

Koolstofmaatregelen: hoe scheiden we het kaf van het koren?

Ordering in definities en boekhouding van CO₂-opslag,
hergebruik en verwijdering

maart 2023





Inhoudsopgave

1. Inleiding	3
2. Definities	5
2.1 Ordening van maatregelen	5
CO ₂ afvang en opslag	5
CO ₂ afvang en hergebruik	5
CO ₂ verwijdering	6
Bio-energie met CO ₂ afvang en opslag	6
Directe afvang en opslag van CO ₂ uit de lucht	6
2.2 Overige definities	7
3. Criteria	9
CO ₂ afvang en opslag (CCS)	9
CO ₂ afvang en hergebruik (CCU)	9
Synthetische brandstoffen/E-fuels	10
CO ₂ verwijdering (CDR)	10
4. Emissieboekhouding en klimaatimpact	12
5. Conclusies en aanbevelingen	13
6. Bronnen	14

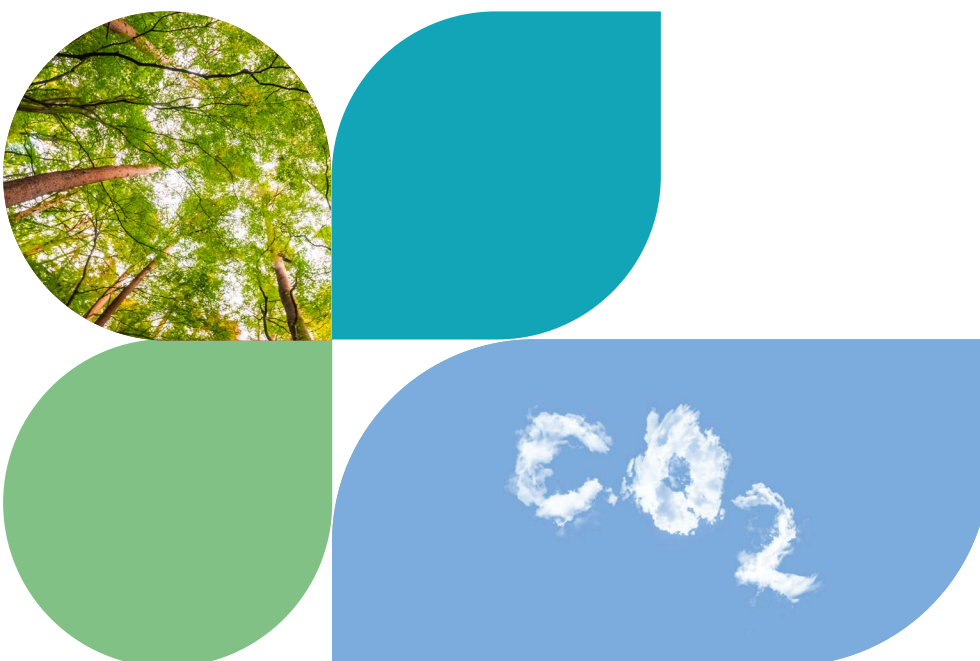
1. Inleiding

Om de opwarming van de aarde te beperken tot maximaal 1,5 - 2°C, zoals afgesproken in het Parijs-akkoord, zijn drastische verminderingen nodig van de mondiale emissies van broeikasgassen. Voor de Europese Unie betekent dit dat in 2050 de netto emissies van broeikasgassen nul moeten zijn (European Commission, 2023); (European Parliament, 2023). De urgentie van deze transitie is inmiddels zo groot dat volgens de IPCC-klimaatscenario's bijna alle klimaatoplossingen parallel en snel toegepast moeten worden om dit nog te halen.

Om het energiesysteem koolstofvrij te maken, moet de vraag naar energie radicaal omlaag terwijl duurzame energieopwekking met maximale snelheid groeit. Voor de industrie zal het daarnaast tijdelijk nodig zijn CO₂ uit fossiele energie af te vangen en permanent op te slaan, afgesloten van de atmosfeer. De klimaatscenario's geven aan dat, parallel daaraan, ook actieve onttrekking van CO₂ uit de atmosfeer nodig is om de Parijs-doelstelling te halen. Hierbij moet die CO₂ langdurig worden vastgelegd in bijvoorbeeld lege gasvelden, bossen, bodems of producten (IPCC, 2022). Maatregelen om CO₂ op te slaan, te verwerken of te verwijderen uit de atmosfeer mogen echter nooit ten koste gaan van het streven naar vermindering van de emissie. Om gevaarlijke klimaatverandering te voorkomen en zicht te houden op het halen van de Parijs-doelstellingen, is maximale inzet op maatregelen om de CO₂-uitstoot omlaag te brengen essentieel.

Olie, gas en kolen zijn niet alleen een bron van energie, maar ook de grondstof voor koolwaterstoffen (C_xH_y) die worden gebruikt in diverse chemische producten, zoals plastics. Aan het einde van de levensduur komt de koolstof in die producten, veelal door verbranding, vrij als CO₂ en draagt zo bij aan klimaatverandering. Deze fossiele koolwaterstoffen moeten dus op andere wijze worden gewonnen of gemaakt. Naast de hierboven genoemde *energietransitie* is deze *grondstoffentransitie* essentieel om de doelstellingen van het Parijs-akkoord te halen, oftewel om 'Parijs-proof' te zijn.

