



MKBA CCU Smart Grid

Onderzoek maatschappelijke
welvaartseffecten



CE Delft

Committed to the Environment

MKBA CCU Smart Grid

Onderzoek maatschappelijke welvaartseffecten

Dit rapport is geschreven door:

Martijn Blom

Diederik Jaspers

Thomas Huigen

Review door Geert Warringa en Frans Rooijers

Delft, CE Delft, 31 mei 2018

Publicatienummer: 18.7R04.059

Kooldioxide / Verwijderen / Hergebruik / Reductie / Kosten / Rendement / Prijsstelling / Maatschappelijke factoren / Welvaart / Effecten / Analyse

Opdrachtgever: BLOC-CO₂ SmartGrid

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Martijn Blom (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Voorwoord	4
	Samenvatting	5
1	Inleiding	8
	1.1 Aanleiding	8
	1.2 Doel	8
	1.3 Wat is CCU en CCS?	8
	1.4 Afbakening	9
	1.5 Mee te nemen effecten	9
	1.6 Leeswijzer	11
2	Alternatieven	12
	2.1 Inleiding	12
	2.2 Technische scope van het project	12
	2.3 Projectalternatieven	14
	2.4 Nulalternatief	16
3	Aanpak	17
	3.1 Inleiding	17
	3.2 Aanpak in vogelvlucht	17
	3.3 Gebruikte uitgangspunten	18
	3.4 Vraag en aanbod in de projectalternatieven	19
	3.5 CO ₂ -prijs	25
4	Maatschappelijke kosten en baten	28
	4.1 Inleiding	28
	4.2 Algemene uitgangspunten	28
	4.3 Financiële effecten	28
	4.4 Vermeden CO ₂ -reductiekosten	31
	4.5 Overige emissies	34
	4.6 Regionale economische effecten	34
5	Saldo	36
	5.1 Inleiding	36
	5.2 Resultaten voor WLO Hoog	36
	5.3 Resultaten voor WLO Laag	39
	5.4 Gevoeligheidsanalyse	41
6	Conclusies	43
	Bibliografie	45



A	Toetsingsgesprekken	46
B	Overzicht volumes per alternatief	47
	B.1 Overzicht per seizoen	47
	B.2 Overzicht door de tijd	48



Voorwoord

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van een breed consortium van overheden, brancheorganisaties en bedrijven dat wordt begeleid door BLOC. Wij hebben in de loop van het project kennis uitgewisseld met diverse betrokkenen van het CCU Grid. Daarnaast is gezamenlijk de scope van de project-alternatieven en de studie afgebakend om tot een werkbaar aanpak te komen. Een concept is gepresenteerd aan de kerngroep die deze van nuttig commentaar heeft voorzien. Dit alles in een zeer korte tijd. Intern is een concept-rapportage gereviewed door Geert Warringa en Frans Rooijers. Wij danken alle partijen zeer voor hun opmerkingen en open wijze waarop zij met ons hun kennis hebben gedeeld. Dit project was niet tot stand gekomen zonder hen.

Project team MKBA CCU Smart Grid,

Martijn Blom

Delft, 31 mei 2018

Samenvatting

Deze Maatschappelijke Kosten Baten-Analyse (MKBA) CO₂ Smart Grid is op verzoek van 22 partijen opgesteld, ondersteund door BLOC. Doel is de beoordeling van de maatschappelijke wenselijkheid op basis van maatschappelijke kosten en baten van het project. Deze inzichten moeten ertoe leiden dat de partners beslisinformatie verkrijgen om de afweging te kunnen maken over strategie, investering en de optimale vormgeving van het CO₂ Smart Grid.

Carbon Capture and Usage (CCU) kan gezien worden als het hergebruiken van CO₂ als grondstof in productieprocessen. Dat voegt waarde toe voor de gebruiker vanwege de positieve eigenschappen van CO₂ voor het betreffende product (financiële baat), maar levert daarnaast maatschappelijke baten op voor de samenleving in de vorm van het tegengaan van klimaatverandering. Carbon Capture and Storage (CCS) is het ondergronds opslaan van CO₂, en levert uitsluitend maatschappelijke baten op.

Afbakening

In deze analyse is gekeken naar de gehele keten van bron tot en met gebruik van CO₂. Het net is de schakel tussen bron en afnemer. De koolstofvoetafdruk - de vermeden uitstoot van CO₂ per afgevangen ton - verschilt sterk per toepassing. Tevens hangen de kosten (m.n. energiegebruik) van afvang af van de zuiverheid van de afgevangen CO₂-bron. Het maakt dus voor de maatschappelijke kosten en baten sterk uit voor welke CCU-route wordt gekozen.

De MKBA is opgesteld op basis van de nu beschikbare projectinformatie uit de haalbaarheidsfase. De resultaten kunnen anders worden bij het verder uitwerken van de verschillende businesscases. Sommige effecten zijn in deze MKBA niet gekwantificeerd. In deze MKBA is de belangrijkste: zonder externe CO₂-levering kan de glastuinbouw niet van het aardgas af. CO₂-levering is dus randvoorwaardelijk voor verduurzaming maar omdat dit deels is opgenomen in achterliggende scenario's zien we het effect hiervan niet in het saldo van de MKBA terug.

Projectalternatieven

Binnen deze MKBA is gekeken naar twee projectalternatieven voor een CCU Smart Grid dat CO₂ transporteert van bron naar afnemer, al dan niet in combinatie met definitieve opslag onder de grond in lege gasvelden (CCS; zie Tabel 1).

Deze MKBA focust op CCU. In het CCU+CCS-scenario is het opslagvolume voor CCS 40 Mton, gerelateerd aan het volume wat door het bestaande transportnet voor CCS ingezet kan worden. In de praktijk is het voornemen veel grotere volumes CCS te realiseren middels nieuwe infrastructuur.

Tabel 1 - Overzicht van projectalternatieven

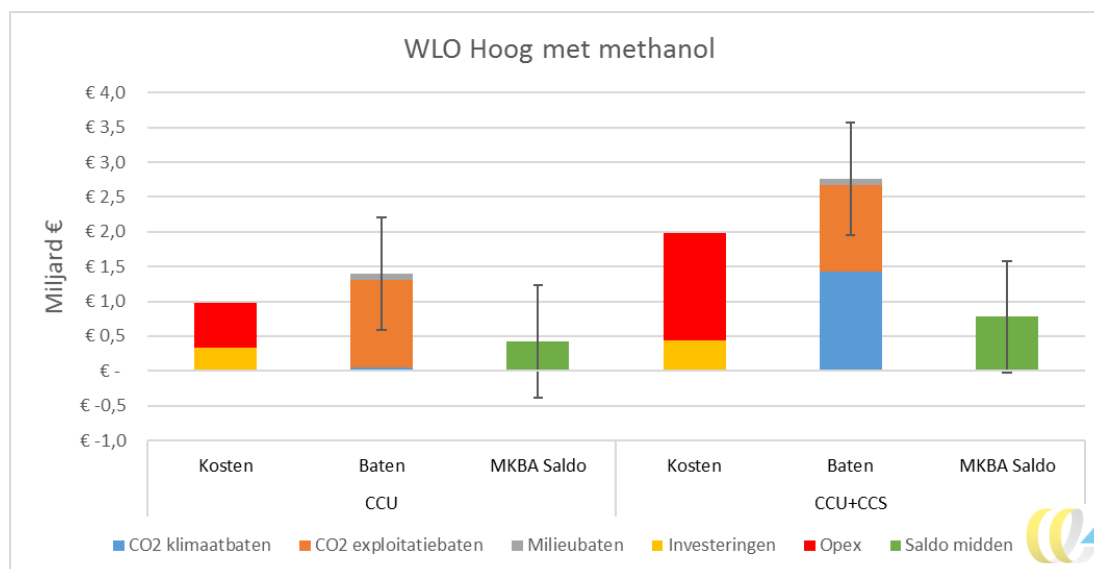
	Bronnen	Afnemers	Netwerk
Projectalternatief CCU	5 bronnen	Glastuinbouw, bouw en methanol	Uitbreiding langs huidige net
Projectalternatief CCU+CCS	5 bronnen	Glastuinbouw, bouw en methanol	Uitbreiding langs huidige net, inclusief ontsluiting naar lege gasvelden (CCS)

Uitkomsten

Het saldo is in sterke mate afhankelijk van een voldoende hoge CO₂-prijs voor het (vermijden) van uitstoot van CO₂. Dat leidt tot de volgende uitkomsten in verschillende klimaatscenario's:

- Bij een beperkt klimaatbeleid (WLO Laag) is de MKBA van een CO₂ net niet robuust. Zonder een streng klimaatbeleid voegt CO₂ Smart Grid maatschappelijk dus weinig waarde toe.
- Bij een ambitieuzer klimaatbeleid (WLO Hoog) is de MKBA van het CO₂-net negatief tot licht positief. Bepalend voor het saldo is de beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit tegen een concurrerende prijs voor de productie van methanol. Zonder de onzekerheid over de beschikbaarheid van betaalbare duurzame energie, dus met alleen toepassing in de glastuinbouw en mineralisatie, is de MKBA positief;
- Bij een klimaatbeleid dat spoort met de doelstellingen van Parijs 2015 (gevoeligheidsberekening) kan alleen biogene CO₂ worden gebruikt en is de businesscase en de MKBA positief.

Figuur 1 - Overzicht van de MKBA-resultaten in variant met methanol in 2018-2068, WLO Hoog (CW's)



CW = (netto) contante waarde.

Conclusies

- CCU is een breed concept met verschillende toepassingsroutes in de glastuinbouw, de bouw en de chemie (inclusief brandstoffen). Het hangt sterk van de routes af wat de CO₂-reductie-effecten zijn over de keten, of de businesscase sluitend is, en of de uiteindelijke maatschappelijke uitkomst positief is voor Nederland.
- Tussen CCU en CCS bestaat synergie. De combinatie CCU+CCS biedt de mogelijkheid grotere volumes te transporteren, meer leveringszekerheid te bieden door CO₂ te bufferen voor seizoenfluctuaties en in zijn geheel meer CO₂-uitstoot te vermijden.
- Het financiële saldo voor de exploitant is voor CCU positief, terwijl dit voor CCU+CCS negatief is. In het laatste geval is dat omdat de baten optreden in de vorm van maatschappelijke klimaatbaten. Deze zullen door middel van een voldoende hoge ETS-prijs vertaald moeten worden in uitgespaarde emissierechten en daarmee de basis voor een verdienmodel moeten vormen om CO₂ te bergen onder de Noordzee.

Aanbevelingen

- Kansrijk vanuit maatschappelijk perspectief zijn de CCU-routes voor afzet in de glastuinbouw en bouw. Onder de voorwaarde van voldoende beschikbare groene energie- en CO₂-bronnen draagt ook de toepassing in chemie en brandstoffen bij aan een positief MKBA-saldo.
- Dat leidt tot de centrale aanbeveling om het (fysieke) CO₂ Smart Grid gestaag uit te bouwen van CO₂-levering aan de tuinders en vandaar uit rendabele businesscases te ontwikkelen voor andere toepassingen.
- Concrete investeringsbeslissingen, zowel aan de bronzijde als aan de vraagzijde kunnen genomen worden op basis van een uniforme opgestelde mini-MKBA en mini-LCA's. Zowel de CO₂-impact als de maatschappelijke impact moet onomstotelijk vast staan.
- Vergroening van energie- en CO₂-bronnen in het CCU-net is noodzakelijk bij een klimaatbeleid dat de doelstelling van Parijs 2015 haalt. Hiervoor kunnen criteria worden opgesteld om de herkomst van CO₂ te certificeren en te kunnen sturen op deze vergroening.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Tweeëntwintig Partijen (bedrijven, kennisinstellingen en overheden) hebben een jaar geleden een start gemaakt met de haalbaarheidsfase voor het CO₂ Smart Grid. Dit samenwerkingsverband wordt ondersteund door BLOC. Gedurende het jaar is in opdracht van en met het samenwerkingsverband van publieke en private partijen een aantal onderdelen van de haalbaarheidsfase voltooid. Dit betreft een haalbaarheidsstudie, technology assessment en LCA-studies die de ketenbesparing van CO₂-emissies in beeld brengen. De volgende stap in de haalbaarheidsfase is het uitvoeren van een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA). Dit is een methode waarbij systematisch alle welvaartseffecten (maatschappelijke kosten en baten) van het CO₂ Smart Grid in kaart worden gebracht. Ten behoeve van de beoordeling van de maatschappelijke haalbaarheid en legitimiteit van het project CO₂ Smart Grid is het noodzakelijk in beeld te hebben wat de maatschappelijke kosten en baten zijn.

1.2 Doel

De centrale vraag van deze studie is:

Wat zijn de financiële en niet-financiële (maatschappelijke) kosten en baten van het beoogde CO₂ Smart Grid?

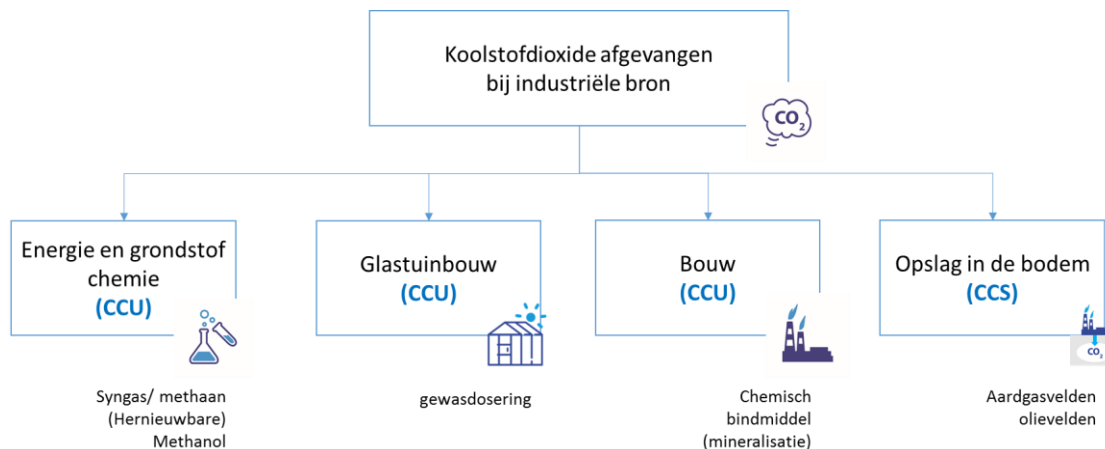
Deze inzichten moeten ertoe leiden dat het samenwerkingsverband en de belangrijkste stakeholders beslisinformatie verkrijgen om de afweging te kunnen maken over het wel of niet investeren (nut en noodzaak), de waarde van de financiële bijdrage voor het project en de verschillende project-alternatieven.

1.3 Wat is CCU en CCS?

Kosten en baten zijn binnen deze studie voor twee projectalternatieven in beeld gebracht. De eerste betreft een ontwerp waarbij CO₂ ingezet wordt als grondstof in productieprocessen, ook wel CCU (Carbon Capture and Utilization) genoemd. In de literatuur wordt CCU wel aangeduid als CCR (Carbon Capture Recycling). In deze casus hangt het ervan af op welke wijze het product of alternatieve productiewijze ingezet wordt, in hoeverre de optie leidt tot een netto afname van de uitstoot van CO₂ naar de atmosfeer.

Het tweede projectalternatief combineert CCU met de mogelijkheid CO₂-gassen te bergen onder de grond. Carbon Capture and Storage (CCS) is het afvangen en opslaan van CO₂ in lege olie- of aardgasvelden in de Noordzee. Op basis van de huidige inzichten betreft deze vorm van opslag een permanente onttrekking van de afgevangen CO₂ uit de atmosfeer. In Figuur 2 vatten we dit schematisch samen.

Figuur 2 - Schematische weergave van CCU en CCS



In Hoofdstuk 2 gaan we nader in op de projectalternatieven en de wijze waarop deze kunnen bijdragen aan het verminderen van uitstoot van koolstofdioxide naar de atmosfeer.

1.4 Afbakening

Het voorliggende rapport betreft een MKBA op basis van de thans beschikbare projectinformatie. Deze informatie is afkomstig uit de pre-haalbaarheidsfase. Nadere engineering van het CO₂-netwerk en het opstellen van uitgewerkte businesscases voor de afname en levering van CO₂ aan het net, kan tot andere uitkomsten van deze studie leiden.

De volgende afbakening is gekozen:

- Het uitgangspunt in deze MKBA is dat alle relevante welvaartseffecten in kaart worden gebracht. De welvaartseffecten worden ingedeeld in directe effecten en indirecte effecten.
- Kosten en baten zijn ingeschat op basis van reeds uitgevoerd onderzoek. Er zijn geen nieuwe kostenonderzoeken uitgevoerd.
- De CCU-routes komen overeen met de eerder opgestelde LCA-studie (CE Delft, 2018).
- De CCS-route is qua volume niet vergelijkbaar met de volumes gepresenteerd in de studie van Gasunie en EBN (Gasunie en EBN, 2018). Aangenomen is dat het projectalternatief CCU+CCS een evenredig deel in de infrastructuur voor zijn rekening neemt. Het alternatief is dus altijd onderdeel van een grotere CCS-infrastructuur.
- Tenslotte worden prijspaden voor o.a. CO₂ bepaald door verschillende scenario's (WLO Laag, WLO Hoog, en tweegradengevoeligheid. Deze prijspaden hebben een internationaal karakter (zie Paragraaf 3.5).

1.5 Mee te nemen effecten

Tabel 2 presenteert de onderscheiden effecten in deze MKBA. We verwachten dat een tuinder bespaart op zijn gaskosten doordat hij de gasketel minder vaak inschakelt in de zomer ten behoeve van gewasdosering in de projectalternatieven. Wij gaan er echter van uit dat de huidige marktsituatie aanleiding geeft voor de netexploitant een contractprijs te kiezen die in de marge voordelig is voor de tuinder om over te stappen op het CCU-grid. Op dit moment is er een latente vraag naar CO₂ door tuinders die willen overschakelen naar alternatieve warmte zoals restwarmte en geothermie. Deze zal in de toekomst verder toenemen door de ambitie van de glastuinbouwsector voor 2040.

Feitelijk wordt daarmee het surplus van de tuinder afgeroomd en zitten deze baten dus al verwerkt in de verkoopopbrengsten van externe CO₂ aan de tuinder. Toerekening van vermeden gasbaten bij de tuinder zou dan een dubbeltelling zijn.

