor geen netto uitstootvermindering optreedt als gevolg van de maatregel. We betogen dat de aard van de scenario's zodanig is dat met dit waterbedeffect geen rekening hoeft te worden gehouden.

De te gebruiken CO₂-prijzen en de omgang met het waterbedeffect zijn belangrijke onderwerpen voor de beoordeling van klimaateffecten in de context van een MKBA. Hoe MKBA's voor klimaat- en energiebeleid moeten worden opgesteld valt echter buiten de scope van deze notitie. Dat is een onderwerp dat moet worden uitgewerkt in een werkwijzer als aanvulling op de Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyses.

In paragraaf 2 gaan we in op de vraag welke CO₂-prijzen wel de juiste zijn en in paragraaf 3 leggen we uit waarom met het waterbedeffect geen rekening gehouden hoeft te worden. We illustreren dit met een voorbeeld op het gebied van de elektriciteitsmarkt.

2 CO₂-prijzen in de WLO

2.1 De efficiënte prijs: definitie en berekening

In de WLO-scenario's is gedurende enkele decennia tegelijkertijd sprake van een beleid gericht op het voorkomen van CO₂-uitstoot van broeikasgassen en het subsidiëren van schone technologieën. In het scenario Laag is dit tot bijna 2050 het geval en in Hoog worden in de periode na 2030 ondersteunende maatregelen volledig afgeschaft en is alleen nog een koolstofbelasting (of een emissiehandelssysteem) in werking. Een dergelijk emissiehandelssysteem/koolstofbelasting omvat in die periode de volledige economie en zal leiden tot veel hogere ETS-prijzen dan nu gewoon is. Het is maatschappelijk optimaal om naast koolstofbelastingen (of een emissiehandelssysteem) ook subsidies te verstrekken om

⁸ De aanpak in deze notitie kan ook worden gebruikt bij het bepalen van de waarde van veranderingen in CO₂-emissies als gevolg van transportinfrastructuurprojecten. In de praktijk wordt er bij dergelijke MKBA's veel minder gedetailleerd gewerkt, door gebruik te maken van een vast bedrag per voertuigkilometer om de externe schade van uitstoot van CO₂ en luchtvervuilende stoffen te waarderen.

zo de ontwikkeling van CO₂-arme technologie te stimuleren. Dit is nodig omdat er een suboptimale innovatiebias is richting vervuilende technologie. Door de subsidie worden duurzame energietechnologieën sneller rendabel en verdwijnt de innovatiebias. De innovatiesubsidie is daardoor na verloop van tijd niet langer nodig.

Dit tweesporenbeleid (CO₂-beprijzing en stimulering van CO₂-arme technologie) voorkomt een sterke stijging van de koolstofbelasting (een stringent ETS-plafond) in de eerste decennia en leidt daarmee tot een hogere welvaart in vergelijking met een beleid dat alleen uitgaat van CO₂-beprijzing (zie voor een nadere modelmatige onderbouwing bijvoorbeeld Acemoglu et al. (2012)). Dit wordt veroorzaakt doordat er sprake is van twee externe effecten. Naast de CO₂-problematiek is bij de uitrol van schone technologieën ook sprake van niet-internaliseerbare leereffecten en spill-overeffecten.

Om maatregelen te beoordelen met een MKBA gebruiken we het efficiënte CO₂-prijspad in een scenario. Voor elk jaar tussen nu en 2050 geeft dit prijspad de CO₂-prijzen weer die nodig zijn om de in een bepaald scenario veronderstelde cumulatieve CO₂-uitstootreductie⁹ tegen de laagst mogelijke kosten te realiseren. De economiebrede efficiënte prijs is gelijk aan de minimale marginale (preventie)kosten. Met andere woorden: elke afwijking van dit CO₂-prijspad leidt tot hogere kosten om de CO₂-uitstootdoelstelling te bereiken. Het hanteren van andere prijzen is daarmee strijdig met de welvaartseconomische uitgangspunten van een MKBA die onder meer zeggen dat de baten van een ingezette euro moeten worden afgezet tegen de meest rendabele alternatieve aanwending. Dit heeft in dit geval te maken met de *'the law of one price'* die zegt dat in een efficiënt werkende economie identieke goederen/diensten dezelfde prijs hebben. Dat betekent dus dat het gelijktijdige gebruik van ETS-prijzen en daarvan afwijkende (impliciete) niet-ETS-prijzen voor CO₂-reductie niet als uitgangspunt kan dienen voor een MKBA van klimaatgerelateerde energiemaatregelen. Dit efficiënte CO₂-prijspad fungeert daarmee als een benchmark voor de analyse van nieuwe klimaatgerelateerde energiemaatregelen en projecten met een MKBA.

