

Analyse van de emissiereductie door levering afgevangen CO₂ aan de glastuinbouw

Opdrachtgever: VEMW

Rotterdam, 22 mei 2020



Analyse van de emissiereductie door levering afgevangen CO₂ aan de glastuinbouw

Opdrachtgever: VEMW

Harry van Til
Maurice Thijsen
Leonoor den Ottolander

Rotterdam, 22 mei 2020

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	8
1.1 Probleemstelling en doel onderzoek	8
1.2 Opbouw van dit rapport	8
2 Review WER-rapport effect CO₂-inkoop emissies glastuinbouw 2030	9
2.1 Introductie	9
2.2 Aanpak en conclusies WER-rapport	9
2.3 Review Ecorys	10
2.3.1 Afbakening en onderzoeksmethode	10
2.3.2 Prijselasticiteit CO ₂ -vraag glastuinbouw	11
2.3.3 Transparantie over en herleidbaarheid van gebruikte gegevens	11
2.3.4 Representativiteit gewassen	12
3 CO₂-ketenanalyse	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Emissies per onderdeel in de keten	13
3.2.1 Onderdeel A: Afvang CO ₂	14
3.2.2 Onderdeel B: Transport	15
3.2.3 Onderdeel C: Levering aan de glastuinbouw	16
3.3 Emissies in de totale keten	19
3.4 Impact op de bredere CO ₂ -markt	20
4 Netto CO₂-emissies van de sector	22
4.1 Introductie	22
4.2 Effect van externe CO ₂ -levering op de dosering	22
4.3 Verhouding volume CO ₂ -levering dat wel/niet resulteert in emissiereductie	26
5 Conclusies	30

Samenvatting

Onze opdracht

In 2020 is de SDE-subsidieregeling verbreed. In de aangepaste SDE++-regeling komen diverse technieken die bijdragen aan reductie van broeikasgasemissies in aanmerking voor subsidie.

In de glastuinbouw wordt CO₂ nuttig toegepast. Glastuinbouwondernemers injecteren CO₂ in de kassen om de groei van gewassen te bevorderen. Een groot deel van de hiervoor gebruikte CO₂ komt uit de rookgassen van warmtekrachtkoppelingen (WKK's) en aardgasketels. In dit productieproces komt CO₂ vrij. Een kleiner deel van de CO₂ in de kas wordt extern aangeleverd. Als CO₂ extern wordt aangeleverd hoeft de glastuinbouwondernemer zijn WKK of aardgasketel niet aan te zetten om CO₂ te produceren. Dit kan in sommige gevallen leiden tot een besparing van de CO₂-emissies die per saldo in de atmosfeer komen (netto CO₂-emissie).

Wageningen Economic Research (WER) heeft in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) een rapport geschreven over de *het effect van extra CO₂-inkoop op emissie van de glastuinbouw in Nederland in 2030*.¹ Dit WER-rapport is door de minister aan de Tweede Kamer aangeboden als bijlage bij een kamerbrief. In deze kamerbrief staat dat de minister PBL gevraagd heeft om CO₂-afvang en levering aan de glastuinbouw door te rekenen voor de SDE++ 2021 subsidie.²

In mei 2020 is de consultatieronde over de vormgeving van de SDE++ in 2021 gestart. In dit kader zal opnieuw naar externe CO₂-levering voor de glastuinbouw worden gekeken. VEMW, het kenniscentrum en de belangbehartiger voor de zakelijke energie- en watergebruikers in Nederland, is van mening dat het wenselijk is om een goed beeld te hebben van de CO₂ emissiereducties die behaald kunnen worden door CO₂-levering aan de glastuinbouw te subsidiëren. Daarnaast is het van belang om een goed beeld te hebben van de impact van een dergelijke subsidieregeling op de markt voor CO₂-levering. VEMW heeft aan Ecorys gevraagd om het rapport van de WER te reviewen en daarnaast om een eigen analyse uit te voeren. Daarbij is de kernvraag: *wat is de netto bijdrage aan CO₂-emissies in de atmosfeer van de levering van CO₂ aan de glastuinbouw*.

Review rapport van de WER

WER gaat ervan uit dat elke kilogram (kg) CO₂ die de productie van CO₂ met een WKK of aardgasketel voorkomt resulteert in een emissiereductie van 1 kg. Glastuinbouwondernemers kunnen extra CO₂ gebruiken om de groei van gewassen te bevorderen of gewasschade te voorkomen. Dat gebruik resulteert niet in een reductie van emissies in de atmosfeer, volgens WER gaat het om 9% van het totale verbruik. De gemiddelde kg CO₂ die aan de glastuinbouw wordt geleverd resulteert daardoor in een netto CO₂-emissiereductie van 0,91 kg. Als slechts in een deel van het jaar CO₂ extern geleverd wordt kan de netto CO₂-reductie groter zijn (0,95 kg voor elke geleverde kg).

WER betreft in het onderzoek alleen emissies 'uit de schoorsteen' van kassen. Deze beperkte reikwijdte is een door de WER gemaakte keuze waarin zij de International Panel of Climate Change (IPCC) volgen. De gekozen WER-methode sluit echter niet aan op de CO₂-emissiebepaling die de SDE++ regeling hanteert. Voor de SDE++-regeling zijn namelijk ook de aan energiegebruik gerelateerde emissies (en potentieel andere emissies) elders in de keten van belang.

¹ N.J.A. van der Velden en P.X. Smit. Effect extra CO₂- inkoop op emissie van de glastuinbouw in 2030. Wageningen Economic Research, januari 2020.

² Kamerbrief 17 februari 2020 over 'Voortgang SDE++ en eerste openstelling SDE++ 2020' (DGKE-E / 20023501).

Een tekortkoming in het onderzoek van de WER is dat het niet te volgen is hoe resultaten tot stand zijn gekomen. De WER stelt dat de gemiddeld verwachte reductie van emissies afhankelijk is van het verwachte CO₂-gebruik per vierkante meter in 2030 en de omvang en samenstelling van het glastuinbouwareaal. De WER maakt een inschatting van deze parameters en vermeldt op welke bronnen zij haar schattingen heeft gebaseerd, maar het is niet mogelijk om uit de gebruikte bronnen de gehanteerde schattingen te herleiden. Het is daarnaast opvallend dat de WER een bandbreedte gebruikt voor de parameters die ten grondslag liggen aan de resultaten. Zo ligt de onderkant van de bandbreedte voor het CO₂ verbruik per vierkante meter bijvoorbeeld op 60% van de bovenkant. Wij zouden verwachten dat de onzekerheid over de inputparameters die blijkt uit de gehanteerde bandbreedtes, ook naar voren zou moeten komen in de resultaten op het gebied van de netto CO₂-emissies. WER rapporteert echter slechts één cijfer voor de netto CO₂-emissiereductie bij toepassing van externe CO₂-levering het hele jaar rond, en één cijfer voor toepassing van externe CO₂-levering alleen in de zomermaanden.

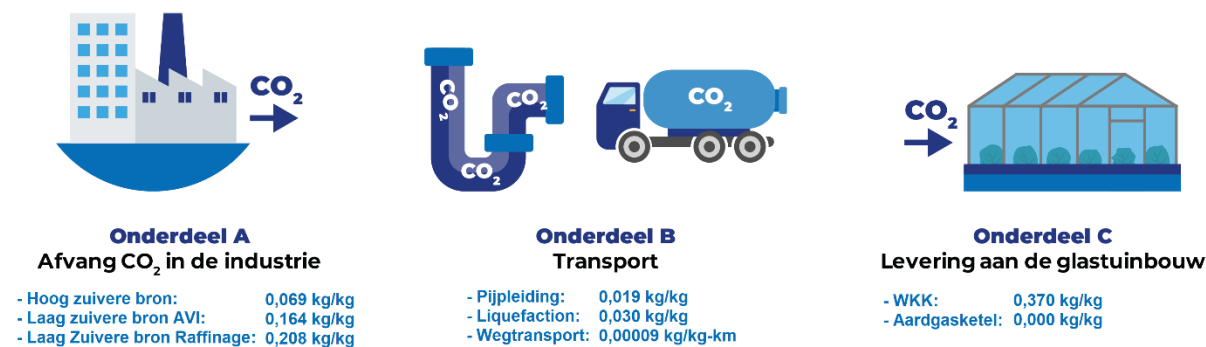
Een ander punt van kritiek is dat het WER-rapport niet expliciet is over de prijselasticiteit van de vraag naar CO₂. Glastuinbouwbedrijven kunnen er namelijk voor kiezen om als gevolg van CO₂-levering meer CO₂ te gebruiken om de groei van gewassen te bevorderen. Een relatief lage externe CO₂-prijs zou ervoor kunnen zorgen dat glastuinbouwbedrijven meer CO₂ extern afnemen dan ze normaliter met een WKK of aardgasketel zouden produceren. Dit kan resulteren in hogere netto CO₂-emissies in de vorm van energieverbruik om deze *extra* CO₂ af te vangen en te transporteren. WER geeft aan daar rekening mee te houden en vermeldt dat het toevoegen van extra CO₂ voor glastuinbouwondernemers een bedrijfseconomische afweging is. Volgens het onderzoek is het gebruik van extra externe CO₂ slechts op een 'beperkt deel van het areaal' relevant. Het is niet navolgbaar van welke uitgangspunten WER daarbij uitgaat. Uit het rapport blijkt ook niet duidelijk dat uitkomsten onder andere afhankelijk zijn van prijs- en marktontwikkelingen.

CO₂-emissies van afvang tot kas

Ecorys heeft de CO₂-emissies geanalyseerd vanaf het punt waarop CO₂ afgevangen wordt tot aan de dosering in de kas. Hierbij beperken we ons tot direct aan energie gerelateerde emissies. Voor de in de berekening gebruikte uitgangspunten hebben wij waar mogelijk aansluiting gezocht bij de uitgangspunten die het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) hanteert bij het vaststellen van de basisbedragen voor de technieken die in aanmerking komen voor de SDE++-regeling.

Emissies bij afvang en transport zijn afhankelijk van de installatie waar CO₂ wordt afgevangen en de transportmodaliteit. Figuur S.1. laat de netto-emissies (kg) per kg extern geleverde CO₂ zien.

Figuur S.1. CO₂-emissies van keten (emissies ten opzichte van CO₂-productie met WKK of aardgasketel)



Toelichting resultaten onderdeel C: als externe CO₂-levering inzet van een aardgasketel vervangt, resulteert elke kilogram geleverde CO₂ in een reductie van de uitstoot (vanuit schoorsteen glastuinbouwbedrijf) van 1 kilogram. Bij vervanging van

productie van CO₂-levering door een WKK is er rekening mee gehouden dat er op een andere plek elektriciteit geproduceerd moet worden die de glastuinbouw met inzet van een WKK geleverd zou hebben.

In de kas zijn netto CO₂-emissies afhankelijk van de wijze waarop CO₂ geproduceerd zou zijn zonder externe CO₂-levering. Bij het gebruik van een aardgasketel voor CO₂ productie kan externe CO₂-levering emissies "in de kas" voorkomen, maar niet de emissies in overige delen van de keten. Bij gebruik van een WKK moet daarnaast rekening gehouden worden met de elektriciteitsproductie die elders nodig is om het niet draaien van een WKK op te vangen.

Externe CO₂-levering resulteert volgens berekeningen van Ecorys over de hele keten (onderdelen A, B en C) in minimaal CO₂-emissies van 0,09 en maximaal van 0,62 kg per kg extern geleverde CO₂. Vertaald naar emissiereducties als gevolg van externe CO₂-levering betekent dit dat 1 kg extern geleverde CO₂ leidt tot een daling van de netto-emissies met maximaal 0,91 (=1-0,09) en minimaal 0,38 kg (1-0,62) per kg. Ter vergelijking, uit de analyse van WER volgt dat elke kg geleverde CO₂ resulteert in 1 kg emissiereductie als er geen rekening wordt gehouden met de effecten van de CO₂ uitstoot t.b.v. van het verkrijgen van externe CO₂ én geen rekening wordt gehouden met het effect van de hoogte van de aankoopkosten van de externe CO₂ op het verbruik van externe CO₂. Op deze punten gaan wij hieronder nader in.

Dit betekent overigens niet dat de emissiedaling altijd een gevolg is van de externe CO₂-levering. De glastuinbouw heeft namelijk ook warmte nodig om gewassen te laten groeien. Om zonder WKK of aardgasketel te kunnen opereren als gevolg van externe CO₂-levering is dus ook een alternatieve warmtevoorziening nodig. Of deze alternatieve warmtevoorziening conventioneel of duurzaam is heeft vervolgens impact op de netto CO₂ emissiereductie van externe CO₂-levering.

In dit rapport hanteren wij de emissiefactoren van 2030 zoals het PBL die hanteert bij het vaststellen van de SDE++ basisbedragen. Voornamelijk voor de emissiefactor van elektriciteit zit er een verschil in de huidige emissiefactor en de emissiefactor voor 2030. Dit komt omdat er wordt verwacht dat er meer duurzame elektriciteit wordt geleverd aan het net in 2030.³ Dit betekent dat in de periode vóór 2030 de emissiereductie lager is door een hogere emissiefactor voor elektriciteit. Dit resulteert ook in een lagere netto CO₂-emissiereductie in de periode vóór 2030.