Tabel 2 - Onderscheiden effecten

Type effect	Effect	Waardering
Direct	Eenmalige investeringskosten	€
	Herinvesteringen	€
	Exploitatiekosten (O&M)	€
Indirect	Werkgelegenheid	Kwalitatief
Extern	Klimaatbaten	€
	Milieubaten (reductie overige emissies)	€

Gewasproductiviteit en groei

Door extra CO₂ toe te voegen aan de atmosfeer in een kas gaan gewassen niet alleen sneller, maar ook beter groeien. In de kassen is CO₂ noodzakelijk om de groei van de gewassen te bevorderen. Die CO₂ wordt verkregen door de verwarmingsketels of WKK te stoken. Dat gebeurt ook in de zomer, als er minder behoefte aan extra warmte is, maar veel behoefte aan CO₂. Het gebruik van externe CO₂ door glastuinbouwbedrijven kan een aantal voordelen bieden:

- **Optimalisatie productie:** Extra CO₂ kan op teelt-specifieke momenten de productie of de kwaliteit verbeteren.
- **Hoge kwaliteit kaslucht:** Met het doseren van rookgassen kunnen ongewenste stoffen in de kas komen (en bij gebrek aan ventilatie zich ophopen). Om het risico voor de teelt en productie te beperken doseren bedrijven zuivere CO₂.
- **Zekerheid CO₂-voorziening:** Er zijn meerdere bronnen voor CO₂ te gebruiken. Sommige bedrijven hebben meerdere bronnen op een bedrijf beschikbaar om de kans zonder CO₂ te komen (door technische storing of incidenten) minimaal te houden.
- **Milieucertificering:** Meerdere keurmerken voor 'milieuvriendelijk produceren' waarderen het gebruik van externe CO₂. Een keurmerk geeft ondernemers de mogelijkheid zich te onderscheiden waardoor marktvoordelen verkregen worden (voorkeurleverancier of een hogere productprijs).

De hierboven beschreven baten zijn intern, met andere woorden deze zijn eveneens onderdeel van de contractprijs voor externe CO₂ die tuinders bereid zijn te betalen. Wanneer deze apart gewaardeerd zou worden zou dit mogelijk kunnen leiden tot dubbeltellingen. Of anders gezegd hoe beter de kwaliteit en leveringszekerheid van externe CO₂, hoe hoger de verkoopprijs. Of bij een vaststaande prijs: hoe groter de latente vraag is die kan worden ingevuld door de exploitant. De huidige benadering is praktisch ingestoken en geeft dus een conservatieve schatting van projecteffecten.

Effecten van verdere verduurzaming glastuinbouw

Externe CO₂-levering door leidingen of door tankwagens is 'randvoorwaardelijk' voor de verdere verduurzaming van de glastuinbouw. Door een goede oplossing voor CO₂ voor de gewasgroei te bieden, kunnen tuinders de omschakeling maken naar verduurzaming van de warmte (en elektriciteitsvraag). Het op tijd zeker stellen van de CO₂-voorziening is daarmee een cruciale randvoorwaarde voor de energietransitie van de glastuinbouw. De achtergrondscenario's WLO presenteren een transitiepad naar een meer klimaatneutrale verwarming van kassen in een redelijk snel (Hoog) en langzaam tempo (Laag).

Er is gekozen om de maatschappelijke kosten en baten van deze warmtetransitie in de glastuinbouw uit praktische overwegingen **niet** toe te rekenen aan het CCU Smart Grid. Wel is het milieu en CO₂-voordeel dat ontstaat in het nulalternatief door het gasgebruik dat specifiek toegeschreven kan worden aan de *productie van (gezuiverde) CO₂ voor de kas* onderdeel van deze MKBA. Deze constatering laat onverlet dat vergroening en de CO₂-oplossing van de tuinbouw onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn.

Dit geldt ook voor herkomst van de CO₂, al dan niet van biogene bronnen. Het tempo van deze vergroening van bronnen zal in belangrijke mate afhankelijk zijn van het transitietempo van de industrie. Daarnaast kan de exploitant ook sturen op de herkomst van CO₂ in de vorm van kwaliteitseisen en voorrang geven aan biogene bronnen. In de gevoeligheidsanalyse zullen we hier nader op in gaan.

1.6 Leeswijzer

Deze rapportage is als volgt opgebouwd. *Hoofdstuk 2* geeft een uitgebreid beschrijving van de projectalternatieven CCU en CCU+CCS.

Hoofdstuk 3 presenteert de aanpak van de MKBA. Hierin komen de belangrijkste uitgangspunten aan bod.

Hoofdstuk 4 gaat vervolgens in op de kosten en baten per alternatief afgezet tegenover de referentie. Hierin worden de verschillende kosten- en batenposten in totaal gepresenteerd in contante waardes (CW). Tevens geven we aan welke kentallen per alternatief zijn gehanteerd om tot de totaalsom te komen.

Het totaalresultaat van de projectalternatieven wordt gepresenteerd in *Hoofdstuk 5*. In dit hoofdstuk gaan we ook nader in de op gevoeligheid van de uitkomsten voor specifiek gekozen aannames. De lezer met weinig tijd kan zich meteen richten op dit hoofdstuk.

Tenslotte bespreken we de conclusies en aanbevelingen in *Hoofdstuk 6*.

2 Alternatieven

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat nader in op :

- technische scope van het project (Paragraaf 2.2);
- beschrijving van projectalternatieven (Paragraaf 2.3);
- beschrijving van het nulalternatief (Paragraaf 2.4).

2.2 Technische scope van het project

In Noord- en Zuid-Holland wordt door een consortium van meer dan 20 publieke en private partijen een initiatief ontwikkeld - CO₂ Smart Grid - dat als doel heeft te komen tot nuttig gebruik van afgevangen CO₂ als grondstof voor een circulaire economie (Carbon Capture and Utilisation, of kortweg CCU). Hiertoe moet op termijn een netwerk worden ontwikkeld waarbij CO₂ uit verschillende bronnen beschikbaar kan worden gesteld aan verschillende gebruikers. De beoogde ruggengraat van dit netwerk is de bestaande OCAP-CO₂-leiding, waarmee op dit moment CO₂ van Shell Pernis en ethanolproducent Alco uit Pernis aan tuinders in het Westland wordt geleverd voor groeibevordering van hun gewassen. De komende jaren is voorzien dat deze levering verder wordt uitgebreid. Diverse leveringscontracten hiervoor zijn reeds ondertekend (levering aan de gebieden PrimAviera, Aalsmeer en Monster).

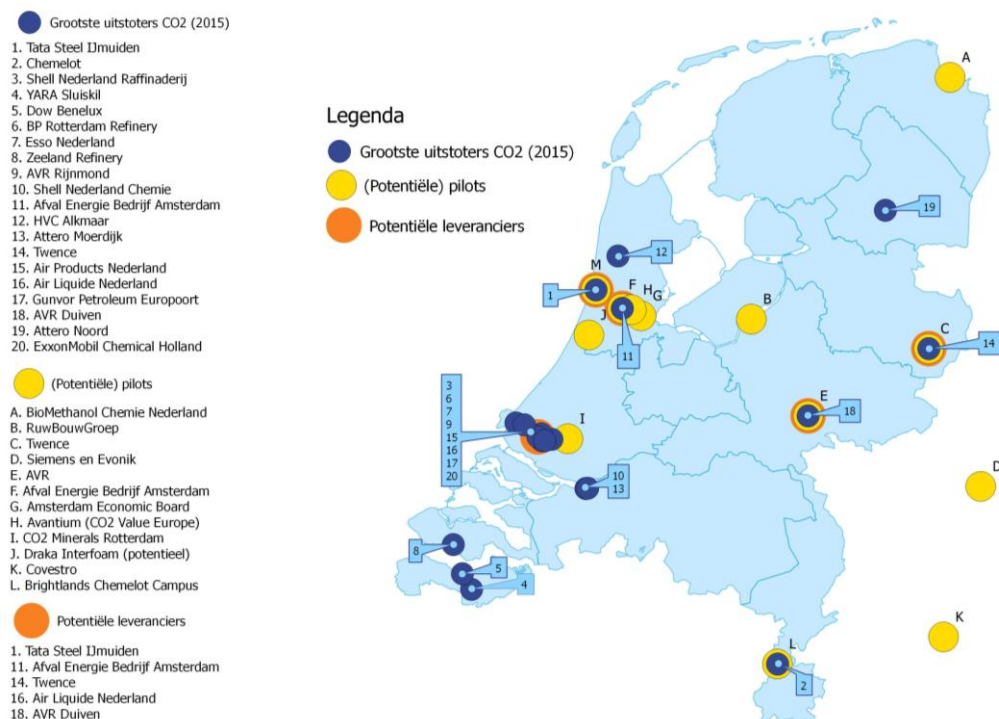
Potentiële bronnen

Er is een aantal potentiële bronnen van CO₂ in Zuid-Holland die aan een CO₂-net kunnen leveren. Dit zijn met name stoom-methaan-reformers (SMR's) van Air Liquide, Air Products, de BP, Gunvor en Esso raffinaderijen, AVR Rijnmond en in regio Noord-Holland AEB, Tata Steel en HVC. Zie Figuur 3 met een kaartje met de 20 grootste CO₂-bronnen in Nederland. In dit overzicht is echter nog geen rekening gehouden met de huidige OCAP-leiding. Het aantakken van perifeer gelegen CO₂-bronnen ligt niet direct voor de hand met het oog op de hoge kosten van het aanleggen van ontbrekende transport-leidingen.

Afnemers

Naast de tuinbouw zijn mogelijk te verwachten afnemers bouwfabrikanten. In de bouwproductie kan CO₂ door mineralisatie vastgelegd worden in steenachtige materialen die in de bouw kunnen worden gezet. Deze CCU-toepassingen leggen CO₂ vast in bouwmaterialen die precies dezelfde bouweigenschappen kennen. In navolging hiervan zijn toekomstige CCU-routes naar mierenzuur, methanol, polyolen voor polyurethanen denkbaar alsook vervolgroutes van methanol naar olefinen (MTO) en benzine (MTG). Dit is te verwachten zodra de prijs van (wind)stroom voor waterstofopwekking door elektrolyse voldoende laag wordt. Hierbij wordt rekening gehouden met het feit of de CO₂ uiteindelijk bij gebruik van die producten wel/niet in de atmosfeer komt. Potentiële afnemers van CO₂ die wordt geleverd door een net zitten in verschillende fasen van innovatie.

Figuur 3 - Overzicht potentiële bronnen die kunnen leveren aan CO₂-net



Hoe ziet het CO₂ Smart Grid eruit?

De visie op het CO₂ Smart Grid van het samenwerkende consortium is de aanleg bij concentraties van bedrijven met CO₂-bronnen in Noord- en Zuid-Holland, dicht bij de kust om ook potentiële aansluiting met lege olie- en gasvelden mogelijk te maken. Hier kan mogelijk, in een latere fase injectie van de opgewerkte CO₂ in lege gas- en olievelden plaatsvinden. Het uiteindelijke CO₂ Smart Grid zal bestaan uit reeds bestaande en nieuw te realiseren elementen. Een logische route om dit te realiseren is om het bestaande net als uitgangspunt te nemen en te zoeken naar logische 'building blocks' om hierop voort te bouwen richting meer en grotere afnamevolumes.

CO₂ kan geleverd worden per pijp (bijv. OCAP), per truck of op locatie direct door uitwisseling met een ander proces waarbij CO₂ vrij komt (dat aan alle vereisten voldoet). Vloeibare CO₂ per truck is een optie maar, in geval van geclusterde leveringsgebieden, duurder dan pijptransport. Als vloeibare CO₂ in trucks vervoerd gaat worden dan is het leveringsgebied daarentegen wel groter dan het huidige OCAP-gebied. Combinaties zijn dan ook goed denkbaar.

De CO₂ kan in principe ook bij de bron beschikbaar gesteld worden, waardoor een uitgebreid leidingnetwerk niet nodig is. Een belangrijk nadeel hierbij is de langetermijnafhankelijkheid van één partij. Indien er gekozen zou worden voor een leidingnetwerk is het van belang dat CO₂-bronnen gediversifieerd zijn en dat de levering voor lange periode gegarandeerd kan worden.

Uitgangspunten CO₂ Smart Grid

OCAP levert op dit moment 0,5 Mton (nagenoeg) zuivere CO₂ aan de glastuinbouw in het leveringsgebied van de OCAP (onder andere het Westland, Lansingerland en Delfgauw). Het hoofdtransport en de tijdelijke (dag)opslag van CO₂ vindt plaats onder een maximaal toegestane werkdruk van 16 tot 22 bar. Daarbij wordt onder meer gebruikgemaakt van een bestaande 83 km lange oliepijpleiding tussen Rotterdam en Amsterdam.

Bij het ontwerp van de projectalternatieven is ervoor gekozen om zoveel mogelijk aan te sluiten bij het huidige ontwerp, de OCAP-ruggengraat. Het huidige hoofdtransport is geschikt voor in ieder geval 40 Bar transport en opslag (bron: OCAP). De huidige verwachting is dat hiermee een jaarvolume van 3,3 Mton getransporteerd kan worden vanuit verschillende bronnen naar de afnemers, mits hierbij regionaal voor de hand liggende combinaties kunnen worden gemaakt tussen afnemers en vragers van CO₂¹. Er wordt verder vanuit gegaan dat de CO₂ op 40 bar wordt aangeleverd.

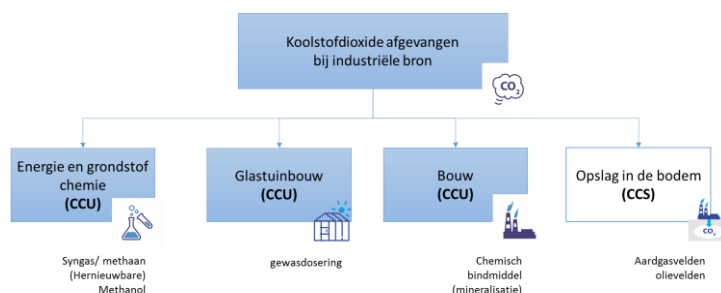
2.3 Projectalternatieven

In deze MKBA worden twee projectalternatieven afgezet tegen een zogenaamd nulalternatief. In een MKBA moet daarom ook een keuze worden gemaakt welk deel van het CCU grid al tot de referentie behoort, en welk deel als uitbreiding van de bestaande infrastructuur kan worden gezien. De twee projectalternatieven zien er als volgt uit:

1. Projectalternatief CCU.
2. Projectalternatief CCS+CCU.

Projectalternatief CCU

In dit projectalternatief wordt alleen ingezet op CCU-toepassing waarbij CO₂ wordt geleverd aan afnemers met een zekere CO₂-behoefte. Er is hier geen CO₂-buffer in de vorm van opslag in CCS (overtollig CO₂ wordt naar de lucht uitgestoten). Het projectalternatief voorziet wel in een dag-nachtbuffering; dat wil zeggen dat het 'nachtaanbod' van CO₂ gebufferd wordt in de leidingen en overdag naar behoefte geleverd kan worden aan de tuinder.



Vanwege de beperkte mogelijkheden tot *seizoens*buffering zal er door de klanten geaccepteerd moeten worden dat er een kans is op het ontstaan van een leveringstekort, bijvoorbeeld omdat er in de zomer onvoldoende bronnen zijn om bij te schakelen. Dit betekent dat de tuinder een back-up-voorziening nodig zal blijven hebben. Dit is doorgaans de huidige praktijk. De vraagprijs voor geleverde CO₂ zal daarom dicht in de buurt liggen van de huidige CO₂-prijs (externe leveringsprijs²).

Dit alternatief betreft een uitbreiding langs het bestaande transportnetwerk. Deze uitbreiding omvat, naast het aansluiten van nieuwe afnemers, tevens het aansluiten van voldoende nieuwe aanbieders om in de uitbreidingsvraag te kunnen voorzien.

¹ Het is ondenkbaar dat de transportcapaciteit van 3,3 Mton volledig benut zou kunnen worden met jaarvolumes in Noord-Zuid en/of Zuid-Noord transportrichtingen.

² Hiermee bedoelen we *niet* de maatschappelijke kosten van CO₂.

Wat is CCU?

In geval van CCU (Carbon Capture and Utilization) wordt afgevangen en opgewerkte CO₂ nuttig toegepast als grondstof of als hulpstof. Bestaande en bekende voorbeelden zijn:

- gebruik in de glastuinbouw om plantengroei te versnellen;
- toevoeging aan frisdrank (prik);
- hulpstof bij oliewinning (Enhanced Oil Recovery, EOR);
- gebruik als grondstof voor zeer zuivere kalksteen voor bijvoorbeeld gebruik in papier (de witte kleur van papier);
- grondstof voor kunststof (polycarbonaat en polyolen);
- gebruik als blusmiddel in brandblussers en in automatische blusinstallaties.

Voor CCU hoeft de CO₂ niet altijd als zuiver gas te worden toegepast. OMYA in Moerdijk bijvoorbeeld maakt voor productie van zuivere kalksteen gebruik van de CO₂-rijke rookgassen van de slibverbrandingsinstallatie van SNB Moerdijk. Bij sommige toepassingen wordt de CO₂ niet vastgelegd, maar wordt wel productie van CO₂ uit fossiele bronnen voorkomen.

Het voorbeeld hiervan is de glastuinbouw.

De zuiverheid en CO₂-concentratie in de te doseren gassen is van belang bij onder andere gewasbemesting en andere CCU-toepassingen. Aan toepassing in de tuinbouw gelden specifieke kwaliteitseisen (bijv. aan etheen in het geleverde gas).

Deze eisen moeten zorgen voor een gas dat niet schadelijk is voor mens en plant. Omdat dit de belangrijkste afnemer is zal deze eis ook minimaal gelden voor het gehele CCU-netwerk. Voor opslag in lege aardgasvelden gelden striktere specificaties (superkritisch ofwel 'capture ready'). Zie tekstkader CCS.

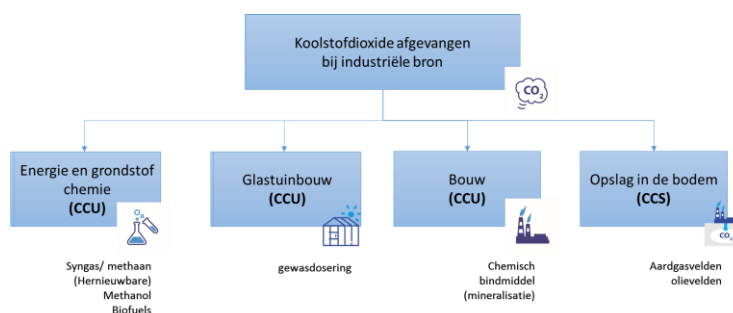
Projectalternatief CCU+CCS

Het projectalternatief CCU+CCS is het alternatief dat het meest aansluit bij het 'demonstration sized CCUS grid, uit de haalbaarheidsstudie (Ecofys, 2017).

Het betreft een toekomstgericht ontwerp waarbij de overtollige CO₂ niet meer de lucht in verdwijnt maar

permanent geborgen wordt in lege aardgasvelden in de Noordzee. De bronnen van het projectalternatief leveren die CO₂ in een vrijwel constante stroom; dag in dag uit, het hele jaar door. Tuinders hebben in hun kas niet voortdurend de behoefte aan evenveel CO₂. In de zomer groeien de planten harder dan in de winter, dus in de zomer is de vraag het hoogst³.

