



Achtergrondstudie

Perspectieven voor koolstofafvang, -opslag en -gebruik in Vlaanderen

Datum van goedkeuring: **30/04/2020**

Volgnummer kennisdocument: **2020 | 005**

Co-auteur + e-mailadres: **Stefanie Corens, stefanie.corens@minaraad.be
Kathleen Quick, kathleen.quick@minaraad.be**

Voorliggend document werd op grond van het jaarprogramma van 2019 opgemaakt t.b.v. de raadsorganisaties, als een informatieve en oriënterende basis voor eventuele verdere werkzaamheden. Vermits deze nota opgevat wordt als een verkennende synthese, bindt de inhoud ervan op zich noch de raadsleden noch de raadsorganisaties.

Inhoudstafel

Inhoudstafel.....	2
Inleiding en leeswijzer.....	3
Procesbeschrijving.....	4
Perspectieven voor koolstof-afvang, -opslag en gebruik in Vlaanderen.....	5
1 Inleiding en enkele basiscategorieën.....	5
1.1 Koolstofdioxide.....	5
1.2 Versnelde captatie van CO ₂ – algemeen.....	6
1.3 Negatieve emissietechnologie of <i>Carbon Dioxide Removal (CDR)</i>	6
1.4 Koolstofopvang en -opslag (CCS) resp. -gebruik (CCU).....	7
1.5 Synthese.....	8
2 Belang voor de Mineraad.....	9
3 Afzonderlijke negatieve emissietechnologieën.....	11
3.1 Bebossing en herbebossing.....	11
3.2 Opvang in eco- en landbouwsystemen (<i>soil carbon sequestration</i>).....	12
3.3 <i>Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS)</i>	14
3.4 <i>Enhanced weathering</i> en <i>ocean alkalization</i> (P.M.).....	14
3.5 <i>Ocean fertilisation</i> (P.M.).....	14
3.6 Rechtstreekse opvang van CO ₂ uit de atmosfeer (DAC).....	15
4 Afzonderlijke technologieën i.v.m. CO ₂ uit puntbronnen (CCU/S).....	17
4.1 Captatietechnologieën.....	17
4.2 Technologieën voor transport van CO ₂ (bij CCU/S).....	19
4.3 Technologieën voor opslag van CO ₂ (bij CCS).....	21
4.4 Technologieën voor gebruik van CO ₂ (bij CCU).....	22
5 Bestaande juridische omkadering.....	28
5.1 Internationale verdragen.....	28
5.2 Europese regelgeving.....	29
5.3 Belgisch-federale regelgeving met relevantie voor CCS.....	37
5.4 Regelgeving op Vlaams niveau.....	38
6 Potentiëlen, hindernissen, opportuniteiten en kosten.....	43
6.1 Potentiëlen.....	43
6.2 Hindernissen.....	49
6.3 Kosteneffectiviteit.....	52
6.4 Opportuniteiten.....	56
7 Beleidsontwikkeling.....	58
7.1 Internationaal beleid – diverse rapporten.....	58
7.2 Europees beleid.....	60
7.3 Vlaams beleid.....	63
8 Toekomstige activiteiten van de Mineraad.....	66
Lijst afkortingen.....	67
Lijst figuren.....	68
Bibliografie.....	69

Inleiding en leeswijzer

Deze studienota heeft als doel om inzicht te geven in het potentieel voor afvang en opslag van koolstofdioxide (CO₂) in het kader van de transitie naar een koolstofarme samenleving. In dit document wordt dus specifiek gefocust op CO₂ – andere broeikasgassen zoals methaan, waterdamp, lachgas en ozon worden in voorliggend document buiten beschouwing gelaten.

Het klimaatprobleem kan in belangrijke mate opgevat worden als een groeiend onevenwicht tussen antropogene broeikasgassen (hier: CO₂) en de natuurlijke adsorptiecapaciteit wat dat betreft. Om de overmatige uitstoot van CO₂ te mitigeren, dient er gewerkt te worden aan het CO₂-neutraal maken van menselijke activiteiten. Maar een deel van het neutraliseren van die CO₂-impact kan ook bestaan in het intensifiëren en versnellen van de captatie (afvang) en adsorptie (opslag) van CO₂.