Gevolgen van extra CO₂-dosering op netto CO₂-emissies sector

In de berekening van emissies hierboven is aangenomen dat elke kilogram extern geleverde CO₂ het mogelijk maakt dat een glastuinbouwondernemer de WKK of aardgasketel minder hoeft te gebruiken. In de praktijk is het CO₂-gebruik in de glastuinbouw echter geen vaststaand gegeven. In het algemeen geldt dat hoe meer CO₂ glastuinbouwondernemers gebruiken, hoe sterker de groei van gewassen wordt gestimuleerd en daarmee des te hoger de financiële opbrengsten. Daarbij is er sprake van afnemende meeropbrengsten: meer CO₂ doseren levert extra opbrengsten op, maar steeds minder naarmate er meer CO₂ wordt gedoseerd. Met name in de zomer is er een beperking aan CO₂ productie met een WKK of aardgasketel vanwege de beperkte mogelijkheid om de warmte, die dan niet nodig is, af te voeren. In die situaties wordt veelal externe CO₂ ingekocht als aanvulling op de CO₂ uit WKK of ketel.

Glastuinbouwondernemers kunnen er dus voor kiezen om externe CO₂-levering niet alleen te gebruiken om met een WKK of aardgasketel geproduceerde eenheid CO₂ te vervangen maar ook om meer CO₂ te gebruiken (ten opzichte van de situatie zonder externe CO₂-levering).

Het overgrote deel van de extra gedoseerde CO₂ gaat door ventilatie onmiddellijk de kas uit. Door het gewas opgenomen CO₂ komt na consumptie ook in de atmosfeer. Om die reden stelt WER de

³ Emissiefactor elektriciteit in 2030: 0,187 kg/kWh (PBL 2020, SDE++ 2020 OT-model obv marginale optie) . Ter vergelijking, de emissiefactor voor elektriciteit in 2018 was 0,405 kg/kWh (CE Delft 2020, Emissiekentallen elektriciteit)

netto CO₂-reductie van dit gebruik van CO₂ vast op 0%. Extern geleverde CO₂ levert dan ook alleen een vermindering op van netto CO₂-emissies als daarmee lokale CO₂-productie met een WKK of gasketel wordt voorkomen. Of hier sprake van is kan alleen op het niveau van de individuele glastuinbouwonderneming worden bepaald. Dit wordt mede beïnvloed door:

- De (marginale) prijs van CO₂-levering;
- De marktprijs van gewassen door het jaar heen;
- De relatie tussen CO₂-dosering en de groei van gewassen.

Voor lang niet alle gewassen is bekend wat de relatie tussen CO₂-dosering en opbrengsten is. Daar wordt in Nederland nog onderzoek naar gedaan. Het is daardoor niet mogelijk om een representatieve en onderbouwde inschatting te geven van de mate waarin de aan de glastuinbouw geleverde externe CO₂ resulteert in een reductie van emissies in de atmosfeer. Duidelijk is wel dat een lagere CO₂-prijs zal resulteren in een hoger CO₂-verbruik door de glastuinbouwondernemer (en omgekeerd).

Impact op de markt voor CO₂

Wij begrijpen dat het binnen de SDE++-regeling de bedoeling is om alleen de afvang van CO₂ ten behoeve van de tuinbouw te subsidiëren. Dat vereist dat er een systematiek komt om te borgen dat de gesubsidieerde CO₂ niet voor andere doeleinden wordt gebruikt. Zonder zo'n borgingssysteem is er een risico dat ook in andere markten ongesubsidieerde CO₂ vervangen gaan worden door goedkopere gesubsidieerde CO₂. Gesubsidieerde CO₂ zou zelfs geëxporteerd kunnen worden. Dit verstoort niet alleen de markt maar brengt ook het risico met zich mee dat emissies toenemen als subsidiëring resulteert in een hoger aanbod en verbruik van CO₂, zowel binnen als buiten de glastuinbouw.

Zelfs met zo'n borgingssysteem heeft het subsidiëren van CO₂-afvang naar verwachting gevolgen voor de markt voor CO₂. Glastuinbouwbedrijven maken nu namelijk al gebruik van externe geleverde CO₂. Gesubsidieerde CO₂-levering kan het bestaande CO₂-aanbod vervangen. In Nederland is vloeibare CO₂ ten opzichte van omliggende landen relatief goedkoop en er wordt vloeibare CO₂ geëxporteerd. Het is daarom aannemelijk dat het huidige aanbod zich deels naar het buitenland zal verplaatsen.

Conclusie

Dit rapport laat zien dat wanneer er naar de aan energiegebruik gerelateerde emissies in de keten wordt gekeken, het netto-effect van externe CO₂-levering van afgevangen CO₂ kleiner is dan volgt uit WER (2019). Het netto-effect is bovendien geen vaststaand gegeven maar afhankelijk van:

- Emissies die gepaard gaan met het afvangen van CO₂;
- Emissies die gepaard gaan met het transport van CO₂ naar de kas;
- De wijze waarop warmte, elektriciteit en CO₂ geproduceerd worden zonder externe CO₂-levering (WKK of aardgasketel);
- De mate waarin externe CO₂-levering daadwerkelijk lokale CO₂-productie vervangt;
- De mogelijkheden om meer rendement te behalen door extra CO₂-dosering, dit hangt af van de geteelde gewassen en marktprijzen voor gewassen;
- Kosten van extern geleverde CO₂.

In de SDE++-regeling wordt gestreefd naar zoveel mogelijk CO₂-reductie per euro subsidie. Het is daarom van belang om in de SDE++-regeling er rekening mee te houden dat het effect op de netto-CO₂-emissies sterk situatieafhankelijk zijn. Als dat niet wordt gedaan kan er een verschil optreden tussen de verwachte bijdrage aan emissiereductie en de realisatie.

Ten slotte merken we op dat als externe CO₂-levering een duurzame energievoorziening mogelijk maakt dan is de bijbehorende CO₂-reductie een gezamenlijk effect van CO₂-levering en de installatie van de duurzame warmtevoorziening. In dat geval ontstaat het risico op een dubbeltelling van de CO₂-emissiebesparingen als gevolg van de SDE++ als er zowel subsidie is voor afvang van CO₂ als voor het installeren van een duurzame warmtevoorziening (zoals b.v. geothermie, aansluiting restwarmte, biomassaketel).

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling en doel onderzoek

De glastuinbouw draagt bij aan de uitstoot van CO₂ door het verbruik van aardgas. In de glastuinbouw wordt namelijk CO₂ gebruikt om de groei van gewassen te bevorderen. Een groot deel van de CO₂ wordt op dit moment geproduceerd door warmtekrachtkoppelinginstallaties (WKK's) van glastuinbouwbedrijven. Deze WKK's draaien op aardgas, de CO₂-productie draagt daarom bij aan klimaatverandering. Een deel van deze CO₂ wordt, na reiniging, gedoseerd in de kassen om de groei van het gewas te bevorderen. Een ander deel van de in kassen gebruikte CO₂ wordt door toeleveranciers aangeleverd via trailers of pijpleidingen. In de glastuinbouw zijn er verschillende opties voor reductie van de uitstoot van broeikasgassen. Geothermie en het gebruik van restwarmte vormen bijvoorbeeld alternatieve warmtebronnen. Ook voor CO₂-productie zijn alternatieven beschikbaar, nu al is een deel van de in kassen gebruikte CO₂ afkomstig van industriële installaties waar CO₂ is afgevangen.

In het kader van de uitwerking van de SDE++-regeling vindt er op dit moment een discussie plaats of het gebruik van CO₂ door de glastuinbouw in aanmerking zou moeten komen voor subsidie. VEMW heeft Ecorys gevraagd onderzoek te doen naar de werkelijk impact van CO₂-levering aan de glastuinbouw. De hoofdvraag van het onderzoek is als volgt: *wat is de netto bijdrage aan CO₂-emissies in de atmosfeer van de levering van CO₂ aan de glastuinbouw?* Bij het beantwoorden van deze vraag besteden we speciaal aandacht aan de interactie tussen de verandering in kosten bij de glastuinbouw door externe CO₂-levering en de netto CO₂-emissies.

1.2 Opbouw van dit rapport

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft Wageningen Economic Research (WER) onderzoek gedaan naar het effect van externe CO₂-levering op emissies.⁴ Het volgende hoofdstuk bevat een review van dat WER-rapport (Effect extra CO₂-inkoop op emissie van de glastuinbouw in 2030, Wageningen Economic Research, 2020).

Onze analyse van CO₂-emissies als gevolg van CO₂-levering staat in hoofdstuk 3 en 4. In hoofdstuk 3 veronderstellen we het gebruik van CO₂ constant, we gaan na wat de ketenemissies zijn van een aan de glastuinbouw geleverde kilogram CO₂.

In hoofdstuk 4 onderzoeken we de relatie tussen de prijs van CO₂ en het gebruik ervan. Glastuinbouwondernemers kunnen er namelijk voor kiezen om meer of minder CO₂ als meststof in de kassen te brengen. Extra doseren van CO₂ resulteert in hogere netto CO₂-emissies. Een deel van de CO₂-levering aan de glastuinbouw kan dus resulteren in een reductie van CO₂-emissies (hoofdstuk 3) en deel doet dat niet (hoofdstuk 4). In hoofdstuk 4 gaan we ook na of het mogelijk is om de verhouding daartussen vast te stellen. Hoofdstuk 5 bevat onze conclusies en aanbevelingen.

⁴ N.J.A. van der Velden en P.X. Smit. Effect extra CO₂-inkoop op emissie van de glastuinbouw in 2030. Wageningen Economic Research, januari 2020

2 Review WER-rapport effect CO₂-inkoop emissies glastuinbouw 2030

2.1 Introductie

Wageningen Economic Research (WER) heeft begin 2020 haar onderzoek gepubliceerd naar de mate waarin levering van CO₂ aan de glastuinbouw CO₂-emissies reduceert.⁵ Dit hoofdstuk bevat een samenvatting van de aanpak en conclusies van het WER-rapport. Daarna volgen de bevindingen van de review door Ecorys.

2.2 Aanpak en conclusies WER-rapport

Voor de kwantificering van de reductie van de CO₂-emissie in de glastuinbouw door levering van externe CO₂ is door WER een conceptueel raamwerk ontwikkeld. In dit raamwerk wordt uitgegaan van de 'IPCC-methode'. Deze methode gaat uit van de CO₂-emissie die in de glastuinbouw op locatie vrijkomt bij verbranding van fossiele brandstof. Hierdoor telt de inkoop en verkoop van energie (elektriciteit en warmte) niet mee. Ook de inkoop van CO₂ en de vastlegging van CO₂ in het gewas tellen niet mee.

Het in het rapport gehanteerde zichtjaar is 2030.

WER onderscheidt de volgende motieven voor het gebruik van externe CO₂:

- a. Warmtevoorziening zonder CO₂-emissie vergroten;
- b. Zomerstook vermijden (zomerstook is het doseren van rookgas-CO₂ vanuit de aardgasgestookte ketel of WKK zonder benutting van de vrijkomende warmte);
- c. Het risico op gewasschade door schadelijke stoffen verminderen; en
- d. Extra gewasproductie realiseren en/of de productieplanning sturen.

Gebruiksmotief a. en b. hebben volgens WER een 'CO₂-reductiefactor' van 100%. Dit betekent dat 1 kg externe CO₂-levering leidt tot een reductie van 1 kg CO₂-emissie. De CO₂-reductiefactor voor gebruiksmotief c. en d. is 0%. Dit betekent het gebruik van externe CO₂ niet resulteert in een reductie van CO₂-emissies.

Vervolgens kwantificeert WER de situatie waarin extra CO₂ wordt geleverd aan de glastuinbouw op basis van twee varianten: levering jaarrond en levering in het tweede en derde kwartaal. Dit levert de volgende resultaten op (overgenomen uit hoofdstuk 4 van het rapport waarin conclusies staan):

- De gemiddelde CO₂-emissiereductie van alle gebruiksmotieven voor extra externe CO₂-levering aan de glastuinbouw bij de jaarrond variant in 2030 is globaal geschat op **0,91 kg** (91%) per geleverde kg CO₂.
- De gemiddelde CO₂-emissiereductie van alle gebruiksmotieven voor extra externe CO₂-levering aan de glastuinbouw bij de variant met levering in het tweede en derde kwartaal in 2030 is globaal geschat op **0,95 kg** (95%) per geleverde kg CO₂.