Overtollig CO₂ wordt in dit projectalternatief geborgen in lege gasvelden onder de Noordzee door middel van een aansluiting tussen het bestaande net en deze gasvelden. Afgevangen CO₂ wordt getransporteerd naar één centraal punt aan de kust waar de finale compressie en conditionering plaatsvindt voordat de CO₂ offshore wordt getransporteerd. De ondergrondse opslag vraagt om een tweede zuiveringsstap om de CO₂ gereed te maken voor permanente opslag (zie tekstkader). Voor het doel van CO₂-opslag offshore is het noodzakelijk om de druk tot minimaal 100 tot 120 bar te verhogen. In de CCU-variant is de CO₂ onder lagere druk (40 bar) gevoed in het net en dus zal er veel energie nodig zijn om de CO₂ op de benodigde druk te krijgen.



³ Overdag groeien de planten harder en vragen ze om meer CO₂ dan 's nachts. In deze buffering voorziet de CCU-variant al.

De CCS-add-on biedt door de buffermogelijkheid extra flexibiliteit aan tuinders voor de met het groeiseizoen fluctuerende behoefte aan CO₂⁴. Omdat de CO₂-leveringszekerheid beter geborgd is in dit alternatief biedt dit extra waarde, hetgeen zich uit in hoge betalingsbereidheid voor CO₂ als groeistof voor tuinders. Het CCU+CCS-alternatief biedt dus de mogelijkheid met een groter jaarrond volumes de maximale capaciteit van netwerk te benutten.

Wat is CCS?

CCS staat voor Carbon Capture and Storage en betreft een combinatie van vijf processtappen:

1. Afvang van CO₂ uit rookgassen en andere gasstromen (synthesegas bij bijvoorbeeld productie van ammoniak/NH₃ en waterstof/H₂, aardgas, biogas, productgassen bij brouwerijen, gistproductie en distilleerderijen).
2. Geschikt maken van CO₂ voor transport en opslag door zuiveren, drogen en comprimeren (samenpersen) tot een superkritische vloeistof.
3. Transport van opgewerkte CO₂ via pijpleiding of per schip.
4. Injectie van de opgewerkte CO₂ in lege gasvelden en olievelden of in diepliggende waterlagen (aquifers).
5. Abandonnering (verlating) van de opslaglocatie, afsluiting met oog op eeuwigdurende opslag.

De keten van CCS is nog niet helemaal uitontwikkeld, al zijn de meeste stappen bekende technieken. Transport van superkritische CO₂ en opslag wordt al op diverse plaatsen in de wereld toegepast en pre-combustion afvang ook. Daar staat tegenover dat afvang uit rookgassen en andere gasstromen op lage druk en met beperkte CO₂-concentraties alleen nog op beperkte schaal beschikbaar is. Abandonnering van opgeslagen CO₂ is nog volledig nieuw. Er is daarom nog een zekere ontwikkeltijd nodig voordat CCS grootschalig en over een breed palet aan industriële sectoren kan worden uitgerold. Die tijd is met name nodig voor doorontwikkeling van CO₂-afvangtechnologie naar commerciële schaal voor gassen met beperkte drukken en CO₂-concentraties.

Bron: CE Delft, 2016.

2.4 Nulalternatief

Het nulalternatief is de wereld zonder het projectalternatief. Dit is doorgaans iets anders dan 'niets doen' en 'achterover leunen'. Bedrijven zijn voortdurend opzoek naar winstmogelijkheden en maken rekensommetjes over de meest kostenefficiënte invulling van hun productieprocessen en de wijze waarop CO₂ in hun vraag kan voorzien.

In deze studie is gekozen voor de basisdatum **31 december 2017**. Dat wil zeggen dat alle leveringscontracten vòòr dit moment getekend, behoren tot het nulalternatief. Het huidige jaarvolume dat vervoerd wordt door de buisleidingen is 0,5 Mton. Hierin is de uitbreiding naar het tuinbouwgebied westelijk Monster al verwerkt⁵. Inclusief nieuwe getekende gebieden Aalsmeer en PrimAviera kom het leveringsvolume dan uit op 0,6 Mton. Dit vormt het nulalternatief. Deze cijfers komen overeen met de cijfers van LTO Glaskracht.

⁴ Door die CO₂ niet in de lucht uit te stoten, maar onder de zeebodem op te slaan, is er altijd voldoende CO₂ beschikbaar en kan de vraag in de zomer zelfs hoger zijn dan het aanbod.

⁵ Zonder zou dit neerkomen op 0,45 Mton.



3 Aanpak

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk gaan we nader in op de aanpak. De volgende onderdelen komen achtereenvolgens aan de orde:

- aanpak in vogelvlucht (Paragraaf 3.2);
- gebruikte uitgangspunten in de MKBA (Paragraaf 3.3);
- vraag en aanbod van CO₂ in de projectalternatieven (Paragraaf 3.4);
- gehanteerde CO₂-prijs (Paragraaf 3.5).

3.2 Aanpak in vogelvlucht

De MKBA is uitgevoerd conform de algemene leidraad van het CPB en PBL (CPB ; PBL, 2014).

De volgende stappen zijn achtereenvolgens uitgevoerd:

- De **eerste stap** is de probleemanalyse. In deze stap wordt het achterliggende probleem (of de kans) geanalyseerd en welke oplossingen mogelijk zijn (alternatieven om het probleem op te lossen). In het geval van het CCU Smart Grid gaat het hoofdzakelijk om mogelijk kosteneffectieve oplossingen voor klimaatverandering. Deze oplossingen komen niet vanzelf van de grond vanwege de (aanloop)kosten van samenwerking, afstemming en coördinatie van een groot aantal partijen. Daarnaast spelen institutionele knelpunten en mogelijke onrendabele top van benodigde investeringen. Middels een vijftal gesprekken met stakeholders in het beoogde CCU Smart Grid zijn uitgangspunten nader aangescherpt en vastgesteld. Bijlage A geeft een overzicht van de gesprekspersonen.
- In de **tweede stap** beschrijven we de alternatieven die mogelijk zijn om het probleem op te lossen en kansen te benutten. Het gaat om twee projectalternatieven CCU en CCU+CCS.
- De **derde stap** vormt het hart van de analyse. In deze stap bepalen we de welvaartseffecten (kosten en baten) van de alternatieven en vergelijken we deze met het nulalternatief. Het nulalternatief is de meest waarschijnlijk te achten ontwikkeling als het CCU-project geen doorgang vindt. Hierbij is het van belang om te beseffen dat de toekomst per definitie onzeker is en verschillende scenario's mogelijk zijn. We hebben voor de vaststelling van de toekomstbeelden zoveel mogelijk aangesloten bij de toekomstscenario's van de WLO.
- In de **vierde stap** vergelijken we de eenmalige (en jaarlijkse) kosten en baten door deze terug te rekenen naar het basisjaar. De kosten en baten presenteren we in een overzichtelijke tabel. Bij de beoordeling van de welvaartseffecten zullen we expliciet aandacht besteden aan de probleem-analyse en het achterliggende doel (klimaatverandering). In hoeverre dragen de alternatieven bij aan de oplossing voor de problematiek?
- In de **vijfde en laatste stap** voeren we een gevoeligheidsanalyse uit. In de gevoeligheidsanalyse bepalen we hoe robuust het resultaat is als gevarieerd wordt met de belangrijkste bepalende parameters voor het eindresultaat.

3.3 Gebruikte uitgangspunten

In deze MKBA zal worden aangesloten bij de richtlijnen uit de Algemene Leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse (CPB ; PBL, 2014) en de Werkwijzer MKBA in het Milieubeleid (CE Delft, 2017b). Hiernaast zal gebruik gemaakt worden van de zogenaamde WLO-scenario's (CPB ; PBL, 2015).

3.3.1 Discontovoet

De berekende effecten worden contant gemaakt naar een basisjaar (2018). Hierdoor worden effecten die later in de tijd optreden minder zwaar meegewogen dan effecten in het begin. De gewogen optelsom over de jaren die zo ontstaat voor een effect wordt de contante waarde genoemd. Voor het contant maken wordt gebruik gemaakt van een discontovoet.

In 2015 heeft een werkgroep een advies opgesteld over de hoogte van de discontovoet (Werkgroep Discontovoet, 2015). Het kabinet heeft de aanbevelingen van de werkgroep verplicht gesteld (Ministerie van Financiën, 2015). In vrijwel alle gevallen geldt een reële discontovoet van 3% inclusief risico-opslag. Dit geldt ook voor milieueffecten, waarbij in het advies een specifiek onderscheid is gemaakt tussen effecten op natuur en gezondheid.

Voor publieke investeringen met grote vaste kosten (bv. infrastructuur) geldt een discontovoet van 4,5% voor zowel de kosten als de baten. Onder vaste kosten verstaat de werkgroep die kosten die niet of maar zeer beperkt meebewegen met de benutting van het project. Het kan hierbij gaan om de investeringskosten aan het begin van een project (sunk cost), zoals de kosten van het aanleggen van een weg, maar ook om vaste kosten tijdens de looptijd, zoals vaste exploitatiekosten en vaste onderhoudskosten.

3.3.2 Prijspeil

Alle effecten zijn gewaardeerd in constante prijzen van het basisjaar 2018. Constante prijzen houdt in dat prijzen worden gecorrigeerd voor de inflatie. De waardering van effecten kan in de tijd echter afwijken van de gemiddelde inflatie. Zo gaan de WLO-scenario's uit van een stijging van de reële elektriciteitsprijs (de prijs gecorrigeerd voor inflatie).

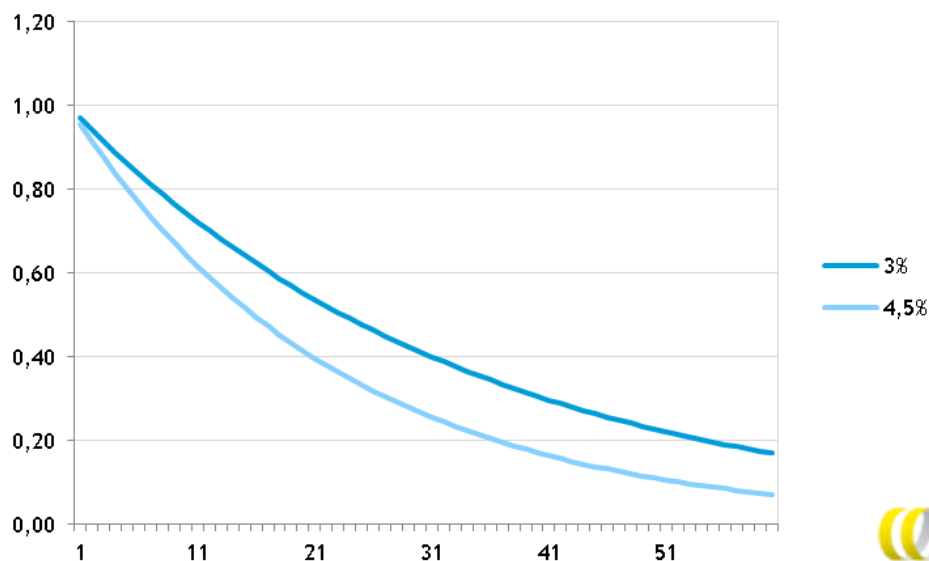
3.3.3 Tijdsperiode

Het is aanbevolen om voor de MKBA een oneindige tijdsperiode te hanteren, om de (milieu)effecten op lange termijn goed tot uitdrukking in het welvaartssaldo te laten komen (CE Delft, 2017b). Binnen de kerngroep is aangegeven dat dat een periode van 50 jaar de voorkeur geniet. Met deze periode kan concreter invulling aan de twee projectalternatieven worden gegeven en neemt de onzekerheid af.

Figuur 4 geeft een illustratie van het belang van een oneindige tijdsperiode. Hierin wordt de huidige waarde van een toekomstige euro afgezet in de tijd. Bij een discontovoet van 3% telt 1 euro baat over 50 jaar nu voor 23 eurocent mee. Bij een discontovoet van 4,5% is dit 10 eurocent na 50 jaar. De resterende 10 eurocent die een euro over 50 jaar nu waard is bij een discontovoet van 4,5% valt goeddeels binnen de onzekerheidsmarge van andere factoren.

De periode voor de MKBA is 2018-2068.

Figuur 4 - Discontering van 1 euro bij 3 en 4,5% discontovoet



3.4 Vraag en aanbod in de projectalternatieven

Wij hebben in de scopingfase op basis van de gesprekken en beschikbare haalbaarheidsstudies een overzicht gemaakt van een mogelijke invulling van vraag en aanbod van CO₂. Daarbij is gekeken naar de meest voor de hand liggende bronnen die een dergelijk net kunnen voeden en mogelijke afnemers aan de vraagkant. De invulling van de projectalternatieven is dus niet gebaseerd op een businesscase of uitgewerkte marktanalyses.

3.4.1 Vraag

In Tabel 3 geven we een overzicht van de CO₂-vraag in de eindsituatie vanuit de verschillende sectoren in het levergebied van het CCU Smart Grid. Hierna gaan we nader in op de onderbouwing van deze vraag per sector.

Tabel 3 - Overzicht van de vraag (eindsituatie) naar CO₂, in miljoen ton (Mton)

	Nulalternatief	Alternatief: CCU	Alternatief: CCU+CCS
Glastuinbouw	0,6	1,2	1,2
Bouw	0	0,1	0,1
Methanol	0	1	1
CCS	0	0	1
Totaal	0,6	2,3	3,3

Noot: Alternatief CCU+CCS is onderdeel van een grotere CCS-infrastructuur.

Bron: Eigen berekening CE Delft.

Glastuinbouw

Vanuit de glastuinbouw wordt een afzetpotentieel verwacht van 1,2 Mton (bron: LTO Glaskracht). Dit betreft de vraag naar externe CO₂ vanuit de tuinbouwareaal in Noord-Holland en Zuid-Holland. Dit gebied wordt voor deze studie als het maatgevende potentieel voor OCAP-gebied gezien. Deze berekening is gebaseerd op de ambitie om in 2040 klimaatneutraal te worden. Voorwaarde om klimaatneutraal te worden is dat CO₂-voorziening wel geregeld is. Uitgangspunt is daarom dat in 2030 de CO₂-behoefte in 2030 gedekt moet zijn⁶.

Door een daling van het areaal zal echter de CO₂-vraag af nemen (zie WLO-scenario⁷). Aan de andere kant gaat het LEI (WEER) ook uit van intensivering van teelten (met name meer belichting) waardoor de CO₂-vraag juist toeneemt. De onderliggende aanname in berekening van 1,2 Mton is dat de effecten op de vraag van beide trends (intensivering en afnemende arealen) elkaar compenseren. In het nulalternatief is een groei voorzien tot 0,6 Mton waarin de per 31 december 2017 getekende leveringscontracten zijn opgenomen. De vraagtoename is dus 0,6 Mton vanuit de glastuinbouw. Een groot deel van deze vraag heeft betrekking op het zomerseizoen.

Bij gebruik van CO₂ in kassen moet rekening gehouden worden dat de CO₂ grotendeels de ramen uit gaat door ventilatie en er wordt slechts een klein deel vastgelegd in planten. Daarom zet de sector zich ook in om (o.a. via Het Nieuwe Telen) de benutting van CO₂ te verhogen door het ventilatieverlies te beperken. Daarnaast komt de vastgelegde CO₂ in planten op afzienbare termijn ook weer vrij in de lucht door vertering van de producten (kortcyclische CO₂). Oftewel de CO₂ die vastgelegd wordt in groentes en planten kan niet gezien worden als CO₂-emissiereductie.

De glastuinbouw maakt over het algemeen gebruik van aardgas om (naast warmte en elektriciteit) ook in hun CO₂ behoefte te voorzien. Als de glastuinbouw externe CO₂, dan wordt daarmee direct minder aardgas gestookt. Dit geldt m.n. in de zomer als er weinig warmtevraag is vanuit de kassen, maar juist wel veel CO₂ doordat er veel licht is (planten groeien dan immers harder).

Bouw

Op dit moment is er geen of een beperkte markt voor toepassing van duurzame bouwmaterialen waarin CO₂-chemisch gebonden wordt. De huidige duurzaamheid en mate van CO₂-binding wordt nauwelijks financieel gewaardeerd in aanbesteding of op de woningbouwmarkt⁸. Het produceren van bouwblokken met CO₂ erin gebonden zitten op dit moment in de innovatiefase, alhoewel al wel concreet toegepast in enkele productielocaties in het Verenigd Koninkrijk (TRL-9). Dat maakt het vooralsnog moeilijk om de investeringen in nieuwe fabrieken terug te verdienen en een goede businesscase op te bouwen. Op dit moment zijn diverse partijen in Nederland op kleine schaal aan het experimenteren met nieuwe procedés om CO₂ te binden in kalkzandsteen (verhitting kan daardoor achterwege blijven). Naar verwachting kan dit procedé binnen enkele jaren op industriële schaal worden toegepast, mits er voldoende vraag ontstaat naar de duurzame bouwblokken.

⁶ Daarbij zit ook dat de energievraag in de zomer het laagst is en dus ook het eerst door besparing of duurzame energie ingevuld wordt, terwijl de vraag voor CO₂ dan het hoogst is.

⁷ Voor de tuinbouw wordt uitgegaan van een afname van het areaal. In Laag is dit 30%; in Hoog 10%. Verder neemt de energievraag af door efficiencyverbeteringen (5% in Laag en 20% in Hoog).

⁸ Dit kan door waardering van de duurzaamheid in de aanbesteding bv. via de MKI-score van bouwmaterialen. Daarmee kan een korting ontstaan voor duurzame aanbieders in de aanbesteding van publieke werken. Voor de private markt (woningbouw) zullen eisen via het Bouwbesluit moeten worden afgedwongen.

In het projectalternatief is ervan uitgegaan dat vanaf 2021 een of enkele productievestiging(en) operationeel kan (kunnen) worden met een vraag van in totaal 0,1 Mton. De typische omvang van de afname van CO₂ ten behoeve van van een steenfabriek wordt geschat op 50-100 kton CO₂. Een steenfabriek kan in twee à drie jaar tijd gebouwd worden. Voorwaarde is dat een dergelijke productie-locatie gevestigd wordt in het OCAP-leveringsgebied.