Technologieën of maatregelen voor het opslaan, hergebruiken of verwijderen van CO₂ spelen een belangrijke rol in klimaatscenario's. In de praktijk, echter, worden ze nog weinig toegepast. Wel sorteren het Brusselse en Nederlandse beleid, onderzoeksinstituten en bedrijven er nadrukkelijk op voor, terwijl niet onmiddellijk duidelijk is óf deze ontwikkelingen daadwerkelijk Parijs-proof zijn (CCU-Alliantie, 2023); (Nobian, 2023); (ONCRA, 2023). Daar komt bij dat er veel, en soms verwarrende, terminologie is rond genoemde maatregelen. Veel termen hebben een duurzame toon, terwijl de klimaatimpact van de achterliggende (ketens van) technologieën of maatregelen niet altijd evident is. Hierbij bestaat het risico dat er ten onrechte klimaatwinst wordt toegeschreven, of dat bepaalde maatregelen in de praktijk zelfs verdere opwarming veroorzaken.



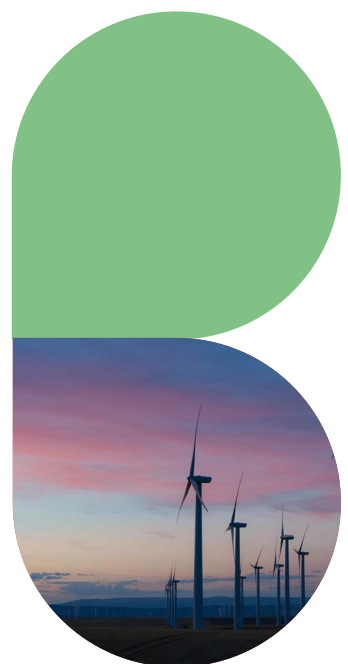
Hiernaast is het essentieel om de bredere impact van maatregelen mee te nemen. Denk bijvoorbeeld aan de sociale impact, en aan de invloed op grondgebruik, biodiversiteit en lucht-, bodem- en waterkwaliteit. Deze gevolgen worden soms simpelweg neergezet als 'neveneffecten', maar zouden aan de basis moeten staan van alle beslissingen. Ook moet de vraag worden gesteld hoe maatregelen passen binnen de bredere transitie. Dragen ze bij aan de energie- en grondstoffentransitie? Of zorgen ze juist voor een langere voortzetting van de status-quo? Het valt buiten het bereik van dit rapport om deze impact in detail te bespreken, maar in het hoofdstuk 'Conclusies en aanbevelingen' wordt hierop teruggekomen.

Om de technologieën of maatregelen correct te classificeren, en te borgen dat maatregelen Parijs-proof zijn, is het essentieel eerst het jargon rond opvang, opslag, hergebruik en verwijdering van CO₂ helder te definiëren. Duidelijke criteria zijn nodig om de verschillende concepten te onderscheiden, en hun impact op het klimaat te bepalen.

Het doel van dit rapport is dan ook tweeledig:

1. **Het formuleren van heldere definities voor de technologieën en maatregelen rond opvang, opslag, hergebruik en verwijdering van CO₂.**
2. **Het opstellen van criteria om deze technologieën en maatregelen te kunnen classificeren en hun klimaatimpact vast te stellen.**

In [hoofdstuk 2](#) worden definities gegeven, waarna in [hoofdstuk 3](#) criteria worden opgesteld waaraan maatregelen moeten voldoen om Parijs-proof te zijn. In [hoofdstuk 4](#) wordt de emissieboekhouding van maatregelen nader bekeken en wordt de klimaatimpact in kaart gebracht. [Hoofdstuk 5](#) geeft conclusies en aanbevelingen voor beleid.