⁵ N.J.A. van der Velden en P.X. Smit. Effect extra CO₂-inkoop op emissie van de glastuinbouw in 2030. Wageningen Economic Research, januari 2020

Deze conclusies volgen uit tabellen 3.1 en 3.2 in het WER-rapport (zie tabel 2.1 in dit rapport). De CO₂-reductiefactor wordt hierin berekend door het gebruik vanuit motief a. en b. te delen door het totale verbruik. Uit deze tabellen blijkt dat het gebruik vanuit het motief 'warmtevoorziening zonder CO₂-emissie vergroten' in beide varianten veruit het grootst is. Daarna volgt het gebruiksmotief 'zomerstook vermijden'.

Tabel 2.1 Tabel met resultaten WER-rapport

Schatting gemiddelde kenmerken per gebruiksmotief en de reductie van de CO₂-emissie van de glastuinbouw door extra externe CO₂-levering, variant levering jaarrond.

Gebruiksmotief	Effect op CO ₂ -emissie	Areaal	Inzet extra externe CO ₂	Reductie CO ₂ -emissie
	%	ha	kg/m ² Mton	
A Warmtevoorziening zonder CO ₂ -emissie	100		0,455	0,455
- bedrijven met wkk		1.200-1.800	5-15	
- bedrijven zonder wkk		800-1.200	20-35	
B Zomerstook vermijden	100	0-2.800	2-7	0,098
C Risico gewasschade uitsluiten	0		0,044	0
- gehele jaar		0-50	50-75	
- winterperiode		200-400	5-10	
D Extra gewasproductie	0	100-200	4-8	0,010
Totaal			0,607	0,553
CO ₂ -reductiefactor (%)				91

In de variant met alleen levering in het tweede en derde kwartaal is er geen gebruik van CO₂ in de winterperiode, waarin externe CO₂ wordt gebruikt om het risico op gewasschade te beperken. Omdat dit gebruik niet resulteert in reductie van netto CO₂-emissies is de CO₂-reductiefactor in de variant met levering in het tweede en derde kwartaal hoger.⁶

2.3 Review Ecorys

2.3.1 Afbakening en onderzoeksmethode

WER bakent de onderzoeksvraag van het rapport op de volgende manier af:

De onderzoeksvraag richt zich op de reductie van de CO₂-emissie **binnen** de glastuinbouwsector volgens de IPCC-methode. Daarnaast kunnen er ook CO₂-emissie-effecten **optreden in de keten buiten de glastuinbouw**, zoals bij de bron, bij de afvang en bij het transport. Echter, de effecten buiten de glastuinbouwsector zijn in het WER-onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Dit is overeenkomstig internationale afspraken, de IPCC-methode (IPCC guidelines, 2006) en de afspraken over het CO₂-emissiedoel voor de glastuinbouw.

Op deze afbakening is op zichzelf weinig tegen maar het beperkt wel het gebruik van de resultaten van het onderzoek. Het onderzoek benadert niet de impact op CO₂-emissies in de atmosfeer van de afvang van CO₂ bij gebruik in de glastuinbouw. Er wordt in het onderzoek in het bijzonder geen rekening gehouden met:

- Energiegebruik in de rest van de keten (afvang, zuivering, compressie, transport)
- Energiegebruik in andere sectoren, in het bijzonder het energiegebruik dat gepaard gaat met het opwekken van elektriciteit.

⁶ De variant met levering in het tweede en derde kwartaal lijkt praktisch niet toepasbaar. Het zou vereisen dat gebruik buiten van externe CO₂ buiten het tweede en derde kwartaal niet is toegestaan.

- Het wegvallen van elektriciteitsproductie door het stoppen van de WKK's; deze niet meer geproduceerde elektriciteit zal door andere energiecentrales geproduceerd moeten worden.

De afbakening en gehanteerde methode door de WER sluit ook niet aan bij de wijze waarop netto vermeden CO₂ volgens de SDE++-systematiek wordt bepaald. Daarin worden alle directe ('scope 1') emissies en deels ook indirecte (aan energiegebruik gerelateerde) CO₂-emissies meegenomen ('scope 2/3').

2.3.2 Prijselasticiteit CO₂-vraag glastuinbouw

Als gevolg van een subsidie voor CO₂-afvang kunnen de (marginale) kosten voor het gebruik van CO₂ in de glastuinbouw veranderen. Een kostendaling kan zich voordoen als:

- De (gemiddelde) kosten van externe CO₂-levering lager zijn dan die van alternatieven
- De kostenstructuur van externe CO₂-levering anders is dan die van alternatieven. Bij CO₂-levering door middel van een pijpleiding zijn marginale kosten van CO₂ relatief laag.

Bij lagere marginale kosten van CO₂-gebruik zullen glastuinbouwondernemers meer CO₂ doseren om de groei van gewassen nog meer te bevorderen. Hier is door WER impliciet rekening mee gehouden bij in ieder geval gebruiksmotief c. en d.. Glastuinbouwondernemers kunnen nu al externe CO₂ gebruiken voor deze motieven. In het onderzoek van de WER wordt genoemd dat als gevolg van lagere (marginale) kosten het CO₂-gebruik toeneemt met als doel om groei van gewassen extra te bevorderen; dat dit van invloed is op de kwantitatieve invulling van de motieven in het conceptueel raamwerk. WER geeft echter niet aan welke prijzen en prijselasticiteiten zijn gebruikt om het volume van CO₂-gebruik te schatten.

2.3.3 Transparantie over en herleidbaarheid van gebruikte gegevens

Voor de uitgangspunten in de tabellen 3.1 en 3.2 van het WER-rapport (zie tabel 2.1 in dit rapport) zijn schattingen gemaakt op basis van informatie uit de Energiemonitor glastuinbouw (Van der Velden en Smit, 2019a), de Prognoses CO₂-emissie glastuinbouw 2030 (Van der Velden et al., 2018) en de Prognose van de CO₂-behoefte van de glastuinbouw, inclusief analyse van klantgegevens van CO₂-leveranciers (Van der Velden en Smit, 2019).

Ecorys heeft deze bronnen bestudeerd en komt tot de bevinding dat de exacte herkomst van de getallen en schattingen niet direct is af te leiden. Wij hebben de gerapporteerde gegevens uit de tabellen 3.1 en 3.2 van het WER-rapport zoals areaal, inzet extra externe CO₂ en 'zomerstook', niet kunnen herleiden tot de bron.

WER maakt gebruik van schattingen om het areaal en de extra inzet van CO₂ in te schatten. Daarbij wordt een spreiding (bandbreedte) aangehouden. WER rapporteert resultaten echter als een puntschatting. Dat is niet zuiver omdat ook de resultaten met onzekerheid omgeven zijn. Het zou beter zijn geweest als WER ook hier een bandbreedte gehanteerd zou hebben (WER geeft overigens wel aan dat het gaat om 'globale schattingen').

Op pagina 10 van het WER-rapport wordt onderscheid gemaakt tussen (1) extra levering bij bestaand netwerk en (2) extra levering bij niet bestaand netwerk. Ook vermelden de onderzoekers dat zij op basis van het voorgaande onderscheid maken tussen tabel 3.1. (gebruiksmotief=jaarrond) en 3.2. (gebruiksmotief=tweede en derde kwartaal). Het is lastig te begrijpen wat dit onderscheid precies betekent voor de totstandkoming van de analyse en de resultaten.

De totstandkoming van de schattingen en getallen zijn daarom volgens Ecorys onvoldoende transparant. De betrouwbaarheid van de gepresenteerde informatie is daardoor niet te toetsen. Gezien het feit dat de WER-publicatie een van de vertrekpunten vormt voor het SDE-subsidieontwerp waarmee publieke middelen worden besteed, merkt Ecorys op dat een meer gedetailleerde uitleg en transparante traceerbaarheid van de getallen gewenst is.

2.3.4 Representativiteit gewassen

WER merkt op dat de CO₂-intensiteit uiteen loopt tussen gewassen. In de verdere analyse doet WER daar weinig mee omdat de analyse betrekking heeft op de volledige glastuinbouw. Het is niet duidelijk of WER uitgaat van een "gemiddeld gewas" of b.v. het gewas dat het meeste wordt geteeld in Nederland.

3 CO₂-ketenanalyse

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat een analyse naar de emissies van de levering van CO₂ aan de glastuinbouw. Het doel van de analyse is om vast te stellen welke netto CO₂-emissies ontstaan in de keten. Netto CO₂-emissies worden daarbij gedefinieerd als emissies die in de atmosfeer komen bij levering van een afgevangen kg CO₂ de glastuinbouwsector.

Bijzondere aandacht besteden we hierbij aan de scope van de analyse. Bij de analyse sluiten we waar mogelijk aan bij het analysekader en afbakening dat gebruikt wordt om de (concept) SDE++ basisbedragen vast te stellen. Daarbij wordt een analyse gemaakt van de situatie zonder (*business as usual*) en met een SDE++-techniek. Om aan energiegebruik gerelateerde emissies vast te stellen maken wij gebruik van de analyses van PBL naar het energieverbruik (in de vorm van een *energy penalty*⁷) voor individuele systeemcomponenten van CCS.⁸ Deze analyses van PBL beschrijven welke hoeveelheden energie (aardgas en elektriciteit) nodig is om CO₂ af te vangen en te transporteren. Om de emissies vast te stellen van dit energieverbruik gebruiken we de emissiefactoren voor aardgas- en elektriciteitsverbruik in 2030 zoals ze zijn gebruikt in de rapporten van PBL in het kader van de SDE++-regeling. De emissiefactor voor aardgas wordt op 56,6 kg/GJ (LHV in 2019, zal naar waarschijnlijkheid niet veel veranderen naar 2030) en voor elektriciteit op 0,187 kg/kWh (marginale optie op net in 2030) gesteld door het PBL. Op deze manier kunnen we een beeld scheppen van de CO₂-emissies in 2030.

In paragraaf 3.2 lichten wij de analysestappen toe voor het uitvoeren van een CO₂ ketenanalyse. Per onderdeel van de keten bepalen we welke CO₂-emissies gepaard gaan met het afvangen van een eenheid CO₂. Vervolgens kijken we in paragraaf 3.3 naar de CO₂-emissies in de gehele keten. Ook presenteren we hier het CO₂ emissiereductiepotentieel, waarbij we de emissies van de levering van afgevangen (vermeden emissies) CO₂ afzetten tegen de emissies bij het gebruik van een WKK of aardgasketel (*business as usual*).

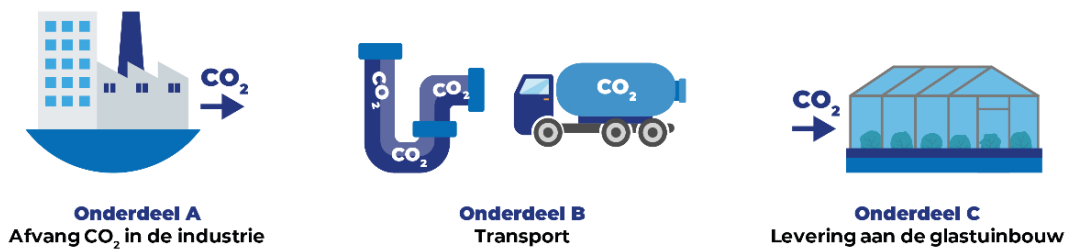
De analyse in paragraaf 3.2 en 3.3. richt zich uitsluitend op emissies in de Nederlandse glastuinbouwketen. Paragraaf 3.4 gaat in op de bredere impact van een subsidie voor afvang voor de markt voor CO₂.

3.2 Emissies per onderdeel in de keten

Voor het opstellen van deze analyse is het belangrijk om te bepalen welke onderdelen in de keten bijdragen aan CO₂ uitstoot. In onze analyse richten wij ons op energie en gerelateerde CO₂-emissies in de volgende onderdelen van de keten:

⁷ Bij de benadering van de basisbedragen voor CCS wordt rekening gehouden met de *energy penalty*; energie die nodig is om CO₂ af te vangen en te transporteren. In de SDE++-systematiek worden de emissies die gepaard met deze interne energiebehoefte gecorrigeerd om de hoeveelheid netto vermeden CO₂ te bepalen.

⁸ Aan energiegebruik gerelateerde emissies staan centraal, emissies die vrijkomen bij fabricage van bijvoorbeeld de afvanginstallatie en een pijpleiding zijn dus (zoals gebruikelijk in de SDE++-systematiek) buiten beschouwing gelaten.



3.2.1 Onderdeel A: Afvang CO₂

1. Energie en gerelateerde CO₂-emissies veroorzaakt door de afvang van CO₂ bij bronnen waar CO₂ vrijkomt met een hoge zuiverheid (>95%)
2. Energie en gerelateerde CO₂-emissies veroorzaakt door de afvang van CO₂ bij laag zuivere CO₂-bronnen (bijvoorbeeld verbrandingsovens en andere rookgassen)

Beschrijving

Om CO₂ te kunnen leveren aan glastuinbouwondernemers dient CO₂ eerst afgevangen te worden van (industriële)processen die de CO₂ als restproduct uitstoten. Om CO₂ af te vangen is energie nodig. Energieverbruik ten behoeve van het afvangen van CO₂ zorgt weer voor een additionele CO₂-uitstoot (in de atmosfeer).