In principe dienen er zich twee oplossingsrichtingen aan inzake koolstof-afvang en -opslag: (1) negatieve emissietechnologie (ook aangeduid als *Carbon Dioxide Removal*) waarbij CO₂ op (semi-)natuurlijke of chemische wijze uit de atmosfeer verwijderd wordt; (2) CCU/S waarbij CO₂ verwijderd wordt die afkomstig is van puntbronnen. Meer en meer wordt erkend dat zowel CDR-technologieën als CCU/S potentieel hebben om als sluitstuk te fungeren bij het te voeren mitigatiebeleid, zonder dat het daarom de bedoeling kan zijn dat deze technologieën de beoogde mitigatie-inspanningen *sensu stricto* zouden overschaduwen.

In hoofdstuk 1 van deze nota wordt een beschrijving gegeven op hoofdlijnen van deze technologieën. In hoofdstuk 2 wordt de relevantie voor de Minaraad – op basis van voorbije adviesactiviteiten – geschetst. Hoofdstukken 3 en 4 worden gewijd aan een beschrijving van de tot op heden bekomen mogelijkheden (statisch beeld). In hoofdstuk 5 wordt (eveneens statisch) de stand van de wetgeving geschetst. De hoofdstukken 6 en 7 zijn dynamisch. Hoofdstuk 6 gaat in op het potentieel, de hindernissen, de kosten en de kansen. Hoofdstuk 7 schetst de beleidsontwikkelingen tot dusverre. In hoofdstuk 8 wordt er tot slot kort doorgedaan op mogelijke toekomstige activiteiten van de Minaraad in verband met de hier behandelde thema's.

De tijd dringt voor het Vlaamse Gewest om concrete beslissingen te nemen. Deze beslissingen moeten betrekking hebben op de inzet van dergelijke technologieën op middellange (2030) en lange (2050) termijn, en daartoe op korte termijn in de nodige acties voorzien. En deze beslissingen moeten kostenefficiënt zijn, gestoeld zijn op feiten en cijfers, en moeten geïntegreerd kunnen worden in een Belgische en Europese context.

Vermits deze nota opgevat wordt als een verkennende synthese, bindt de inhoud ervan op zich noch de raadsleden noch de raadsorganisaties. Van het document werd wel door de raadsleden akte genomen, als een informatieve en oriënterende basis voor eventuele verdere werkzaamheden.

Procesbeschrijving

Project op initiatief van:	De Minaraad
Rechtsgrond:	Bestuursdecreet, artikel III.94., § 1., 1°: “Een strategische adviesraad heeft de volgende opdrachten: 1° de maatschappelijke ontwikkelingen volgen en interpreteren [...]”
Projectdoel:	Studiedocument
Vaststellingsdatum:	Mei 2020
Overlegcommissie:	Werkcommissie Milieuhygiëne en Werkcommissie Open Ruimte (met PWC's Natuur- en Bosbeleid)
Vergaderingen: soort + datum:	Zie de procesbeschrijving hieronder.

Tot het aanvatten van deze verkenning was beslist in het jaarprogramma van de Minaraad van 2019: *“Er wordt een interne briefing nota opgemaakt over de zgn. negatieve emissietechnologieën, i.e. het potentieel, de stand van zaken en de risico's van CCS, CCU en biomassabeleid, ter onderbouwing van toekomstige adviezen.”*

Het project werd opgestart met een beslissing van het dagelijks bestuur van 13 maart 2019, evenwel zonder uitgewerkte startfiche. Op het dagelijks bestuur van 20 juni 2019 werd genoteerd dat de resultaten van de verkenning te uitgebreid waren voor een weerslag in een *briefing*. Er werd gevraagd om een en ander aan een werkcommissie voor te leggen.

De studie werd op 5 december 2019 voorgelegd aan de werkcommissie Open Ruimte; ook de leden van de Permanente Werkcommissies Natuurbeleid en Bosbeleid waren op deze zitting uitgenodigd. De werkcommissie was het er over eens dat de studie valabel was, maar dat er nog aanvullingen en correcties zouden kunnen gebeuren in samenwerking met de bevoegde wetenschappelijke instellingen.

