



Planbureau voor de Leefomgeving

RAMING CO₂-PRIJS IN DE NATIONALE ENERGIEVERKENNING 2014

PBL-notitie

Corjan Brink

7 oktober 2014

PBL-publicatienummer: 1568

PBL
PBL
2014

Inhoud

1	Aanleiding	4
2	Analyse	4
3	Onzekerheidsbandbreedte	10
	Literatuur	11
	Annex Beschrijving intertemporeel optimalisatiemodel	12

1 Aanleiding

De Nationale Energieverkenning 2014 (NEV) brengt de ontwikkelingen van de Nederlandse energiehuishouding in beeld. Deze ontwikkelingen worden sterk beïnvloed door het Europese klimaat- en energiebeleid. Eén van de belangrijkste instrumenten voor realisatie van de emissiereductiedoelen in de Europese Unie is het systeem voor emissiehandel (ETS). Het ETS beperkt emissies van broeikasgassen door de energie-intensieve industrie en elektriciteitsproductie. Bedrijven onder het ETS mogen alleen CO₂ uitstoten als ze daarvoor emissierechten hebben. Omdat deze emissierechten een prijs hebben, worden bedrijven gestimuleerd om hun emissies te verminderen. De hoogte van de prijs is daarmee een belangrijke factor voor de ontwikkeling van het energiegebruik in Nederland. Deze CO₂-prijs ontstaat op de markt waarop de emissierechten verhandeld worden. De ontwikkeling van de prijs hangt af van veel factoren.

De NEV maakt projecties voor twee verschillende beleidsvarianten. De variant *vastgesteld beleid* gaat uit van concrete, officieel gepubliceerde of zoveel mogelijk bindende maatregelen. De variant *voorgenomen beleid* gaat daarnaast uit van openbare voornemens voor maatregelen die begin mei 2014 concreet genoeg waren om in de berekeningen te verwerken. Deze notitie beschrijft de ramingen voor de CO₂-prijs voor de twee beleidsvarianten.

2 Analyse

Bedrijven die onder het EU ETS vallen moeten voor alle emissies die ze uitstoten in een bepaalde periode emissierechten (EUA's) overleggen. De totale hoeveelheid EUA's die beschikbaar komt in deze periode is beperkt en vooraf vastgesteld. Het aanbod van rechten bestaat voor een deel uit emissierechten die gratis worden gegeven aan bedrijven in de industrie en voor een ander deel uit rechten die worden geveild. De totale hoeveelheid rechten die elk jaar op de markt komt neemt af met circa 38 miljoen per jaar (1,74 procent van de emissies onder ETS in 2010). Sinds 2008 voorziet het EU ETS ook in de mogelijkheid om EUA's van de ene handelsperiode mee te nemen naar de volgende (*banking*).

Hoe komt de CO₂-prijs binnen EU ETS tot stand?

De prijs voor emissies die onder het EU ETS vallen, kortweg de CO₂-prijs genoemd, is de prijs die ontstaat op de markt voor EUA's bij een gegeven aanbod van rechten en de vraag vanuit de markt. De vraag naar EUA's hangt uiteraard samen met de omvang van de emissies, die in belangrijke mate afhangt van de economische activiteiten (productie), de energie-efficiëntie, en de brandstofmix. Als de markt goed werkt, zorgt de prijs die tot stand komt dat het aanbod en de vraag op elkaar aansluiten. Een individueel bedrijf dat winst maximaliseert zal emissies reduceren zolang dat per ton CO₂ minder kost dan een EUA, zodat minder rechten tegen de EUA-prijs hoeven te worden aangekocht (of een overschot aan rechten tegen deze prijs op de markt kan worden verkocht).

Gegeven de mogelijkheid van banking is bij totstandkoming van de prijs op de markt echter niet alleen de vraag en het aanbod in het desbetreffende jaar van belang, maar ook de hoeveelheid rechten die nog beschikbaar zijn uit eerdere jaren, de hoeveelheid rechten die in de toekomst beschikbaar zullen komen en de verwachting over de benodigde rechten nu en in de toekomst. De prijs die op de veiling voor rechten wordt betaald, weerspiegelt wat actoren op de ETS-markt bereid zijn te betalen voor emissierechten en is daarmee de waarde van emissierechten op dat moment. Volgens de efficiënte-markthypothese is alle bekende informatie in de markt en alle verwachtingen over toekomstige ontwikkelingen in deze prijs verwerkt. Omdat emissierechten door bedrijven onderling kunnen worden verhandeld, hebben rechten die gratis zijn weggegeven dezelfde waarde als de geveilde rechten. Als deze prijs op

de veiling voor EUA's wordt betaald, kunnen bedrijven die EUA's gratis hebben gekregen er voor kiezen om rechten tegen deze prijs op de markt te verkopen.

Wat verklaart de huidige CO₂-prijs?