Het IPCC⁹ en het PBL¹⁰ hebben het energieverbruik van CCS-installaties geanalyseerd. Om CO₂ af te vangen wordt gebruik gemaakt van chemische absorptie, middels 'amine solvents' (MEA; monoethanolamine en KS-X). In deze stap is enerzijds warmte nodig om stoom te genereren ten behoeve van de regeneratie van de solvents. Anderzijds is er elektriciteit nodig om de vloeistoffen en gassen rond te pompen in dit proces. De hoeveelheid warmte en elektriciteit die benodigd is, verschilt per type installatie. Hierbij spelen de concentratie en zuiverheid van de CO₂-stromen een belangrijk rol. Het IPCC en PBL maken daarom ook onderscheid in het energieverbruik per type installatie. Het afvangproces bij bijvoorbeeld ammoniak-, waterstof-, en koolmonoxideproductie verbruikt relatief weinig energie, omdat de zuiverheid van de vrijkomende CO₂ uit de *amine wash* processen meer dan 95% is. Ook bij vergistingsinstallaties met opwerking naar groen gas komt vaak > 95% zuivere CO₂ vrij. Kolen-, olie- en gascentrales voor elektriciteitsproductie, staalindustrie en afvalverbrandingsinstallaties verbruiken relatief veel energie, omdat de concentratie in het rookgas waaruit de CO₂ afgevangen moet worden laag is. Daardoor is een (energie-intensieve) stap nodig om de CO₂ te concentreren tot hoger dan 95%.

In onderdeel A berekenen we de CO₂ (kg) uitstoot in 2030 per afgevangen (kg) CO₂ die veroorzaakt wordt door het energieverbruik bij het afvangproces. Dit doen we voor verschillende varianten, door te variëren in de CO₂ bron (hoog versus laag zuiver).

Resultaten

De resultaten van onderdeel A in de keten worden gepresenteerd in tabel 3.1. De tabel presenteert de CO₂ emissies (in kg) in 2030 per afgevangen kg CO₂ van verschillende type bronnen.

Het afvangen van CO₂ bij hoog zuivere bronnen kost relatief weinig energie, wat resulteert in een lagere CO₂ uitstoot per afgevangen eenheid CO₂. Het afvangen van CO₂ bij laag zuivere bronnen kost meer energie ten behoeve van extra zuiveringsprocessen om zo tot een zuiverheid van >95% in de output stroom te komen. Dit extra energieverbruik resulteert in een hogere CO₂ uitstoot per afgevangen eenheid CO₂ voor laag zuivere bronnen.

⁹ IPCC (2005), IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage.

¹⁰ PBL (2019), Conceptadvies SDE++ CO₂-reducerende opties – CO₂-afvang en -opslag (CCS).

De situatie kan zich voordoen dat enkele industrieën op dit moment al CO₂-afvangen van hun processen. Indien zij ervoor kiezen om deze afgevangen CO₂ te leveren aan de glastuinbouw, dan zou bij het afvangen (onderdeel A) geen extra energie verbruikt worden. Dit betekent dat de emissies voor deze specifieke situatie 0 kg CO₂ is per kg afgevangen CO₂. Omdat de SDE++ zich focust op het reduceren van CO₂ emissies en dus de afvang van CO₂ wil bevorderen (nieuwe afvanginstallaties stimuleren of bestaande uitbreiden, zie PBL 2019¹⁰) nemen we deze specifieke situatie niet mee.

Tabel 3.1 Emissies onderdeel A: Afvang (emissies per kilo afgevangen CO₂)

Onderdeel	Type	Eenheid	Emissies
Bron	Hoog zuiver*	kg/kg	0,069
	Laag zuiver AVI	kg/kg	0,164
	Laag zuiver Raffinage	kg/kg	0,208

Gebruikte data:

Bron PBL (2019), Conceptadvies SDE++ CO₂-reducerende opties – CO₂-afvang en -opslag (CCS):

- Energieverbruik afvangen hoog zuivere bron: 1,1 GJth/ton CO₂
- Energieverbruik afvangen AVI laag zuivere bron: 2,6 GJth/ton CO₂
- Energieverbruik afvangen Raffinage laag zuivere bron: 3,3 GJth/ton CO₂
- Rendement industriële aardgasketel voor stroomproductie (LHV): 90%

Bron Min. EZK (2019). Staatscourant nr.7809: Kennisgeving standaard CO₂-emissiefactor aardgas voor emissiehandel 2019:

- Emissiefactor aardgas (LHV, 2019): 56,6 kg/GJ

* Volgens marktpartijen is voor afvang bij hoogzuivere bronnen weinig energie nodig. Emissies kunnen daardoor lager zijn dan volgt uit de door PBL gehanteerde aanname.

3.2.2 Onderdeel B: Transport

1. Energie en gerelateerde CO₂-emissies veroorzaakt door transport via pijpleidingen van gasvormig CO₂ (toepasbaar voor Ocap en Warm CO₂).
2. Energie en gerelateerde CO₂-uitstoot veroorzaakt door vloeibaar maken van CO₂.
3. Energie en gerelateerde CO₂-uitstoot veroorzaakt door wegtransport van vloeibare CO₂.

Beschrijving

Nadat de CO₂ is afgevangen dient het getransporteerd te worden naar de glastuinbouwbedrijven. Ook hierbij wordt energie verbruikt wat zal leiden tot een additionele CO₂-uitstoot in de atmosfeer. Er zijn verschillende manieren om CO₂ te transporteren.

Allereerst is het mogelijk om CO₂- gasvormig te transporteren in een leidingnetwerk. Hiervoor is compressie van de CO₂ na het afvangen noodzakelijk. Wederom hebben de IPCC en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) geanalyseerd wat het elektriciteitsverbruik is van compressie per getransporteerde ton CO₂.

Ten tweede kan de CO₂ in vloeibare vorm getransporteerd worden in tanks via wegtransport. Hiervoor dient eerst de gasvormige CO₂ uit het afvangproces veranderd te worden naar vloeibare CO₂ voor transport. Een samenwerking tussen o.a. het ministerie van EZK, CBS, Milieu Centraal en CE Delft¹¹ beheren een online database met CO₂-emissiefactoren t.b.v. een breder gedeeld en een gestandaardiseerd gebruik van CO₂- emissiefactoren. In deze database zijn ook emissiefactoren opgenomen voor wegtransport, in tonkilometer (vast gesteld door CE Delft in 2016¹²). Dat houdt in dat we de CO₂-emissies van verschillende transportmodaliteiten kunnen berekenen per ton getransporteerd product en per afgelegde kilometer.

¹¹ Lijst emissiefactoren goederenvervoer. url: www.co2emissiefactoren.nl.

¹² Emissiefactoren voor wegtransport in 2030 ontbreken. Daarom passen we emissiefactoren voor wegtransport in 2016 toe (die zijn vastgesteld door CE Delft op CO2emissiefactoren.nl) in onze ketenanalyse naar 2030. Naar verwachting zal wegtransport verduurzamen richting 2030. Hierdoor kunnen de emissies dit onderdeel van de ketel hoger uitvallen. Echter, het aandeel van emissies door wegtransport zijn zeer klein in verhouding tot de emissies in de hele keten, waardoor het niet veel impact zal hebben op de resultaten.

In onderdeel B berekenen we de (kg) CO₂ uitstoot in 2030 per getransporteerde (kg) CO₂ die veroorzaakt wordt door het energieverbruik bij het transporteren van CO₂. Hierbij kunnen we variëren in i) de transportmodaliteit, ii) de afstand en iii) het gewicht per getransporteerde batch.

Resultaten

De resultaten van onderdeel B in de keten worden gepresenteerd in Tabel 3.2. De tabel presenteert de CO₂ emissies (in kg) in 2030 per getransporteerde kg CO₂ (exclusief de emissies in de eerdere onderdelen van de keten). Indien CO₂ getransporteerd wordt via een pijpleiding wordt energie verbruikt bij het comprimeren van CO₂ om het onder druk te kunnen transporteren. De compressie brengt beperkte CO₂ emissies met zich mee in vergelijking met de emissies elders in de keten.

Indien CO₂ getransporteerd wordt via wegtransport moet de geleverde CO₂ eerst vloeibaar gemaakt worden. Het vloeibaar maken van CO₂ kost extra energie en brengt dus ook extra CO₂ uitstoot met zich mee. Vervolgens is er energie nodig in de vorm van brandstoffen voor de voertuigen om de CO₂ te transporteren. Hierbij gaan we uit van een vrachtwagen die ongeveer 25 tot 30 ton kan vervoeren. Rekening houdend met het extra energieverbruik voor het vloeibaar maken van CO₂ en met de aanname dat CO₂ zo'n 100km vervoerd moet worden, zorgt wegtransport voor hogere CO₂-emissies in vergelijking tot een pijpleiding.

Tabel 3.2 Emissies onderdeel B: Transport

Onderdeel	Beschrijving	Eenheid	Emissies
Transport	Pijpleiding	kg/kg	0,019
	Liquefaction*	kg/kg	0,030
	Wegtransport*	kg/kg-km	0,00009

Gebruikte data:

Bron PBL (2019), Conceptadvies SDE++ CO₂-reducerende opties – CO₂-afvang en -opslag (CCS):

- Energieverbruik compressie pijpleiding: 0,1 MWh/ton CO₂

Bron PBL (2020), SDE++ 2020 OT-model:

- Emissiefactor elektriciteit (2030): 0,187 kg CO₂/kWh

Bron TNO (2020), Conceptadvies SDE++ 2021 CO₂-afvang en -gebruik in de glastuinbouw:

- Energieverbruik liquefaction: 0,162 kWh/kg CO₂

Bron CO₂ emissiefactoren.nl (bezocht mei 2020):

- Emissiefactor wegtransport (bulk vervoer, >20ton, TTW; 2016): 0,086 kg CO₂/ton-km

Bron CO₂ producent en distributeur:

- Inschatting gemiddelde transportafstand: 100km (retourkilometers met een lege vrachtwagen zijn buiten beschouwing gelaten), de impact daarvan op totale ketenemissies zijn verwaarloosbaar.

3.2.3 Onderdeel C: Levering aan de glastuinbouw

4. Impact op de CO₂-emissies bij de kassen door minder gebruik van een WKK of een aardgasketel als gevolg van externe CO₂ levering.

Beschrijving

Tot slot kijken we naar de emissie die ontstaat in de kassen wanneer een glastuinbouwondernemer gebruik maakt van externe CO₂-levering. Om uiteindelijk de emissiereductie van externe CO₂-levering te bepalen maken we een vergelijking tussen de emissies die in de kas ontstaan door het gebruik van externe CO₂-levering ten opzichte van de emissies die (momenteel) ontstaan in de kas zonder externe CO₂ levering. In dit onderzoek gaan we ervan uit dat normaliter de tuinder gebruik maakt van een WKK of een aardgasketel om CO₂ te produceren (*business as usual; BAU*). Als de tuinder van een WKK of een aardgasketel overstapt naar externe CO₂-levering, zou de tuinder in theorie een emissiereductie kunnen bewerkstelligen door de WKK of aardgasketel (op bepaalde momenten) uit te zetten. Deze emissiereductie is niet per definitie een gevolg van externe CO₂-levering. Een WKK en aardgasketel produceren naast CO₂ ook warmte. Als gebruik wordt gemaakt van externe CO₂-levering dient de warmtevraag alsnog ingevuld te worden. Voor een

warmtevoorziening zonder inzet van fossiele brandstoffen is immers een duurzame warmtevoorziening nodig (bijvoorbeeld een geothermiebron of aansluiting op een warmtenet). Dus, om een emissiereductie te behalen dient de tuinder naast externe CO₂-levering ook een duurzame warmtebron te kiezen.

In onderdeel C vergelijken we acht verschillende varianten op kas-niveau. De varianten presenteren verschillende situaties in de kassen waarbij een vergelijking wordt gemaakt tussen de CO₂-uitstoot per eenheid extern geleverde CO₂ ten opzichte van de CO₂-uitstoot per op locatie geproduceerde eenheid CO₂. De situaties worden gedifferentieerd aan de hand van twee parameters: de glastuinbouwondernemer is in bezit van een **WKK of een aardgasketel** en de ondernemer heeft een **duurzame of een conventionele warmtevoorziening**. Beide parameters hebben invloed op hoe de vraag naar CO₂, warmte en elektriciteit in de kas ingevuld worden. Tabel 3.3 en 3.4 geven een overzicht van de varianten.

Ten eerste kan de glastuinbouwondernemer de keuze maken om gebruik te maken van een WKK of aardgasketel in zijn kas. Als de glastuinbouwondernemer gebruik maakt van een WKK zal de glastuinbouwondernemer naast CO₂ en warmte ook elektriciteit produceren en gebruiken ten behoeve van bijvoorbeeld de belichting van gewassen en/of levering op het elektriciteitsnet. Glastuinbouwondernemers met een aardgasketel produceren enkel CO₂ en warmte.