⁹ Deze voor 2050 veronderstelde reductie is voor ieder scenario consistent met het voor het scenario geldende CO₂-budget in 2100 (zie ook CPB en PBL, 2015a). Merk op dat er binnen elk scenario nog sprake is van grote verschillen in de primaire energiemix, afhankelijk van de gehanteerde aannames over de technologische ontwikkelingen. Die hebben echter een verwaarloosbare invloed op het CO₂-prijspad. Met andere woorden, onafhankelijk van de verschillende mogelijke technologische ontwikkeling reflecteert het CO₂-prijspad de relatieve prijs van CO₂-uitstoot die nodig is om het CO₂-uitstootdoel te halen.

Marktprijzen en efficiënte prijzen

Over het algemeen wordt bij het waarderen van effecten van maatregelen in een MKBA zoveel mogelijk het gebruik van marktprijzen gepropageerd. Als er verder geen sprake is van marktfalen, zorgt deze prijs voor een evenwicht tussen de kosten in de vorm van opoffering van middelen en de baten in de vorm van de waardering door consumenten.

Als wel sprake is van marktfalen, is dit evenwicht verstoord. Als dat externe effecten aan de productiekant betreft, betekent dit dat niet alle kosten van productie in de prijs worden gereflecteerd. De Algemene MKBA Leidraad beveelt dan aan om de ontbrekende markten waar de externe effecten optreden, te identificeren. De effecten op deze ontbrekende markten moeten worden meegenomen in een MKBA.

Een alternatieve benadering is om in de MKBA niet de marktprijzen te gebruiken, maar de prijs gecorrigeerd voor de externe effecten. Dat laatste is de welvaartseconomische efficiënte (kost-)prijs van productie. Het gebruik van efficiënte prijzen vormt zo dus een alternatief voor een expliciete duiding van de ontbrekende markt.

Welke aanpak het meest bruikbaar is, verschilt van geval tot geval. Bij de CO₂-markten lijkt het gebruik van efficiënte prijzen te prefereren. Dit hangt samen met het feit dat we enerzijds de beschikking hebben over ramingen voor de efficiënte prijzen, terwijl er tegelijkertijd onduidelijkheid bestaat over de hoogte van de *social cost of carbon* (zie paragraaf 2.3).

Uit de WLO zijn alleen ETS-prijzen bekend. Er is geen niet-ETS-prijs bepaald, ook al omdat er niet een expliciete niet-ETS prijs bestaat. De ETS-prijs is efficiënt als alle economische actoren en daarmee de gehele uitstoot van broeikasgassen onder het emissiehandelssysteem vallen. In de WLO-scenario's is dat in 2050 voor alle scenario's het geval. De efficiënte CO₂-prijs voor de jaren tussen 2016 en 2050 is te bepalen door gebruik te maken van de regel van Hotelling¹⁰ en de efficiënte prijs voor 2050 met de geëigende discontovoet te verdisconteren.

Er zijn dus drie efficiënte prijspaden, voor de scenario's Laag en Hoog en voor de tweegradenonzekerheidsverkenning. In 2050 bedragen de efficiënte CO₂-prijzen: 160 euro voor Hoog, 40 euro voor Laag en tussen de 200 en 1000 euro in de onzekerheidsverkenning voor het tweegradendoel.¹¹ Terugrekenend met een discontovoet van 3,5% resulteren er efficiënte prijzen in 2015 van 48 euro voor Hoog, 12 euro voor Laag en 60-300 euro voor de tweegradenonzekerheidsverkenning. Tabel 2 geeft de ETS-prijs en de efficiënte prijs.¹² De ETS-prijzen voor 2015 en 2030 uit de WLO zijn dus géén efficiënte prijzen omdat in die jaren nog niet alle economische actoren onder het emissiehandelssysteem vallen. Een uitzondering is de tweegradenonzekerheidsverkenning, waarin in 2030 al alle actoren onder het emissiehandelssysteem vallen

¹⁰ Hotelling (1931). De regel van Hotelling zegt dat in een optimale situatie de groeivoet van de prijs van een niet-hernieuwbare bron gelijk is aan de discontovoet.

¹¹ In Laag is het klimaatbeleid in 2050 nog niet helemaal efficiënt. Dat wordt kort na 2050 bereikt. De efficiënte CO₂-prijs in Laag is in 2050 echter (afgerond) gelijk aan de EU-ETS-prijs (zie tabel 3.6 in het achtergronddocument bij de WLO-klimaatscenario's (CPB en PBL, 2016)). Dat komt doordat de bestrijdingskosten in het ETS over een groot bereik vrijwel vlak zijn.