In de periode 2008-2012 zijn er meer rechten op de markt gekomen dan er nodig waren voor de emissies in deze periode. Onder andere als gevolg van de aanhoudende economische crisis in de EU sinds 2008 waren emissies ook lager dan vooraf voorzien. Bovendien was er in deze periode extra aanbod van emissierechten doordat de prijs van internationale rechten (CDM/JI) laag was en doordat een deel van de rechten voor de derde handelsperiode die in 2013 begon al voor 2013 op de markt werd gebracht (onder de regelingen voor *early auctioning* en NER300). Het gevolg was dat er een grote hoeveelheid EUA's (ongeveer 2 miljard) werd meegenomen naar de derde handelsperiode, wat ongeveer overeenkomt met de emissies door ETS-bedrijven in één jaar. Omdat de economische vooruitzichten voor de eerstkomende jaren bovendien nog niet heel gunstig waren, had dit een prijsdrukkend effect. Bovendien ontstond er in 2012-2013 een discussie over de effectiviteit van het ETS om emissies te reduceren, wat zorgde voor onzekerheid over de toekomst van ETS (blijft het bestaan en zo ja, in welke vorm?). Niettemin bleef de prijs van EUA's gedurende 2013 steeds positief, zij het dat deze in april 2013 zakte tot 2,70 euro per ton CO₂. Dat betekent dat de markt, ondanks de ruime beschikbaarheid van EUA's, de onzekerheid over de economische ontwikkeling en de onzekerheid over het ETS, nog steeds bereid was te betalen voor emissierechten. Dit is alleen te verklaren uit het feit dat bedrijven waarde toekennen aan EUA's voor gebruik in toekomstige jaren. Doordat het jaarlijkse aanbod van EUA's elk jaar met 38 miljoen wordt verlaagd zal er op een bepaald moment zeker schaarste aan emissierechten gaan ontstaan. Bedrijven kunnen zich indekken tegen hogere kosten die dat dan met zich mee zal brengen door nu rechten tegen een relatief lage prijs te kopen en vast te houden.

Wat is de verwachting over de toekomstige CO₂-prijs?

Zoals aangegeven hangt de CO₂-prijs onder het EU ETS die op de markt tot stand komt af van de verwachting over de totale emissierechten die nodig zullen zijn nu en in de toekomst en het aanbod in dezelfde periode. De benodigde hoeveelheid emissierechten hangt af van de economische ontwikkeling (niet alleen in Nederland, maar in de hele Europese Unie), de ontwikkeling van de energieprijzen en de effecten van ander beleid in de EU (o.a. voor hernieuwbare energie en energie efficiëntie), maar natuurlijk ook van de emissiereductie die zal plaatsvinden. Daarom zijn ook de (verwachte) marginale kosten van emissiereductie bepalend voor de emissieprijs.

Bedrijven die hun kosten minimaliseren, zullen emissies reduceren tot het niveau waar de marginale kosten van emissiereductie gelijk zijn aan de prijs die ze voor emissierechten moeten betalen. Omdat ze ook over de tijd kosten minimaliseren, zullen ze proberen de netto contante waarde van de marginale kosten van emissiereductie constant te houden. Immers, als de netto contante waarde van marginale kosten in de toekomst hoger zou zijn, zou het lonen om nu wat extra emissies te reduceren, waardoor er meer rechten kunnen worden vastgehouden, zodat in de toekomst minder reductie nodig is en de marginale kosten dan wat lager zullen uitkomen. Andersom geldt dat het niet zoveel zin heeft om nu emissies te reduceren tegen hoge marginale kosten als de verwachting is dat dat in de toekomst tegen relatief lage kosten kan.

Dat betekent dat in een goed functionerende markt zonder onzekerheden de prijs van EUA's zal toenemen met de discontovoet die bedrijven hanteren en dat de markt daarmee zorgt voor kosteneffectieve emissiereductie, niet alleen binnen een bepaald jaar, maar ook over de tijd (intertemporele efficiëntie). Uiteraard zorgen veranderingen in de marktverwachtingen voor een continue aanpassing van de emissieprijs aan deze verwachtingen, waardoor de emissieprijs in werkelijkheid nooit het verloop volgens de discontovoet zal laten zien. Maar omdat in een scenario of raming alle toekomstige ontwikkelingen bekend worden veronder-

steld, wordt daarin verondersteld dat de emissieprijs met de geldende discontovoet zal toenemen.

De hoogte van de discontovoet is dus een bepalende aanname voor de hoogte en het verloop van de emissieprijs. In een studie naar banking specifiek binnen het EU ETS onderscheiden Neuhoff et al. (2012) verschillende categorieën actoren die om verschillende redenen emissierechten vasthouden en daarvoor ook verschillende discontovoeten voor hanteren, variërend van 3-5 procent (arbitrage), 5 procent (hedging) en 10-15 procent (speculatie). Arbitrage (tegelijktijd kopen van EUA's en verkopen van termijncontracten, voornamelijk door banken, die op deze manier bijdragen aan een efficiënte werking van de markt) en hedging (vasthouden van rechten om financiële risico's af te dekken, voornamelijk door elektriciteitsproducenten) zullen altijd een rol spelen op de ETS-markt. Speculanten zullen alleen actief zijn op deze markt als de verwachte rendementen hoog genoeg zijn. Het is daarom niet aannemelijk om te veronderstellen dat speculatie een grote invloed zal hebben op de structurele ontwikkeling van de emissieprijs. Een indicator voor de discontovoet die in de markt wordt gehanteerd is het prijsverschil tussen termijncontracten voor verschillende termijnen. In de periode 2008-2013 was het prijsverschil voor termijncontracten voor EUA's op jaarbasis gemiddeld 5 procent (Bron: Point Carbon). In 2011 en 2012 lag dit duidelijk hoger (gemiddeld 6 procent), wat door Neuhoff et al. (2012) wordt verklaard door de rol van speculanten. Om rekening te houden met een beperkte invloed van speculatie op de prijs rekenen we met een gemiddelde discontovoet van 6 procent.