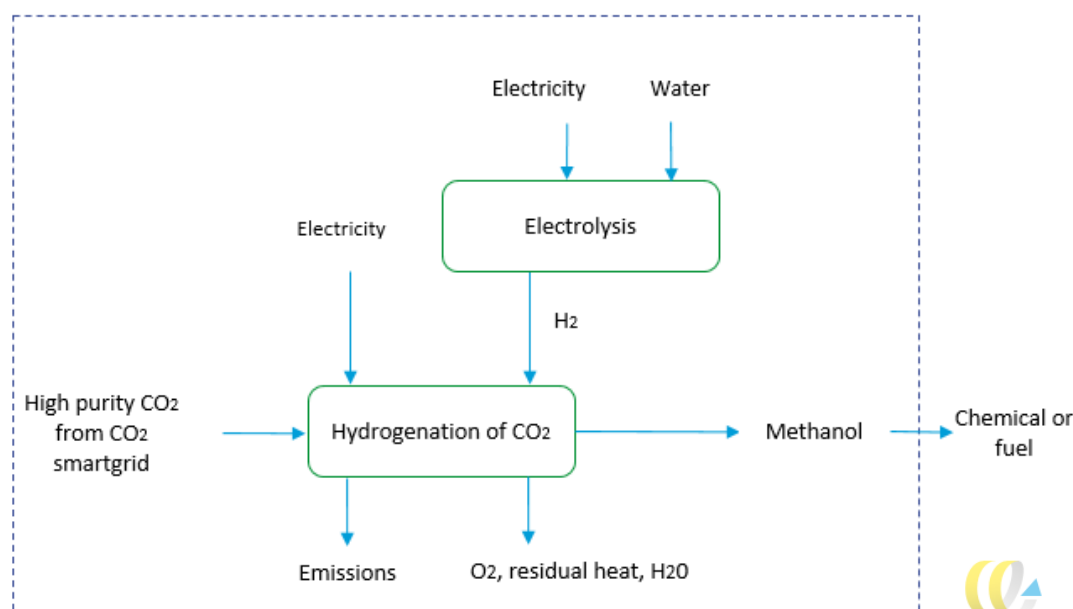
Methanol

Volgens Ecofys bedraagt het Nederlandse marktpotentieel voor CO₂-gebaseerd methanol binnen tien jaar 0,2 Mton (Ecofys, 2017). Echter realisatie van een typische methanol plant betreft 1-3 Mton (Dahl, et al., 2014). Bij de methanolproductie wordt de zuivere CO₂ gehydrogeneerd met afzonderlijk geproduceerde waterstof. Deze waterstof in de bestudeerde CCU-route wordt geproduceerd door elektrolyse: het proces waarbij elektriciteit wordt gebruikt om water in waterstof en zuurstof te splitsen. In de LCA-studie (CE Delft, 2018) wordt de productie van methanol uitgewerkt op basis van een fossiele brandstofmix en op basis van direct gekoppelde hernieuwbare energie.

Elektrolyse is een proces dat veel stroom kost. Het ligt voor de hand hiervoor overschotten aan hernieuwbare elektriciteit in te zetten. Deze stroom is beschikbaar op momenten dat het hard waait of er veel zon is, maar weinig vraag naar elektriciteit. Een methanolfabriek zoekt daarvoor locaties dicht bij zowel bronnen of leidingen die zuivere CO₂ leveren en nabij een fysiek aansluitpunt van energiecentrales die hernieuwbare stroom opwekken.

Belangrijk is of de methanol gebruikt wordt als brandstof of als grondstof. In het eerste geval komt de CO₂ van fossiele oorsprong weer vrij in de atmosfeer. In het geval van grondstof wordt de CO₂ vastgelegd indien de producten circulair zijn.

Figuur 5 - Overzicht van procesrelaties bij methanolproductie



Bron: (CE Delft, 2018).

3.4.2 Potentieel aanbod

Binnen het huidige leveringsgebied is geïnventariseerd welke potentiële capaciteit van bronnen beschikbaar is bij belangrijke emittenten van CO₂. Er is gekeken naar de grootte en locatie van de bronnen, voornamelijk om er voor te zorgen dat de gekozen bronnen aansluiten op de potentiële vraag vanuit de belangrijkste CO₂ vanuit CCU en CCS. Tabel 4 geeft een overzicht van het potentiële aanbod.

In de huidige levering van CO₂ wordt thans voorzien door de bio-ethanolfabriek van Alco (tweede bron) en de raffinaderij van Shell Pernis (eerste bron). Een deel van 1 Mton CO₂ die bij dit proces vrij komt is bestemd voor voedingsmiddelenindustrie, het overige deel is in gasvormige toestand bestemd voor het CCU net. Deze huidige bronnen kunnen met beperkte extra investeringen een potentieel jaarvolume van 1,5 Mton leveren, omdat maximale capaciteit voor productie van waterstof van de plant nog niet bereikt is. De uitbreidingsinvesteringen zijn beperkt omdat de compressorcapaciteit al op pijl is. Voor Alco (bio-ethanol) betreft het een extra investering in compressoren. Met de AEB, AVR en Tata Steel komt het totaal aantal bronnen dat levert aan het netwerk uit op vijf. Het potentiële jaarvolume is ingeschat op 3,3 Mton.

Tabel 4 - Overzicht van de potentiële aanbod naar CO₂, in miljoen ton (Mton)

CO ₂ -bronnen	Potentiele aanbod CO ₂	Proces
Shell	0,75	Waterstof
Alco	0,75	Bio-ethanolfabriek
Tata	1	Bij diverse processen Tata (w.o. Hisarna)
AEB	0,5	Afvalverbranding
AVR	0,3	Afvalverbranding
Totaal	3,3	

Afvang bij Tata

Voor Tata is het potentieel voor CO₂-afvang sterk afhankelijk van wat nieuwe technologieën om staal te produceren. Hisarna is een kansrijke technologie die kan bijdrage aan een lagere koolstofvoet-afdruk van staal. Dit kan ruim 1 Mton aan potentieel af te vangen CO₂ opleveren. Hiervan is een pilot plant 'up and running'. Na deze pilot is de volgende fase het ontwerpen, bouwen en testen van een Hisarna-installatie op industriële schaal. De verwachting is dat deze rond 2023 op grote industriële schaal operationeel kan zijn. Daarnaast bestaan additionele ideeën binnen Tata voor potentiële afvang van 3-4 Mton. Deze zijn echter in een veel minder ver gevorderd stadium van ontwikkeling. Met deze technologie kan de hoeveelheid energie en de CO₂-uitstoot van een staalbedrijf met minimaal 20% worden gereduceerd (20% minder energiegebruik). De resterende stroom CO₂ is nagenoeg zuiver en voldoet volgens Tata aan het criterium 'capture ready'. Deze stroom kan dus relatief eenvoudig worden afgevangen en opgeslagen, en zou geschikt zijn voor CCU en voor CCS. Discussie is in welke mate de specificaties voor superkritisch (100% zuiver) worden gehaald die nodig zijn voor finale opslag onder de grond. Dat zal ook moeten blijken uit de piloting fase. In combinatie met afvang en opslag van CO₂ kan de uitstoot daarvan met minimaal 80% worden gereduceerd.

Het is op dit moment onduidelijk of Hisarna op industriële schaal toepassing zal vinden en wanneer. Dit zal van veel onzekere factoren afhangen. Echter ook in de case zonder Hisarna zijn bij Tata momenteel meer en minder makkelijk af te vangen rookgasbronnen (Hoogovens, cokesovens, energiecentrale). We nemen aan dat er een vergelijkbaar potentieel voor afvang beschikbaar zal blijven ook zonder doorgang van Hisarna. De afvangkosten zijn echter wel substantieel hoger (zie volgende paragraaf).

We nemen aan dat Hisarna er in WLO Hoog zal komen (scenario met internationale samenwerking, hogere groei en klimaatbeleid), terwijl dit niet het geval is voor WLO Laag (lage groei, veel internationale spanningen, beperkt klimaatbeleid).

3.4.3 Inzetvolgorde bronnen

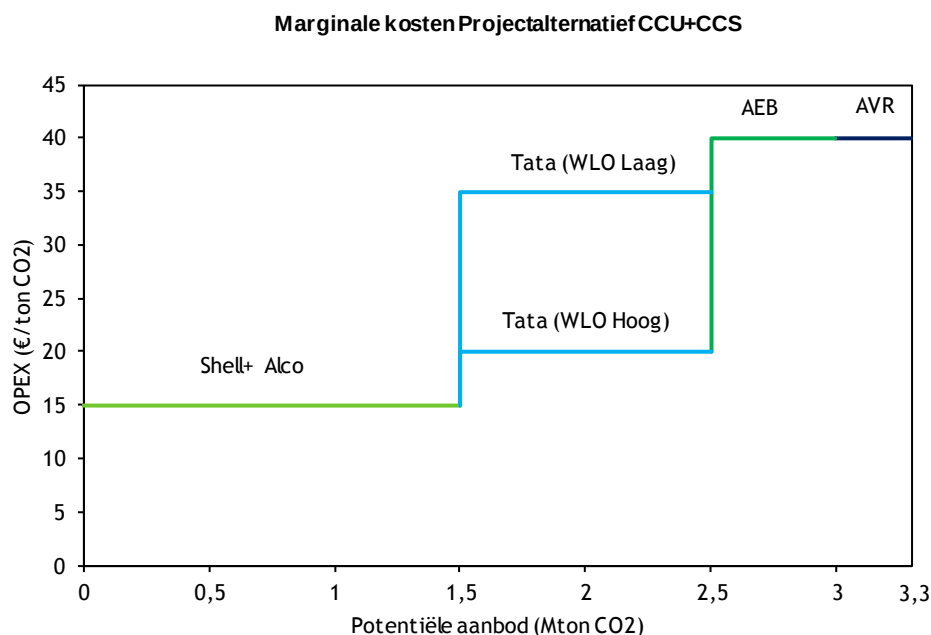
In het projectalternatief zullen vijf bronnen de CO₂-vraag bedienen. De inzetvolgorde (merit order) wordt bepaald door oplopende marginale kosten (OPEX) per bronnen. Met andere woorden de emittenten met de laagste kosten om CO₂ af te vangen/scheiden uit het proces zijn bepalend voor gemiddelde kostenniveau om aan de vraag te voldoen.

Naast optimalisatie op kosten kunnen ook andere overwegingen een rol spelen zoals de kwaliteit van CO₂, leveringszekerheid van de bron en de vraag of deze van biogene oorsprong is. Voor tuinders kan CO₂ een belangrijke bijdrage leveren aan het verduurzamen van zowel de warmte als de ingezette grondstoffen (CO₂). Daarnaast kan het bijvoorbeeld zo zijn dat AVR en AEB sneller in staat zijn om aan het net te leveren. Indien andere allocatiecriteria dan kostenoptimalisatie worden gehanteerd zal dit ook tot een andere inzetvolgorde en kostenprofiel leiden, waarbij de afvalverbranders een groter aandeel van de benodigde CO₂ gaan leveren. Het merendeel van de CO₂ van afvalverbranders is van biogene oorsprong.

Omdat we voor het leidingennetwerk uitgaan van transport in de gasfase met een jaar capaciteit van rond de 3 Mton dient de CO₂ tot 40 bar gecompriëerd en aangeleverd te worden. In deze studie worden de kosten van transport en opslag berekend per ton opgeslagen CO₂. Een kleinere hoeveelheid kan voor relatief lage kosten worden afgevangen (15 tot 30 euro per ton, schatting onderzoekers), doordat de CO₂ al relatief puur vrijkomt uit het proces. In die gevallen hoeft de CO₂ meestal alleen nog maar gedroogd en gecompriëerd te worden. De afvangkosten bij AEB en AVR zijn hoger ingeschat vanwege de aanvullende stappen die noodzakelijk zijn voor zuivering, drogen en compressie.

In WLO Hoog zal Tata Steel het productieproces (Hisarna) in 2023 veranderen, waardoor de CO₂ veel makkelijker af te vangen is. De aanname die hier gemaakt is op basis van informatie van Tata is dat deze stroom zuiver en 'capture ready'. De kosten voor levering aan het net zijn hierdoor relatief beperkt. Deze liggen rond 35 euro/ton afgevangen in het WLO Lager-scenario waarbij de bestaande rookgassen veel lastiger af te vangen zijn. Voor de inzetvolgorde en marginale kosten heeft Hisarna dus geen gevolgen, aangezien afvangen bij de AVI's naar verwachting duurder zal zijn. Echter wel voor de gemiddelde kosten die in WLO Laag hoger zullen liggen dan in WLO Hoog.

Figuur 6 - Afvangkosten per ton afgevangen CO₂ voor verschillende bronnen in de projectalternatieven



Bron: CE Delft, eigen inschatting.

3.4.4 Verwachte aanbod-vraag

Levering van CO₂ is uiteindelijk een markttransactie tussen de leverancier en afnemer.

In Tabel 5 laten we de vraag en het aanbod *op jaarbasis* zien in de situatie van maximale capaciteitsbenutting (2030) waarbij allocatie van de bronnen aan de vraag plaatsvindt op basis van minimalisatie van marginale kosten. Hierin zijn alle seizoenfluctuaties in de vraag vanuit de tuinbouw gematched aan het aanbod. In Bijlage B is vanuit een 4 maand-periode gekeken welke bronnen nodig zijn om de seizoensgebonden vraag te leveren.

Tabel 5 - Overzicht matching vraag en aanbod CO₂ in de eindsituatie (2030), Mtonnen

CO ₂ -bron	Nulalternatief	Alternatief: CCU	Alternatief: CCU+CCS
Shell	0,3	0,75	0,75
Alco	0,3	0,75	0,75
Tata		0,6	1
AEB		0,1	0,4
AVR		0,1	0,4
Totaal	0,6	2,3	3,3



De volgende uitkomsten vallen op:

- Het aanbod met de laagste marginale kosten zal als eerste worden ingezet (merit order). Doordat Tata (WLO Hoog, Hisarna) en (WLO Laag, afvang in het bestaande proces bij Tata) pas in 2023 in werking komt, zal vraag ten eerste door Shell en Alco worden geleverd (ieder voor de helft).
- Vanaf 2030 zal ook de methanolfabriek CO₂ afnemen. Met de komst van de methanolfabriek zal 1 Mton extra vraag geleverd worden door de bronnen Shell, Alco, Tata, AVR en AEB (2,3 Mton). Dit laatste hangt overigens niet van de WLO-scenario's af.
- AEB en AVR zullen als bronnen met hogere OPEX een bijdrage leveren nadat de andere zijn ingeschakeld⁹.
- Voor het alternatief CCU+CCS is de totale vraag (inclusief CCS) gelijk aan de maximale capaciteit van het leidingnet (3,3 Mton).

Wij benadrukken dat de inzetvolgorde een cruciale parameter is voor de kosten. Indien gekozen wordt voor bijvoorbeeld de wens om CO₂ uit *biogene bronnen* in te voeden, dan leidt dit tot een andere inzetvolgorde en daarmee hogere kosten.

Indien de CO₂ weer vrijkomt bij gebruik van de producten waarin het is vastgelegd zal voor de maatschappelijke kosten daar rekening mee worden gehouden (Paragraaf 3.5).

3.5 CO₂-prijs

We maken een onderscheid tussen de prijs van extern geleverde CO₂ ten behoeve van gebruik als grondstof in productieprocessen en de maatschappelijke waarde van het vermijden van uitstoot van CO₂ die ontstaat doordat een ton afgevangen CO₂ wordt geleverd bij de betreffende gebruikers-toepassing. Hiermee wordt bij de gebruiker CO₂-uitstoot vermeden bijvoorbeeld door het achterwege laten van het verhittingsproces bij kalkzandsteen of door het vermijden van zomerstook bij de tuinder. De geleverde ton CO₂ vervangt echter niet 1-op-1 de uitstoot in het productieproces. Dit is afhankelijk van de CCU- of CCS-toepassing. Zie Paragraaf 3.5.2 voor de analyse van kwantificering en waardering van deze CO₂-effecten.

3.5.1 Prijs van extern geleverde CO₂

De eerst betreft een marktransactie tussen koper en verkoper met een marktprijs die de bereidheid te betalen en leveren weerspiegelt. De transactie is de basis voor de financiële baten van de exploitant van het CCU Smart Grid. Met de opbrengsten probeert de exploitant zich een goede basis te verschaffen voor een sluitende businesscase om daarmee de investeringen te kunnen terugverdienen. Op dit moment is de prijs voor OCAP-CO₂ ongeveer tussen de 55 euro en 60 euro per geleverde ton CO₂. De CO₂ wordt door OCAP voor een prijs aangeboden die over het algemeen lager ligt dan de kostprijs van de huidige alternatieven voor de tuinder.

Vanwege de langjarige levercontracten en de latente vraag naar CO₂ vanuit bijvoorbeeld de tuinders is de verwachting dat deze prijs niet snel zal dalen. Marktactoren verwachten eerder dat deze prijs door stringenter klimaatbeleid en schaarste in de gasmarkt zal toenemen. In de MKBA gaan we conservatief vanuit dat de prijs voor extern geleverde CO₂ in de toekomst (reële prijzen) rond de huidige contract-prijzen (€ 57,50 per ton) zal liggen.

⁹ Voor het alternatief CCU verschilt de vraag dus per seizoen en zullen de AVI's in de zomer bij moeten schakelen om de totale vraag (1,03 Mton) te kunnen voorzien (zie Tabel 12 op bladzijde 34).

3.5.2 Waarde van vermeden CO₂

WLO-scenario's

De scenario's van de Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (WLO-scenario's) zijn ontwikkeld om op het gebied van de leefomgeving beleidsopgaven in beeld te kunnen brengen en beleidsmaatregelen te ontwikkelen. Dit zijn de scenario's die gebruikt worden als toekomstscenario's waarmee men projecteffecten inschat in de MKBA.

De projecteffecten van de alternatieven zijn in belangrijke mate afhankelijk van CO₂-prijzen. De prijzen worden voor een belangrijk deel bepaald door internationale onzekerheden over klimaat en energie. Daarom wordt in deze MKBA met twee uiteenlopende achtergrondscenario's gewerkt. Dit zijn de WLO-scenario's Hoog en Laag van CPB en PBL (CPB ; PBL, 2015). Door het gebruik van deze scenario's wordt een bandbreedte geschetst van uitkomsten bij verschillende toekomstige ontwikkelingen. De bandbreedte in de scenario's leidt tot verschillen in onder meer gasprijzen, CO₂-prijzen en elektriciteitsprijzen.

Het uitgangspunt van de WLO is dat het internationale klimaatbeleid op de lange termijn bepalend is voor het Europese klimaatbeleid en dat het Europese klimaatbeleid op zijn beurt bepalend is voor het Nederlandse klimaatbeleid. Het uitgangspunt bij de scenario's Laag en Hoog zijn de toezeggingen, 'pledges', die landen tijdens de VN-klimaatonderhandelingen hebben gedaan om broeikasgasemissies te verminderen.

Scenario Hoog

Scenario Hoog combineert een relatief hoge bevolkingsgroei met hoge economische groei. Hoog gaat uit van lage energie-prijzen voor olie, gas en kolen en van een snelle technologische ontwikkeling. CO₂-prijzen lopen op naar 160 euro in 2050. Hoog realiseert een broeikasgasemissiereductie van 65% ten opzichte van 1990. Emissiereductie komt langzaam op gang, maar versnelt na 2025. Dit komt onder meer door invoering van een wereldwijd emissiesysteem na 2030. Aanvullend klimaatbeleid wordt langzaam afgebouwd. De verwachte temperatuurstijging in dit scenario is 2,5 tot 3 graden.