Ten tweede kan onderscheid gemaakt worden tussen glastuinbouwondernemers met een duurzame warmtevoorziening (uitgangspunt geothermie) en glastuinbouwondernemers met een conventionele warmtevoorziening (WKK of aardgasketel). In beide gevallen gaan we ervan uit dat zonder externe CO₂-levering, CO₂ zou zijn geproduceerd met een WKK of aardgasketel.

De onderstaande tabellen tonen de CO₂ uitstoot per geproduceerde/geleverde eenheid CO₂ van acht situaties/ varianten (kg CO₂ uitstoot per kg geproduceerde/geleverde CO₂). Door een vergelijking te maken tussen de varianten *lokale* (business as usual) en de *externe* varianten, krijgen we inzicht in de reductie van de CO₂-emissies door minder gebruik van WKK's/aardgasketels als gevolg van een extern geleverde kg CO₂.

De vraag naar CO₂ (volume) zal verschillen per variant. Een glastuinbouwbedrijf met een duurzame energievoorziening zal naar verwachting een grotere behoefte hebben aan externe CO₂-levering dan zonder duurzame warmtevoorziening. In welke mate de CO₂ vraag wordt ingevuld met lokale of externe CO₂ hangt daarnaast ook van andere factoren af (type gewas, ventilatie). Hier besteden we in hoofdstuk 4 aandacht aan.

Tabel 3.3 Varianten met WKK

WKK						
Warmtevoorziening	Duurzaam			Conventioneel		
	CO ₂	Warmte	Elektriciteit	CO ₂	Warmte	Elektriciteit
<i>Variant: Lokaal (BAU)</i>	WKK	WKK + Geothermie* ¹	WKK	WKK	WKK	WKK
<i>Variant: Extern</i>	Extern	Geothermie	Net	Extern	-* ²	Net

Tabel 3.4 Varianten met aardgasketel

Aardgasketel						
Warmtevoorziening	Duurzaam			Conventioneel		
	CO ₂	Warmte	Elektriciteit	CO ₂	Warmte	Elektriciteit
<i>Variant: Lokaal (BAU)</i>	Ketel	Ketel + Geothermie* ¹	-* ³	Ketel	Ketel	-* ³
<i>Variant: Extern CO₂</i>	Extern	Geothermie	-* ³	Extern	-* ²	-* ³

Toelichting varianten *:

1. Deze situatie kan zich voordoen wanneer bijv. de tuinder de WKK/aardgasketel gebruikt om CO₂ en warmte (en elektriciteit) te produceren. Geothermie wordt gebruikt in momenten dat de WKK/aardgasketel voldoende CO₂ leveren en er extra warmte nodig is.
2. Deze situatie kan zich voordoen wanneer bijv. de tuinder op momenten enkel CO₂ nodig heeft (en dus geen warmte). In het geval van een WKK kan de elektriciteit gehaald worden van het net.
3. In theorie kan de tuinder, wanneer die in het bezit is van een aardgasketel, gebruik maken van elektriciteit van het net. Echter, wanneer de tuinder met een aardgasketel van lokaal geproduceerde CO₂ (BAU) overstapt naar externe CO₂ zullen de emissies door elektriciteitsverbruik niet veranderen. De verandering in CO₂-productie is onafhankelijk van de productie/verbruik van elektriciteit. Daarom wordt in dit overzicht de herkomst van elektriciteit bij het gebruik van een aardgasketel genegeerd.

Resultaten

De resultaten van onderdeel C in de keten worden gepresenteerd in tabel 3.5 en 3.6. De tabel presenteert de CO₂-emissies (in kg) in 2030 per afgenomen kg CO₂ (exclusief de emissies in de eerdere onderdelen van de keten).

Tabel 3.5 Emissies onderdeel C: WKK

WKK			
Warmtevoorziening	Eenheid	Duurzaam* ¹	Conventioneel
<i>Variant: Lokaal (BAU)</i>	kg/kg	1	1
<i>Variant: Externe CO₂</i>	kg/kg	0,370* ²	0,370* ²

Tabel 3.6 Emissies onderdeel C: Aardgasketel

Aardgasketel			
Warmtevoorziening	Eenheid	Duurzaam* ¹	Conventioneel
<i>Variant: Lokaal (BAU)</i>	kg/kg	1	1
<i>Variant: Externe CO₂</i>	kg/kg	0	0

Gebruikte data:

Bron LEI/WER (2008): Energiebenutting warmtekrachtkoppeling in de Nederlandse Glastuinbouw:

- Elektrisch rendement WKK: 40%
- Thermisch rendement WKK: 52%

Bron PBL (2020), SDE++ 2020 OT-model:

- Emissiefactor elektriciteit (2030): 0,187 kg CO₂/kWh

Toelichting berekening *:

1. In de berekening gaan we ervan uit dat de emissiefactor van warmtelevering bij geothermie 0 kg/MJth is. Deze keuze is gemaakt zodat we de emissie(reductie) die ontstaat door de overstap van lokaal (BAU) geproduceerde CO₂ naar extern geleverde CO₂ kunnen isoleren. Als we een emissiefactor toekennen aan geothermie, dan zouden we de emissie(reductie) door externe CO₂ levering niet kunnen scheiden van de emissie(reductie) door geothermie.
2. Om te berekenen wat de emissies zijn van de geleverde elektriciteit bij externe CO₂ levering waarbij de glastuinbouwondernemer in bezit is van een WKK dient eerst vastgesteld worden hoeveel elektriciteit de glastuinbouwondernemer zou afnemen. Hierbij gaan we ervan uit dat de afname in kWh elektriciteit per kg extern geleverde CO₂ gelijk is aan het aantal kWh elektriciteit wat een WKK zou produceren per kg geproduceerde CO₂. Vervolgens wordt deze hoeveelheid vermenigvuldigt met de emissiefactor voor elektriciteit.

Wanneer de glastuinbouwondernemer op *bepaalde momenten* overstapt (van *lokaal business as usual* naar *extern*) op externe CO₂-levering, veranderen de CO₂-emissies vanuit de kas. De

omvang van de emissies van een glastuinbouwbedrijf bij externe CO₂-levering hangt ervan af of de glastuinbouwondernemer een WKK of een aardgasketel in bezit heeft.

Indien de glastuinbouwondernemer gebruik maakt van een **WKK**, gaan we ervan uit dat de glastuinbouwondernemer bij levering van externe CO₂ elektriciteit moet afnemen van het net en/of minder elektriciteit levert op het net. Elektriciteit is immers een product dat wordt geproduceerd met een WKK. Als op bepaalde momenten de WKK wordt uitgezet en externe CO₂ wordt geleverd zal de elektriciteit van het net moeten komen. Elektriciteit afnemen van het net brengt extra CO₂ emissies met zich mee.

Indien de glastuinbouwondernemer gebruik maakt van een **aardgasketel** gaan we ervan uit dat de glastuinbouwondernemer bij levering van externe CO₂ geen elektriciteit nodig heeft. Met een aardgasketel worden enkel de producten CO₂ en warmte geproduceerd. Als op bepaalde momenten de aardgasketel wordt uitgezet en externe CO₂ wordt geleverd zal dit dus geen impact hebben op de elektriciteit afname van een glastuinbouwbedrijf. In het geval van een aardgasketel heeft de glastuinbouwondernemer daarom geen extra emissies door elektriciteitsgebruik.

Om de gemiddelde emissiereductie van alle glastuinbouwondernemers waaraan CO₂ wordt geleverd vast te stellen is inzicht nodig in het volume afgenomen CO₂ in de verschillende varianten. Dat volume is afhankelijk van de momenten waarop een glastuinbouwondernemer in de situatie zonder CO₂-levering de WKK of aardgasketel zou hebben gebruikt.

De momenten waarop een glastuinbouwondernemer overstapt van lokale CO₂-productie (met een WKK of aardgasketel) naar externe CO₂-levering zijn afhankelijk van de warmtevoorziening van de glastuinbouwondernemer. Indien de warmtevoorziening conventioneel is (voor warmte wordt gebruik gemaakt van een WKK of aardgasketel), zal de glastuinbouwondernemer enkel gebruik maken van externe CO₂ indien de glastuinbouwondernemer geen warmtevraag heeft. Want als de glastuinbouwondernemer een warmtevraag heeft zal de ondernemer eerst gebruik maken van de WKK en aardgasketel, die op zijn beurt al CO₂ levert waardoor externe CO₂-levering niet meer nodig is (of in mindere mate). Indien de warmtevoorziening duurzaam is, zal de ondernemer vaker gebruik willen maken van externe CO₂-levering omdat de producten (CO₂, warmte en elektriciteit) individueel worden geproduceerd. Hierdoor is de glastuinbouwondernemer flexibeler in zijn of haar afname.

3.3 Emissies in de totale keten

Wanneer we alle emissies per onderdeel uit de keten bij elkaar optellen kunnen we bepalen wat de totale emissies zijn van het leveren van externe CO₂. Tabel 3.7. laat zien wat de CO₂-emissies zijn in 2030 per geleverde kg externe CO₂ over de gehele keten (Onderdeel A, B en C). De bandbreedte van de emissies omvat minimaal 0,09 en maximaal 0,62 kg CO₂ per kg extern geleverde CO₂. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in:

- A. Bron: de emissies die gepaard gaan bij het afvangen van hoog- en laag zuivere CO₂ bronnen.
- B. Transportmodaliteit: de emissies die gepaard gaan bij het transporten van afgevangen CO₂ via pijpleiding of wegtransport
- C. Levering aan glastuinbouw: de emissies die gepaard gaan bij de behoefte om elektriciteit van het net af te nemen

Vervolgens laat de tabel zien wat de emissiereductie van een extern geleverde kg CO₂ is ten opzichte van een lokaal geproduceerde kg CO₂ (lokaal *business as usual*, waarbij CO₂ wordt

geproduceerd met een WKK of aardgasketel). Hiermee krijgen we inzicht in de CO₂ emissiereductie voor elke kg CO₂ die de glastuinbouwondernemer extern afneemt en dus de WKK of aardgas ketel uitzet. De bandbreedte van de emissiereductie omvat minimaal 0,38 en maximaal 0,91 kg CO₂ emissiereductie per kg extern geleverde CO₂. Ter referentie, de WER gaat in hun onderzoek uit van een emissiereductie van 100%; 1 kg CO₂ emissiereductie per kg extern geleverde CO₂ (exclusief rekening te houden met extra CO₂ gebruik voor dosering, zie hoofdstuk 4).

De tabel geeft nog geen inzicht in het *volume* (vraag in kg per jaar) van de lokaal geproduceerd en extern geleverde CO₂. Hier kijken we nader naar in hoofdstuk 4.

Tabel 3.7 Totale emissies onderdeel A, B en C

CO ₂ emissies gehele keten							
WKK	Warmtevoorziening	Bron	Transport	Eenheid	Emissie	Emissiereductie	
WKK	Duurzame warmte	Hoogzuiver	Pijpleiding	kg/kg	0,458	0,542	
			Wegtransport	kg/kg	0,478	0,522	
		Laagzuiver	Pijpleiding	kg/kg	0,552	0,448	
			AVI	Wegtransport	kg/kg	0,572	0,428
		Laagzuiver	Pijpleiding	kg/kg	0,596	0,404	
			Raf.	Wegtransport	kg/kg	0,616	0,384
	Conventionele warmte	Hoogzuiver	Pijpleiding	kg/kg	0,458	0,542	
			Wegtransport	kg/kg	0,478	0,522	
		Laagzuiver	Pijpleiding	kg/kg	0,552	0,448	
			AVI	Wegtransport	kg/kg	0,572	0,428
		Laagzuiver	Pijpleiding	kg/kg	0,596	0,404	
			Raf.	Wegtransport	kg/kg	0,616	0,384
	Aardgasketel	Duurzame warmte	Hoogzuiver	Pijpleiding	kg/kg	0,088	0,912
				Wegtransport	kg/kg	0,108	0,892
Laagzuiver			Pijpleiding	kg/kg	0,182	0,818	
			AVI	Wegtransport	kg/kg	0,202	0,798
Laagzuiver			Pijpleiding	kg/kg	0,226	0,774	
			Raf.	Wegtransport	kg/kg	0,246	0,754
Conventionele warmte		Hoogzuiver	Pijpleiding	kg/kg	0,088	0,912	
			Wegtransport	kg/kg	0,108	0,892	
		Laagzuiver	Pijpleiding	kg/kg	0,182	0,818	
			AVI	Wegtransport	kg/kg	0,202	0,798
		Laagzuiver	Pijpleiding	kg/kg	0,226	0,774	
			Raf.	Wegtransport	kg/kg	0,246	0,754

3.4 Impact op de bredere CO₂-markt

In de voorgaande paragrafen kijken we specifiek naar de emissies bij de afvang en levering van CO₂ aan de glastuinbouw. CO₂ wordt echter niet alleen geleverd aan de glastuinbouw, er is een bredere (internationale) CO₂-markt met verschillende soorten afnemers.