De gemiddelde prijs in de eerste helft van 2014 was circa 5,6 euro per ton CO₂ (prijzen van 2013). De verwachting is dat de prijs in de tweede helft van 2014 wat verder zal toenemen. Uitgaande van een gemiddelde prijs in 2014 van 6,1 euro per ton CO₂ leidt een discontovoet van 6 procent tot een prijs van 8,6 euro per ton CO₂ in 2020 en ruim 15,4 euro per ton CO₂ in 2030 in de variant *vastgesteld beleid*. Tabel 1 geeft de ramingen voor afzonderlijke jaren. De aannames met betrekking tot de variant *voorgenomen beleid* en de onzekerheidsbandbreedtes voor beide beleidsvarianten worden verderop in deze notitie besproken.

Tabel 1

CO₂-prijs in de beleidsvarianten *vastgesteld beleid* en *voorgenomen beleid*, inclusief onzekerheidsbandbreedte (euro per ton CO₂, prijzen van 2013)

	Vastgesteld beleid		Voorgenomen beleid	
	middenwaarde	bandbreedte	middenwaarde	bandbreedte
2014	6,1	2,3 - 14,8	8,2	3,7 - 19,1
2015	6,5	2,5 - 15,7	8,7	3,9 - 20,2
2016	6,8	2,6 - 16,6	9,2	4,1 - 21,4
2020	8,6	3,3 - 21,1	11,7	5,2 - 27,1
2023	10,3	4,0 - 25,1	13,9	6,2 - 32,3
2030	15,4	6,0 - 37,8	21,0	9,2 - 48,5

Vergelijking met CO₂-prijs in andere scenariostudies

De prijzen in het voorgestelde CO₂-prijspad bij *vastgesteld beleid* wijken niet sterk af van de aannames over CO₂-prijzen in het SER-basispad (Koelemeijer et al. 2013). De geraamde prijzen zijn lager dan die in de *World Energy Outlook 2013* (WEO2013; OECD/IEA 2013) en de scenario's die door de Europese Commissie worden gebruikt (PRIMES2013; Europese Commissie 2014). De verschillen met het WEO2013 Current Policies scenario zijn vooral te verklaren uit het feit dat, gegeven de hierboven beschreven uitgangspunten, de huidige lage prijs moeilijk te verenigen is met een prijs van 12 euro per ton CO₂ in 2020. Dit zou namelijk een gemiddelde toename betekenen van de CO₂-prijs met 12 procent per jaar, zonder dat er wijzigingen optreden in het beleid. Gegeven de eerder beschreven waarnemingen in de ETS-markt lijkt dat een onrealistisch hoog percentage. Bovendien blijkt een dergelijke toename

ook niet in overeenstemming met de door de WEO2013 veronderstelde jaarlijkse toename van de prijs in de periode 2020-2035 van 4-5 procent. Omdat we geen reden hebben om aan te nemen dat met de huidige CO₂-prijs de waarde van emissierechten significant wordt ondergewaardeerd, nemen we in de raming voor de NEV de huidige prijs als uitgangspunt met als gevolg een, in vergelijking met andere scenariostudies, relatief laag CO₂-prijspad.

Tabel 2

Verschillende ramingen CO₂-prijzen (euro per ton CO₂, prijzen van 2013)

	WEO2013-CP	WEO2013-NP	WEO2013-450	PRIMES2013-Reference	PRIMES2013-Baseline	RR2012	SER-basispad
2020	12	16	27	11	21	13	9
2030	19	26	74	37	62	38	16
2035	23	31	97	60	85	nvt	nvt

De geraamde CO₂-prijzen vallen met name in 2030 ook behoorlijk lager uit dan de actualisatie van de Referentieraming in 2012 (RR2012; Verdonk & Wetzels 2012), wat te verklaren is uit de groter dan destijds ingeschatte omvang van de hoeveelheid ongebruikte EUA's in de markt (het surplus is momenteel 2 miljard in plaats van de eerder verwachte 1 miljard). Bovendien is de onzekerheid in de markt over de toekomst van het ETS door discussie over backloading en structurele hervorming van het ETS toegenomen.

De WEO2013 geeft naast het Current Policies (CP) scenario ook een New Policies (NP) en een 450 scenario. Waar het CP scenario uitgaat van beleid dat tot en met midden 2013 is aangenomen, neemt het NP scenario ook beleidsvoornemens mee. Deze beleidsvoornemens worden weliswaar voorzichtig geïmplementeerd, maar voor de EU betekent dat wel dat de EED deels wordt geïmplementeerd, terwijl nog helemaal niet duidelijk is hoe dit geïnstrumenteerd zal gaan worden. Bovendien wordt ook extra steun voor hernieuwbare energie verondersteld. Verder veronderstelt het NP scenario beleidsvoornemens buiten de EU (bijvoorbeeld de VS, Japan en China). Voor een regionale CO₂-prijs is dat een belangrijke factor, omdat ontwikkelingen in internationaal klimaatbeleid van grote invloed kunnen zijn op de mondiale brandstofprijzen, maar ook op de concurrentiepositie van Europese bedrijven. Omdat de NEV uitgaat van de bestaande situatie in beleid en Nederland bovendien geen invloed heeft op internationale CO₂- en energieprijzen, is dit scenario minder relevant als referentie voor de NEV.