Scenario Laag

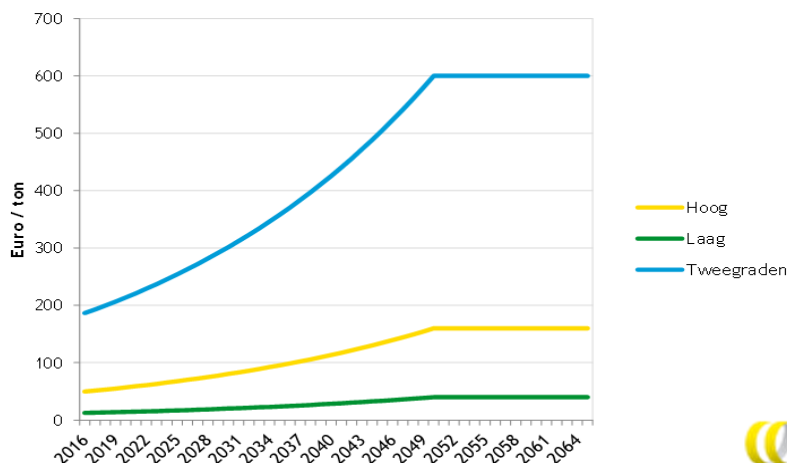
Scenario Laag kent een meer gematigde demografische ontwikkeling en een meer bescheiden economische groei. In dit scenario lopen geopolitieke spanningen op. Dit leidt onder meer tot een hogere olieprijs. Ook lukt het minder goed om internationale klimaatafspraken te maken. In Laag worden klimaatdoelstellingen naar beneden bijgesteld en blijft de reductie beperkt tot 40% in 2050. Dit zal bijdragen aan een verwachte temperatuurstijging van 3,5 tot 4 graden. CO₂-prijzen blijven relatief laag en lopen op tot 40 euro in 2050.

Gevoeligheidsanalyse: Tweegraden onzekerheidsverkenning

Naast de twee scenario's omvat de WLO ook aanvullende onzekerheidsverkenningen. Voor het thema 'Klimaat en Energie' is dit een tweegradenscenario. Dit scenario is een variant op Hoog. In dit scenario wordt een sterker klimaatbeleid gevoerd, waardoor de verwachte gemiddelde temperatuurstijging beperkt wordt tot twee graden. Hiervoor is een emissiereductie van 80-95% nodig. Dit leidt onder meer tot een sterke stijging van de CO₂-prijs, al op korte termijn. In de gevoeligheidsanalyse wordt het tweegradenscenario meegenomen.

Figuur 7 geeft een overzicht van de gehanteerde CO₂-prijzen voor *vermeden CO₂*.

Figuur 7 - Illustratie van de gehanteerde efficiënte prijspaden voor CO₂



Bron: (CE Delft, 2017b).

3.5.3 In hoeverre zijn beide CO₂-prijzen gecorreleerd?

Op dit moment is er nauwelijks sprake van internalisering van milieu en CO₂-kosten door CCU. CCU-toepassingen betreffen besparingsmogelijkheden die niet gedekt worden door enigerlei vorm van beleid. Een belangrijk instrument als EU ETS kent geen voorziening voor CCU (zie tekstkader), en het vastleggen van CO₂ in bouwmaterialen levert geen financieel voordeel op in GWW-aanbestedingen of wordt afgedwongen via bouwnormering in de particuliere nieuwbouw.

Daarnaast is er nauwelijks sprake van internalisering van CO₂-emissie in de energieprijzen voor de meeste energiegebruikers zoals industrie en glastuinbouw. Met andere woorden de huidige contractprijzen voor extern geleverde CO₂ zijn met name ingegeven door de marktoverwegingen (kwaliteit, leveringszekerheid, directe kosten ten opzichte van alternatief) voor het betreffende product. Marktpartijen kunnen hier dus geen milieubaten of uitgespaarde emissierechten mee verdienen. Er is op korte termijn niet voorzien dat deze lacune ingevuld gaat worden.

Dat kan in de toekomst veranderen, zeker in WLO Hoog waar CO₂-emissiehandel een economiebrede scope gaat krijgen en veel sectoren zullen deelnemen. De verwachte schaarste die hierdoor ontstaat, hebben we echter niet in de raming opgenomen van de CO₂-contractprijzen (constant verondersteld tussen 55-60 euro/ton). Met andere woorden: de toekomstige contractprijzen en emissiehandelsprijzen voor CO₂ kunnen worden gezien als niet-gecorrleerd. De financiële baten staan dus los van de maatschappelijke baten. Met andere woorden: dit zijn dus geen dubbeltellingen.

CCU in de emissiehandelsrichtlijn

Als momenteel CO₂ wordt geleverd vanuit een bron aan een andere gebruiker (niet binnen dezelfde inrichting) met een ander doel dan CCS is er geen mogelijkheid tot het uitsparen van CO₂-rechten. Deze uitwisseling is geen onderdeel van de EU ETS-richtlijn. De enige uitzondering is mineralisatie in het kalk-procede (calcium-carbonaat). Dat is op dit moment een geldige techniek om CO₂ te reduceren. Dit vindt echter in Nederland niet plaats.

Na 2021 verandert dit mogelijk, maar dat is nog niet duidelijk. Dit moet EU-breed worden afgesproken. Wel is duidelijk dat de Europese Commissie zeer huiverig is voor toepassen bij cross-sectoral flows of carbon omdat anders kunstmest ook als een CCU-technologie kan worden gezien en een heel grote emissiebron niet langer gereguleerd gaat worden. We gaan er daarom vanuit dat emittenten zowel nu als in de toekomst géén CO₂-rechten krijgt voor CCU.

4 Maatschappelijke kosten en baten

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de welvaartseffecten van de alternatieven beschreven per post. De directe welvaartseffecten bestaan uit eenmalige investeringskosten en jaarlijkse exploitatiekosten en de verkoopopbrengsten van de extern geleverde CO₂. Samen geven ze een beeld van de financiële exploitatie (businesscase). De maatschappelijke effecten zijn onder andere de bijdrage aan het tegengaan van klimaatverandering en de toename van werkgelegenheid. Deze zijn ingedeeld naar CO₂-baten, luchtkwaliteitsbaten en overige effecten. De effecten van de alternatieven zijn hier beschreven ten opzichte van de referentie (verschillenbenadering).

4.2 Algemene uitgangspunten

De algemene uitgangspunten van de MKBA zijn:

- De looptijd van de MKBA is 50 jaar (2018-2068).
- Het startjaar van de kosten en baten is begin 2018.
- De kosten en baten hebben als prijspeil 1 januari 2018.
- De discontovoet van de kosten en baten bedraagt 4,5%.
- De kosten en baten worden zowel op het geaggregeerd niveau gepresenteerd als op basis van kengetallenset per object.
- De kosten en baten worden gepresenteerd aan de hand van de effecten die bij de verschillende stakeholders optreden. Er is geen rekening gehouden met financieringskosten.

In dit hoofdstuk gaan we in op de uitkomsten en berekeningswijze per post.

4.3 Financiële effecten

In deze paragraaf gaan we in de financiële effecten voor de exploitant. De hier gepresenteerde financiële effecten zijn niet via uitgebreide engineering studies verkregen, maar gebaseerd op de gegevens die op dit moment beschikbaar zijn. Er is daarbij niet uitgegaan van een concreet ontwerpplan van het CCU-net.

4.3.1 Investeringskosten

In Tabel 6 en Tabel 7 presenteren we een overzicht van de investeringskosten in het projectalternatief CCU. Deze zijn afhankelijk van het gekozen scenario. In WLO Hoog (en Tweegradenvariant) is aangenomen dat Hisarna-technologie beschikbaar is bij Tata. Als gevolg hiervan is de CO₂-stroom van dit proces nagenoeg 'capture ready'. De resterende investeringskosten van 20 miljoen euro is bedoeld voor het op druk¹⁰ brengen van de afgevangen CO₂-stroom.

In WLO laag is Hisarna niet beschikbaar en zal er in het bestaande proces bij Tata CO₂ afgevangen moeten worden. Dat vereist een veel grotere investering in afvangtechnieken. Aangenomen is dat dit 125 miljoen euro bedraagt, gebaseerd op de bedragen bij AEB en AVR en op een afvangcapaciteit van tussen de 0,6 en 1 Mton.

¹⁰ Druk nodig voor finale opslag van CO₂-gas.

Voor de investeringen in AEB en AVR is een bedrag opgenomen in gasvormige afvang (linker kolom) inclusief een dag/nacht gasbuffer om nachtproductie overdag te kunnen leveren. Aan de afnemerszijde zijn enkele uitbreidingen voorzien in het CCU Smart Grid:

- investering van 35 miljoen in distributienetten langs de OCAP-leiding;
- investering van 48 miljoen voor vervloeiingsinstallaties en distributienetten, voornamelijk in 'mini netwerken' ten behoeve van satellietgebieden die niet aangesloten kunnen worden op de bestaande OCAP-leiding

Tabel 6 - Overzicht van de investeringskosten in projectalternatief CCU, WLO Hoog en tweegradenvariant (niet verdisconteerd)

	Afvang	Aansluiting op net (t.b.v. van levering)	Aansluiting op net (t.b.v. de bron)	Totaal
Shell	0			0
Alco	20			20
Tata	20		15	35
AEB	125		1,1	126
AVR	75		0,8	76
Distributienetten afnemers (gasvormig)		35		35
Distributienetten afnemers (inclusief vervloeiing)		48		48
Totaal investeringskosten	240	83	16,9	340

Tabel 7 - Overzicht van de investeringskosten in projectalternatief CCU, WLO Laag (niet-verdisconteerd)

Uitsplitsing CAPEX WLO Laag	Afvang	Aansluiting op net (t.b.v. van levering)	Aansluiting op net (t.b.v. de bron)	Totaal
Shell	0			0
Alco	20			20
Tata	125		15	140
AEB	125		1,1	126
AVR	75		0,8	76
Distributienetten afnemers (gasvormig)		35		35
Distributienetten afnemers (inclusief vervloeiing)		48		48
Totaal investeringskosten	345	83	16,9	445

Tenslotte zijn de investeringen voor het aansluiten van de bronnen AVR en AEB beperkt, aangezien tussen de 0,5-1,5 kilometer verwijderd liggen van de huidige OCAP-leiding. Voor Tata geldt dat de verbinding gerealiseerd kan worden met de OCAP-leiding door middel van hergebruik van de bestaande olietransportleiding van offshore naar het Amsterdamse havengebied. Volgens de studie van TNO (TNO, 2018) zijn er geen technische barrières bij hergebruik ten behoeve van CO₂. Het betreft nog wel een optie die verder onderzocht zou moeten worden (Gasunie en EBN, 2018). Uitgaande van hergebruik van de bestaande oliepijpleiding in het Amsterdamse havengebied is tussen de 5 en 15 kilometer extra te realiseren pijpleiding noodzakelijk ten behoeve van aansluiting van Tata. Zie Tabel 8.

Tabel 8 - Overzicht van investeringskosten aan de bronzijde (niet-verdisconteerd)

	Aantal km van OCAP tot bron	Kosten/km	Totaal	Type
Shell	0	0,75	0,0	Aansluiting
Alco	0	0,75	0,0	Aansluiting
Tata	10	1,5	15,0	Transportleiding
AEB	1,5	0,75	1,1	Aansluiting
AVR	1	0,75	0,8	Aansluiting
Totaal	12,5		16,9	Aansluiting

In het projectalternatief CCU+CCS zijn de investeringskosten gelijk aan het alternatief CCU, en komen daar bovenop de kosten voor de extra zuiveringsstap en compressie ten behoeve van opslag in lege aardgas- of olievelden. Tabel 9 geeft een overzicht van deze kosten. De kosten zijn gebaseerd op de studie van Gasunie en EBN (Gasunie en EBN, 2018). In het projectalternatief CCU+CCS wordt gebruik gemaakt van een fractie van de totale opslagcapaciteit uit het 'Low case'-scenario. Om die reden hebben wij aangenomen dat een tiende deel van de totale investering voor rekening komt van dit projectalternatief¹¹. In de gevoeligheidsanalyse rekenen we een variant door waarbij er geen groot-schalige infrastructuur in Nederland komt ten behoeve van CCS. Hierbij is de totale CAPEX voor transport en opslag dus voor rekening van het alternatief CCS+CCU.

Tabel 9 - Overzicht van investeringskosten in projectalternatief CCU + CCS (niet-verdisconteerd)

OCAP-CCS	CAPEX (€ miljoen) Low case	CAPEX (€ miljoen) projectalternatief	Start van bouw	Jaar operationeel
CAPEX offshore pijpleiding	419	41,0	2019	2022
CAPEX Compressor 5 MW	14,5	1,4	2019	2022
CAPEX hergebruik installaties opslag	133	13,0	2019	2022
CAPEX bouw nieuwe opslaginstallaties	428	41,8	2019	2022
CAPEX ontmantelingskosten	40	3,9		2068

4.3.2 Operationele kosten

De operationele kosten voor het projectalternatief CCU en CCU+CCS bestaan uit de kosten voor afvang van CO₂ bij de bronnen. De kosten van CO₂-afvang zijn in het algemeen de dominante kosten binnen de totale kosten voor afvang, transport en opslag (Gasunie en EBN, 2018). Hoe puurder de CO₂ bij de bron vrijkomt, hoe lager de afvangkosten voor CO₂. Naast een eventuele zuiveringstap, zijn de compressiekosten een belangrijk onderdeel van de OPEX. Aangenomen is dat de bronnen aan het leveren op basis van oplopende marginale kosten (zie Paragraaf 3.4.3). Voor het transport en runnen van het gehele Smart Grid is een kostendekkende vergoeding van 10 euro per geleverde ton gerekend.

In het projectalternatief CCU+CCS zijn additionele operationele kosten van compressorstations bij injectie in aquifers meegenomen bij de kosten van transport en/of opslag (3 euro/ton). Daarnaast is de OPEX nodig voor een verscheidenheid aan zaken, zoals inspecties, algemeen onderhoud en specifiek onderhoud (0,7 euro/ton). Tenslotte is er een bedrag nodig voor de opslag (1,6 euro/ton). In totaal gaat het om circa 6 euro/ton (zie Tabel 10).

¹¹ Ca. 46 Mton/476 Mton CO₂ opgeslagen.

Tabel 10 - Overzicht kosten voor transport en opslag van CO₂ in projectalternatief CCU+CCS (niet verdisconteerd)

	€/ton
Onderhoud en inspectie	0,7
Transport	3,0
Opslag	2,2
Totaal CCS	5,9

4.3.3 Exploitatiebaten

De exploitatiebaten zijn de opbrengsten van de exploitant voor de levering/verkoop van de CO₂ aan de verschillende afnemers. In deze studie is aangenomen dat de huidige contractprijs, tussen de 55 euro en 60 euro per ton geleverde CO₂ een goede representatie is van de toekomstige prijs van CO₂ als grondstof in de diverse processen. Wij hebben geen nader onderzoek gedaan naar de business-cases op afnemerniveau. Het is aannemelijk dat de businesscases voor de CCU-toepassingen mineralisatie en methanol in de nabije toekomst in Nederland rendabel worden. In Duitsland (BASF) en UK (Carbon 8) zijn hiertoe de eerste businesscases uitgewerkt, en is gestart met de bouw van een methanolfabriek door BASF. De tuinbouw is al bereid tegen deze CO₂-prijs af te nemen. Op dit moment wordt door direct betrokkenen aangegeven dat tegen de huidige prijs er een aanzienlijke latente vraag bestaat vanuit de glastuinbouw naar externe CO₂ met voldoende leveringszekerheid. Door klimaatbeleid in de glastuinbouw zal deze vraag sterk toenemen.

De exploitatiebaten dienen dus gezien te worden als de opbrengsten voor afvang, transport en levering van CO₂ onder de voorwaarden van sluitende businesscases aan de afnemerszijde. De exploitatiebaten bedragen 1,2 mld. euro (CW). Deze zijn in beide projectvarianten CCU en CCU+CCS aan elkaar gelijk¹².

4.4 Vermeden CO₂-reductiekosten

Door CO₂ te leveren aan potentiële afnemers kan het CCU Smart Grid een bijdrage leveren aan het vermijden van uitstoot van CO₂. Dat kan direct doordat CO₂ permanent vastgelegd (chemisch gebonden) wordt. Denk hierbij bijvoorbeeld aan bouwproducten als beton en kalkzandsteen. Omdat de CO₂ dan alleen bij zeer hoge verbrandingstemperaturen kan vrijkomen, kan aangenomen worden dat deze bouwproducten een nagenoeg zekere opbergplek vormen voor CO₂. Daarnaast kan het leveren van deze gassen aan bijvoorbeeld de tuinbouw leiden tot vermijden van fossiel energiegebruik bij andere productieprocessen (indirecte reductie). Tenslotte kan CO₂ de grondstof vormen voor brandstoffen die weer kunnen dienen als feedstocks voor chemische producten. Kortom, er zijn talrijke CCU-toepassingsroutes met elk verschillende afslagen, splitsingen en 'B-wegen', en het hangt per toepassing af hoe de koolstofvoetafdruk van de gehele keten uitpakt.

De levering van CO₂ als grondstof voor andere processen leidt echter niet één-op-één tot een even grote vermindering van de ketenuitstoot. Sterker nog sommige processen kunnen dermate energie-intensief zijn dat de koolstofvoetafdruk van de CCU-toepassing per saldo negatief uitpakt. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn voor methanolproductie dat enorme hoeveelheden stroom vergt. Alleen indien deze stroom in voldoende mate hernieuwbaar is opgewekt, kan over de gehele keten een CO₂-voordeel ontstaan. Hierbij dient dan nog rekening te worden gehouden met het energiegebruik van het onder druk brengen en transporteren van de gassen. In Tabel 11 is een overzicht opgenomen van de gehanteerde voetafdrukfactoren voor de hier onderzochte CCU-routes. Een 'plus' geeft aan dat er

¹² De opbrengsten van transport en opslag van CO₂ in lege aquifers is hier meegerekend onder klimaatbaten.

netto-reductie plaatsvindt over de gehele keten, een 'min' geeft aan dat de CCU-route leidt tot netto extra uitstoot.

Tabel 11 - CO₂-besparing (in ton) per ton afgevangen en geleverde CO₂

CO ₂ -bron/CO ₂ -verbruiker	Tuinders		Bouw	Methanol		CCS
	Zomerstook met gasketel	Huidige situatie		Hernieuwbaar (100% hernieuwbare stroom)	Grijs	
Shell (fossil oil refining) + Alco (bio-ethanol production)	0,947	0,5	1,041	0,465	-1,6	0,847
Tata (blast furnace)	0,856	0,45	0,95	0,375	-1,69	0,756
AEB+AFV	0,838	0,44	0,931	0,356	-1,7	0,738

Bronnen: (CE Delft, 2018).