¹² In het verleden is de ETS-prijs vrijwel altijd onder de efficiënte prijs geweest. Dat is ook logisch als we weten dat de efficiënte prijs ook corrigeert voor aanvullend beleid binnen het ETS. Dat is precies wat Acemoglu et al (2012) betogen. Dat aanvullende beleid betreft vooral innovatiebevordering. Aanvullend beleid binnen of buiten het ETS moet worden afgerekend tegen de efficiënte CO₂-prijs, ongeacht de ETS-prijs. Daarmee is overigens niet gezegd dat de huidige of historische ETS-prijs optimaal is (geweest) of dat aanvullend beleid optimaal wordt/werd vormgegeven.

Tabel 2 **Efficiënte en ETS-prijs van een ton CO₂ volgens de WLO (in euro per ton)**

		2015	2030	2050
Hoog	Efficiënte prijs	48	80	160
	ETS-prijs	5	40	160
Laag	Efficiënte prijs	12	20	40
	ETS-prijs	5	15	40
2°C	Efficiënte prijs	60-300	100-500	200-1000
	ETS-prijs	5	100-500	200-1000

Hier wordt gerekend met een discontovoet van 3,5%. Dit is de waarde die gemiddeld voor Europa geldt. Die is wat hoger dan de voor Nederland geldende discontovoet van 3% (zie advies werkgroep discontovoet (ministerie van Financiën, 2015)). De reden is dat Oost- en Zuid-Europa wat sneller groeien dan Noordwest-Europa en Nederland. De Nederlandse economie is verder ontwikkeld dan de economieën in Zuid- en Oost-Europa en die economieën kunnen profiteren van een inhaalslag¹³. Daarbij past een wat hogere discontovoet dan voor Nederland.¹⁴

2.2 Beoordelen maatregelen: bepalen CO₂-baten

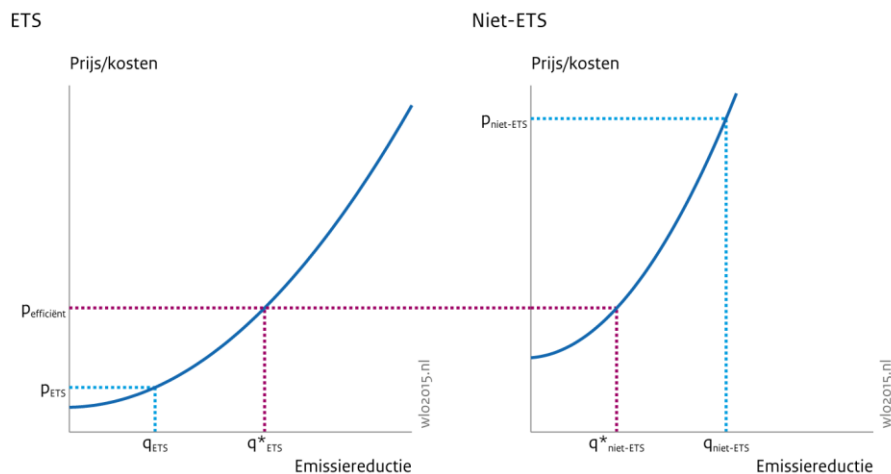
Voor het berekenen van de baten in een MKBA wordt gebruik gemaakt van de efficiënte prijzen zoals ze in tabel 2 gegeven zijn. Voor alle maatregelen geldt dat ze tegen de efficiënte CO₂-prijs in zowel Hoog als Laag beoordeeld moeten worden. Maatregelen die rendabel zijn bij een CO₂-prijs lager dan de efficiënte CO₂-prijs in het scenario, zijn maatschappelijk rendabel in dat scenario. Maatregelen die pas rendabel zijn bij een hogere CO₂-prijs dan de CO₂-efficiënte prijs in het scenario, zijn maatschappelijk niet rendabel in dat scenario. Bij evaluatie van klimaatgerelateerde energiemaatregelen wordt nog een gevoeligheidsanalyse voorgeschreven met de tweegradenonzekerheidsverkenning.

Het bepalen van de CO₂-baten op grond van de ETS-prijs is niet correct. We laten dit zien door de relatie tussen enerzijds de efficiënte prijs en anderzijds de ETS-prijs en de niet-ETS prijs te beschrijven. De relatie is weergegeven in figuur 1. In de linkerhelft van figuur 1 wordt aangegeven hoe de ETS-prijs wordt bepaald door het plafond dat voor de emissies binnen de ETS-sector is vastgesteld. Bij dit plafond bedraagt de emissiereductie q_{ETS} . De emissiereductie die consistent is met het langetermijndoel (in Laag, Hoog of de tweegradenonzekerheidsverkenning), wordt bepaald door de efficiënte prijs. Bij het gelijktijdig bestaan van beleidsmaatregelen binnen en buiten het ETS resulteert een optimale emissiereductie voor beide sectoren, hier weergegeven door q^*_{ETS} en door $q^*_{niet-ETS}$.