Het 450 scenario veronderstelt beleid met een 50 procent kans op het halen van 2 graden doelstelling, en gaat daarmee veel verder dan vastgesteld en voorgenomen beleid.

Het PRIMES-Reference scenario bevat beleidsveronderstellingen om de doelen voor het Klimaat- en energiepakket 2020 en de Europese richtlijn voor energie-efficiëntie (EED) te halen. Dit scenario sluit daarom minder goed aan bij de NEV omdat de NEV uitgaat van vastgesteld beleid. De NEV beleidsvariant *voorgenomen beleid* gaat uit van concrete beleidsvoornemens en instrumenten waardoor de doelen uit bijvoorbeeld de EED niet automatisch worden gehaald.

Het PRIMES-Baseline scenario gaat uit van vastgesteld beleid tot en met voorjaar 2012 en sluit daarmee beter aan bij de NEV. De energieprijzen die in dit scenario zijn verondersteld liggen echter hoger dan het WEO2013-CP scenario (gas: +30 procent, kolen +50 procent) omdat dit scenario is gebaseerd op een minder actueel beeld van de mondiale energiemarkt (WEO2011). Bovendien is de aangenomen ontwikkeling van de CO₂-prijs in beide PRIMES-scenario's niet consistent met bovenbeschreven intertemporeel efficiënt werkende ETS-markt omdat de prijs tussen 2015 en 2020 sterk toeneemt (23 procent per jaar), de toename tussen 2020 en 2030 wat afneemt, maar nog steeds groot is (11 procent per jaar). De beschrijving van de scenario's geeft geen duidelijkheid over de redenering achter deze prijsontwikkeling.

Aannames met betrekking tot ETS in de beleidsvarianten

In de berekeningen voor de NEV worden twee beleidsvarianten onderscheiden: *vastgesteld beleid* en *voorgenomen beleid*. Aannames over beleid relevant voor de ontwikkeling van de EUA-prijs in de onderscheiden variantenbetreffen niet alleen beleid dat direct betrekking heeft op het ETS zelf, maar ook beleid op een aantal andere terreinen is van invloed op de CO₂-prijs binnen het ETS. De belangrijkste daarvan is de ontwikkeling van de stimulering van hernieuwbare energie in Europa. Hieronder wordt achtereenvolgens expliciet gemaakt welke aannames in de twee beleidsvarianten worden gemaakt. Zoals eerder aangegeven is volgens de efficiënte-markthypothese alle bekende informatie in de markt en alle verwachtingen over toekomstige ontwikkelingen in de huidige CO₂-prijs verwerkt. Dat betekent dat het vastgestelde beleid in de huidige prijs voor EUA's, die als vertrekpunt dient voor het hierboven beschreven CO₂-prijspad, is verwerkt. Dat geldt ook voor een eventueel prijseffect van backloading zoals dat nu is vormgegeven (dat wil zeggen in 2014-2016 worden 900 miljoen rechten minder geveild; in 2019-2020 zullen deze rechten alsnog op de markt worden gebracht). Daarnaast zal in de huidige prijs van EUA's ook een inschatting van de markt zijn verwerkt over de gevolgen van beleidsvoornemens en de kans dat deze ook daadwerkelijk zullen worden geïmplementeerd. In welke mate dit van invloed is op de huidige prijs is moeilijk vast te stellen, maar aangezien deze beleidsvoornemens pas op de langere termijn spelen (dat wil zeggen na 2020) en bovendien met onzekerheid zijn omgeven, zal de invloed op de huidige prijs naar verwachting beperkt zijn. Daarom veronderstellen we dat eventuele beleidsvoornemens niet zijn meegenomen in de CO₂-prijs die is aangenomen voor 2014 (namelijk 6 euro per ton CO₂)

Vastgesteld beleid

Voor wat betreft ETS wordt onder vastgesteld beleid aangenomen dat de huidige ETS-richtlijn ook na 2020 zal worden gecontinueerd. Dat betekent dat de hoeveelheid EUA's die elk jaar beschikbaar komt jaarlijks met 38 miljoen (1,74 procent) zal afnemen. Ook wordt aangenomen dat de recente afspraken over backloading worden uitgevoerd, waarbij het aanbod van rechten op de veiling in de jaren 2014-2016 met 900 miljoen zal worden verminderd en die rechten in de jaren 2019 en 2020 extra zullen worden geveild.