2. Definities

2.1 Ordening van maatregelen

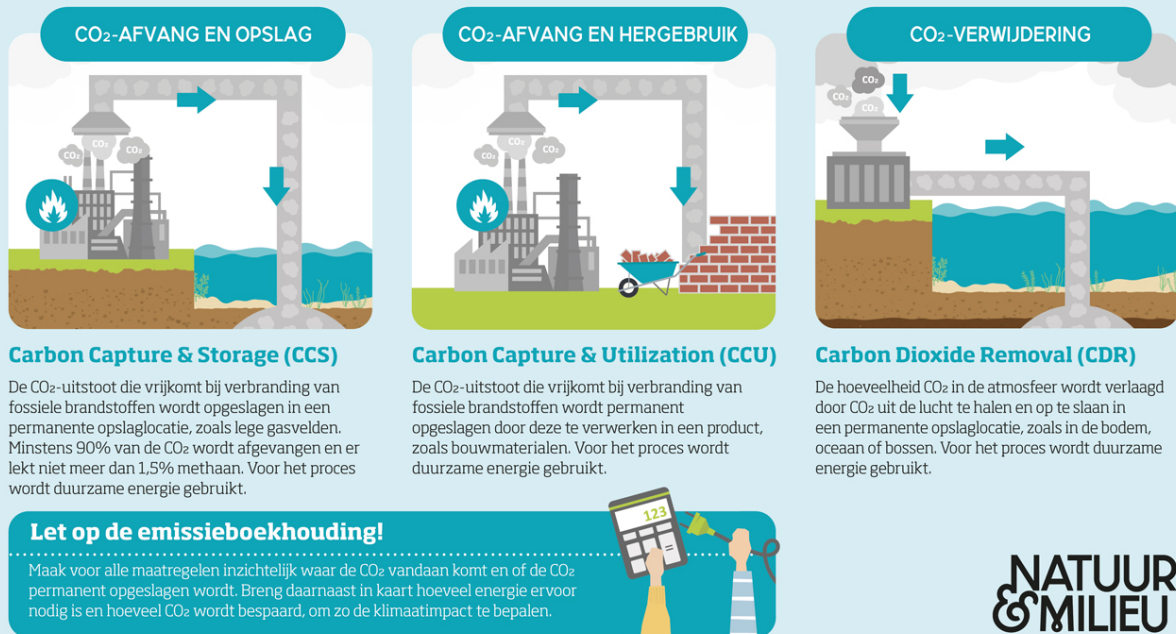
Om duidelijkheid te scheppen in het jargon op koolstofgebied is het belangrijk om eerst onderscheid te maken tussen drie categorieën:

- **CO₂ afvang en opslag (CCS)**
- **CO₂ afvang en hergebruik (CCU)**
- **CO₂ verwijdering (CDR)**

Deze termen worden hieronder verder uitgelegd.

Koolstofmaatregelen: hoe scheiden we het kaf van het koren?

Welke maatregelen zijn er om CO₂ op te slaan, her te gebruiken of te verwijderen en hoe verschillen deze van elkaar?



CO₂-afvang en -opslag

Carbon Capture & Storage (CCS)

Een proces waarin een relatief pure stroom van CO₂ uit industriële of energie-installaties wordt gescheiden (afgevangen), geconditioneerd, gecomprimeerd en getransporteerd naar een opslaglocatie die langdurig is afgesloten van de atmosfeer.

CO₂-afvang en -hergebruik

Carbon Capture & Utilization (CCU)

Een proces waarin CO₂ wordt afgevangen en vervolgens gebruikt in een product. Net zoals bij CCS gaat het hierbij om een relatief pure stroom van CO₂ uit industriële of energie-installaties. CCU wordt gezien als onderdeel van de circulaire economie en een vorm van duurzame afvalverwerking. Het is ook aantrekkelijk voor de industrie. CCU creëert namelijk waarde uit afval van op CO₂ gebaseerde producten, terwijl het de kosten en zorgen van geologische opslag van opgevangen CO₂ (CCS) vermijdt. Echter, het klimaatteffect van CCU hangt af van: de levensduur van het product; wat er met het product gebeurt na het einde van de levensduur; het product dat wordt vervangen; en de bron van CO₂ (fossiel, biomassa of atmosferisch).

De term **CCUS** (*Carbon Capture Usage and Storage*) kan beter niet worden gebruikt. Onder meer het Internationaal Energieagentschap (IEA, 2020) en de UNECE (2021) gebruiken die term als een verzamelnaam voor CCS- en CCU-opties, terwijl de 'storage' van koolstof in CCU-opties van heel korte duur kan zijn. Het is daarom beter om de term CCUS te vermijden; het IPCC doet dat ook.

CO₂-verwijdering

Carbon Dioxide Removal (CDR)

Menselijke activiteiten die CO₂ uit de atmosfeer verwijderen en langdurig opslaan in geologische reservoirs (zoals gasreservoirs), in de aarde of diep in de oceanen, of in producten. Het omvat bestaande en potentiële door de mens gedreven versnelling van biologische of geochemische CO₂-opname en directe afvang en opslag van CO₂ uit de lucht. Natuurlijke CO₂-opname, die niet rechtstreeks door menselijke activiteiten wordt veroorzaakt, valt niet onder CDR. Er bestaan vele manieren om CO₂ uit de atmosfeer te verwijderen. Twee technologieën, gerelateerd aan CCS, komen vaak voor in emissiescenario's en worden daarom hieronder gedefinieerd.

In plaats van CDR wordt ook vaak gesproken over **negatieve emissies** of **Negative Emission Technologies (NETs)**. Het is echter beter om deze termen niet door elkaar te gebruiken. De term 'negatieve emissies' is alleen van toepassing als men verwijst naar netto emissies op systeemniveau (bijvoorbeeld: netto negatieve emissies op wereldwijde of nationale schaal). Dit zorgt voor een duidelijk onderscheid met CDR, waarbij het gaat om een activiteit waarmee CO₂ wordt verwijderd (Eve Tamme, 2022).

Bio-energie met CO₂-afvang en -opslag

Bioenergy with Carbon Capture & Storage (BECCS)

CO₂-afvang en -opslag toegepast op een bio-energie-installatie die gebruikmaakt van duurzame biomassa, in een proces dat niet direct of indirect leidt tot ontbossing, verslechterde bodem- of waterkwaliteit, verlies van biodiversiteit, verminderen van voedsel- en waterzekerheid, of schendingen van mensenrechten. Afhankelijk van de totale emissies in de BECCS-keten kan hierbij netto CO₂ uit de atmosfeer verwijderd worden. Indien de CO₂ niet wordt opgeslagen in de bodem maar permanent wordt gebruikt in producten is er sprake van BECCU.