In januari en begin februari ging er daarom overleg door met UA, VMM en ILVO. De bijkomende opmerkingen van UA (Sara Vicca) werden ontvangen op 31 januari (vooral met betrekking tot het lopende Vlaams onderzoek naar *Enhanced Weathering*), de bijkomende opmerkingen van ILVO inzake de landbouwgerelateerde delen werden ontvangen op 6 maart 2020 (Tommy D'Hose) en op 10 maart 2020 (Greet Ruyschaert).

Tot slot maakte deze studie het voorwerp uit van enige schriftelijke overlegprocessen tussen raadspartners in maart en april 2020, waarna het Dagelijks Bestuur akte nam van deze studie op 30 april, en instemde met vrijgave ervan.

Perspectieven voor koolstof-afvang, -opslag en gebruik in Vlaanderen

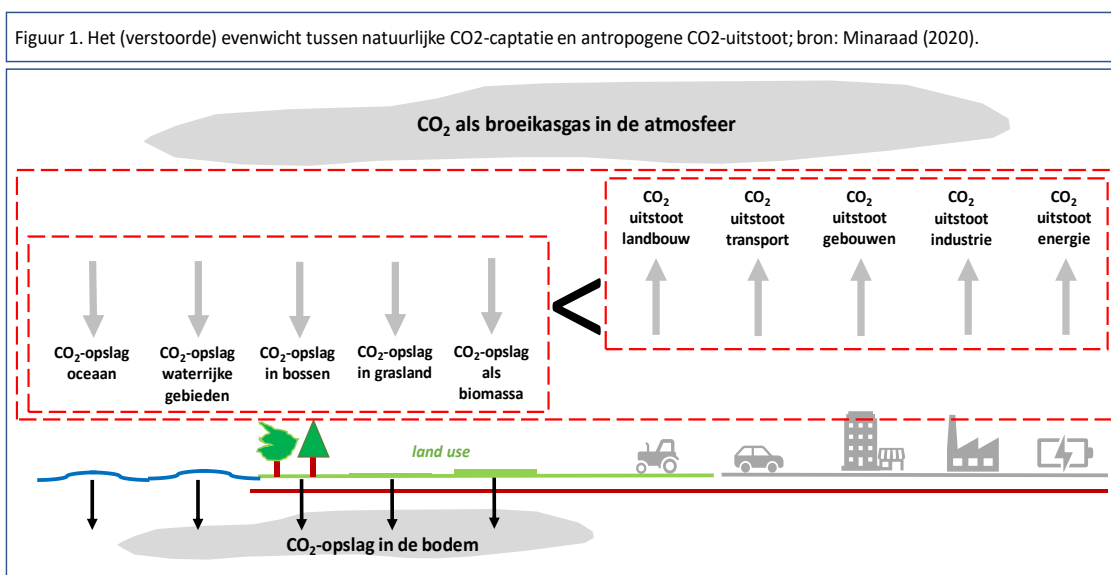
1 Inleiding en enkele basiscategorieën

1.1 Koolstofdioxide

Het chemisch element koolstof (C) is de belangrijkste bouwsteen op aarde. Het wordt teruggevonden in alle levende materie, maar ook in de atmosfeer, sedimenten, oceanen en gesteenten. Koolstof heeft de interessante eigenschap dat het chemische verbindingen met zichzelf en talloze andere elementen kan aangaan¹. De verbinding van koolstof met zuurstof vormt onder andere koolstofdioxide (CO₂)².