Luchtvaart

Een onzekere factor binnen ETS, zowel voor als na 2020 is de mate waarin internationale luchtvaart onder ETS zal vallen. Sinds 1 januari 2012 valt de internationale luchtvaart onder het EU ETS en zijn zij verplicht om hun CO₂-emissies te vereffenen met emissierechten. Het emissiehandelssysteem voor de luchtvaart betreft de CO₂-uitstoot van alle vluchten die aankomen of vertrekken van een vliegveld in de Europese Unie (plus IJsland, Liechtenstein en Noorwegen). Dit betreft dus ook de totale emissies van vluchten vanuit de EU naar landen buiten de EU en van vluchten uit landen buiten de EU die aankomen op luchtvaartterreinen in de EU. De opname in de EU ETS van vluchten van en uit landen buiten de EU is echter op sterke internationale tegenstand gestuit, waarop de EU heeft besloten om voor 2012 tijdelijk af te wijken van de handhaving van de verplichtingen in het kader van de EU ETS voor vluchten naar en vanuit de meeste derde landen (*stop de klok*-besluit). Momenteel speelt binnen de EU de discussie of de recente onderhandelingen in ICAO-verband over internationale afspraken om de internationale luchtvaart te laten bijdragen aan vermindering van CO₂-emissies voldoende perspectief bieden om (een deel van) de emissies van de internationale luchtvaart buiten het EU ETS te houden. Gezien de grote internationale weerstand en de handelsbelangen die op het spel staan, is het niet waarschijnlijk dat de EU zal besluiten terug te gaan naar het vastgesteld beleid en daarmee alle luchtvaartemissies weer onder het EU ETS zal brengen. Op 3 april heeft het Europees Parlement er mee ingestemd om tenminste tot 2016, wanneer de internationale onderhandelingen in de ICAO tot internationale afspraken moeten hebben geleid, vast te houden aan het *stop de klok*-besluit. Daarmee valt circa

25 procent van de totale emissies van de internationale vluchten met vertrek en aankomst binnen de EU onder het ETS.

Gegeven de grote onzekerheden die spelen wordt in de variant *vastgesteld beleid* verondersteld dat het *stop de klok*-besluit tot en met 2020 zal worden gehandhaafd. Dit lijkt een minimum variant, want ook varianten waarbij een groter deel van de emissies onder ETS zal vallen zijn momenteel in discussie. Omdat ook nog zeer ongewis is hoe een mondiaal systeem in de periode na 2020 er zal uitzien en wat dit zal betekenen voor de emissies van internationale luchtvaart binnen het ETS, veronderstellen we dat de situatie na 2020 niet tot een verandering leidt ten opzichte van de situatie voor 2020.

Eerdere berekeningen (Verdonk et al 2013) lieten zien dat de emissieprijs in 2020 circa 15 procent lager was (in de desbetreffende berekeningen 16 euro per ton CO₂ in plaats van 19 euro per ton CO₂) wanneer gedurende de gehele periode 2013-2030 niet alle emissies van internationale luchtvaart onder ETS zouden vallen maar alleen de emissies van intra-EU vluchten (25 procent van de totale emissies).

Hernieuwbare energie

Voor wat betreft beleid voor het stimuleren van hernieuwbare energie in Europa baseren we ons op de ontwikkelingen in hernieuwbare energie zoals die volgen uit het EU Baseline 2013 scenario. Daarmee wordt overigens niet de EU-doelstelling van 20 procent in 2020 gehaald. Ook voor de jaren na 2020 nemen we de ontwikkeling uit het EU Baseline 2013 scenario over, waarmee het aandeel van hernieuwbare energie in de totale elektriciteitsopwekking toeneemt van 31procent (2020) tot 41procent (2030).

Voorgenomen beleid

In januari 2014 is de Europese Commissie met een voorstel gekomen voor aanpassing van het ETS na 2020. Dit betreft onder andere een aanscherping van de jaarlijkse reductie van de cap van 1,74 procent (circa 38 miljoen EUA's) naar 2,2 procent (circa 48 miljoen EUA's). Deze aanscherping, die in lijn is met de voornemens van Nederland en past binnen de uitgangspunten van het Energieakkoord, wordt meegenomen als voorgenomen beleid. Een ander onderdeel van het voorstel betreft de instelling van een marktstabiliteitsreserve vanaf 2021. De Europese Commissie stelt voor om bij een groot (>833 miljoen) overschot van emissierechten deze reserve te vullen door minder rechten dan gepland te veilen (12 procent van het overschot). Bij een tekort aan emissierechten (dat wil zeggen als het overschot minder is dan 400 miljoen) kunnen extra rechten uit de reserve worden geveild (100 miljoen per jaar). Omdat het overschot rond 2020 naar verwachting groot zal zijn, zal de reserve in de eerste jaren na 2020 snel worden opgebouwd. Door minder rechten te veilen zal het overschot ook snel afnemen. Omdat daardoor de mogelijkheid van banking in feite wordt beperkt en de hoeveelheid emissierechten die beschikbaar zijn voor langere tijd wordt beperkt zal de invoering van een marktstabiliteitsreserve in eerste instantie tot een hogere prijs leiden. Op langere termijn zal het jaarlijks extra veilen van 100 miljoen rechten leiden tot een prijs die lager is dan zonder deze marktstabiliteitsreserve. Hoewel er nog veel discussie is in Europa over de invoering van een dergelijk mechanisme en de onzekerheid over de effecten groot is, houden we in de variant *voorgenomen beleid* rekening met een voorzichtige inschatting van het effect van dit voorstel van de Europese Commissie op de CO₂-prijs, in overeenstemming met de bevindingen van Brink et al. (2014).