Te zien is dat de methanolroute voor de chemische industrie sterk afhangt van de ingezette stroom-mix. De netto-emissiereducties zijn zelfs negatief bij een gemiddeld park, terwijl bij 100% toerekening van hernieuwbaar aan deze route een reductie oplevert over de gehele keten. Echter ook dan zien we dat de CO₂-voetafdruk aanzienlijk minder gunstig is dan die voor mineralisatie van CO₂ in bouw-producten. De tuinbouw zit hier tussen in, waarbij de voetafdruk afhankelijk is van de wijze waarop toerekening plaatsvindt aan het gasverbruik in de zomer (referentie gasgebruik ten behoeve van CO₂-dosering). Dit is sterk afhankelijk van de teeltwijze en gewas, of er met een ketel verwarmd wordt of met een WKK (en op welke wijze deze ingezet worden voor eigen stroom, levering aan het net en warmte-opwek)¹³.

Referentie tot 2068

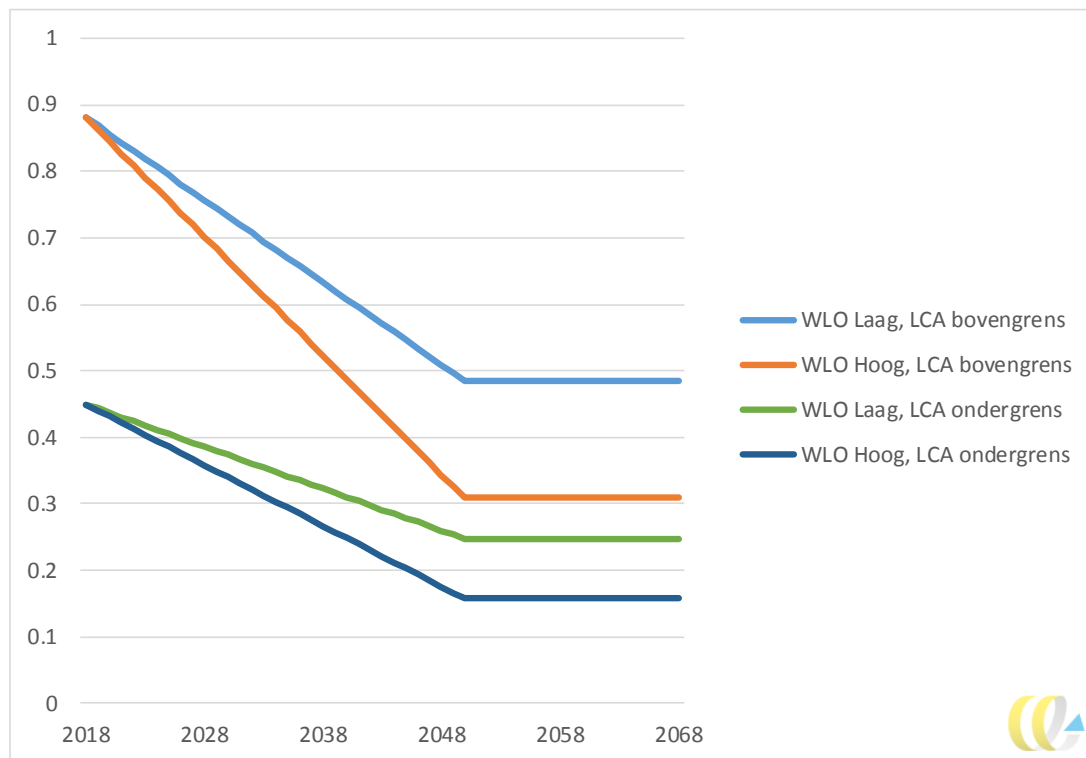
De onderliggende referentie voor deze factoren in de tuinbouw is de huidige situatie. Echter de glastuinbouw heeft de ambitie om van het aardgas af te gaan en daarbij alternatieve warmtebronnen in te zetten. Dit betekent dat in 2040 er geen fossiel energieverbruik meer kan worden toegeschreven aan gewasdosering. Belangrijker nog de geleverde CO₂ uit de industrie in het net dient van *biogene oorsprong* (biomassa) te zijn. Immers de industrie zelf moet ook van fossiele koolstoffen af als grondstof voor chemische producten.

In de MKBA wordt het transitietempo echter gedictieerd door de achtergrondscenario's WLO Laag en Hoog. Het transitietempo varieert hierbij tussen redelijk snel in Hoog (2050: -65%) en traag in Laag (2050: -40%), en is niet voldoende om voor 2050 volledig te vergroenen. Dit impliceert dus dat er ook in 2050 nog een (inmiddels gereduceerd) CO₂ voordeel in de CCU-toepassing in de glastuinbouw aanwezig zal zijn. De ontwikkeling van de voetafdruk van de glastuinbouw volgens WLO Hoog en Laag is weergegeven in Figuur 8. CO₂ blijft echter een randvoorwaarde om verder te verduurzamen voor de glastuinbouw.

¹³ Een van de LCA-cases is gebaseerd op huidige praktijkgegevens afkomstig van LTO Glaskracht. Bij OCAP is ca. 440 Kton geleverd aan 2.000 ha glastuinbouw in 2015. Door de CO₂-levering wordt gemiddeld 7 m³ aardgas/m² per jaar bespaard (Van der Velden & Smit, 2016) en Discussienotitie CO₂-emissiereductie bij CO₂-levering aan glastuinbouw vanuit afvalenergiebedrijven, Bijl. 4. Dat betekent dan een CO₂-emissiereductie van 7 x 1,78 (1 m³ aardgas bevat 1,78 kg CO₂) x 2.000 ha x 10.000 m² = 249.000.000 kg CO₂-emissiereductie. Dat komt neer op grofweg een reductiefactor van een 0,5.



Figuur 8 - Ontwikkeling van de gemiddelde CO₂-voetafdruk van de glastuinbouw in WLO-Laat en WLO Hoog



Van CO₂-voetafdruk naar CO₂-baten

De bespaarde CO₂-uitstoot is gewaardeerd tegen een efficiënte CO₂-prijs. In de WLO-systematiek is in elk scenario uitgegaan van een CO₂-uitstootbudget voor de rest van de eeuw en een daaraan gekoppelde uitstootreductie. Bij de efficiënte prijzen wordt de vastgelegde uitstootreductie op een zo kostenefficiënt mogelijke manier bereikt. Een maatregel, zoals het CCU-net, levert in de WLO-systematiek geen netto CO₂-reductie op. Wel levert het netto een kostenreductie op: door de maatregel hoeven er geen andere maatregelen te worden genomen. De waarde van deze kostenreductie is gelijk aan de bespaarde CO₂-uitstoot maal de efficiënte prijs (Zie Figuur 7) (zie CPB ; PBL, 2016). In WLO Hoog loopt de CO₂-prijs op tot 160 euro in 2050; in WLO laag is dit 40 euro. In de tweegraden-variant (zie gevoeligheidsanalyse) begint de prijs bij 180 euro en loopt deze op naar 600 euro per ton. Na 2050 veronderstellen we een constante CO₂-prijs.

In de projectalternatieven zijn de klimaatbaten de grootste post (na de exploitatiebaten voor de exploitant), maar sterk afhankelijk van de aannames over de beschikbaarheid van hernieuwbare stroom voor methanolproductie. Aangezien bij grijze stroom de CO₂-voetafdruk negatief uitpakt draagt deze CCU-route negatief bij aan het overall saldo van beide projectalternatieven, ondanks oplopende CO₂-prijzen in het achtergrondscenario's. Indien methanolproductie met hernieuwbare stroom (met directe aansluiting van de fabriek aan het windpark) gerealiseerd kan worden dan zijn de klimaatbaten veel gunstiger, waarbij voorkomen moet worden dat er dubbeltellingen plaatsvinden omdat de productie van windelektriciteit al is ingeboekt als klimaatmaatregel.

4.5 Overige emissies

Naast CO₂-emissies dragen de warmtealternatieven bij aan vermindering van overige lucht-verontreinigende emissies via de besparing op gasinzet bij bijvoorbeeld de tuinders ten behoeve van de conventionele warmtevoorziening. Daarmee wordt een bijdrage geleverd aan de verbetering van luchtkwaliteit, zowel in het 'binnenmilieu' van de kassen als aan luchtkwaliteit van het 'buitenmilieu'. Bij aardgasstook komt er geen fijnstof vrij, waardoor het waarden hiervan niet nodig is (Gasunie, 2011). We hebben daarom alleen naar NO_x-emissies gekeken.

Om de besparing van NO_x-emissies te kwantificeren werd een gemiddelde emissiefactor van 16 g/GJ in 2018 gebruikt voor gasgestookte WKK's en ketels in de glastuinbouw op basis van TNO (TNO, 2014).

Milieubaten zijn berekend door de uitstoot per alternatief te vermenigvuldigen met de milieuprijzen voor de desbetreffende emissies. Anders dan bij de CO₂-baten is de schaduwprijs voor de uitstoot van luchtvervuilende emissies constant verondersteld. Milieuprijzen komen uit het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017a) zie Tabel 12. In de analyse is gerekend met de centrale waarde uit het handboek.

Tabel 12 - Milieuprijzen in €/2015/kg emissie voor gemiddelde NO_x-emissies in Nederland

Milieuprijzen	Onder	Centraal	Boven
NO _x	24,1	35	53,7

Bron: (CE Delft, 2017a).

Als gevolg van de besparing op aardgasstook ten behoeve van gewasdosering vindt een reductie plaats van 98.000 kilogram aan NO_x in 2018, oplopend naar het dubbele in 2030 bij volledige benutting van extern geleverde CO₂. Dit geldt in beide projectalternatieven. De gemonetariseerde baten (niet-verdisconteerd) bedragen rond de 3,4 miljoen euro in het startjaar en lopen op naar 6,8 miljoen euro in 2030. Dit betreft een bescheiden deel ten opzichte van de CO₂-baten.

4.6 Regionale economische effecten

Investerings in CCU- en CCS-oplossingen kunnen leiden tot extra arbeidsvraag, maar niet alle effecten op de arbeidsvraag leiden in de MKBA tot extra welvaart. Voor de arbeidsmarkt geldt dat alleen veranderingen in bestaande marktimperfecties kunnen leiden tot additionele welvaarteffecten. De extra banen in de alternatieven kunnen namelijk leiden tot verdringing van andere banen, elders in de regio. Dit wordt vooral verwacht bij banen voor hoogopgeleiden. Ofwel, als deze werknemers niet werken aan de realisatie van CCU- en CCS-oplossingen, gaan ze wel elders in de regio aan de slag. In dat geval wordt geen extra welvaart gecreëerd. Bij creatie van banen voor laag en middelbaar opgeleide werknemers kan sprake zijn van extra vraag, maar zal ook hier per arbeidsmarktsegment gekeken moeten worden in hoeverre met de extra vraag werklozen geholpen kunnen worden aan een extra baan. De huidige situatie op de arbeidsmarkt voor de bouw laat zien dat het werkloosheidspercentage snel naar beneden kan gaan.

Door CCU en CCS kan de concurrentiepositie van het havengebied en het tuinbouwcluster in het Westland, de B-driehoek en Aalsmeer verbeteren. Door de verbeterende concurrentiepositie van het havengebied kunnen nieuwe bedrijven zich vestigen. Externe CO₂-levering stelt de tuinbouw in staat de transitie naar een klimaatneutrale glastuinbouw te realiseren. Er zijn slechts een beperkt aantal serieuze alternatieven denkbaar voor gewasdosering. De clustering van bedrijven in gebieden kan dan voordelen opleveren in termen van een efficiënt gebruik van collectieve infrastructuur voor zowel CO₂ als voor warmte. Dat kan schaalvoordelen opleveren, waardoor de kosten per geleverde ton CO₂ en

warmte uiteindelijk verder kunnen dalen. Dat levert concurrentievoordelen ten opzichte van andere (glas)bouwgebieden. Dit kan mogelijk ook voor andere afnemers gelden zoals de bouw (mineralisatie) en syngasproductie, echter dit is op dit moment nog in hoge mate onzeker.

Tenslotte is CO₂-levering aan de glastuinbouw ook cruciaal voor het voortbestaan van de sector in een klimaatneutrale wereld in 2040. Zonder CO₂-levering verliest de sector zijn bestaansrecht verdwijnt grotendeels naar het buitenland. In de WLO-scenario's ligt het transitietempo echter aanmerkelijk lager dan klimaatneutraal in 2040. In de tweegraden-gevoeligheid doet dit effect zich wel voor. Dit is echter niet gewaardeerd in de MKBA.

Deze directe en indirecte effecten zijn niet in de MKBA meegenomen vanwege de grote onzekerheid.

5 Saldo

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk presenteren we het totaaloverzicht van de kosten en baten van de project-alternatieven CCU en CCU+CCS. We geven resultaten voor de WLO-scenario's Laag en Hoog. Dit betreft de autonome ontwikkeling of referentie waartegen de efficiëntie van de alternatieven wordt beoordeeld. Indien het saldo positief is, dan is het alternatief een maatschappelijk efficiënte oplossing afgezet tegenover de 'maatregelenpakketten' die al genomen worden in WLO Laag en Hoog.

In beide scenario's intensificeert het klimaatbeleid. Het tempo waarin en de ambitie waarmee dit gebeurt, verschillen echter duidelijk per scenario. In scenario Laag wordt rond 2030 duidelijk dat er geen bereidheid is om de bestaande klimaatafspraken verder aan te scherpen. In scenario Hoog komen rond 2025 juist stringenter klimaatafspraken tot stand.

Vanwege de belangrijke gevoeligheid in de aannames omtrent de CO₂-baten van met name de routes in de tuinbouw en methanolproductie (brandstof energie of chemie), werken we hier met ondergrenzen en bovengrenzen. Hieronder lichten wij deze grenzen nader toe.

Tabel 13 - Overzicht van gehanteerde grenzen met betrekking tot koolstofvoetafdruk

	Bovengrens CO ₂ -baten	Ondergrens CO ₂ -baten
Glastuinbouw	Toepassing in arealen bij gasketel (LCA CE Delft)	Toepassing huidige situatie (LCA CE Delft)
Methanolproductie	Elektriciteitsopwekking wind toegerekend aan methanol (LCA CE Delft)	Elektriciteitsopwekking gemiddelde park toegerekend aan methanol (LCA CE Delft)
Presentatie	Onzekerheidsbalk in grafieken (hoogste punt)	Onzekerheidsbalk in grafieken (laagste punt)

Dit hoofdstuk zet de belangrijkste uitkomsten van de maatschappelijke kosten-batenanalyse voor de alternatieven tegen de achtergrond van deze scenario's op een rij.

5.2 Resultaten voor WLO Hoog

Alle gerapporteerde effecten (directe, indirecte en externe effecten) betreffen het verschil tussen het nulalternatief en de twee projectalternatieven.

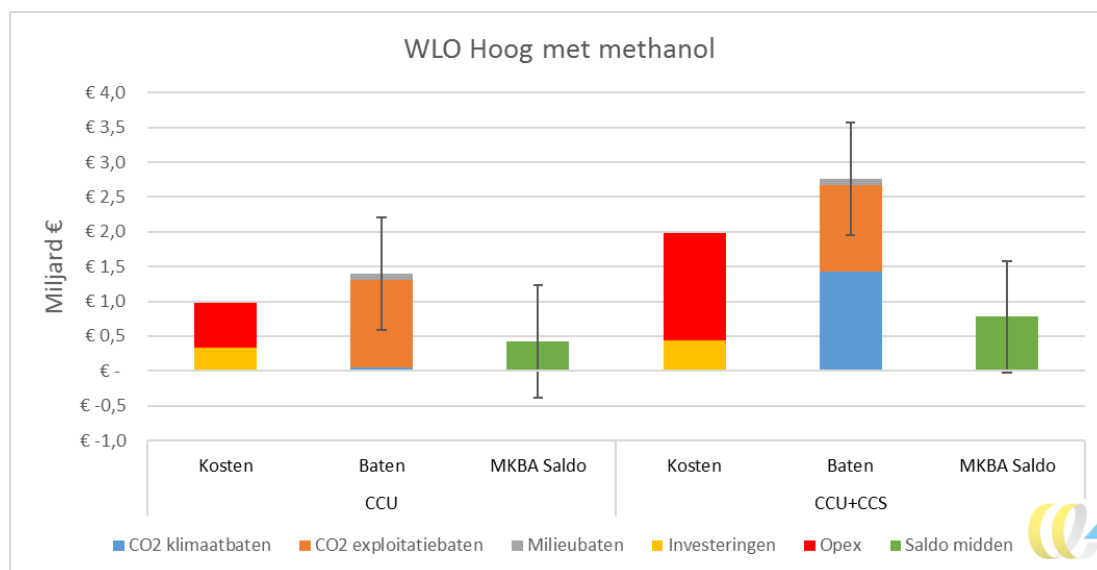
In scenario Hoog schrijdt de globalisering verder voort hetgeen, naast een verdere verknoping van markten, ook internationaal overleg en coördinatie vergemakkelijkt. Scenario Hoog combineert een relatief hoge bevolkingsgroei met een hoge economische groei van ongeveer 2% per jaar. Beleid in Hoog is naast het vaststaande beleid ook ingevuld met voorgenomen beleid (de beleidsplannen, al dan niet concreet ingevuld met maatregelen).

In scenario Hoog komt de opwarming van de aarde dan op de lange termijn uit op 2,5 tot 3 graden. Hiervoor is het nodig dat de uitstoot van broeikasgassen in Nederland met 65% vermindert ten opzichte van 1990.

In scenario Hoog zijn de efficiënte CO₂-prijzen beduidend hoger dan in Laag: 80 euro per ton CO₂ in 2030 en oplopend tot 160 euro per ton CO₂ in 2050. In scenario Hoog wordt beprijzing, ondersteund door normstelling en innovatiebeleid, in het mondiale en Europese kader het belangrijkste beleids-instrument.