In de recentste millennia (i.e. in het geologische tijdperk van het holoceen) was er een relatief evenwichtige uitwisseling van koolstof via natuurlijke processen. Deze natuurlijke processen vonden/vinden vooral plaats in de oceanen en in de terrestrische vegetatie. Zo zetten bijvoorbeeld planten, via een chemische reactie door middel van zonlicht die fotosynthese genoemd wordt, CO₂ uit de lucht samen met grondwater om in glucose. Bij dit proces wordt zuurstofgas aan de lucht afgegeven. Globaal dragen deze processen bij tot een relatief constante verhouding van zuurstof en koolstofdioxide in de lucht

Dit natuurlijk evenwicht wordt nu verstoord door antropogene verbrandingsprocessen (voor verwarming, energieopwekking, mobiliteit en industriële processen) van fossiele brandstoffen (zoals aardolie, steenkool, aardgas) evenals door andere industriële processen (zoals bij de productie van cement en ammoniak evenals door fermentatie). Globaal gezien leiden de emissies van koolstof (doorgaans via de verbinding CO₂) tot een probleem van capaciteit en timing. De natuurlijke captatiemechanismen werken immers te traag om de relatief snelle creatie (door verbranding) en grote hoeveelheid van antropogene emissies te compenseren. Het veranderd landgebruik zorgt bovendien voor een verminderde capaciteit tot captatie. Het aldus verstoorde evenwicht vormt de voornaamste oorzaak van klimaatsverandering op aarde. Dit is nogmaals bevestigd geworden in het [5^{de} assessment rapport van het IPCC](#) eind 2018. **Figuur 1** geeft een schematisch inzicht in het verstoorde evenwicht.



¹ Er zijn min of meer 10 miljoen koolstofverbindingen bekend.

² Koolstofvoorraden worden doorgaans aangeduid als ton C, soms per ha en/of per jaar. Opslag of emissies (= veranderingen in de voorraad) worden doorgaans aangeduid als ton CO₂ of ton CO₂-equivalenten (CO₂-eq.) en soms ook per ha en/of per jaar.

1.2 Versnelde captatie van CO₂ – algemeen

Vanwege het verstoorde evenwicht rijst onder meer de vraag hoe de globale captatie van CO₂ zou kunnen versneld worden. De diverse vormen van versnelde captatie kunnen algemeen opgedeeld worden in twee groepen:

- De eerste groep is deze van de negatieve emissietechnologieën. Met name kan er door menselijk ingrijpen een intensifiëring worden nagestreefd van een of meerdere vormen van opslag van CO₂ in ecosystemen (natuurlijke opslag). Onder bepaalde voorwaarden kan koolstofopslag ook bevorderd worden in landbouwsystemen. Daarnaast kan CO₂ ook op een kunstmatige manier uit de lucht worden gehaald; dit wordt *Direct Air Capture* (DAC) genoemd. Natuurlijke opslag samen genomen met DAC wordt doorgaans aangeduid als negatieve emissietechnologie (of *Carbon Dioxide Removal* (CDR)).
- Naast CDR bestaan er verschillende technologieën om koolstof, alvorens het wordt uitgestoten, op te vangen (CC – “*Carbon Capture*”), om het vervolgens te transporteren en tot slot te stockeren (CCS – “*Storage*”) of te gebruiken (CCU – “*Usage*”).

Om de toepasbaarheid van deze twee oplossingsrichtingen in algemene lijnen te situeren, het volgende. Antropogene CO₂-uitstoot komt voort uit diffuse en uit puntbronnen. Elk hebben ze een aandeel van ongeveer de helft van de uitstoot.

- Puntbronnen, die gebonden zijn aan schouwen en andere uitlaten van grote installaties zoals hoogovens, verbrandingsovens, cementovens, elektriciteitscentrales en raffinaderijen, komen (veelal) in aanmerking voor de opslag en/of omzetting van de CO₂-uitstoot via CCU/S, indien deze uitstoot niet op een andere wijze aan de bron kan worden voorkomen.
- Daarentegen houdt CO₂-uitstoot uit diffuse bronnen verband met het vervoer op de weg, in de lucht en over water en met veranderingen in landgebruik. Deze uitstoot zou vooral met negatieve emissietechnologieën (CDR) opgevangen kunnen worden, indien hij niet aan de bron voorkomen kan worden.

Op Europees niveau, en vanuit het oogpunt van technisch potentieel, zou CCS in de industrie kunnen zorgen voor een afvang van 44 - 81 Mton CO₂, CCS in de energiesector voor 4 – 218 Mton CO₂, waarvan dan 4 – 189 afkomstig van biomassa³. Wat de landgebruikssector (i.e. CDR) betreft is de balans van emissies en verwijderingen in de EU in de laatste 20 jaar redelijk constant gebleven, met name ongeveer -300 MtonCO₂-eq./jaar⁴. Deze *koolstofsink* kan met gepaste maatregelen in de landgebruikssector vergroot worden.