Directe afvang en opslag van CO₂ uit de lucht

Direct Air Carbon Capture and Sequestration (DACCS)

Het direct uit de lucht halen van CO₂. Dit gebeurt door lucht aan te zuigen en de CO₂ hieruit (bijvoorbeeld via absorptie) te binden. Vervolgens wordt de CO₂ vrijgemaakt en opgeslagen of gebruikt (Gambhir & Tavoni, 2019). Indien de CO₂ wordt gebruikt in producten is er sprake van DACCU.

Naast deze technologieën bestaan er vele andere methodes om CO₂ uit de atmosfeer te verwijderen. Het valt buiten het bereik van dit rapport om deze in detail te behandelen, maar voor de volledigheid is hieronder een lijst met mogelijkheden opgenomen. De lijst is gebaseerd op het overzicht van de IPCC (2022).

- (Her-)bebossing
- Houtbouw (mits de CO₂ permanent wordt vastgelegd)
- Koolstofvastlegging in de bodem
- Herstel van veengebieden en wetlands
- Biokool
- Versnelde verwerking mineralen
- Alkalinisatie van oceanen
- Bemesting van oceanen
- Blue carbon: koolstof opgeslagen in kust en marine ecosystemen

2.2 Overige definities

Definities op het niveau van technologieën of maatregelen:

Emissiereductie van broeikasgassen

De broeikasgasemissies van een technologie worden vergeleken met die van een referentie. De referentie kan een minder schone technologie zijn die algemeen wordt toegepast, of de emissies van bijvoorbeeld een installatie of productieproces in een bepaald historisch jaar.

Synthetische brandstof

Brandstof gemaakt uit groene waterstof en CO₂ (of CO). De koolstof kan afkomstig zijn van verbranding of vergassing van fossiele of biogene energiedragers, of direct zijn afgevangen uit de lucht (DAC). Synthetische brandstof wordt ook wel hernieuwbare brandstof van niet-biologische oorsprong (Europese Commissie, 2021) of **E-fuels** genoemd (TNO, 2020). Deze brandstof kan gebruikt worden voor zwaar transport: scheepvaart, luchtvaart en een deel van het vervoer op de weg.

Brandstof op basis van hergebruikte koolstof

Brandstoffen die zijn gemaakt van plastics, ook wel **recycled carbon fuels** genoemd (ETIP Bioenergy, 2023).

Definities op systeemniveau (sectoren, landen en regio's):

Netto-nul CO₂-emissies

Een situatie waarin antropogene (door mensen veroorzaakte) CO₂-emissies worden gecompenseerd door verwijdering van antropogene CO₂ uit de atmosfeer gedurende een bepaalde periode.

Netto negatieve CO₂-emissies

Een situatie van netto negatieve CO₂-emissie wordt bereikt wanneer de verwijdering van antropogene CO₂ uit de atmosfeer groter is dan de antropogene emissie van CO₂.

Netto-nul emissies van broeikasgassen

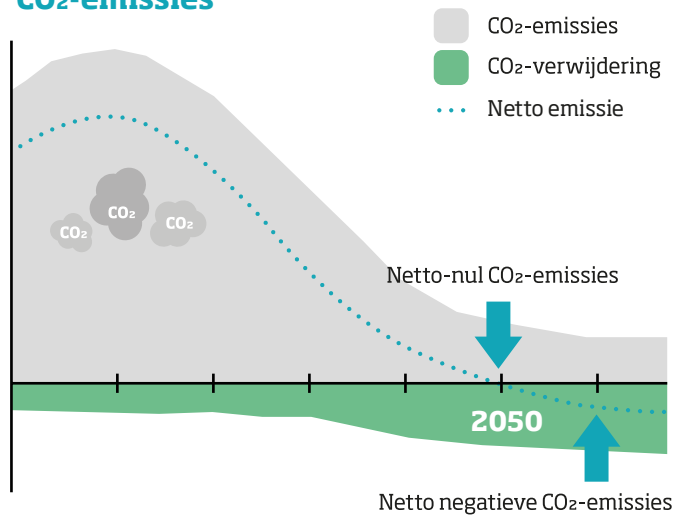
Een situatie waarin de antropogene uitstoot van broeikasgassen wordt gecompenseerd door verwijdering van antropogene broeikasgassen uit de atmosfeer gedurende een bepaalde periode (emissies uitgedrukt in CO₂-equivalenten). Onder broeikasgassen vallen naast CO₂ ook CH₄ (methaan), N₂O (lachgas) en fluorgassen.

Netto negatieve emissies van broeikasgassen

Een situatie van netto negatieve broeikasgasemissies wordt bereikt wanneer de verwijdering van antropogene broeikasgassen groter is dan de antropogene emissie van broeikasgassen (emissies uitgedrukt in CO₂-equivalenten).