Wij begrijpen dat het binnen de SDE++-regeling de bedoeling is om alleen de afvang van CO₂ ten behoeve van de tuinbouw te subsidiëren. Dat vereist dat er een systematiek komt om te borgen dat de gesubsidieerde CO₂ niet voor andere doeleinden wordt gebruikt. Zonder zo'n borgingssysteem is er een risico dat ook in andere markten ongesubsidieerde CO₂ vervangen gaan worden door goedkopere gesubsidieerde CO₂. Gesubsidieerde CO₂ zou zelfs geëxporteerd kunnen worden. Dit verstoort niet alleen de markt maar brengt ook het risico met zich mee dat emissies toenemen als

subsiëring resulteert in een hoger aanbod en verbruik van CO₂, zowel binnen als buiten de glastuinbouw.

Zelfs met zo'n borgingsysteem heeft het subsidiëren van CO₂-afvang naar verwachting gevolgen voor de markt voor CO₂. Glastuinbouwbedrijven maken nu namelijk al gebruik van externe geleverde CO₂. Gesubsidieerde CO₂-levering kan het bestaande CO₂-aanbod vervangen. Het bestaande CO₂-aanbod zal daarom een nieuwe bestemming moeten vinden. Afvang van CO₂ ten behoeve van gebruik in de glastuinbouw resulteert dus niet in een vermindering van het CO₂-gebruik en emissies die daarbij vrijkomen. In Nederland is vloeibare CO₂ ten opzichte van omliggende landen relatief goedkoop en er wordt vloeibare CO₂ geëxporteerd. Het is aannemelijk dat het huidige aanbod van CO₂ grotendeels naar buitenlandse afnemers zal gaan.

4 Netto CO₂-emissies van de sector

4.1 Introductie

In het voorgaande hoofdstuk zijn de emissies berekend die gepaard gaan bij een levering van een externe kg CO₂ ten opzichte van een lokaal geproduceerde kg CO₂ (met een WKK of aardgas-ketel). Om de netto CO₂-emissies van de glastuinbouw sector te bepalen analyseren wij eerst het effect van externe CO₂-levering op dosering van CO₂ in de kas. Vervolgens onderzoeken wij het volume van de CO₂-levering, om inzicht te geven in de verhouding tussen CO₂-levering die wél bijdraagt aan reductie netto-emissies en levering die dat **niet** doet.

4.2 Effect van externe CO₂-levering op de dosering

Bedrijfseconomische afweging CO₂-dosering

Glastuinbouwbedrijven kunnen, al of niet in aanvulling op de CO₂ uit WKK of ketel, extern geleverde CO₂ gebruiken om de groei van gewassen extra te bevorderen of om het risico op schade aan gewassen te beperken. De exacte hoeveelheid CO₂ die glastuinbouwondernemers in hun kas doseren aan de gewassen is geen vaststaand gegeven, maar is afhankelijk van een afweging tussen kosten en opbrengsten door de glastuinbouwondernemer. In deze stap analyseren wij het effect van externe CO₂-levering op de dosering van CO₂ in de kas.

De mate waarin glastuinbouwondernemers CO₂ doseren aan hun gewassen in de kas is afhankelijk van de verhouding tussen kosten en opbrengsten. Zo lang de kosten van een extra eenheid CO₂ opwegen tegen de daardoor verkregen extra opbrengsten, zal een glastuinbouwondernemer doorgaan met CO₂ toevoegen. In het WER-onderzoek "CO₂-behoefte glastuinbouw 2030" wordt in dat kader de term *CO₂ spread* geïntroduceerd. Daarmee wordt aangegeven dat de mate van CO₂-doseren afhankelijk is van de verhouding tussen verwachte (extra) opbrengsten van de glastuinbouwproducten door CO₂-dosering en de kosten van de CO₂-dosering. Per periode zal de verhouding tussen de marginale opbrengsten en de marginale kosten verschillen, afhankelijk van de kosten/baten analyse op dat moment. Dit is vergelijkbaar met de keuze tussen het wel en niet aanzetten van een WKK waarbij de glastuinbouwondernemer een keuze maakt op basis van de *spark spread* (verschil tussen de elektriciteitsprijs en de marginale kosten van elektriciteitsproductie) op de elektriciteitsmarkt.

Opbrengsten

De opbrengst van het toevoegen van CO₂ is afhankelijk van het effect op de productie door de gewassen en de marktprijs voor de gewasopbrengst.

Voor veel gewassen geldt dat de **opbrengst** per vierkante meter toeneemt als meer CO₂ wordt geïnjecteerd. Dit is geen lineaire relatie, er is sprake van afnemende meeropbrengsten. De toename van de gewasproductie door meer externe CO₂-dosering kent een afvlakkend patroon. Met andere woorden, hoe meer extra externe CO₂-gedoseerd in de kas, des te minder er wordt opgenomen door het gewas en des te meer gaat door ventilatie verloren.

Het effect van het toedienen van CO₂ verschilt per gewas. Een aantal gewassen zoals tomaat, aubergine, paprika en komkommer hebben een hogere CO₂-behoefte dan andere gewassen. In de

sierteelt kent de roos een hogere CO₂-behoefte dan andere bloemen en planten.¹³ Naar mate er meer marktvraag komt naar deze producten en de opbrengstprijzen hoger worden, zal het voor de glastuinbouwondernemer aantrekkelijk zijn om groei van deze gewassen te stimuleren en meer CO₂ te doseren.

De **marktprijs** van glastuinbouwproducten fluctueert. Dat betekent dat het soms aantrekkelijk is om meer te produceren door meer CO₂ te doseren en op andere momenten niet.

Illustratie: effect van dosering CO₂ op gewassen

De mate waarin CO₂ wordt gedoseerd in een kas hangt niet recht evenredig samen met de opname van de CO₂ door het gewas. Naarmate er meer CO₂ wordt gedoseerd, zal de opname-effectiviteit sterk afnemen. De tabel hieronder presenteert hoe de dosering van CO₂ samenhangt met de opname van CO₂ door het gewas. Deze tabel is ontwikkeld door Elly Nederhoff (2012) en is gepresenteerd in het WER (2014) rapport "CO₂ niet meer dan genoeg" waarin onderzoek is gedaan naar de effectiviteit van CO₂ doseren op tomaten.*

Situatie	Dosering (kg/ha/uur)	CO ₂ niveau (ppm)	Opname (kg/ha/uur)	Verlies (kg/ha/uur)
Met veel ventilatie	50	400	50	0
	100	500	58	42
	200	600	63	137
	350	700	66	284
	550	800	67	483
Met luchtramen dicht	50	400	50	0
	100	700	66	43

Toelichting: bij een CO₂-dosering van 350 kg/ha-uur wordt 66 kg/ha-uur opgenomen door de planten.

Wanneer we de CO₂-dosering verhogen met 57% (van 350 naar 550 kg/ha-uur) dan neemt de opname van de plant slechts met 1,5% toe (van 66 naar 67 kg/ha-uur, netto 1kg/ha-uur toename).

Het afnemen van externe CO₂ resulteert in CO₂-emissies in de atmosfeer, zoals aangetoond in hoofdstuk 3. Als we er van uitgaan dat de glastuinbouwondernemer normaliter een WKK gebruikt, een duurzame warmtevoorziening heeft, aangesloten is op een laag zuivere AVI via wegtransport (zie tabel 3.7), dan resulteert 1 kg extern geleverde CO₂ in 0,572 kg CO₂-emissies. Dit zou betekenen dat een toename in CO₂-dosering (van 200 naar 350 kg/ha-uur) zou leiden tot 150 kg/ha-uur * 0,561 kg/kg = 84,15 kg/ha-uur CO₂ extra emissies in de atmosfeer, waarbij een opnameverbetering van 4,8 % wordt behaald (66 - 63 = 3 kg/ha-uur meer CO₂ wordt opgenomen door het gewas). 1 kg CO₂-opname levert bij tomaten volgens Vermeulen en Van der Lans (2010) een extra productie op van 6 kg. ** In dit voorbeeld wordt 3 kg/ha-uur extra CO₂ opgenomen en wordt dus 18 kg/ha-uur extra opbrengst gerealiseerd. Als we uitgaan van een brutomarge van b.v. 0,75 €/kg tomaten, dan is de extra opbrengst 13,50 €/ha-uur. Bij een CO₂-prijs lager dan (13,50 €/uur / 150 kg/uur) = 0,09 €/kg is het rendabel voor de glastuinbouwondernemer om deze extra 150 kg/ha-uur te doseren.

* De Gelder et al. (2014), CO₂ niet meer dan genoeg, Wageningen UR Glastuinbouw.

** Vermeulen en Van der Lans (2010), CO₂ dosering in de biologische landbouw, Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) glastuinbouw.

¹³ N.J.A. van der Velden en P.X. Smit, 2019. CO₂-behoefte glastuinbouw 2030. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2019-074. Tabel 5.5.

Kosten

Een glastuinbouwondernemer zet de opbrengsten van CO₂-dosering tegenover de kosten. Hierbij gaat het om de **marginale** kosten, dus de kosten voor de afname van een additionele kg CO₂. De marginale kosten voor CO₂ kunnen verschillen door:

- Productie uit eigen WKK of ketel, wel of niet in coproductie met warmte of
- Externe CO₂ geleverd per pijpleiding met lage marginale kosten of geleverd als vloeibaar CO₂ met hogere marginale kosten)

Er kunnen daarnaast ook verschillen zijn tussen de verschillende manieren waarop CO₂ wordt afgevangen en getransporteerd. Zo zijn, na compressie, de marginale kosten van transport per pijplijn verwaarloosbaar. Als de eigenaar van een pijplijn een prijsstructuur hanteert die is gebaseerd op de onderliggende kosten (op basis van vaste kosten ongeacht de afname), dan zijn ook de kosten voor deze CO₂ voor de glastuinbouwondernemer verwaarloosbaar. Bij toelevering over de weg is er een directe relatie tussen de kosten en de hoeveelheid aangevoerde CO₂. Daarnaast zijn er kosten voor het transport die mede afhankelijk zijn van de afgelegde afstand. Ten opzichte van transport per pijpleiding zijn de marginale kosten hoger.

Kwantificering van het effect van externe CO₂-levering op dosering

De hoeveelheid CO₂ die een glastuinbouwondernemer doseert is dus afhankelijk van de kosten van CO₂-levering en de opbrengsten. Als de (marginale) prijs van CO₂ verandert als gevolg van CO₂-levering zal dus ook de hoeveelheid afgenomen CO₂ veranderen. Er zijn bijvoorbeeld aanwijzingen dat de CO₂-behoefte voor tomaten in de afgelopen 25 jaar is toegenomen met 11 kg/m²-jaar. CO₂-besparing heeft dus niet opgewogen tegen intensivering van de CO₂-behoefte.¹⁴

Om het effect van een verandering van de CO₂-prijs vast te kunnen stellen is inzicht nodig in het *effect van extra CO₂ op de groei van gewassen*. Uit onze inventarisatie blijkt dat er momenteel nog weinig wetenschappelijk onderbouwd onderzoek beschikbaar is over de relatie tussen CO₂-dosering, productie en opbrengsten. Een voorbeeld van dergelijk onderzoek is De Gelder et al., 2014¹⁵ waarin de effecten van CO₂-dosering bij de tomatenteelt in is onderzocht. Dergelijk onderzoek ontbreekt echter voor andere gewassen. WER (2019) concludeert over de huidige kennis van zaken ondermeer het volgende:

Rond de mogelijkheden van CO₂-besparing maar ook van intensivering van de CO₂-behoefte bestaan vele vragen. Daardoor is kennisontwikkeling over deze materie van groot belang. Voor meer inzicht in de mogelijke besparing op de CO₂-behoefte is kennisontwikkeling over de relatie tussen CO₂-dosering, de productie en de opbrengstprijzen nodig.