1.3 Negatieve emissietechnologie of *Carbon Dioxide Removal* (CDR)

Carbon Dioxide Removal (CDR) of negatieve emissietechnologie verwijst naar een set mitigatietechnieken⁵ die gebruikt (kunnen) worden om actief CO₂ uit de atmosfeer te halen. In voorliggende nota worden, wat dit betreft, de technieken besproken die ook in het IPCC-rapport⁶ en het rapport van de Europese Commissie⁷ worden vermeld:

³ EUROPESE COMMISSIE (2018c), p. 193

⁴ EUROPESE COMMISSIE (2018c), p. 25.

⁵ Het IPCC definieert “mitigatie” als het reduceren van de uitstoot van broeikasgassen en het vergroten van de *sinks* voor broeikasgassen door menselijk ingrijpen. Hierbij dient te worden gewezen op het feit dat natuurlijke ecosystemen en landbouwsystemen ook van nature uit koolstof opslaan: dit wordt door IPCC evenwel niet beschouwd als negatieve emissietechnologie (NET) aangezien hiervoor geen menselijk handelen nodig is (vb. een bestaand bos dat koolstof opslaat tijdens zijn ontwikkeling is geen NET, maar (her)bebossing is wel een NET).

⁶ IPCC SR15 (2018), Hoofdstuk 4, p. 342.

⁷ EUROPESE COMMISSIE (2018c)

- *Ocean fertilization*.
- *Bioenergy with carbon capture and storage* (BECCS);
- *Afforestation and reforestation* (AR);
- *Soil carbon sequestration through “enhanced land use”*;
- *Enhanced weathering (EW) and ocean alkalization*;
- *Direct air carbon dioxide capture and storage* (DACCS);

Deze technieken worden uitvoeriger toegelicht in hoofdstuk 3.

Zoals reeds aangestipt, bij negatieve emissietechnologie kan een opdeling gemaakt worden tussen de opslag in natuurlijke systemen enerzijds en kunstmatige opslag anderzijds. Wat de volledig natuurlijke systemen betreft, wordt de CO₂ uit de atmosfeer opgevangen en opgeslagen in biomassa, in de bodem of in oceanen. Bij de overige negatieve emissietechnieken (BECCS en DACCS) is de opslag gelijkaardig aan CCS.

1.4 Koolstofopvang en -opslag (CCS) resp. -gebruik (CCU)

De kunstmatige koolstofopvang en -opslag, beter gekend onder CCS (wat de afkorting is voor *Carbon Capture and Storage*), is een verzamelnaam voor een aantal technieken om op een kunstmatige manier CO₂ af te vangen aan een puntbron én om die op te slaan vooraleer ze in de atmosfeer wordt uitgestoten. Deze technieken kunnen toegepast worden bij de productie van energie op basis van fossiele bronnen (zoals steenkool, aardolie en aardgas) en in industriële processen waar CO₂ als nevenproduct ontstaat.

Bij inzet van CCS wordt de CO₂ die ontstaat in een energiecentrale of een fabriek eerst kunstmatig afgevangen (voorbeeld in de schouw van een centrale of in een bepaalde fase van het productieproces). Vervolgens gaat de CO₂ (die meestal nog eerst opgezuiverd en vloeibaar wordt gemaakt) per schip of via pijpleidingen naar permanente geologische opslagplaatsen. Deze opslagplaatsen zijn van nature afgesloten en liggen in principe meer dan 1.000 meter onder land of de zeebodem – het gaat bijvoorbeeld om lege gasvelden. De CO₂ wordt geïnjecteerd in die aardlagen via speciale leidingen, waarna een en ander hermetisch wordt afgesloten.