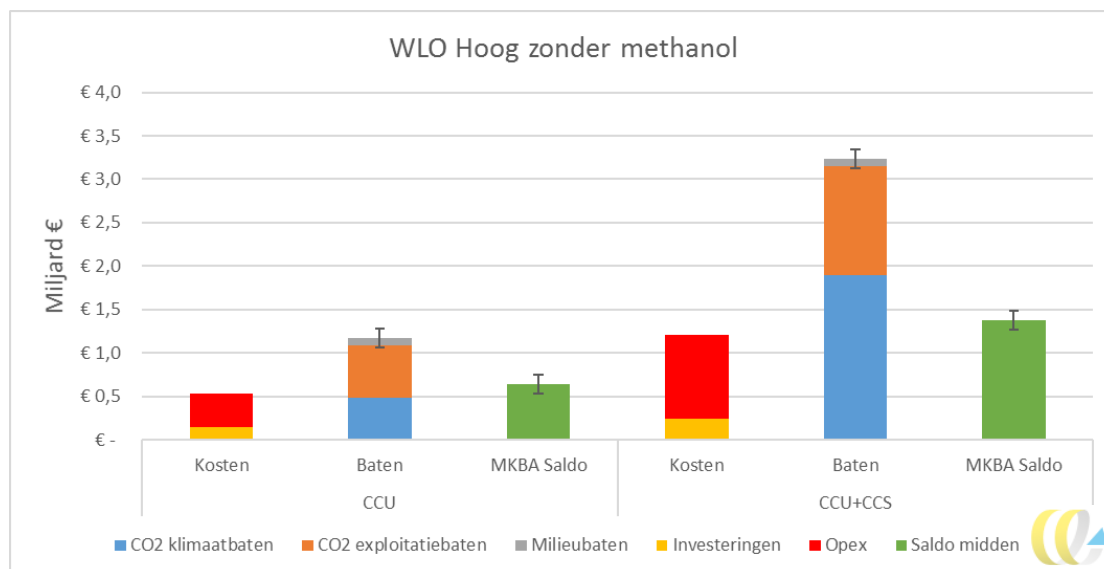
De CO₂-baten worden gewaardeerd aan de hand van vooraf gestelde prijspaden voor CO₂-prijsontwikkeling uit de WLO conform de aanbeveling van de Werkgroep Discontovoet die door het kabinet is overgenomen. In Figuur 9 en Figuur 10 presenteren we de uitkomsten inclusief methanolproductie en met methanolproductie.

Figuur 9 - Overzicht van de MKBA-resultaten in variant met methanol in 2018-2068, WLO Hoog (CW's)



CW = (netto) contante waarde.

Figuur 10 - Overzicht van de MKBA-resultaten in variant zonder methanol in 2018-2068, WLO Hoog (CW's)



CW = (netto) contante waarde.

De resultaten zijn als volgt te duiden:

- In het gunstige klimaatscenario (Hoog) zijn de mogelijke uitkomsten van het alternatief CCU (met methanol) erg onzeker met een bandbreedte tussen negatief (min 0,4 mld. euro) en positief (2,2 mld. euro). De bandbreedte is afhankelijk van de gekozen uitgangspunten voor de koolstofvoetafdruk van CCU in de gehele keten. Met methanol kent het projectalternatief geen robuust positieve uitkomst. Zonder methanol is er maatschappelijk wel een positieve case die robuust is.
- In het projectalternatief CCU+CCS is er nog steeds een negatieve uitkomst mogelijk, maar is de kans daarop in het scenario WLO Hoog zeer klein. Het projectalternatief geeft de mogelijkheid een grotere hoeveelheid CO₂ vast te leggen met name gedurende de winterperiode, waarbij deze voordelen opwegen tegen de hiervoor extra investeringskosten in transport en opslag van CO₂ in aquifers in de Noordzee.
- In het bijzonder de CCU-route methanolproductie (in 2030) doet het positieve resultaat kantelen naar negatief. Deze route vereist grote hoeveelheden stroom. Indien de gemiddelde elektriciteitsmix wordt aangenomen (eerste LCA-case) dan ontstaan netto extra CO₂-emissies in het proces die een fors negatieve impact hebben op het maatschappelijke saldo. Alleen bij een volledig hernieuwbare elektriciteitsmix (tweede case LCA) kan de waterstofproductie -methanolroute maatschappelijk uit. Zolang de beschikbaarheid van hernieuwbare stroom onvoldoende is voor de vraag, kan dit voordeel niet aan de chemische industrie toegerekend worden. In 2030 is de verwachting dat het aanbod hernieuwbare bronnen nog onvoldoende is om in de vraag te voorzien.
- Het maatschappelijk saldo is een stuk minder afhankelijk van de aanname van de koolstofvoetafdruk in de glastuinbouw. Ook hier zien we een negatieve impact als we een nadeligere CO₂-voetafdruk veronderstellen¹⁴, echter deze ligt op dit moment in de ordegrootte 0,2 mld. euro. Het is wel zo dat met de afnemende aardgasvraag van de glastuinbouw in het achtergrondscenario, de vermeden CO₂ door externe dosering verder zal afnemen. Immers het ontkoppelen van CO₂ en warmteproductie betekent dat dat de tuinder veel beter kan voldoen aan de seizoensgebonden vraag van CO₂ en warmte. Wel is externe CO₂ een randvoorwaarde voor de verdere verduurzaming van de glastuinbouw.

Financiële saldo

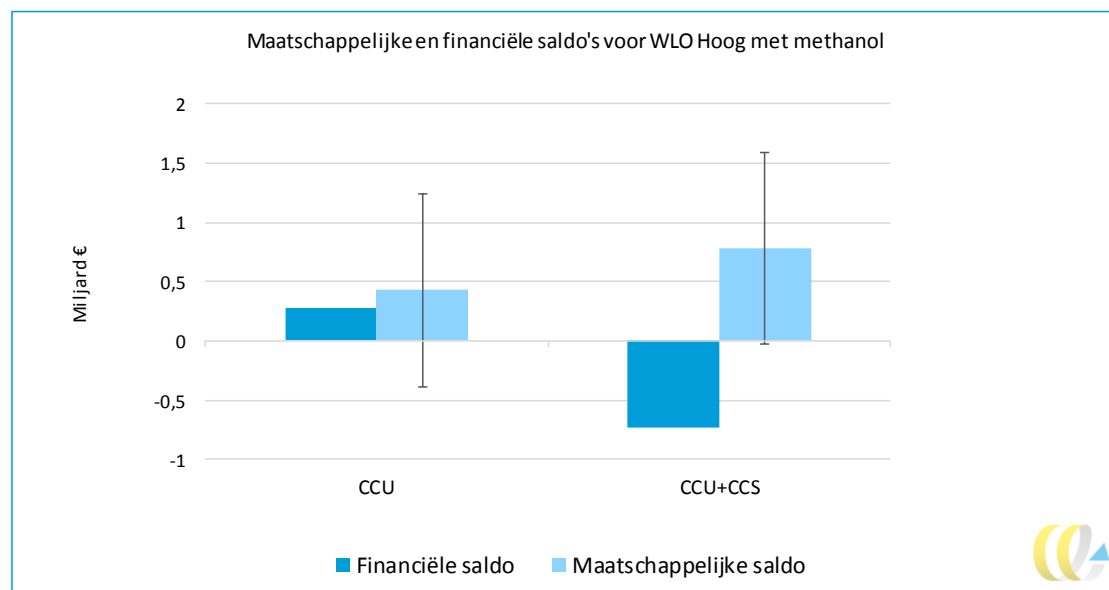
- Het financiële saldo kan gezien worden als het resultaat voor de exploitant, gerekend met een rentevoet van 4,5%. Aangenomen is dat de businesscases aan de afnemerszijde sluitend zijn voor de afnamevolumes.
- Te zien is dat het financiële resultaat positief is voor het projectalternatief CCU, maar negatief is voor het projectalternatief CCU+CCS. De belangrijkste reden is dat bij het alternatief CCU+CCS de baten optreden in de vorm van *maatschappelijke* klimaatbaten. Deze zullen door middel van een voldoende hoge ETS-prijs vertaald moeten worden in uitgespaarde emissierechten en daarmee de basis voor een verdienmodel moeten vormen om CO₂ te bergen in de Noordzee.
- Belangrijke redenen waarom dit alternatief niet van de grond komt, zitten dan ook niet persé in onrendabele top¹⁵, maar eerder in coördinatie en afstemming van het samenwerkingsproces van veel partijen.

¹⁴ 0,5 ton per afgevangen ton CO₂ in plaats van 0,85 ton vermeden per afgevangen ton.

¹⁵ Let op met een andere kapitaalvoet (inclusief marktconforme risico-opslag) kan het financieel resultaat negatiever uitpakken.



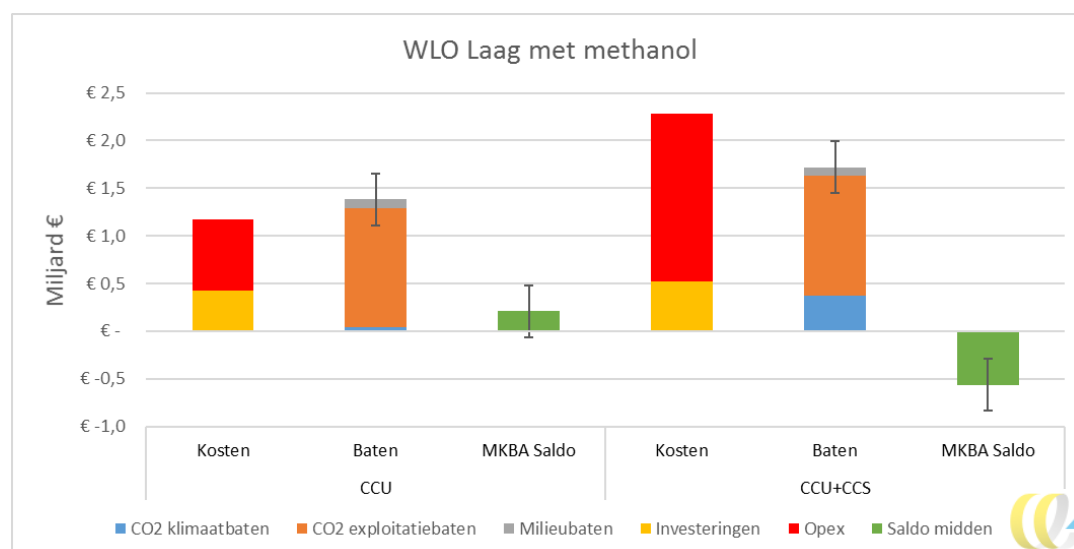
Figuur 11 - Financiële resultaten in variant met methanol in 2018-2068, WLO Hoog (CW's)



5.3 Resultaten voor WLO Laag

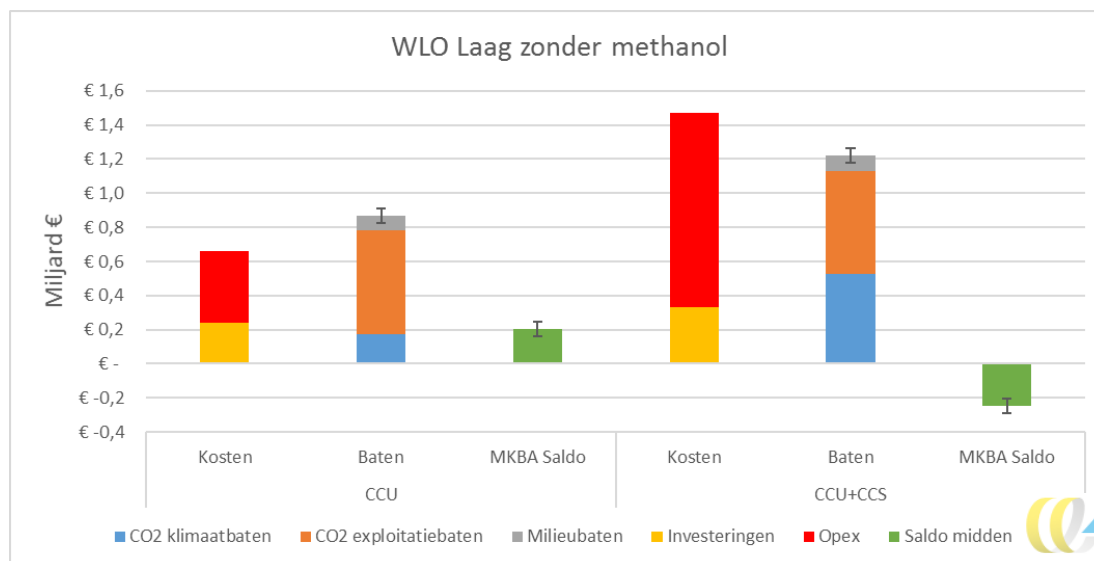
In WLO-scenario Laag wordt een beperkte ontwikkeling van de internationalisering verwacht, hetgeen zal resulteren in een lagere economische groei en lagere bevolkingsgroei. Beleid in Laag is zoveel mogelijk ingevuld door middel van vaststaand beleid met beleidsdoelen die reeds zijn ingevuld met concrete maatregelen en instrumenten. De ontwikkeling van de CO₂-prijs is hierdoor bescheiden en niet voldoende om langetermijndoelen voor klimaatbeleid te realiseren. De CO₂-reductie in Laag ten opzichte van 1990 komt in 2050 uit op 43% en in 2030 op 30%. In het Lage scenario zijn de fossiele brandstofprijzen juist relatief hoog.

Figuur 12 - Overzicht van de MKBA-resultaten in variant met methanol in 2018-2068, WLO Laag (CW's)



CW = (netto) contante waarde.

Figuur 13 - Overzicht van de MKBA-resultaten in variant zonder methanol in 2018-2068, WLO Laag (CW's)



CW = (netto) contante waarde.

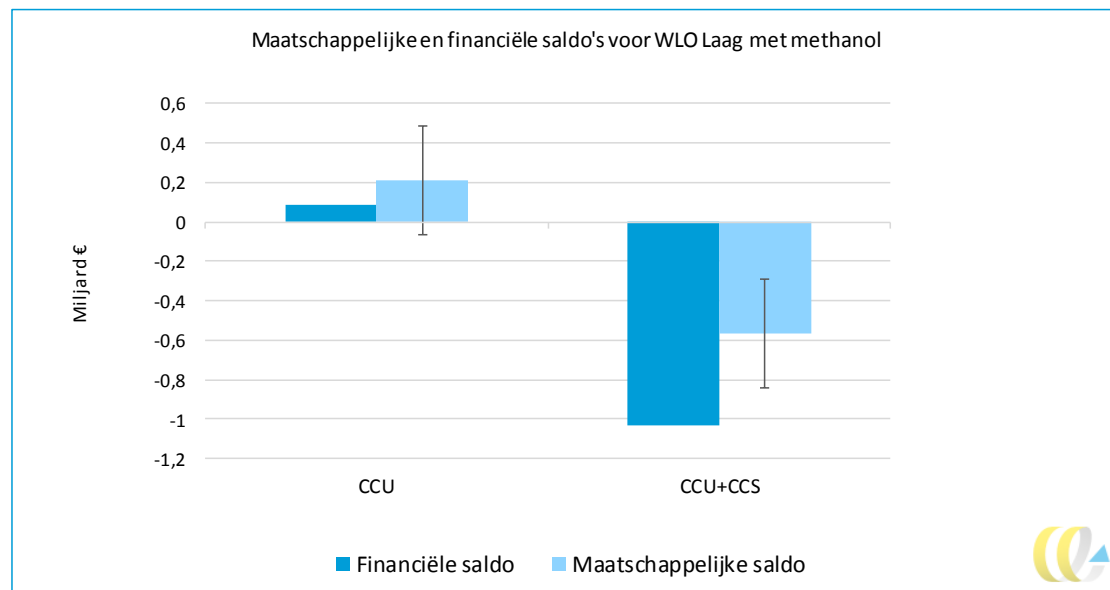
De resultaten zijn als volgt te duiden:

- Vanwege de lagere maatschappelijke waarde van uitgespaarde CO₂ is de bandbreedte van de uitkomsten onder WLO Laag kleiner, echter de richting is nog steeds hetzelfde: de uitkomsten zijn afhankelijk van de aannames uit de milieuanalyse. Daarbij is het beeld dat ook in WLO Laag er een goede kans is op een maatschappelijke positieve uitkomst, zelfs indien methanol onderdeel uitmaakt van het projectalternatief. Ook hier geldt dat de industrie de benodigde windstroom voor elektrolyse zelf zal moeten opwekken en overschotten in het productieproces in zal moeten zetten. Indien dit niet het geval is zal het projectalternatief CCU geen of minder positieve uitkomst kennen.
- Het projectalternatief CCU+CCS in WLO Laag kent een negatieve MKBA-uitkomst. De CO₂-prijs voor uitgespaarde CO₂-rechten is niet voldoende om de extra investeringen en met name hogere variabele kosten van de CCS-investeringen maatschappelijk terug te kunnen verdienen.
- Ook hier leidt de methanol-route op basis van de grijze mix tot een (beperkt) negatief welvaarts-saldo. Het effect van de methanol-route op het saldo in Laag is opnieuw aanzienlijk, veel groter dan het effect van een andere aanname ten aanzien de vermeden CO₂-uitstoot bij de tuinbouw.

Financiële saldo

- Het financiële saldo kan gezien worden als het resultaat voor de exploitant, gerekend met een rentevoet van 4,5%. Aangenomen is dat de businesscases aan de afnemerszijde sluitend zijn voor de afnamevolumes.
- Het financiële resultaat in WLO Laag wijkt niet af van WLO Hoog. De financiële resultaten zijn mogelijk iets minder rooskleurig als de hogere afvangkosten bij bronnen als Tata niet door-gerekend kunnen worden aan afnemers.

Figuur 14 - Financiële resultaten in variant zonder methanol in 2018-2068, WLO Hoog (CW's)



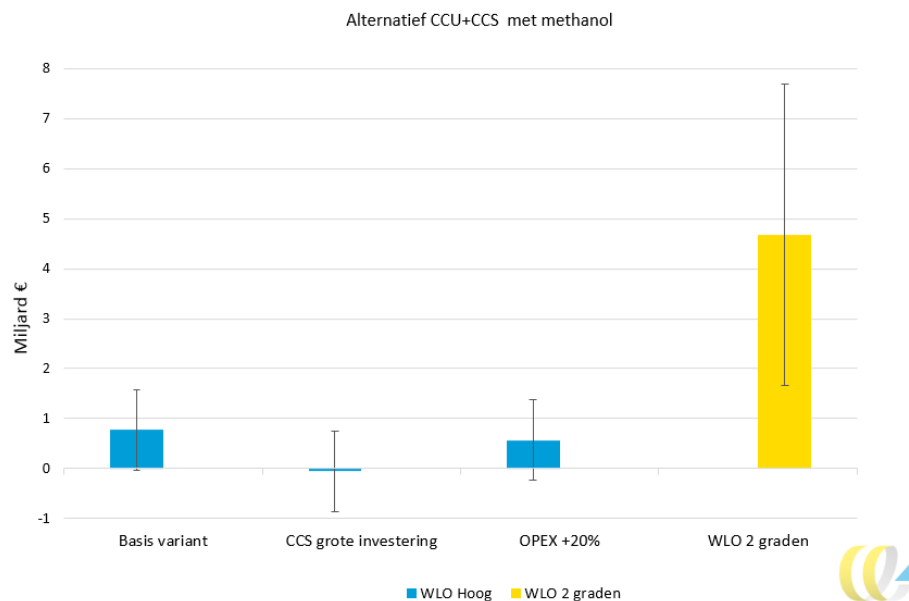
5.4 Gevoeligheidsanalyse

In deze paragraaf presenteren we de uitkomst van de gevoeligheidsanalyse. We zetten de uitkomsten af tegenover de uitkomsten in WLO Hoog (inclusief methanolproductie). We hebben de volgende varianten onderzocht:

- Ten behoeve van transport en opslag zal de gehele investering (1 mld. euro) voor 476 Mton opslagvolume aan het alternatief CCU+CCS toegerekend worden. De basisvariant is dat alleen een kostendeekkende kapitaalvergoeding wordt betaald voor het deel van de infrastructuur (10%) waarop dit project beslag legt.
- Een 20% hogere variabele kosten voor afvang van CO₂ bij de bronnen ten opzichte van de basisvariant. Deze variant kan als indicatief worden gezien voor een verdere vergroening van CO₂-bronnen.
- Een gevoeligheidsvariant met tweegradendoelstelling: in deze variant zijn de CO₂-prijzen dermate hoog dat het klimaatbeleid aankoerst op tweegradendoel.