¹³ Op de lange termijn zakt de groei in Oost-Europa waarschijnlijk terug naar het niveau van West-Europa. De discontovoet daalt dan mee. Dit gebeurt waarschijnlijk pas na 2050.

¹⁴ CO₂-baten worden in MKBA's van Nederlands beleid contant gemaakt met een discontovoet van 3%. Deze is lager dan de reële prijsstijging van 3,5% voor de efficiënte CO₂-prijs. Dit betekent dat een Nederlands beleidsinitiatief dat tot in lengte van jaren CO₂ zou besparen, een oneindig lange contante waarde zou hebben. Klimaatbeleidsinitiatieven kennen echter geen oneindig lange CO₂-batenstroom, maar zijn begrensd in de tijd. Bij klimaat- en energiebeleid gaat het dan vaak om de levensduur van de investeringen.

Figuur 1
ETS, niet-ETS en efficiënte CO₂-prijs



q_{ETS} = Emissiereductie binnen ETS bij gegeven ETS-emissieplafond
 $q_{niet-ETS}$ = Emissiereductie buiten ETS bij gegeven ETS-emissieplafond
 $p_{efficiënt}$ = CO₂-prijs consistent met lange termijn emissiereductie

Bron: PBL/CPB

In de figuur (linkerhelft) zien we dat de lage emissiereductie binnen het ETS-plafond en de daarbij behorende lage ETS-prijs leiden tot minder emissiereductie dan efficiënt zou zijn. De efficiënte prijs is immers (veel) hoger. Hierdoor kan het maatschappelijk rendabel zijn om onder het ETS toch additionele maatregelen te nemen (bijvoorbeeld subsidies of normstellingen). Subsidiëring van maatregelen die onder het ETS vallen, is maatschappelijk rendabel, zolang de kosten van de maatregelen lager zijn dan de baten berekend op basis van de efficiënte CO₂-prijs.

In zowel Hoog, Laag als in de twee gradenonzekerheidsverkenning is het cumulatieve emissiebudget gegeven. Als voor een gegeven scenario binnen de ETS-sector geen additionele maatregelen worden getroffen, betekent dit dat er meer buiten de ETS-sector moet worden gedaan. De totale emissiereductie is immers gegeven. Het plafond in de ETS-sector impliceert dan ook een grens aan de emissie in de niet-ETS-sector. In de figuur wordt dit weergegeven doordat $q_{ETS}^* - q_{ETS}$ gelijk is aan $q_{niet-ETS} - q_{niet-ETS}^*$. De daarbij behorende niet-ETS prijs wordt in de rechterhelft van de figuur bepaald. Als er dus geen additionele maatregelen worden getroffen binnen het ETS, betekent dat ook dat er te veel moet worden gedaan buiten het ETS tegen een veel hogere CO₂-prijs dan de efficiënte CO₂-prijs.

Als we bij het beoordelen van maatregelen met behulp van een MKBA gebruik zouden maken van de ETS-prijs en de (impliciete) niet-ETS-prijs (die niet expliciet bestaat), dan worden er te weinig maatregelen onder het ETS genomen en te veel onder de niet-ETS sectoren. Door de efficiënte CO₂-prijs te gebruiken, wordt dit vermeden. Bij het beoordelen van maatregelen is het onderscheid naar ETS- en niet-ETS sectoren dus niet nodig.

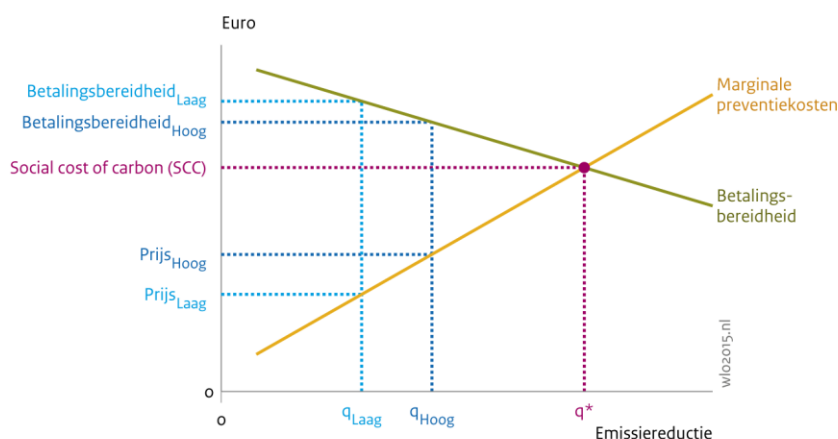
2.3 Betalingsbereidheid en preventiekosten

Alle CO₂-prijzen uit de WLO (ETS, de efficiënte prijs) zijn vastgesteld aan de hand van preventiekosten. In de Algemene MKBA-leidraad wordt aangegeven dat preventiekosten in de regel geen goede maatstaf zijn voor de betalingsbereidheid van burgers. Toch raden we aan om in dit geval met deze preventiekosten te rekenen.