Voor wat betreft de internationale luchtvaart in het EU ETS wordt bij voorgenomen beleid niet afgeweken van de variant vastgesteld beleid, met als argument dat dit een discussie is waarvan de uitkomst nog zeer ongewis, en waar Nederland ook niet direct invloed op heeft. Bovendien zullen de gevolgen voor de CO₂-prijs binnen ETS naar verwachting ook niet heel groot zijn. In ieder geval is het niet wenselijk om op dit onderdeel verschillen te veronderstellen tussen de verschillende beleidsvarianten.

Voorgenomen beleid voor stimulering van hernieuwbare energie in Europa bestaat uit de extra stimulering die nodig is om het doel voor 2020 (20 procent) te halen. Hiervoor baseren

we ons op het EU Reference 2013 scenario. Ook voor de jaren na 2020 nemen we de ontwikkeling van hernieuwbare energie zoals die in het EU Reference 2013 scenario wordt verondersteld als uitgangspunt, waarmee het aandeel van hernieuwbare energie in de totale elektriciteitsopwekking toeneemt van 36 procent (2020) naar 44 procent (2030).

CO₂-prijspad bepaald met behulp van optimalisatiemodel

Het effect van voorgenomen beleid op het CO₂-prijspad is bepaald met behulp van een intertemporeel optimalisatie model waarin het ETS versimpeld is weergegeven. De mogelijkheid van banking speelt een cruciale rol in het minimaliseren van de kosten over de tijd. De hoeveelheid vastgehouden rechten (banking) is een uitkomst van het model. Het CO₂-prijspad wordt afgeleid uit de ontwikkeling van de marginale kosten van emissiereductie bij een emissiereductiepad over de periode 2013-2050 waarbij de netto contante waarde van de kosten over de tijd minimaal zijn. De totale emissieruimte voor deze periode wordt gegeven door het cumulatieve aanbod van emissierechten plus de hoeveelheid emissierechten die uit de vorige handelsperiode (2008-2012) zijn meegenomen. De parameters in het model zijn zo gekozen dat het CO₂-prijspad voor de variant vastgesteld beleid wordt gereproduceerd bij (i) een veronderstelde jaarlijkse groei van emissies zoals die zou optreden wanneer er geen ETS zou zijn van 0,8 procent, (ii) marginale kosten van emissiereductie afgeleid uit de marginale kosten in het eerder voor analyse van ETS gebruikte model WorldScan (zie Verdonk et al. 2013) en (iii) een lineaire reductiefactor van 1,74 procent voor het aanbod van EUA's. Vervolgens is bepaald wat bij voorgenomen beleid het prijsverhogende effect zal zijn van een aanscherping van de reductiefactor naar 2,2 procent en de introductie van een marktstabiliteitsreserve volgens het voorstel van de Europese Commissie. Daarnaast is ook rekening gehouden met het effect van de sterkere toename van hernieuwbare elektriciteitsopwekking bij voorgenomen beleid, wat de CO₂-prijs verlaagt doordat de CO₂ emissies zonder ETS circa 1,5 procent lager uitkomen. Het netto effect is een toename van de CO₂ prijs met 35 procent ten opzichte van de CO₂-prijs bij vastgesteld beleid (zie Tabel 1).

3 Onzekerheidsbandbreedte

Belangrijke onzekerheden die van invloed zijn op de hoogte van de CO₂-prijs onder het ETS zijn de economische groei in de EU, de ontwikkeling van de energieprijzen (niet alleen absoluut, maar ook ten opzichte van elkaar, en dan m.n. de prijs van kolen ten opzichte van die van gas) en de effecten van ander energiebeleid (zoals beleid voor hernieuwbare energie en energiebesparing). Daarnaast zal ook de mate waarin de kosten van emissiereductie veranderen, bijvoorbeeld als gevolg van technologische ontwikkeling en leereffecten, van invloed zijn op de hoogte van de CO₂-prijs.

Als bandbreedte voor de groei van emissies zonder ETS is gekozen voor een 50 procent lagere dan wel 50 procent hogere groei: 0,4-1,2 procent. Deze bandbreedte is een (niet nader gespecificeerde) combinatie van afwijkende economische groei en een variatie in de sectoren waar de groei vooral zal plaatsvinden: de ondergrens is een combinatie van lagere economische groei waarbij groei vooral in de minst energie-intensieve sectoren (o.a. diensten) zal plaatsvinden, terwijl de bovengrens een combinatie is van hogere economische groei waarbij groei vooral in de meest energie-intensieve sectoren (die ook binnen het ETS vallen) zal plaatsvinden. Daarbovenop hebben andere factoren dan economische groei, zoals effecten van beleid (anders dan ETS, vooral voor hernieuwbare energie en energy efficiëntie) en de ontwikkeling van energieprijzen, gevolgen voor de emissies zonder ETS. Omdat er geen bron beschikbaar was op basis waarvan een inschatting van een onzekerheidsbandbreedte kon worden bepaald is een inschatting gemaakt dat mogelijke andere ontwikkelingen van deze factoren bij elkaar ertoe leiden dat emissies zonder ETS jaarlijks 0,5 procent hoger of lager liggen dan als gevolg van de bandbreedte voor de economische groei.