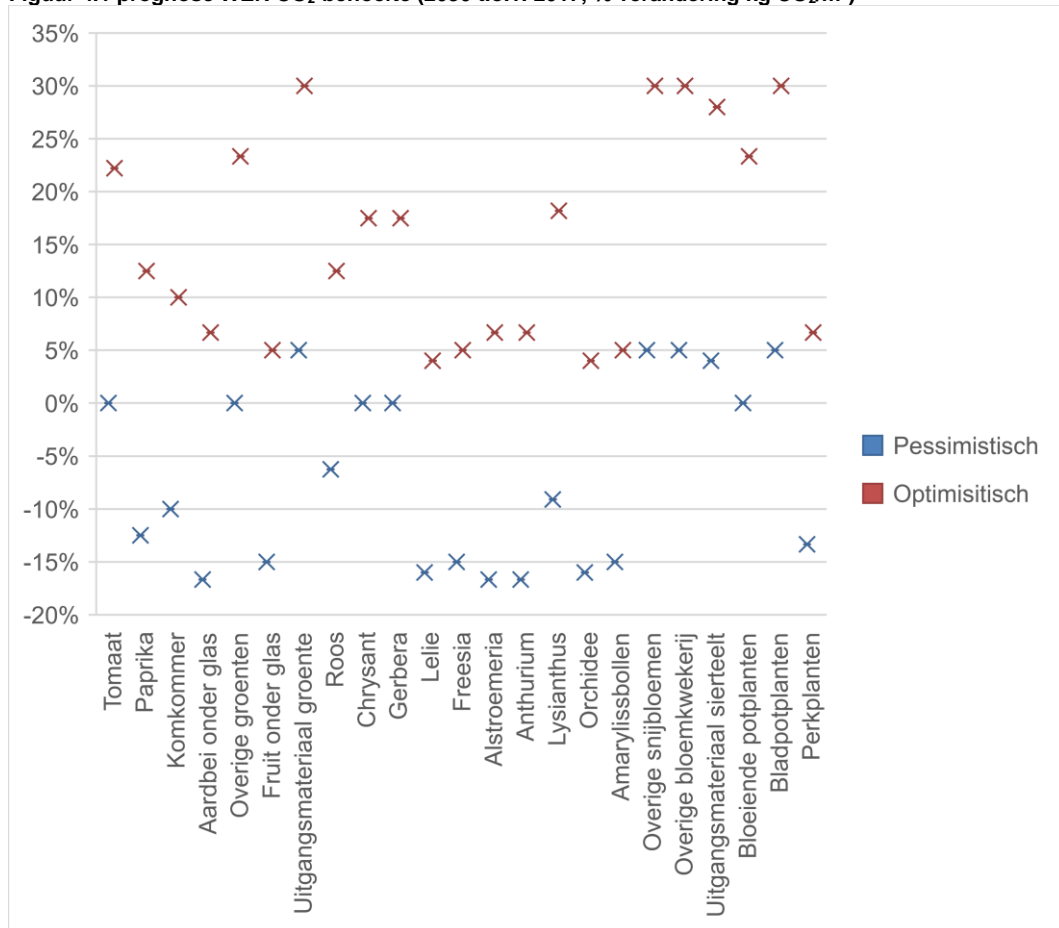
Ondanks de vele vragen over effecten van intensivering van de CO₂-behoefte worden door WER (2019) wel inschattingen gemaakt van de toename van de CO₂-vraag in 2030 ten opzichte van 2017. In het rapport ontbreekt een toelichting hoe de prognose van de CO₂-behoefte per gewas precies tot stand is gekomen. Het rapport maakt gebruik van klantgegevens van CO₂-leveranciers. Uit het rapport wordt echter niet duidelijk hoe deze interessante dataset vertaald is in de CO₂-behoefte per gewas.

Onderstaande figuur laat een door de WER opgestelde projectie van de groei van de CO₂-behoefte per gewas zien van 2017 naar 2030. Uit de figuur blijkt dat er aanzienlijke verschillen tussen gewassen zijn. Bij sommige gewassen neemt de CO₂-behoefte toe met meer dan 30% in het optimistische scenario en tot wel 17% afname in het pessimistische. Bij andere gewassen is het verschil tussen het pessimistische en optimistische scenario kleiner.

¹⁴ N.J.A. van der Velden en P.X. Smit, 2019. CO₂-behoefte glastuinbouw 2030. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2019-074. Blz. 19.

¹⁵ De Gelder et al. (2014), CO₂ niet meer dan genoeg, Wageningen UR Glastuinbouw.

Figuur 4.1 prognose WER CO₂-behoefte (2030 t.o.v. 2017, % verandering kg CO₂/m²)



Bron: WER (2019), analyse Ecorys

In de figuur is alleen het optimistische en pessimistische scenario opgenomen. In het optimistische scenario is de groei van de CO₂-behoefte het grootst. In het optimistische scenario is sprake van gunstige economische groei. Hierdoor is er veel vraag naar glastuinbouwproducten en zijn de opbrengstprijzen relatief hoog. Dit is gunstig voor de CO₂ spread wat resulteert in een relatief hoge CO₂-behoefte. In het pessimistische scenario is het tegenovergestelde het geval.

Hoewel niet te achterhalen is hoe de CO₂-behoefte per gewas is ingeschat, wordt wel aangegeven dat het de verwachting is dat de marginale kosten beperkt van omvang zullen blijven. Dit bevestigd volgens WER het volgende:

'redenerend vanuit de genoemde CO₂ spread zal de CO₂-besparing in de toekomst weinig gestimuleerd worden vanuit de kosten'.

Dit suggereert dat tenminste een deel van de stijging van de CO₂-behoefte per gewas het resultaat is van de CO₂ spread. Deze constatering lijkt overigens haaks te staan op de volgende constatering in WER (2019):

'Bezien vanuit de bedrijfseconomie zal het doseren van extra externe CO₂ slechts op een beperkt deel van het areaal relevant zijn. Het gaat vooral om de CO₂-intensieve gewassen die sterk reageren op extra CO₂ en waarbij geanticipeerd kan worden op hogere opbrengstprijzen. Hierbij moet gedacht worden aan de meer exclusievere gewassen en bedrijven die actiematig grote partijen voor levering op een vast tijdstip met hun klant zijn overeengekomen.'

De glastuinbouw gebruikt CO₂ als meststof voor gewassen. Meer CO₂ resulteert in sterkere groei van gewassen. De relatie tussen CO₂-dosering en opbrengsten verschilt van gewas tot gewas.

Het is aannemelijk dat externe CO₂-levering met lage kosten resulteert in een stijging van het CO₂-gebruik maar het is onbekend hoe groot die stijging zal zijn. Die hangt namelijk af van (1) de marginale kosten van CO₂-gebruik en (2) marktprijzen voor gewassen en (3) de relatie tussen gewasgroei en CO₂-dosering. Vooral over het laatste is op dit moment te weinig kennis beschikbaar.

De WER (2012) signaleert dit ook:

Door meer informatie over marktvraag en opbrengstprijzen ontstaat er meer marktkennis. In combinatie met meer kennis over de relaties tussen kasklimaat en de gewasproductie zullen glastuinbouwondernemers hierop inspelen met de mate van CO₂-dosering.¹⁶

In het conceptadvies van PBL/TNO wordt gesuggereerd dat alle glastuinbouwbedrijven gebruikmaken van inzichten die in het programma 'Het nieuwe telen' is opgedaan en dat daardoor de CO₂-concentratie optimaal wordt benut.¹⁷ Deze inschatting is moeilijk te verenigen met de constatering dat het CO₂-verbruik per m² in de afgelopen 25 jaar is toegenomen en dat in het "gematigd scenario" van WER¹² wordt aangenomen dat het tot 2030 nog verder zal toenemen. Binnen de glastuinbouwbenutting wordt nog geëxperimenteerd om meer inzicht te krijgen in de optimale benutting van CO₂ en bedrijven moeten inzichten uit het programma 'Het nieuwe telen' deels nog implementeren¹⁸, bovenstaand hebben wij daarnaast laten zien dat glastuinbouwondernemers een financiële prikkel kunnen hebben om extra CO₂ te doseren. De optimale benutting van CO₂ staat dus niet vast. Wel kan geconcludeerd worden dat hoeveelheid CO₂ die gedoseerd wordt verandert als de prijs van CO₂ en de prijs van gewassen verandert.

Hoewel er door onderzoek en marktontwikkelingen meer inzicht zal ontstaan in de relatie tussen kasklimaat en de gewasproductie, betekent dat niet dat achteraf vastgesteld kan worden welk deel van het CO₂-gebruik heeft geresulteerd in een reductie van CO₂-emissies en welk deel niet. Naast externe CO₂-levering zullen er immers andere veranderingen in de glastuinbouw zijn als gevolg van bijvoorbeeld economische conjunctuur en veranderingen van de voorkeuren van consumenten.

4.3 Verhouding volume CO₂-levering dat wel/niet resulteert in emissiereductie

Emissiereductie afhankelijk van verhouding tussen CO₂-levering die wel bijdraagt aan emissiereductie en CO₂-levering die dat niet doet.

Om de netto-emissies van externe CO₂-levering te berekenen moet worden vastgesteld wat de verhouding is tussen CO₂-levering die **wél** bijdraagt aan reductie netto-emissies en levering die dat **niet** doet.

Allereerst kan de vraag naar CO₂ verdeeld worden in vraag naar **lokaal geproduceerde CO₂** (met een WKK of aardgasketel) en de vraag naar **extern geleverde CO₂**. Als een kg CO₂ extern wordt geleverd (ten opzicht van een lokaal geproduceerde kg) brengt dat een theoretisch reductiepotentieel met zich mee. Hoe groter het deel van de totale CO₂ vraag dat wordt ingevuld met

¹⁶ N.J.A. van der Velden en P.X. Smit, 2019. CO₂-behoefte glastuinbouw 2030. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2019-074. 44 blz.; 4 fig.; 13 tab.; 13 ref.

¹⁷ Smekens K., Lensink S. (2020), Conceptadvies SDE++ 2021 CO₂-afvang en gebruik in de glastuinbouw, Den Haag: PBL.

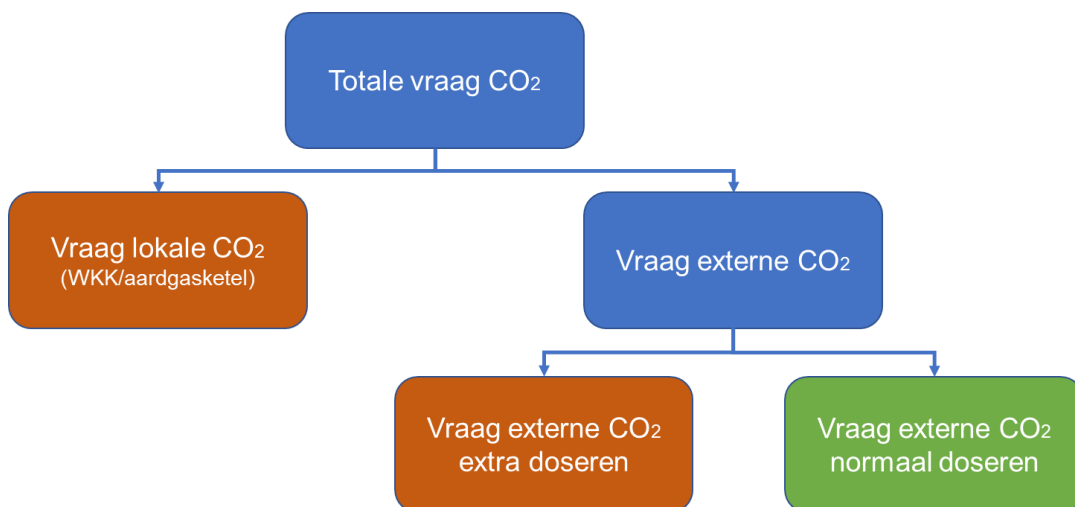
¹⁸ Er wordt op dit moment nog onderzoek gedaan naar de wijze waarop telers zuiniger kunnen omgaan met CO₂, het gaat bijvoorbeeld om onderzoek van Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw binnen het programma 'Kas als energiebron' ([link](#)).

externe CO₂ levering ten koste van lokaal geproduceerde CO₂ met een WKK of ketel, hoe groter de theoretische netto CO₂ emissiereductie.

Zoals aangetoond in paragraaf 4.2, zal niet alle vraag naar extern geleverde CO₂ bijdragen aan emissiereductie, bijvoorbeeld omdat tuinders extra CO₂ kunnen doseren als gevolg van lage CO₂-prijzen. Elke kilogram CO₂ die glastuinbouwers extra doseren ten opzichte van de situatie zonder externe CO₂-levering resulteert in een stijging van emissies. Daarom delen we de vraag naar extern geleverde CO₂ op in twee componenten:

- Enerzijds is er de vraag naar **externe CO₂ bij 'normaal' doseren**. Dat wil zeggen het gedeelte van de CO₂ vraag dat *verschuift* van lokaal geproduceerde CO₂ (met een WKK of ketel) naar externe geleverde CO₂. Wanneer deze vraag groeit als gevolg van glastuinbouwondernemers die overstappen van lokaal geproduceerde CO₂ naar extern geleverde CO₂ zal er een netto CO₂ emissiereductie zijn zoals gepresenteerd in Tabel 3.7.
- Anderzijds is er de vraag naar externe **CO₂ bij extra doseren**. Dat wil zeggen het gedeelte van de CO₂ vraag dat *ontstaat* (additioneel is) als gevolg van bedrijfseconomisch handelen van glastuinbouwondernemers door een ruimere beschikbaarheid van externe CO₂-levering die het mogelijk maakt om méér CO₂ te doseren dan mogelijk is bij "normaal doseren" (met een WKK of aardgasketel). Wanneer deze vraag groeit zal de netto CO₂-emissie toenemen (zie paragraaf 4.1.), omdat deze extra CO₂ niet leidt tot emissiebesparingen. Hierdoor neemt de gemiddelde CO₂-emissiereductie per kg extern geleverde CO₂ af ten opzichte van de cijfers zoals gepresenteerd in Tabel 3.7.

Figuur 4.2 Onderverdeling CO₂-vraag



Noot: rood = vraag resulteert in emissie, groen = vraag resulteert in emissiereductie, blauw = vraag resulteert in zowel emissie als emissiereductie).