Zoals eerder aangegeven wordt, in navolging van het IPCC, de term **negatieve emissies** alleen gebruikt in bovenstaande context en niet voor concrete technologieën, maatregelen of projecten. Ook de term **klimaatneutraliteit** gebruiken we niet; in het meest recente IPCC Werkgroep 3-rapport wordt aangegeven dat dit concept te diffuus en niet kwantificeerbaar is (IPCC, 2022).

CO₂-emissies



Figuur 1. Illustratie van een aantal definities in de emissieboekhouding van broeikasgassen (CO₂) op het niveau van een sector, land of regio.



3. Criteria

Nu maatregelen rond afvang, opslag, hergebruik en verwijdering van CO₂ helder zijn gedefinieerd, is het mogelijk criteria op te stellen om deze maatregelen te classificeren en hun klimaatimpact vast te stellen. Om met de klimaatimpact te beginnen: voor alle maatregelen is het essentieel om de uitstoot en/of verwijdering van broeikasgassen goed in kaart te brengen. Deze zogenaamde 'emissieboekhouding' moet voldoen aan twee randvoorwaarden:

1. De broeikasgasemissies moeten over de hele levenscyclus worden beschouwd, van 'wieg-tot-graf'.
2. Er moet voor alle energieprocessen goed worden gerapporteerd welke CO₂-intensiteiten worden gebruikt.

Om onderscheid te maken tussen CO₂-afvang en -opslag (CCS) en CO₂-verwijdering (CDR) moet gekeken worden naar de **bron** van de CO₂. Bij CCS wordt een fossiele brandstof verbrand, waarna de vrijgekomen CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen. Er wordt dus geen CO₂ uit de atmosfeer gehaald, er wordt alleen voorkomen dat er CO₂ in de atmosfeer bij komt. Bij CDR wordt er wel actief CO₂ uit de atmosfeer gehaald, met als doel de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer te verlagen. CO₂-afvang en -hergebruik (CCU) kan in beide categorieën vallen, afhankelijk van de oorsprong van de verwerkte CO₂.

Op basis van de hierboven genoemde randvoorwaarden voor emissieboekhouding, zijn voor de verschillende technologieën en maatregelen criteria opgesteld. Deze worden hieronder per technologie of maatregel verder uitgelegd.

CO₂-afvang en -opslag (CCS)

Om 'Parijs-proof' te zijn moet CCS voldoen aan de volgende criteria (Bauer et al., 2022):

1. De verwijderde CO₂ wordt afgesloten van de atmosfeer opgeslagen, op een manier die permanent beoogt te zijn.
2. Er is een emissiereductie ten opzichte van de referentie van minimaal 70 procent in 2030. Om hieraan te voldoen, moet ten minste 90 procent van de CO₂ worden afgevangen en mag er niet meer dan 1,5 procent methaanlekage optreden.
3. In 2050 moet de emissie in de hele keten nul zijn.

Om lock-in van fossiele processen te voorkomen, moet CCS alleen ingezet worden als tijdelijke optie en onder voorwaarden. De toepassing vindt plaats bij processen waarvoor op korte termijn geen alternatief beschikbaar is.

CO₂-afvang en -hergebruik (CCU)

Op basis van een metastudie (De Kleijne et al., 2022) naar de CO₂-reductie van een groot aantal CCU-opties, zijn er twee criteria opgesteld voor CCU om in lijn te zijn met de afspraken uit het Parijs-akkoord:

1. In 2030 zijn de CO₂-emissies van een CCU-product in de keten minimaal 50 procent lager dan bij het fossiele alternatief.
2. In 2050 moet de absolute CO₂-emissie van het CCU-product, in de hele keten, nul zijn. Als vuistregel wordt aan dat criterium voldaan indien twee van de volgende drie condities gelden:
 - De CO₂ komt niet uit fossiele rookgassen maar direct uit de atmosfeer, of van CO₂ uit rookgassen met biogene oorsprong.
 - Het proces van afvang en hergebruik is zelf CO₂-neutraal.
 - De CO₂ wordt permanent opgeslagen in een product.

Mocht aan alle drie de voorwaarden worden voldaan, is er sprake van CO₂-verwijdering (CDR).

In deze metastudie wordt geconcludeerd dat zeer weinig CCU-producten 'Parijs-proof' zijn. Dat komt doordat, met name bij chemische producten, de 'groene' productieroute vaak energie-inefficiënter is dan de fossiele route. Daarnaast zijn er voorlopig nog CO₂-emissies bij de opwekking van de elektriciteit die nodig is in de keten van het CCU-product. Ook komt de CO₂ die is opgeslagen in producten, vaak weer vrij.

Een proces dat formeel niet onder CCU valt maar wel gelijkenissen vertoont, is **chemische plasticrecycling**. Daarbij dient plasticafval als grondstof voor brandstof of nieuwe plastics. Deze vorm van koolstofrecycling vermindert het gebruik van aardolie als grondstof. Omdat er geen CO₂ uit industriële of energie-installaties wordt afgevangen en hergebruikt, is er geen sprake van CCU. Hierdoor valt dit proces buiten het bereik van dit rapport.