Tenslotte is een ruime bandbreedte genomen voor de ontwikkeling in de marginale kosten van CO₂-reductie in de tijd, om recht te doen aan de grote onzekerheid daaromheen. Waar in de modelberekeningen voor de middenwaarde verondersteld is dat de marginale kosten in de tijd met 1,5 procent per jaar afnemen, is de aanname bij het bepalen van de bovenkant van de onzekerheidsbandbreedte dat dit 0,5 procent per jaar is en bij de onderkant 2,5 procent per jaar.

Al deze factoren samen geven een bandbreedte voor de CO₂-prijs in de variant *vastgesteld beleid* van 60 procent onder en 145 procent boven de middenwaarde van de CO₂-prijs. Bij de variant *voorgenomen beleid* is dat 55 procent onder en 130 procent boven de middenwaarde van de CO₂-prijs (zie Tabel 1).

Literatuur

- Brink C., S. Beurskens & E. van Andel (2014), *Marktstabiliteitsreserve in het EU ETS. Nadere analyse*. PBL-notitie 1505, Nederlandse Emissieautoriteit (NEa)/PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), Den Haag.
- Chevallier J. (2012), 'Banking and borrowing in the EU ETS: A review of economic modelling, current provisions and prospects for future design', *Journal of Economic Surveys* 26, 157-176.
- Cronshaw, M. & J. Kruse (1996), 'Regulated firms in pollution permit markets with banking', *Journal of Regulatory Economics* 9, 179-189.
- Ellerman, A.D. & J.-P. Montero (2007), 'The Efficiency and Robustness of Allowance Banking in the U.S. Acid Rain Program', *The Energy Journal* 28, 47-72.
- Europese Commissie (2014), *EU Energy, Transport and GHG emissions - Trends to 2050. Reference Scenario 2013*. Europese Commissie, Directorate-General for Energy, Directorate-General for Climate Action and Directorate-General for Mobility and Transport.
- Koelmeijer R., M. Verdonk, T. van Dril & A. Seebregts (2013), *Uitgangspunten voor het referentiepado bij de evaluatie van het SER-energieakkoord*. PBL-notitie 1214, PBL/ECN, Bilthoven/Petten.
- Leiby P. & J. Rubin (2001), 'Intertemporal Permit Trading for the Control of Greenhouse Gas Emissions', *Environmental and Resource Economics* 19, 229-256.
- Neuhoff K., A. Schopp, R. Boyd, K. Stelmakh & A. Vasa (2012), *Banking of Surplus Emissions Allowances: Does the Volume Matter?* Discussion Papers 1196. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlijn.
- OECD/IEA (2013), *World Energy Outlook 2013*. International Energy Agency, Parijs.
- Rubin J.D. (1996), 'A Model of Intertemporal Emission Trading, Banking, and Borrowing', *Journal of Environmental Economics and Management* 31, 269-286.
- Verdonk M. & W. Wetzels (2012), *Referentieraming energie en emissies: actualisatie 2012. Energie en emissies in de jaren 2012, 2020 en 2030*. PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), Den Haag.
- Verdonk M., C. Brink, H. Vollebergh & M. Roelfsema (2013), *Evaluation of policy options to reform the EU Emissions Trading System. Effects on carbon price, emissions and the economy*. PBL Policy Studies 934. PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), Den Haag.

Annex Beschrijving intertemporeel optimalisatiemodel

Het effect van voorgenomen beleid op het CO₂-prijspad is bepaald met behulp van een intertemporeel optimalisatie model. Deze Annex geeft een beknopte beschrijving van dit model. Het gebruikte model is een sterk versimpelde weergave van het EU ETS, waarin het gedrag van de sectoren wordt beschreven door één winst maximaliserende actor met volledige informatie. Dit is een benadering die in de economische literatuur over emissiehandel vaak wordt gehanteerd (zie bijvoorbeeld Cronshaw & Kruse 1996; Rubin 1996; Leiby & Rubin 2001; Ellerman & Montero 2007; Chevallier 2012).¹ De volgende basisaannames liggen aan het model ten grondslag:

- de ontwikkeling van emissies en de kosten van emissiereductie zijn bekend;
- de emissies worden beperkt door de hoeveelheid beschikbare emissierechten op de markt, waarbij de mogelijkheid bestaat om rechten vast te houden voor toekomstig gebruik (*banking*), maar het is niet mogelijk om rechten al in te zetten voordat ze op de markt gebracht zullen worden (*borrowing*);
- bedrijven minimaliseren hun (verdisconteerde) jaarlijkse kosten voor emissiereductie over de tijd gegeven de restrictie op emissies; dat betekent dat bedrijven in hun beslissingen aangaande het al dan niet reduceren van emissies vooruitkijken en (volledig geïnformeerd) rekening houden met toekomstige emissies en beschikbaarheid van emissierechten;
- de markt voor emissierechten functioneert efficiënt, wat betekent dat elk jaar de marginale kosten van alle marktpartijen gelijk zijn aan de dan geldende prijs van emissierechten.