Dit hangt samen met de manier waarop de WLO-scenario's op dit punt geconstrueerd zijn. In onderstaande figuur staat de wereldwijde betalingsbereidheid voor CO₂-uitstootreductie afgebeeld. Dat zijn de marginale baten die ontstaan door vermeden schade. Deze betalingsbereidheid neemt af naarmate de uitstootreductie groter is. Daarnaast zijn de kosten van het realiseren van de CO₂-uitstootreductie afgebeeld. Deze preventiekosten nemen toe naarmate er meer uitstootreductie nodig is. Op het snijpunt van betalingsbereidheid en de preventiekosten zijn de marginale kosten van extra uitstootreductie gelijk aan de marginale betalingsbereidheid. Er is dan sprake van een optimale situatie. De daarbij horende CO₂-prijs is de *social cost of carbon* (SCC).

Figuur 2

Relatie tussen CO₂-prijzen, betalingsbereidheid en social costs of carbon (SCC)



q^* = Emissiereductie in optimum

q_{Laag} = Emissiereductie behorend bij WLO-scenario Laag

q_{Hoog} = Emissiereductie behorend bij WLO-scenario Hoog

Bron: PBL/CPB

Het bepalen van de wereldwijde betalingsbereidheid voor CO₂-reductie is vanwege de lange tijdshorizon en de grote onzekerheid ten aanzien van de effecten van klimaatverandering (kleine kans, grote impact) ingewikkeld. Er worden in de wetenschappelijke literatuur dan ook grote bandbreedtes gerapporteerd over de *social cost of carbon*.¹⁵ Bovendien gaat het

¹⁵ Van den Bijgaart et al (2016) geven een schatting voor de (huidige) *social cost of carbon*. Daar komt een mediane schatting uit van 20 euro per ton en een gemiddelde schatting van 48 euro per ton. Ze schatten een 10% kans op een SCC van meer dan 100 euro per ton. Deze schattingen zijn erg gevoelig voor de gehanteerde discountvoet in combinatie met aannames over de snelheid waarmee CO₂ vanzelf uit de atmosfeer verdwijnt. De studie laat variatiecoëfficiënten (verhouding standaarddeviatie en gemiddelde) tussen 1½ en 2 zien. De studie laat dus zien dat er wel een schatting te maken is, maar onzekerheid daaromheen erg scheef is en een grote bandbreedte kent. Er zijn ook andere studies die de

bereiken van de optimale uitstootreductie niet vanzelf. Er is internationale samenwerking voor nodig die wordt belemmerd door een coördinatieprobleem. Immers, hoe meer de uitstoot in het buitenland wordt verminderd, des te kleiner de betalingsbereidheid van (de burgers van) een land voor uitstootreductie wordt. Immers, naarmate de rest van de wereld meer aan CO₂-reductie doet, des te kleiner de schade die je zelf nog aanricht en des te minder je bereid bent zelf dure maatregelen te nemen. Idealiter lost de rest van de wereld het probleem op en hoef je zelf niets te doen. Maar als niemand wat doet, ontstaat er een majeur probleem. Dit is een *prisoners dilemma*.

De verschillende WLO-klimaatscenario's gaan uit van dezelfde wereldwijde betalingsbereidheid en preventiekosten voor CO₂-uitstootreductie. Ze verschillen in de mate dat er bereidheid is voor internationale samenwerking. In Hoog is die bereidheid hoog. Daardoor kan het coördinatieprobleem relatief gemakkelijk worden overwonnen en kan een relatief grote CO₂-uitstootreductie worden bereikt. In Laag kan het coördinatieprobleem minder gemakkelijk worden overwonnen en wordt er minder CO₂-uitstootreductie bereikt. Hoewel niet exact bekend is wat de optimale uitstootreductie is, is er in figuur 2 van uitgegaan dat de CO₂-uitstootreductie in zowel Hoog als Laag lager is dan de optimale uitstootreductie.

Deze figuur laat ook zien dat dit betekent dat de betalingsbereidheid voor CO₂-uitstootreductie in Hoog (veel) hoger ligt dan de *social cost of carbon* in het optimum. In Laag is de betalingsbereidheid nog hoger. Dat betekent dat als we gebruik zouden maken van de betalingsbereidheid, er reductiemaatregelen zullen worden genomen die in een optimale situatie niet zouden renderen en niet genomen zouden worden. Dat is de reden om geen gebruik te maken van de betalingsbereidheid maar van de (marginale) preventiekosten.