Hoewel CCS nog maar op beperkte schaal gecommercialiseerd is, wordt deze technologie beschouwd als “bewezen technologie”⁸. De eerste CCS-installatie dateert van 1972 (als onderdeel van een *Enhanced Oil Recovery*- of EOR-project – zie p. 25). Als het gaat om pure CCS (zonder EOR), vormde het [Sleipner project](#) (genoemd naar de opslag in het gelijknamige gasveld) in Noorwegen het eerste grootschalige demonstratieproject ter wereld. De stockage van CO₂ via het Sleipner project ging van start in 1996. Vanaf dat moment werd/wordt er jaarlijks 0,9 miljoen ton CO₂ gestockeerd.

Tot op heden werd wereldwijd via artificiële CCS-projecten tot 200Mt CO₂ opgeslagen – zonder bewijs van lekken⁹. Op wereldvlak zijn er 18 commerciële projecten inzake CCS lopende, waarvan 10 in de Verenigde Staten¹⁰. Deze projecten leiden tot de gezamenlijk opslag van 40Mtpa CO₂, wat evenwel – om proporties aan te geven – niet meer dan 1 % van de Europese emissies

⁸ IOGP (2019), p. 4, 7, 42.

⁹ GLOBAL CCS INSTITUTE (2017), p. 13. Ook uit het IPCC SR over CCS van 2005 blijkt dat, voor grootschalige kunstmatige koolstofdioxide opslagprojecten, indien de locaties zorgvuldig geselecteerd, geëxploiteerd en gecontroleerd worden het “zeer waarschijnlijk” is dat “de fractie opgeslagen CO₂ die wordt vastgehouden, groter is dan 99% over de eerste 100 jaar” en het “waarschijnlijk” is dat “de fractie opgeslagen CO₂ die wordt vastgehouden groter is dan 99% voor de volgende 1000 jaar”. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_wholereport-1.pdf, p. 23.

¹⁰ EUROPESE COMMISSIE (2018c), p. 61.

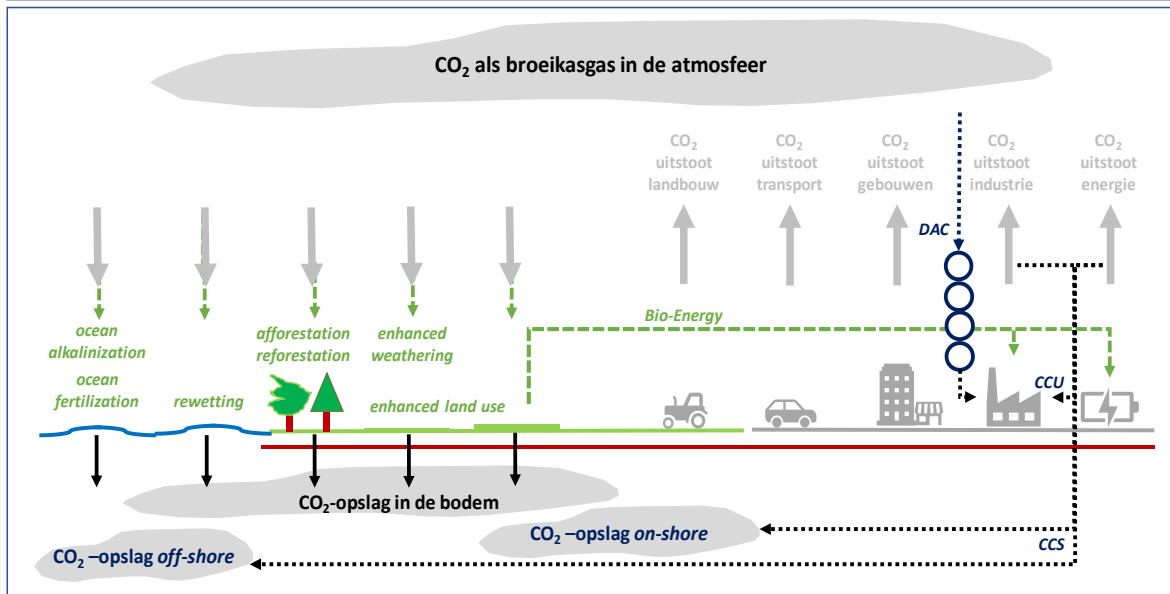
bedraagt. Momenteel zijn er nog vijf nieuwe CCS-projecten in voorbereiding en 20 projecten bevinden zich in verschillende fasen van ontwikkeling.