Deze technologie is echter wel aan een opmars bezig. Er zijn bijvoorbeeld nieuwe installaties gepland in Rotterdam en Delfzijl. Daarom is het goed om ons bewust te zijn van deze ontwikkeling. De klimaatimpact ervan kan sterk variëren, aangezien plasticrecycling een energie-intensief proces is. Veel hangt ook af van de efficiëntie van de recycling, en van het alternatief (vaak verbranding in een AVI, waarbij energie wordt gegenereerd). Een grondige levenscyclusanalyse is dus noodzakelijk.

Synthetische brandstoffen/E-fuels

Een specifieke vorm van CCU is het fabriceren van synthetische brandstoffen (ook wel E-fuels genoemd). Deze worden gemaakt uit waterstof en CO₂. De herkomst hiervan is een bepalende factor in de duurzaamheid van de brandstof. Op basis van intern onderzoek van Natuur & Milieu, zijn drie duurzaamheidscriteria voor synthetische brandstoffen opgesteld:

1. De CO₂ wordt direct afgevangen uit de atmosfeer (DAC) of uit rookgassen met biogene oorsprong.
2. De waterstof is groen en de opwekkingscapaciteit uit zon of wind ervoor is aantoonbaar additioneel. Dit om te voorkomen dat andere sectoren die ook elektriciteit vragen ongewild 'grijs' worden in hun elektriciteitsconsumptie.
3. De brandstof reduceert minimaal 70 procent broeikasgassen in de hele keten, t.o.v. het fossiele product. Dit moet berekend worden met een robuuste en erkende methodiek voor levenscyclusanalyse.

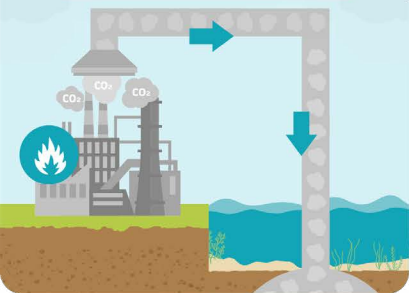
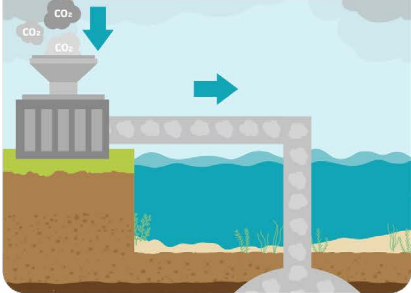
CO₂-verwijdering (CDR)

Door Tanzer & Ramirez (2019) zijn vier criteria opgesteld waaraan een maatregel moet voldoen om daadwerkelijk broeikasgassen te verwijderen uit de atmosfeer. Hierbij gaat één criterium over de algemene emissieboekhouding zoals beschreven aan het begin van dit hoofdstuk. Specifiek voor CDR blijven drie criteria over:

1. CO₂ wordt actief uit de atmosfeer verwijderd.
2. De verwijderde CO₂ wordt afgesloten van de atmosfeer opgeslagen, op een manier die permanent beoogt te zijn.
3. De totale hoeveelheid atmosferische CO₂ die wordt verwijderd en permanent opgeslagen, is groter dan de totale hoeveelheid broeikasgassen die in de hele keten in de atmosfeer wordt uitgestoten - inclusief de eventuele biomassaketen.

Een samenvatting van de criteria is te vinden in de tabel op de volgende pagina.

Tabel 1. Criteria om koolstofmaatregelen te classificeren en hun klimaatimpact vast te stellen.

CO₂-AFVANG EN OPSLAG 	CO₂-AFVANG EN HERGEBRUIK 	CO₂-VERWIJDERING 
Carbon Capture & Storage (CCS) 1. De verwijderde CO₂ wordt afgesloten van de atmosfeer opgeslagen, op een manier die permanent beoogt te zijn. 2. Er is een emissiereductie ten opzichte van de referentie van minimaal 70 procent in 2030. Om hieraan te voldoen, moet ten minste 90 procent van de CO₂ worden afgevangen en mag er niet meer dan 1,5 procent methaanlekage optreden. 3. In 2050 moet de emissie in de hele keten nul zijn.	Carbon Capture & Utilization (CCU) 1. In 2030 zijn de CO₂-emissies van een CCU-product in de keten minimaal 50 procent lager dan bij het fossiele alternatief. 2. In 2050 moet de absolute CO₂-emissie van het CCU-product, in de hele keten, nul zijn. Als vuistregel wordt aan dat criterium voldaan indien twee van de volgende drie condities gelden: ◦ De CO₂ komt niet uit fossiele rookgassen, maar direct uit de atmosfeer, of van CO₂ uit rookgassen met een biogene oorsprong. ◦ Het proces van afvang en hergebruik is zelf CO₂-neutraal. ◦ De CO₂ wordt permanent opgeslagen in een product.	Carbon Dioxide Removal (CDR) 1. De CO₂ wordt actief uit de atmosfeer verwijderd. 2. De verwijderde CO₂ wordt afgesloten van de atmosfeer opgeslagen, op een manier die permanent beoogt te zijn. 3. De totale hoeveelheid atmosferische CO₂ die wordt verwijderd en permanent opgeslagen, is groter dan de totale hoeveelheid broeikasgassen die in de hele keten in de atmosfeer wordt uitgestoten – inclusief de eventuele biomassaketen.