Volume CO₂-vraag per component

Om de verwachte (gemiddelde) netto CO₂-emissiereductie te bepalen dienen de verschillende soorten CO₂-vraag gekwantificeerd te worden.

Verhouding volume lokaal geproduceerde CO₂ (met WKK/ketel) en externe (afgevangen) CO₂

- De CO₂-emissiereductie die ontstaat doordat glastuinbouwondernemers overstappen van lokaal geproduceerde CO₂ naar externe geleverde CO₂ is afhankelijk van de invulling van de energievoorziening (glastuinbouwondernemers gebruiken een WKK of een aardgasketel met conventionele of duurzame warmtevoorziening). Een deel van de glastuinbouwondernemers zal

op dit moment al gebruik maken van externe CO₂-levering en dus niet meer kunnen bijdragen aan een verdere emissiereductie.

- In tabel 3.5 en tabel 3.6 van het vorige hoofdstuk zijn deze verschillende eigenschappen van de energievoorziening van kassen ondergebracht in acht varianten. De omvang (aantal ha) per variant moet vastgesteld worden om het CO₂ *emissiereductiepotentieel* uit tabel 3.7 te kunnen bepalen
- Voor zover ons bekend is (WER, 2018) de enige studie waarin een beeld wordt geschetst van de invulling van de energie en CO₂-behoefte.¹⁹ Uit deze studie is niet rechtstreeks te herleiden wat het aanbod en de vraag naar CO₂ is in de acht in hoofdstuk 3 onderscheiden varianten. Deze studie vormt bovendien, zoals elke scenariostudie, een momentopname. De invulling van de energievoorziening in de glastuinbouw is sterk afhankelijk van verwachtingen ten aanzien van energieprijzen, overheidsmaatregelen en de consumentenvraag. Fluctuaties in bijvoorbeeld energieprijzen hebben daarom gevolgen voor de verwachte energievoorziening in de glastuinbouw in 2030.

Behoefte CO₂ per hectare (bij 'normaal' en extra doseren)

- De CO₂-behoefte van de glastuinbouw is mede afhankelijk van de gekweekte gewassen. Het ene gewas vraagt om de toevoeging van meer CO₂ dan andere. Zelfs als het gemiddelde CO₂-gebruik per vierkante meter per gewas gelijk blijft, kan een verandering optreden in CO₂-emissies door een andere samenstelling van het areaal.
- De CO₂-behoefte per hectare per gewas kan daarnaast veranderen door intensivering/extensivering van de teelt en energiebesparing in de sector
- Daarnaast kan het CO₂-gebruik veranderen door een bedrijfseconomische afweging van glastuinbouwondernemers, als de CO₂-spread gunstig is zal meer CO₂ gedoseerd worden.

Op basis van huidige beschikbare data en kennis is het naar onze mening niet mogelijk om deze componenten zodanig te kwantificeren dat de resultaten bruikbaar zijn in het kader van de SDE++-regeling.²⁰ Het is uiteraard altijd mogelijk om een globale schatting te maken maar de onzekerheid rondom die schatting zal aanzienlijk zijn. De schatting vormt bovendien altijd een momentopname, door veranderingen in externe omstandigheden kan er een grote afwijking zijn tussen de verwachte reductie CO₂-emissies en realisaties.

Conclusie verhouding volume CO₂-levering dat wel/niet resulteert in emissiereductie

WER heeft een globale schatting gemaakt van de verhouding tussen CO₂-leveringen die wel en niet resulteren in een nette emissiereductie. Volgens deze schatting doet 9% dat niet (bij levering jaarrond). Op basis daarvan concludeert WER vervolgens dat de CO₂-emissie van de glastuinbouw bij de jaarrond variant in 2030 gereduceerd wordt met gemiddeld 0,91 kg per kg gebruik van extra externe CO₂ (hierbij zijn ketenemissies buiten beschouwing gelaten, zie hoofdstuk 2 en 3).²¹

¹⁹ N.J.A. van der Velden, P.X. Smit en J.S. Buurma, 2018. Prognoses CO₂-emissie glastuinbouw 2030. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2018-056. 72 blz.; 4 fig.; 30 tab.; 33 ref.

²⁰ Ook voor andere categorieën in de SDE++ geldt dat de invloed van voorspellingen en onzekerheden groter is dan in de SDE+ (zie Trinomics (2019), Review SDE++ methodiek). Onze indruk is dat de onzekerheid over de emissiereductie groter is dan bij andere categorieën binnen de SDE++.

²¹ Hierbij is echter nog geen rekening gehouden met ketenemissies. Uit het vorige hoofdstuk blijkt dat volgens onze berekeningen elke geleverde kg CO₂ resulteert in 0,38-0,91 kg CO₂ emissiereductie (afhankelijk van de transport van CO₂ en het gebruik van een WKK of een aardgasketel in de kas). Dit betekent dat in het rekenvoorbeeld van WER 91% * range(38%-91%) = 35%-83% aan emissiereductie wordt behaald. Elke kilo afgevangen CO₂ resulteert dus in een vermindering van de uitstoot in de atmosfeer van 0,35 tot 0,83 kilo.

Wij concluderen dat er onzekerheden en onbekendheden zijn waardoor een kwantificering niet goed mogelijk is. Het is dus niet goed mogelijk om *ex ante* (vooraf) een inschatting te maken van de vermindering van emissies als gevolg van SDE++-subsidie. Ook *ex post* kan alleen een globale inschatting worden gemaakt van de emissiereductie, achteraf is immers onbekend hoe glastuinbouwondernemers gehandeld zouden hebben in de situatie zonder externe CO₂-levering. Op basis van huidige beschikbare data en kennis is het naar onze mening niet mogelijk om deze componenten zodanig te kwantificeren dat de resultaten bruikbaar zijn in het kader van de SDE++-regeling.

5 Conclusies

Dit rapport laat zien dat, wanneer er naar de aan energiegebruik gerelateerde emissies in de keten wordt gekeken, de emissiereductie van externe CO₂-levering van afgevangen CO₂ kleiner is dan volgt uit WER (2019). WER gaat uit van een emissiereductie van 1 kg CO₂ per kg extern geleverde CO₂ aan de glastuinbouw als CO₂-levering CO₂-productie met een WKK of aardgasketel voorkomt. Uit hoofdstuk 3 van dit rapport blijkt echter dat de emissiereductie minimaal 0,38 en maximaal 0,91 kg CO₂ per kg extern geleverde CO₂ is (afhankelijk van de CO₂-bron, transportmodaliteit en energievoorziening in de kas). Hierbij is er nog geen rekening mee gehouden dat glastuinbouwbedrijven ervoor kunnen kiezen om meer CO₂ te gebruiken. De CO₂-vraag is geen vaststaand gegeven omdat de toevoeging van meer CO₂ resulteert in een hogere productie of kwalitatief betere gewassen. Dit extra CO₂-gebruik resulteert niet in een netto emissiereductie. De werkelijke emissiereductie wijkt hierdoor af van de genoemde bandbreedte.

Onzekerheid over CO₂-vraag en netto-emissies

Om de netto CO₂-emissiereductie te bepalen dient dus vastgesteld te worden welk deel van het CO₂-gebruik bijdraagt aan een emissiereductie en welk deel dat niet doet. WER schat dat 9% van de extern geleverde CO₂ dat niet doet en concludeert op basis daarvan dat de levering van een kg CO₂ aan de glastuinbouw resulteert in een netto emissiereductie van 0,91 kg (bij levering jaarrond). Hoofdstuk 4 van dit rapport laat echter zien dat op basis van het huidige kennisniveau en beschikbare data het niet te zeggen is hoe groot de verandering in de CO₂-vraag zal zijn.

Het effect van externe CO₂-levering op netto CO₂-emissies in de atmosfeer is dus situatieafhankelijk en hangt af van:

- Emissies die gepaard gaan met het afvangen van CO₂;
- Emissies die gepaard gaan met het transport van CO₂ naar de kas;
- De wijze waarop warmte, elektriciteit en CO₂ geproduceerd worden zonder externe CO₂-levering (WKK of aardgasketel);
- De mate waarin externe CO₂-levering daadwerkelijk lokale CO₂-productie vervangt;
- De mogelijkheden om meer rendement te behalen door extra CO₂-dosering, dit hangt af van de geteelde gewassen en marktprijzen voor gewassen;
- Kosten van extern geleverde CO₂.

Implicaties voor SDE++

In de SDE++-regeling wordt gestreefd naar zoveel mogelijk CO₂-reductie per euro subsidie. Het is daarom van belang om er in de SDE++-regeling rekening mee te houden dat emissies elders in de keten ontstaan en dat de effecten van CO₂-levering situatieafhankelijk zijn. Als dat niet wordt gedaan kan er een verschil optreden met de verwachte bijdrage aan emissiereductie en de realisatie.

Tot op zekere hoogte zou in de SDE++ rekening gehouden kunnen worden met de situatieafhankelijk door verschillende categorieën te hanteren. Ook bij het hanteren van diverse (sub)categorieën is er echter onzekerheid over het potentieel om CO₂-emissies te reduceren omdat als gevolg van de levering van gesubsidieerde, afgevangen CO₂, glastuinbouwondernemers aanpassingen in de bedrijfsvoering kunnen doen gebaseerd op de beschikbaarheid - en het kostenniveau van die CO₂. Die veranderingen kunnen resulteren in een hoger CO₂-gebruik en een lagere bijdrage aan de reductie van emissies in de atmosfeer.

In dit rapport zijn de CO₂-emissies die gepaard gaan met externe CO₂-levering geanalyseerd. Als externe CO₂-levering een duurzame energievoorziening mogelijk maakt dan is de bijbehorende CO₂-reductie een gezamenlijk effect van CO₂-levering en de installatie van de duurzame warmtevoorziening. Dat betekent dat er een dubbeltelling kan ontstaan in de vermindering van CO₂-emissies als gevolg van de SDE++ als er zowel subsidie is voor afvang van CO₂ als voor het installeren van de duurzame warmtevoorziening.

Wij begrijpen dat het binnen de SDE++-regeling de bedoeling is om alleen de afvang van CO₂ ten behoeve van de glastuinbouw te subsidiëren. Dat vereist dat er een systematiek komt om te borgen dat de gesubsidieerde CO₂ niet voor andere doeleinden wordt gebruikt (gebruik in andere sectoren of in het buitenland). Ook met zo'n borgingssysteem heeft het subsidiëren van CO₂-afvang gevolgen voor de markt voor CO₂ als glastuinbouwbedrijven gesubsidieerde CO₂ gebruiken als alternatief voor de huidige CO₂-levering. Het is aannemelijk dat het huidige aanbod van CO₂ grotendeels naar buitenlandse afnemers zal gaan.

Over Ecorys

Ecorys is een toonaangevend internationaal onderzoeks- en adviesbureau dat zich richt op de belangrijkste maatschappelijke uitdagingen. Door middel van uitmuntend, op onderzoek gebaseerd advies, helpen wij publieke en private klanten bij het maken en uitvoeren van gefundeerde beslissingen die leiden tot een betere samenleving. Wij helpen opdrachtgevers met grondige analyses, inspirerende ideeën en praktische oplossingen voor complexe markt-, beleids- en managementvraagstukken.

Onze bedrijfsgeschiedenis begon in 1929, toen een aantal Nederlandse zakenlieden van wat nu beter bekend is als de Erasmus Universiteit, het Nederlands Economisch Instituut (NEI) oprichtten. Het doel van dit gerenommeerde instituut was om een brug te slaan tussen het bedrijfsleven en de wereld van economisch onderzoek. Het NEI is in 2000 uitgegroeid tot Ecorys.

Door de jaren heen heeft Ecorys zich verspreid over de wereld met kantoren in Europa, Afrika, het Midden-Oosten en Azië. Wij werven personeel met verschillende culturele achtergronden en expertises, omdat wij ervan overtuigd zijn dat mensen met uiteenlopende eigenschappen een meerwaarde kunnen bieden voor ons bedrijf en onze klanten.

Ecorys excelleert in zeven werkgebieden:

- Economic growth;
- Social policy;
- Natural resources;
- Regions & Cities;
- Transport & Infrastructure;
- Public sector reform;
- Security & Justice.

Ecorys biedt een duidelijk aanbod aan producten en diensten:

- voorbereiding en formulering van beleid;
- programmamanagement;
- communicatie;
- capaciteitsopbouw (overheden);
- monitoring en evaluatie.

Wij hechten waarde aan onze onafhankelijkheid, onze integriteit en onze partners. Ecorys geeft om het milieu en heeft een actief maatschappelijk verantwoord ondernemingsbeleid, gericht op meerwaarde voor de samenleving en de markt. Ecorys is in het bezit van een ISO14001-certificaat dat wordt ondersteund door al onze medewerkers.



Postbus 4175
3006 AD Rotterdam
Nederland

Watermanweg 44
3067 GG Rotterdam
Nederland

T 010 453 88 00
F 010 453 07 68
E netherlands@ecorys.com
K.v.K. nr. 24316726

W www.ecorys.nl

Sound analysis, inspiring ideas