Een algemene beschrijving van het model kan worden gegeven door de volgende vergelijkingen:

$$\begin{aligned} \min_a \sum_{t=1}^T \frac{C_t(a_t)}{(1+r)^t} \\ u_t &= u_{t-1}(1+g_t) \\ e_t &= u_t - a_t \\ B_t &= B_{t-1} + \bar{e}_t - e_t \\ B_T &= 0; B_t \geq 0, \quad \forall t \\ e_t &\geq 0, \quad \forall t \end{aligned}$$

Daarbij is u_t het emissieniveau in jaar t vóór emissiereductie (dat wil zeggen het emissieniveau dat zou ontstaan als er geen sprake zou zijn geweest van een restrictie op emissies), dat ten opzichte van het voorgaande jaar toeneemt met een groeivoet g_t . a_t is de emissiereductie in jaar t en e_t het daadwerkelijke emissieniveau in jaar t (dat wil zeggen rekening houdend met de emissiereductie die in dat jaar plaatsvindt). $C_t(a_t)$ zijn de totale kosten van emissiereductie in jaar t als functie van a_t ; r is de discontovoet die wordt gehanteerd om toekomstige kosten te verdisconteren. \bar{e}_t is de hoeveelheid emissierechten die in jaar t beschikbaar komt² (de *cap*) en B_t is de hoeveelheid niet-gebruikte emissierechten in de markt in jaar t (de *bank*). B_t neemt toe ten opzichte van het voorgaande jaar als emissies in jaar t minder groot zijn dan de hoeveelheid rechten die in dat jaar op de markt wordt gebracht

¹ In deze studies is het probleem gedefinieerd als continu in de tijd, terwijl in het hier gebruikte model de tijd is opgedeeld in discrete (jaarlijkse) stappen, wat in essentie echter niet tot andere uitkomsten leidt.

² In het model wordt geen onderscheid gemaakt tussen rechten die worden geveild en rechten die gratis worden toegekend, omdat dat verschil niet relevant is voor het optimale pad van emissiereductie dat met het model wordt bepaald.

(dat wil zeggen als $e_t \leq \bar{e}_t$). Het model rekent over een tijdshorizon T en in jaar T zijn er geen ongebruikte emissierechten meer, omdat die daarna niet meer kunnen worden gebruikt en dus geen waarde meer hebben. De efficiënte werking van de markt zorgt dat elk jaar de waarde van de emissierechten gelijk is aan de marginale kosten van emissiereductie:

$$p_t = C'_t(a_t)$$

Bovendien geldt dat, zolang de restrictie $B_t \geq 0$ niet bindend is, een optimaal emissiereductiepad wordt gekenmerkt door een ontwikkeling in de prijs volgens $p_t = (1+r)p_{t-1}$, wat in de economische literatuur bekend staat als de 'Hotelling-regel' (zie bijvoorbeeld Rubin 1996). Als er op een bepaald moment geen ongebruikte rechten meer in de markt zijn ($B_t = 0$) betekent dat dat het niet loont om rechten vast te houden voor toekomstig gebruik, wat betekent dat de prijs minder snel toeneemt dan de gehanteerde discontovoet ($p_{t+1} < (1+r)p_t$). Wanneer dat het geval is zullen de emissies gelijk zijn aan de hoeveelheid rechten die in het desbetreffende jaar beschikbaar komen ($e_t = \bar{e}_t$).

In de berekeningen die zijn uitgevoerd om te komen tot de ramingen voor de CO₂-prijs in de varianten *vastgesteld beleid* en *voorgenomen beleid* zoals die voor de NEV zijn gebruikt, is gerekend over de periode 2013-2050 ($T=38$). Verder is gerekend met een discontovoet van 6 procent. De emissies zoals die er zouden zijn wanneer er geen ETS was worden gesteld op 1970 Mton CO₂ in 2013 en deze emissies groeien met een jaarlijkse groeivoet van 0,75 procent. In 2013 wordt de hoeveelheid ongebruikte emissierechten uit voorgaande jaren gesteld op 2100 miljoen. Het jaarlijkse aanbod van emissierechten begint in 2013 op een niveau van 2084,3 miljoen rechten. De omvang van het aanbod neemt elk jaar met een vaste hoeveelheid af. In de variant *vastgesteld beleid* is de afname 38,3 miljoen per jaar. In de variant *voorgenomen beleid* neemt het aanbod vanaf 2021 sneller af, namelijk met 48,4 miljoen per jaar.

De kosten van emissiereductie worden weergegeven door een vergelijking die zodanig is gekozen dat de marginale kosten van emissiereductie bij benadering overeenstemmen met de marginale kosten in het eerder voor analyse van het EU ETS gebruikte macro-economische model WorldScan (zie Verdonk et al. 2013):

$$C_t(a_t) = \beta_t \cdot \frac{a_t^{\gamma+1}}{\gamma+1}$$

waarbij de waarde van γ wordt gesteld op 1,3. β_t neemt af in de tijd om rekening te houden met leereffecten en technologische vooruitgang, waarvan wordt verondersteld dat die emissiereductie in de tijd goedkoper maken. De waarde van β in 2013 wordt gesteld op 0,0045 en in daaropvolgende jaren neemt deze af met 1,5 procent per jaar.