4. Emissieboekhouding en klimaatimpact

Technologieën en maatregelen rondom afvang, opslag, hergebruik en verwijdering van CO₂ kunnen qua klimaatimpact ingedeeld worden in de volgende vier groepen:

1. Procesketens waarin **CO₂-verwijdering** plaatsvindt.
2. Procesketens waarin de **netto balans** van CO₂-verwijdering en emissies van broeikasgassen (ongeveer) **nul** is.
3. Procesketens waarbij broeikasgasemissies worden **gereduceerd** t.o.v. een referentie, maar ook (aanmerkelijke) emissies resterend.
4. Procesketens waarbij broeikasgasemissies **toenemen** t.o.v. een referentie.

Hieronder is voor verschillende maatregelen uitgewerkt in welke groep(en) deze vallen.

- Bij **CCS** wordt CO₂ van fossiele oorsprong afgevangen en permanent opgeslagen in de ondergrond. Hierdoor worden emissies *gereduceerd* ten opzichte van een systeem zonder CCS.
- Bij **BECCS** kan in theorie sprake zijn *CO₂-verwijdering*, aangezien eerst CO₂ uit de atmosfeer wordt vastgelegd in biomassa. Na verbranding of verwerking van deze biomassa wordt de CO₂ permanent opgeslagen, waardoor de CO₂-concentratie in de atmosfeer afneemt. Echter, of BECCS daadwerkelijk leidt tot CO₂-verwijdering hangt af van vele factoren. Het hele proces van verwerking, transport et cetera kost veel energie, waardoor de netto balans ongunstiger kan uitpakken. Ook de winning van de benodigde biomassa speelt een essentiële rol. Wanneer dit bijvoorbeeld ten koste gaat van een bestaand bos, kan het gebruik van BECCS zelfs leiden tot een *toename* van broeikasgasemissies.
- **DACCS** is een technologie om CO₂ uit de atmosfeer te verwijderen. Echter, omdat dit proces erg energie-intensief is, hangt de daadwerkelijke klimaatimpact af van de gebruikte energiebron. Is deze hernieuwbaar, dan vindt *CO₂-verwijdering* plaats. Is deze fossiel, dan kan DACCS zelfs leiden tot een *toename van de CO₂-concentratie* in de atmosfeer.
- Bij **CCU** wordt in veel gevallen CO₂-uitstoot *gereduceerd*, aangezien CO₂ wordt afgevangen en opnieuw gebruikt. Hierbij is voor het proces waarin de koolstof wordt hergebruikt minder fossiele input nodig. Als de afgevangen CO₂ van biogene oorsprong is, en in de keten alleen hernieuwbare energie wordt gebruikt, kan de *netto CO₂-balans* van dit proces ook ongeveer *nul* zijn. Hierbij speelt natuurlijk dezelfde problematiek als bij BECCS. In een negatief scenario kan CCU leiden tot een *toename* van emissies. CO₂ wordt in veel gevallen maar korte tijd opgeslagen en in het recyclingproces is veel energie nodig. De bron van deze energie heeft een grote invloed op de klimaatimpact.
- Door het gebruik van **E-fuels** wordt bespaard op fossiele kerosine, waardoor een *reductie* van de CO₂-uitstoot plaatsvindt. Echter, veel hangt af van de oorsprong van de CO₂, de efficiëntie van de keten en de wijze waarop de benodigde waterstof wordt geproduceerd. Wanneer bijvoorbeeld fossiele energie wordt gebruikt voor waterstofproductie, kunnen emissies zelfs *toenemen* ten opzichte van fossiele kerosine.
- Bij de aanplant van **extra bossen** wordt CO₂ uit de atmosfeer opgenomen en opgeslagen in de bomen; er vindt dus *CO₂-verwijdering* plaats. Hierbij is het uiteraard essentieel dat er daadwerkelijk bosoppervlak wordt toegevoegd en er niet slechts sprake is van vervanging of behoud. Ook moet het gebied een permanente bestemming als bos krijgen.
- Bij **houtbouw** vindt ook *CO₂-verwijdering* plaats, onder dezelfde voorwaarden als hierboven. De klimaatimpact hangt af van hoe permanent de bouwmaterialen gebruikt worden. Worden deze na een gebruikperiode niet hergebruikt maar verbrand, dan is er slechts sprake van *netto-nul* emissie.

5. Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport zijn diverse technologieën en maatregelen rondom afvang, opslag, hergebruik en verwijdering van CO₂ gedefinieerd om zo 'het kaf van het koren te scheiden'. Ook zijn criteria opgesteld waaraan deze maatregelen moeten voldoen om in lijn te zijn met de afspraken gemaakt in het Parijs-akkoord. Tot slot is de klimaatimpact van verschillende maatregelen in kaart gebracht.