In Figuur 15 presenteren we de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse.

Figuur 15 - Overzicht van de gevoeligheidsanalyse, basisvariant is WLO Hoog met methanol (CW's)



De conclusie uit de gevoeligheidsanalyse is dat de factoren CO₂-prijs en de wijze waarop omgegaan wordt met de totale investeringsopgave voor grootschalige CCS-infrastructuur van groot belang zijn bij het MKBA-resultaat. Indien er geen CCS-infrastructuur beschikbaar komt en het onderhavige project de volledige CAPEX-en voor zijn rekening dient te nemen, dan slaat de uitkomst om van positief naar negatief. Daarentegen zijn de hogere afvangkosten bij de bronnen in beperkte mate van invloed. Dit laatste betekent dat het sturen op (grotendeels) biogene bronnen geen gevolgen hoeft te hebben voor de uitkomsten in de basisvariant zoals hier gepresenteerd.

6 Conclusies

Binnen deze MKBA is gekeken naar twee projectalternatieven voor een CCU Smart Grid dat CO₂-transporteert van bron naar afnemer. Het betreft een projectalternatief dat alleen toepassing faciliteert bij een drietal afnemende sectoren (CCU), en een alternatief waarbij de extra mogelijkheid ontstaat van permanente berging van overtollige CO₂ in lege aardgasvelden onder de Noordzee (CCU+CCS). Hieronder presenteren we de belangrijkste conclusies en werken die tenslotte uit in een set van aanbevelingen.

Conclusies projectalternatief CCU

- CCU is een breed concept met verschillende toepassingsroutes in de glastuinbouw (gewas-dosering), de bouw (vastlegging van CO₂ via mineralisatie) en brandstofproductie (via elektrolyse). Daarnaast kan bij verschillende bronnen CO₂-afgevangen worden in verschillende kwaliteiten en drukniveaus. Het hangt sterk van de routes af wat de CO₂-reductie-effecten zijn over de keten, of de businesscase sluitend is, en of de uiteindelijke maatschappelijke uitkomst positief is voor Nederland.
- Het projectalternatief CCU met methanolfabriek kent geen robuust positief resultaat, waarbij de uitkomsten in de meeste gevallen overigens wel positief zijn. Wel zien we dat de uitkomst zonder methanol robuust positief is. Dit resultaat geldt zowel in WLO Laag als in WLO Hoog.
- Twee van de onderzochte routes (bouw en tuinbouw) zijn kostenefficiënter dan het voorgenomen klimaatbeleid dat verondersteld is in WLO Laag en WLO Hoog.
- Dit geldt op dit moment niet voor methanol, maar dat kan in de nabije toekomst veranderen nu hernieuwbare stroom steeds goedkoper kan worden opgewekt. Voor de methanolroutes is een grote hoeveelheid stroom nodig. Alleen hernieuwbare stroom - specifiek gekoppeld aan de elektrolyse - kan ervoor zorgen dat het saldo positief uitvalt. In de praktijk betekent dit dat de (maatschappelijke) businesscase voor de methanolroute erg afhankelijk is van de aanname of er grote hoeveelheden goedkope, hernieuwbare stroom kunnen worden ingekocht en ingezet voor waterstof- en methanolproductie. Zowel in WLO Laag als in Hoog kan met name de methanolproductie op basis van de gemiddelde elektriciteitsmix niet uit.
- Ook het resultaat voor de glastuinbouw is afhankelijk van de gekozen aannames ter zake de mate van vervanging van gasgestookte CO₂. Het effect van deze aanname is echter veel kleiner dan de aanname voor methanol.

Conclusies projectalternatief CCU+CCS

- Tussen de projectalternatieven CCU en CCS+CCU is er een sterk synergie. Ten opzichte van het CCU-alternatief biedt deze variant de mogelijkheid grotere volumes te transporteren, meer leveringszekerheid te bieden door CO₂ te bufferen voor seizoenfluctuaties en in zijn geheel meer CO₂ te bergen. Tegenover deze voordelen staan echter hogere investeringskosten voor het aanleggen van drukstations en extra leidingen en hogere operationele kosten ten behoeve van de noodzakelijke zuivering en onder gewenste druk brengen van gassen ten behoeve van opslag in lege gasvelden.
- Het projectalternatief CCU+CCS is in sterkere mate afhankelijk van een voldoende goede maatschappelijke CO₂-prijs (bijv. ETS). Voor transport en finale opslag onder de Noordzee is geen marktconforme contractprijs beschikbaar, en kan waarde alleen ontstaan door effectief klimaatbeleid (lees ETS). Dit zien we terug in WLO Hoog (redelijk voortvarend klimaatbeleid), waar de MKBA-saldo positief is. Echter in WLO Laag (geen internationale voortgang) is de CO₂-prijs

onvoldoende om het CCS-deel maatschappelijk rendabel te maken. Of anders gezegd: in een wereld met voldoende ambitieus klimaatbeleid is dit projectalternatief al snel rendabel. Dat geldt met name voor de tweegradenvariant (80-95% CO₂-reductie).

- Het financiële saldo voor de exploitant is negatief. De belangrijkste reden is dat bij het alternatief CCU+CCS de baten optreden in de vorm van *maatschappelijke* klimaatbaten. Deze zullen door middel van een voldoende hoge ETS-prijs vertaald moeten worden in uitgespaarde emissierechten en daarmee de basis voor een verdienmodel moeten vormen om CO₂ te bergen in de Noordzee.

Robuustheid uitkomsten

- De uitkomsten kennen een grote mate van onzekerheid. Bovenop de onzekerheid die zit in de milieukundige aannames van CO₂-reductie per CCU-route zijn daar ook met name de aannames over CO₂-prijs en de wijze waarop met toerekening van CCS-infrastructuur wordt omgegaan. Deze onzekerheden kunnen positieve of negatieve invloed hebben op de hier gepresenteerde uitkomsten.

Aanbevelingen

- Kansrijk vanuit maatschappelijk perspectief zijn de CCU-routes voor afzet in de glastuinbouw en bouw. Op termijn kan methanol aan het rijtje toegevoegd worden, afhankelijk van hoe snel zon- en windenergie rendabel kunnen worden opgewekt.
- Dat leidt tot de centrale aanbeveling om het CCU(S)-net klein te beginnen op basis van gestage uitbouw van CO₂-levering aan de tuinders en vandaar uit rendabele businesscases te ontwikkelen voor andere toepassingen op basis van toekomstige ontwikkelingen die zich dan voordoen. Het net kan op die manier meegroeien met concrete afnemerprofielen. De CO₂-bronnen kunnen daarop afgestemd worden zonder onnodig risico's te lopen van hoge investeringen in afkoppeling van bronnen of infrastructuur die later niet of onvoldoende benut worden.
- Concrete investeringsbeslissingen aan de afnemer als aan de vraagzijde inclusief CCS kunnen genomen worden op basis van een uniforme opgestelde mini-MKBA en mini-LCA's. Zowel de CO₂-impact als de maatschappelijke impact moet onomstotelijk vast staan.
- Vergroening van bronnen (biogene CO₂) in het CCU net is wenselijk en noodzakelijk. Indien vergroening van processen in de industrie niet snel genoeg gaat, dan kan versnelling plaatsvinden door grotendeels biogene CO₂-bronnen in zetten voor het CCU-net via afvalverbranders. Dit is tegen hogere afvangkosten.

Bibliografie

CE Delft, 2010. *Handboek Schaduwprijzen : Waardering en weging van emissies en milieueffecten*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017a. *Handboek milieuprijzen : Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017b. *Werkwijzer voor MKBAs op het gebied van milieu*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018. *Screening LCA for CCU routes connected to CO2 Smart Grid*, sl: sn

CPB ; PBL, 2014. *Algemene Leidraad Maatschappelijke Kosten-Batenanalyse*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB) ; Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

CPB ; PBL, 2015. *Welvaart en Leefomgeving 2015*. [Online]
Available at: <http://www.wlo2015.nl/>
[Geopend 2017].

CPB ; PBL, 2016. *WLO-klimaatscenario's en de waardering van CO2-uitstoot in MKBA's*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB) ; Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Dahl, P. J., Christensen, T. S., Winter-Matsen, S. & King, S. M., 2014. *Proven autothermal reforming technology for modern large-scale methanol plants, paper at the Nitrogen + Syngas International Conference & Exhibition (Paris 24-27 February 2014)*. Paris, sn

Ecofys, 2017. *Prefeasability study CO2 Smart grid*, sl: sn

Gasunie en EBN, 2018. *Transport en opslag van CO2 in Nederland*, sl: sn

Gasunie, 2011. *Naar een duurzame energievoorziening, de schone taak van aardgas*, Groningen: Gasunie.

Ministerie van Financiën, 2015. *Kabinetsreactie eindrapport discontovoet*, Den Haag: Ministerie van Financiën.

TNO, 2014. *Update NOx-emissiefactoren kleine vuurhaarden - glastuinbouw en huishoudens* -, Utrecht: TNO.

TNO, 2018. *Preliminary Technical Concept Assessment – The CO2 Smart Grid*, sl: sn

Van der Velden, N. & Smit, P., 2016. *Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2015 &*, Wageningen: Wageningen Economic Research.

Werkgroep Discontovoet, 2015. *Rapport werkgroep Discontovoet 2015*, Den Haag: Rijksoverheid.

A Toetsingsgesprekken

Met de volgende personen is een toetsingsgesprek afgenomen:

Organisatie	Persoon
Tata Steel	Gerard Jägers, Ingrid de Caluwé, Zitong Zhao
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat	Kees van Drunen
LTO Glaskracht Nederland	Dennis Medema
Ruwbouwgroep	Steffen van Rijs
OCAV	Jacob Limbeek

B Overzicht volumes per alternatief

B.1 Overzicht per seizoen

Vanwege de seizoenfluctuaties van de CO₂-vraag van de tuinders dient per seizoen vraag en aanbod gematched te worden. In de volgende tabellen is vanuit een 4 maand-periode gekeken welke bronnen nodig zijn om de seizoensgebonden vraag te leveren.

Voor het alternatief CCU verschilt de vraag dus per seizoen en zullen de AVI's in de zomer bij moeten schakelen om de totale vraag (1,03 Mton) te kunnen voorzien (zie Tabel 14).

Voor het alternatief CCU+CCS is de totale vraag (inclusief CCS) gelijk aan de maximale capaciteit van het leidingnet (3,3 Mton, zie Tabel 15).

Tabel 14 - Overzicht van het aanbod per seizoen, alternatief CCU (2030)

	Winter	Voor/na	Zomer	Totaal
Shell+Alco	0,50	0,50	0,50	1,50
Tata	0,05	0,23	0,33	0,61
AEB+AVR	0,00	0,00	0,20	0,20
Totaal	0,55	0,73	1,03	2,31

Tabel 15 - Overzicht van het aanbod per seizoen, alternatief CCU (2030)

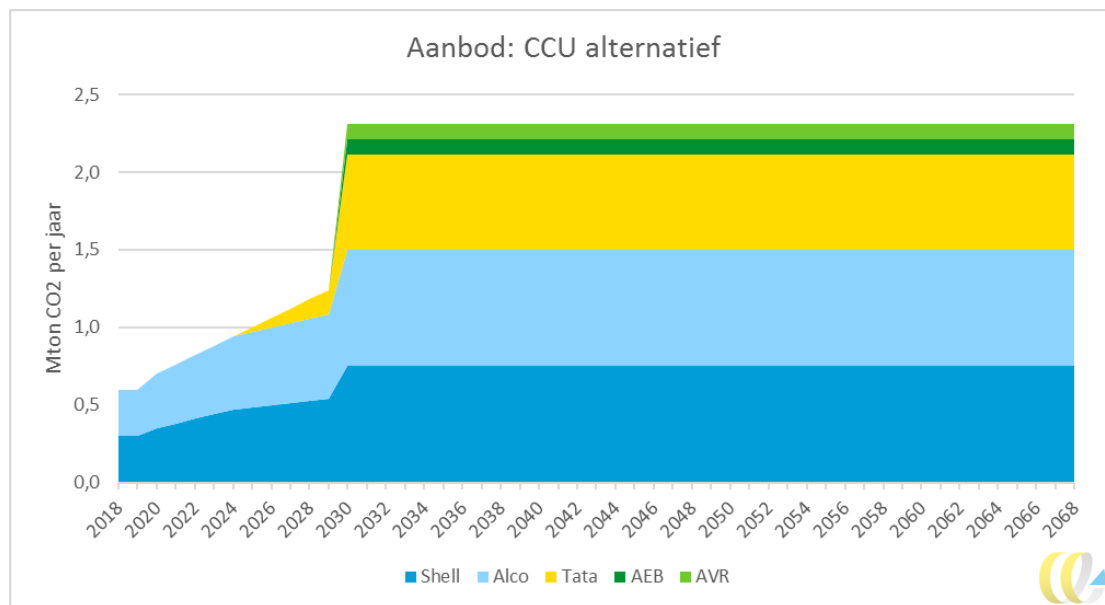
	Winter	Voor/na	Zomer	totaal
Shell+Alco	0,50	0,50	0,50	1,50
Tata	0,33	0,33	0,33	1,00
AEB+AVR	0,27	0,27	0,27	0,80
Totaal	1,10	1,10	1,10	3,30

B.2 Overzicht door de tijd

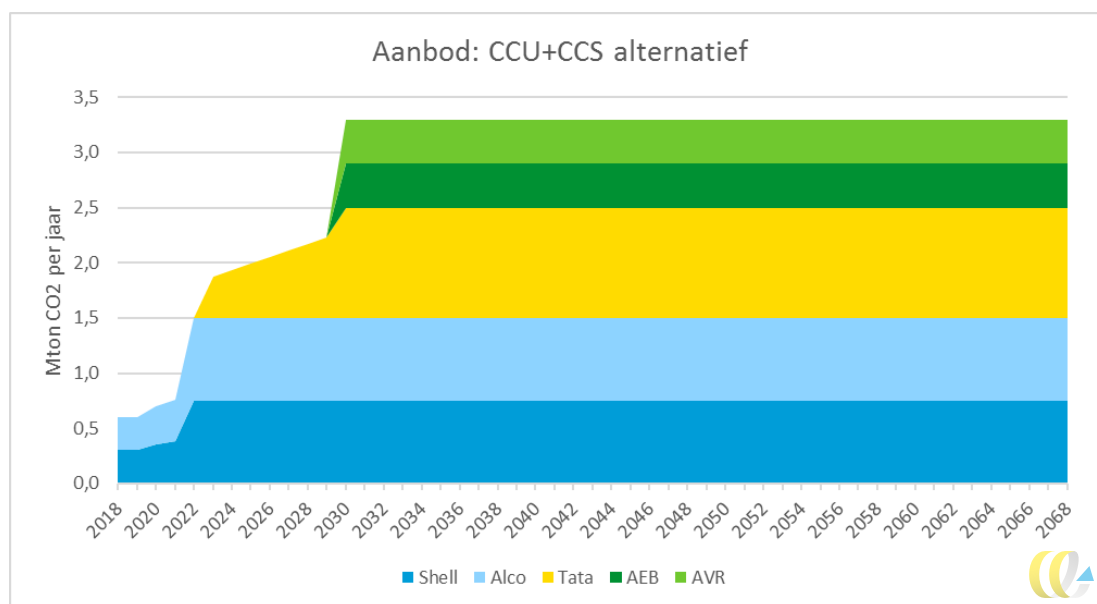
In de volgende figuren is een overzicht gepresenteerd van het verwachte aanbod en vraag per alternatief in de loop van de tijd.

Aanbod

Figuur 16 - Overzicht van verwachte aanbod per bron, projectalternatief CCU

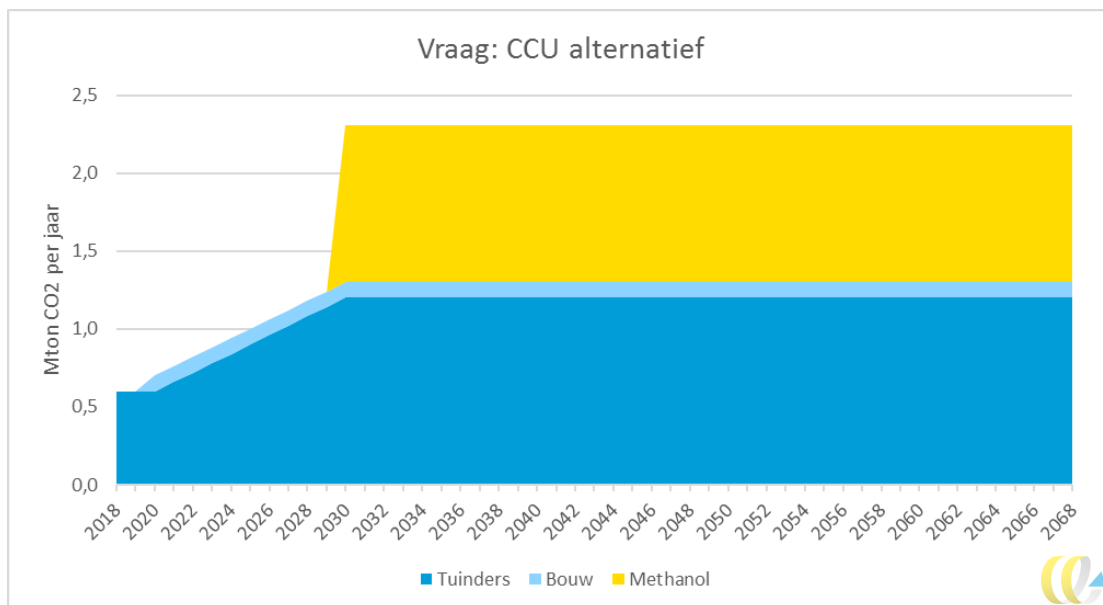


Figuur 17 - Overzicht van verwachte aanbod per bron, projectalternatief CCU+CCS



Vraag

Figuur 18 - Overzicht van verwachte vraag, projectalternatief CCU



Figuur 19 - Overzicht van verwachte vraag, projectalternatief CCU+CCS