Deze preventiekosten zijn hoger in Hoog dan in Laag. Aangevuld met de gevoeligheidsanalyse voor het tweegradendoel, dat een nog verdergaande samenwerking veronderstelt, sluit deze rangorde in de prijzen aan bij de gedachte dat een ambitieuzer klimaatbeleid ook kostbaarder is. Zoals de figuur echter laat zien, zijn de preventiekosten in Laag en Hoog – en waarschijnlijk ook bij het tweegradendoel – een onderschatting van de betalingsbereidheid die in het optimum geldt (de *social cost of carbon*). Omdat de betalingsbereid en de *social cost of carbon* niet bekend zijn, kan ook niet worden vastgesteld hoe groot de onderschatting is die optreedt door gebruik te maken van de marginale preventiekosten. Het betekent tevens dat er geen goed alternatief is voor het gebruik van de marginale preventiekosten.

schadekosten berekenen. Tol (2009) heeft een meta-analyse van een groot aantal van die studies gemaakt en komt tot een mediane prijs van (omgerekend naar prijzen in euro's van 2012) 26 euro per ton CO₂, en een gemiddelde prijs van 45 euro. Met een kans van 1% ligt de *social cost of carbon* boven de 500 euro per ton CO₂. Ook de Amerikaanse overheid gebruikt een prijs van 26 euro, die gebaseerd is op schadekosten (publicatie uit 2013, prijzen 2012, zie Herman Vollebergh et al. (2014, par.5.3.1). Pindyck (2013) betoogt dat we eigenlijk niets weten van de *social cost of carbon* omdat de modellen op basis waarvan de *social cost of carbon* geschat wordt, gebaseerd zijn op willekeurige aannames en daardoor niet informatief zijn.

Om na te gaan of een maatregel efficiënt bijdraagt aan het halen van een gegeven doelstelling die niet per se het welvaartsoptimum is, zijn preventiekosten mogelijk een betere benadering voor de waardering dan schadekosten (betalingsbereidheid). Als het gaat om te bepalen of het doel optimaal is, moeten baten gewaardeerd worden op basis van betalingsbereidheid.

3 Geen waterbedeffect

CO₂-beperkende maatregelen die onder het ETS vallen, leiden niet tot een vermindering van CO₂-rechten en dus ook niet tot een reductie van de totale hoeveelheid CO₂. De rechten kunnen immers gebruikt worden door andere bedrijven die onder het ETS vallen. Dit wordt ook wel het waterbedeffect genoemd.

Door de opzet van de WLO hoeft met dit waterbedeffect geen rekening gehouden te worden in MKBA's, wanneer de efficiënte prijzen gebruikt worden. Ten eerste is voor elk WLO-scenario de mondiale emissiereductie gegeven en ook (het pad van) de hoeveelheid CO₂-rechten. Het doet er niet toe wie deze rechten in zijn bezit heeft. Ten tweede zijn er in de scenario's impliciet internationale beleidsmaatregelen verondersteld die consistent zijn met de benodigde emissiereductie onder de verschillende scenario's.¹⁶ Bij deze emissiereductie hoort een efficiënt CO₂-prijspad. De WLO-scenario's kunnen daarom worden gebruikt om klimaatmaatregelen op efficiëntie te beoordelen, gegeven de transitie tot 2050 bij verschillende niveaus van emissiereductie. Voor MKBA's is de consequentie dat een voorgestelde maatregel wordt afgezet tegen reeds impliciet in het scenario meegenomen beleid. De vraag die dan wordt beantwoord, is of het nieuwe project beter is dan de in het scenario impliciet veronderstelde duurste projecten. Met een MKBA wordt dus beoordeeld of een maatregel een efficiënte bijdrage levert aan de gegeven CO₂-reductie *binnen* het scenario. De berekeningen moeten dan wel gebaseerd zijn op het efficiënte CO₂-prijspad dat bij de veronderstelde emissiereductie hoort.

3.1 Illustratie elektriciteitsmarkt: waterbedeffect niet relevant

We waarderen dus niet de emissiereductie zelf, maar wel de directe effecten van verschillende investeringen/maatregelen. Een windmolen produceert elektriciteit. Een kolencentrale (zonder CCS) produceert elektriciteit en CO₂. Het is welvaartseconomisch gunstig om een windmolen te plaatsen als de opbrengsten van de elektriciteit hoger zijn dan de kosten van opwekking met de windmolen. Een kolencentrale kan beter worden gesloten als de kosten van de opwekking en van de emissie hoger zijn dan de elektriciteitsopbrengsten. Merk op dat beide maatregelen binnen de scenario's de CO₂-