Voor beleid op dit vlak zijn zes aanbevelingen opgesteld:

1. Maatregelen om CO₂ op te slaan, te verwerken of te verwijderen uit de atmosfeer mogen **nooit** ten koste gaan van het streven naar emissiereductie. Om gevaarlijke klimaatverandering te voorkomen en zicht te houden op het behalen van de Parijs-doelstellingen, is maximale inzet op maatregelen om de CO₂-uitstoot omlaag te brengen essentieel. CCS en CCU moeten selectief ingezet worden om emissies te reduceren van processen waarbij directe of indirecte elektrificatie geen optie is. CDR moet aanvullend op mitigatie gebruikt worden om tot netto-nul of zelfs netto negatieve emissies te komen.
2. Binnen het kader van koolstofopslag, -verwerking en -verwijdering moeten de definities, zoals gegeven in dit rapport, helder gebruikt worden. Het gaat hierbij zowel om maatregelen (zoals CCS, CCU en CDR), systeemdefinities (zoals netto emissies) als klimaatimpact (zoals de vraag of er sprake is van reductie of verwijdering van CO₂).
3. Bij het bepalen van de klimaatimpact dient de hele keten bekeken te worden, van 'wie tot graf'. Ook is het belangrijk CO₂-emissiefactoren helder te rapporteren.
4. Bij het ondersteunen en selecteren van technologieën en maatregelen moet de klimaatimpact centraal staan. Inspanningen moeten gericht zijn op het bereiken van netto-nul emissies in 2050 en uiteindelijk netto negatieve emissies. Voor overheidsondersteuning zou 'Parijs-proof' een voorwaarde moeten zijn.
5. Voor alle technologieën en maatregelen is het belangrijk de vraag te stellen hoe deze passen binnen de energie- en grondstoffentransitie. Dragen deze actief bij aan het bereiken van de Parijs-doelstellingen? Of zorgen ze juist voor lock-in van fossiele technologie of voortzetting van de status-quo? Zo moet CCS bijvoorbeeld alleen ingezet worden als tijdelijke maatregel, voor fossiele processen waarvoor op korte termijn geen geschikt alternatief beschikbaar is.
6. De inzet van biomassa binnen de energie- en grondstoffentransitie vraagt zorgvuldigheid, vanwege vraagstukken rond beschikbaarheid, oorsprong, verandering van landgebruik en impact op biodiversiteit. Voor veel van de in dit rapport beschreven maatregelen wordt biomassa genoemd als potentiële duurzame input. Biomassa moet echter selectief ingezet worden, waarbij altijd de gehele keten beschouwd dient te worden. Alleen wanneer het aantoonbaar gaat om restproducten zonder negatieve impact eerder in de keten, kan het ingezet worden voor CCU- of CDR-processen.

6. Bronnen

- Bauer, C. et al. (2022): *On the climate impacts of blue hydrogen production*. Sustainable Energy & Fuels, Issue 1, 2022
- CCU-Alliantie (2022): *Kick-off Taskforce Negatieve Emissies (TNE)*.
<https://www.ccu-alliantie.nl/post/kick-off-taskforce-negatieve-emissies-tne>
- De Kleijne, K. et al. (2022): *Limits to Paris compatibility of CO₂ capture and utilization*. One Earth, Volume 5, Issue 2, 2022, Pages 168-185
- ETIP Bioenergy (2023): *Recycled carbon fuels*.
<https://etipbioenergy.eu/value-chains/conversion-technologies/add-ons-overview/recycled-carbon-fuels>
- European Commission (2023): *2050 long-term strategy*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en
- European Parliament (2023): *Reducing carbon emissions: EU targets and measures*.
<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/priorities/climate-change/20180305ST099003/reducing-carbon-emissions-eu-targets-and-measures>
- Europese Commissie (2021): *Voorstel voor een RICHTLIJN VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD tot wijziging van Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad, Verordening (EU) 2018/1999 van het Europees Parlement en de Raad en Richtlijn 98/70/EG van het Europees Parlement en de Raad wat de bevordering van energie uit hernieuwbare bronnen betreft, en tot intrekking van Richtlijn (EU) 2015/652 van de Raad*.
https://www.eerstekamer.nl/bijlage/20210720/com_2021_557_voorstel_voor_een/document3/f=/vlm3htdzkdlw.pdf
- Eve Tamme (2022): *The New IPCC Report – Carbon Removal Narrative*.
<https://evetamme.com/2022/04/06/ar6-wgiii-report-carbon-removal>
- Gambhir, A. & Tavoni, M. (2019): *Direct Air Carbon Capture and Sequestration: How It Works and How It Could Contribute to Climate-Change Mitigation*. One Earth, Volume 1, Issue 4, 2019, Pages 405-409
- IPCC (2022): *Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change*.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf
- Nobian (2023): *FutureCarbonNL maakt Nederland wereldleider in carbontech*.
<https://www.nobian.com/nl/nieuws/futurecarbonnl-maakt-nederland-wereldleider-in-carbontech>
- ONCRA (2023): *Carbon returns*. <https://oncra.org>
- Tanzer, S. E. & Ramirez, A. (2019): *When are negative emissions negative emissions?*. Energy Environ. Sci., 2019, 12, 1210
- TNO (2020): *E-fuels cruciaal voor verduurzaming zwaar transport*.
<https://www.tno.nl/nl/newsroom/2020/09/fuels-cruciaal-verduurzaming-zwaar>