¹⁶ Door dit impliciete beleid vallen emissierechten vrij die door anderen gebruikt worden. Dat is precies de bedoeling. De vrijvallende emissierechten kunnen immers beter door een ander bedrijf gebruikt worden waar de vermindering van CO₂-uitstoot niet rendabel is bij de efficiënte prijzen.

emissie niet reduceren (die is immers per scenario gegeven). Wel kan worden beoordeeld of een maatregel op efficiëntere wijze tot de veronderstelde emissiereductie leidt. Stel dat het sluiten van de kolencentrale een positief MKBA-saldo heeft berekend met de efficiënte prijzen. Dat betekent dat het sluiten van een kolencentrale een goed idee is. De vrijvallende emissierechten kunnen beter door een ander bedrijf gebruikt worden waar de vermindering van CO₂-uitstoot niet rendabel is bij de efficiënte prijzen. Het waterbedeffect is dus niet relevant.

Bij de beoordeling met een MKBA van maatregelen op de elektriciteitsmarkt is het dus handig om te rekenen met efficiënte elektriciteitsprijzen (zie kader over efficiënte prijzen in par. 2.1). Deze elektriciteitsprijzen zijn gebaseerd op de efficiënte CO₂-prijzen, alsof er sprake is van perfect werkende markten. Door de relatief dure emissierechten in relatie tot de productiekosten is de verwachting dat in de elektriciteitsmarkt meer en sneller dan in andere sectoren wordt geïnvesteerd in schone technologieën. Dit leidt tot relatief snelle prijsstijgingen. Dit zal ook weerspiegeld moeten worden in de efficiënte elektriciteitsprijzen. In de WLO zijn deze berekend met behulp van MERGE (tabel 3.4 uit het achtergronddocument). We presenteren ze hier in tabel 3.¹⁷

Tabel 3 **Efficiënte en groothandelsprijzen elektriciteit in de WLO**

		2030	2050
Laag	Efficiënte prijs per MWh	110	88
	Groothandelsprijs	67	90
Hoog	Efficiënte prijs per MWh	115	101
	Groothandelsprijs	90	100
2°C	Efficiënte prijs per MWh	113-116	102-104
	Groothandelsprijs	115	105

3.2 **Wat is het verschil met eerdere analyses?**

In eerdere MKBA's van klimaatbeleid is nadrukkelijk gewezen op het waterbedeffect van het huidige ETS (zie bijvoorbeeld Verrips et al., 2013). In het bijzonder is gewezen op het feit dat extra windmolencapaciteit daardoor geen baten kent van bespaarde CO₂-uitstoot. De inzichten die in deze notitie naar voren worden gebracht, hebben daar betrekking en invloed op. Dat heeft er mee te maken dat de nieuwe WLO-scenario's op klimaatgebied anders in elkaar zitten dan de oude WLO-scenario's.

¹⁷ Omdat de elektriciteitsmarkt in met name het hoge scenario mogelijk snel gedecarboniseerd zal zijn, zijn er voor modelberekeningen ook veronderstellingen nodig over de back-up van het elektriciteitssysteem, over de mate van energiebesparing, de rol van *demand side management* en over leveringszekerheid. Dergelijke veronderstellingen zijn ook verwerkt in de cijfers van tabel 3.4 in het achtergronddocument. In deze tabel gaat het om gemiddelde elektriciteitsprijzen; voor specifieke technologieën moet ook met profieffecten rekening worden gehouden. Dit geldt bijvoorbeeld bij een windmolen.

In de oude WLO-scenario's die de basis vormden voor eerdere analyses, werd geen rekening gehouden met (de haalbaarheid van) internationale klimaatdoelen en werd ook niet gewerkt met een daarbij behorend CO₂-emissiereductiedoel en CO₂-prijzen. In plaats daarvan werd uitgegaan van een min of meer trendmatige voortzetting van EU-beleid ten aanzien van ETS-emissieplafonds. Er is daarbij geen eindbeeld voor de mate van CO₂-reductie en er zijn ook geen CO₂-prijzen die dat bewerkstelligen. Met een MKBA werd vervolgens nagegaan of een project daadwerkelijk CO₂ bespaart. Eigenlijk werd daarmee nagegaan of het maatschappelijk interessant is om vanuit de bestaande situatie naar een situatie met minder CO₂-uitstoot te gaan. Dan zijn de eigenschappen van het ETS en zijn statische en dynamische waterbedeften wel relevant. Elke ton CO₂-uitstootreductie levert dan een bijdrage aan het klimaat, of niet vanwege het waterbedeft.

In de nieuwe WLO-scenario's gaan we uit van de veronderstelling dat internationale klimaatbeleid onzeker is en dat de Europese Unie en Nederland zich uiteindelijk aanpassen aan die internationale werkelijkheid. De onzekerheid over dat internationale klimaatbeleid wordt tot uitdrukking gebracht door de scenario's Laag en Hoog. Zo is de veronderstelling in Laag dat de EU rond 2025 zijn CO₂ uitstootreductiedoelstelling loslaat. In een MKBA wordt nu nagegaan of een project binnen Laag en Hoog 'past'. Binnen een MKBA wordt daarmee niet langer nagegaan of het maatschappelijk gezien interessant is om de CO₂-uitstoot verder te verlagen, maar of het efficiënt bijdraagt aan de gegeven uitstootreductie. Vandaar dat het waterbedeft niet meer relevant is en er met efficiënte prijzen moet worden gewerkt.

Dat laat onverlet dat ook onder de oude WLO-veronderstellingen het maatschappelijk optimaal was om naast ETS innovatiesubsidies te gebruiken voor duurzame energie. Dit omdat er conform Acemoglu et al. (2012) vanuit private initiatieven een welvaartseconomisch suboptimale innovatiebias is. Door de subsidie worden duurzame energietechnologieën sneller rendabel, hetgeen tevens de kosten van het ETS laag houdt. Het belang van deze leereffecten is onder de oude WLO waarschijnlijk onvoldoende onderkend en daarom niet goed meegeteld. De nieuwe WLO-scenario's zijn daarvoor beter toegerust.

Ten slotte werd in de oude WLO-scenario's impliciet uitgegaan van een CO₂-prijs op basis van toenmalige verwachtingen over het ETS. Naar nu blijkt, is daarmee enerzijds geen klimaatdoel te bereiken en spiegelbeeldig geen rendement voor klimaatmaatregelen te genereren. In de nieuwe scenario's wordt dit omgekeerd: er wordt een klimaatdoel geformuleerd en er wordt een CO₂-prijs gehanteerd die consistent is met het beleidsdoel binnen het scenario (*target consistency*). Die CO₂-prijs is belangrijk hoger dan die waarmee in de oude scenario's rekening werd gehouden. De daarbij behorende efficiënte elektriciteitsprijs is ook belangrijk hoger. Dat maakt het bouwen van windmolens maatschappelijk minder onrendabel alsook het sluiten van kolencentrales. Windmolens genereren echter nog steeds geen CO₂-baten, maar ten behoeve van een MKBA moet hun elektriciteitsproductie wel worden afgerekend tegen de efficiënte elektriciteitsprijzen.

Literatuur

Acemoglu, D., P. Aghion, L. Bursztyn, D. Hemous, 2012, The environment and directed technical change, *AER* 102 (1), pp. 131-166.

Bijgaart, I van den, R. Gerlagh en M. Liski, 2016, A simple formula for the social cost of carbon, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol.77, pp.75-94.

Bollen, J. en C. Brink, 2012, Air Pollution Policy in Europe: Quantifying the Interaction with Greenhouse Gases and Climate Change Policies, CPB Discussion Paper 220.

CPB en PBL, 2015a, Cahier Klimaat en energie, *Toekomstverkenning Welvaart en leefomgeving*.

CPB en PBL, 2015b, Bijsluiter bij de WLO-scenario's, *Toekomstverkenning Welvaart en leefomgeving*.

CPB en PBL, 2015c, Cahier Macro-economie, *Toekomstverkenning Welvaart en leefomgeving*.

CPB en PBL, 2016, Achtergronddocument Klimaat en energie, *Toekomstverkenning Welvaart en leefomgeving*.

Hotelling, H., 1931, The Economics of Exhaustible Resources, *Journal of Political Economy* 39 (2): 137-175.

Ministerie van Financiën, 2013, Kabinetsbrief bij de algemene MKBA-leidraad.

Ministerie van Financiën, 2015, Eindrapport werkgroep Discontovoet.

Pindyck, R., 2013, Climate change policy: what do the models tell us?, *Journal of Economic Literature*, 51:3, pp. 860-872.

Romijn, G. en G. Renes, 2013, *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*, CPB / PBL.

Tol, R., 2009, The economic effects of climate change, *Journal of Economic Perspectives*, 23:2, pp. 29-51.

Verrips, A., R. Aalbers en F. Huizinga, 2013, KBA Structuurvisie 6000 MW Windenergie op land, CPB Notitie, 14 juni 2013.

Vollebergh, H., E. Drissen, H. Eerens en G. Geilenkirchen, 2014, Milieubelastingen en Groene Groei II, PBL Achtergrondstudie.

Dit is een uitgave van:

Centraal Planbureau
Bezuidenhoutseweg 30
Postbus 80510 | 2508 GM Den Haag
T (088) 984 60 00

info@cpb.nl | www.cpb.nl

november 2016