Waar men bij CCS van de CO₂ – als afvalstroom – af wil door die op te vangen en vervolgens (na transport) geologisch te begraven, capteert men bij CCU de uitgestoten CO₂ om die in te zetten als een bruikbare grondstof. Daarom gaat men er, na afvang en zuivering, mee aan de slag als basis voor een reeks toepassingen, onder meer in de voedingsindustrie, in de productieprocessen van de chemische industrie en voor de aanmaak van brandstoffen. Sommige CCU-toepassingen worden al commercieel gebruikt, maar een groot aandeel ervan staat minder ver op de S-curve van ontwikkeling¹¹ en heeft daarom nog steeds nood aan ondersteuning in de vorm van onderzoek en ontwikkeling (O&O).

1.5 Synthese

Het geheel kan synthetiserend gevat worden in één figuur, met name **figuur 2**.

Figuur 2. Synthese figuur met CO₂-uitstoot, -opvang, -transport, -opslag en -gebruik. Bron: Minaraad (2020).



¹¹ EUROPESE COMMISSIE (2018c), p. 61: "a number of commercial CCU projects are on-going around the world in varying stages of development, while several planned projects have been abandoned due to uncertain economic performance"

2 Belang voor de Minaraad

In Vlaanderen bedroeg de uitstoot van broeikasgassen van de ETS- en niet-ETS-sector in het jaar 2018 77,7 Mton CO₂-equivalenten (CO₂-eq.), waarvan koolstofdioxide 66,0 Mton CO₂-equivalenten uitmaakt¹². Voor de [landgebruikssector](#) in Vlaanderen gaat het om 534 kton CO₂-Eq. in 2016¹³, waarvan op zich genomen op dit moment enkel de bossen (-500 ktonCO₂-eq.) en de wetlands (-8 kton CO₂-eq.) netto CO₂ opslaan. De uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen is op dit moment dus proportioneel beduidend groter dan de concrete opslag hiervan.

Niettemin heeft de Minaraad zich in het afgelopen decennium al herhaalde malen ingelaten met negatieve emissietechnologieën, CCS en vervolgens ook van CCU, vanwege het strategisch karakter van de discussie:

- Op 3 oktober 2008 organiseerde de Minaraad een interne hoorzitting “*Naar een geologische opslag van CO₂ in België?*”. Via deze hoorzitting wilde de Minaraad zicht krijgen op: (1) de technische mogelijkheden van CCS in Vlaanderen en Wallonië, (2) de Europese regelgeving inzake CCS en (3) de visies van de verschillende middenveldorganisaties over de geologische opslag van CO₂.
- Op 23 januari 2009 bracht de Minaraad advies uit over het voorontwerp van decreet betreffende de diepe ondergrond¹⁴. De Raad drukte toen – weliswaar met onthouding van de sociaaleconomische partners – reserves uit bij de ontwikkeling van CCS.
- Op 2 april 2009 brachten de Minaraad en SERV een gezamenlijk advies uit over het “*ontwerp Voortgangsrapport 2008 van het Vlaams Klimaatbeleidsplan 2006-2012*” (VORA08)¹⁵ – met een duidelijke passage over CCS: “*Het Vlaamse klimaatbeleid verschaft nog weinig duidelijkheid over de positie ten aanzien van de afvang en opslag van koolstofdioxide. Koolstofopvang en -opslag worden in het VORA08 vermeld als post 2012-maatregelen die in de steigers staan en recent werd een ontwerpdecreet Diepe Ondergrond uitgewerkt. Verdere visievorming lijkt evenwel nodig.*”
- In april 2011 brachten SERV en Minaraad een gezamenlijk advies uit over het ontwerpbesluit diepe ondergrond¹⁶. Inzake afvang en opslag van CO₂ verwezen de Raden naar hun resp. standpunten geformuleerd in hun advies over het voorontwerp van decreet betreffende de diepe ondergrond (zie hiervoor).
- Op 24 april 2014 bracht de Minaraad een advies uit over het ontwerp-CCS-besluit¹⁷. De Raad vroeg, weliswaar met onthouding van de werkgeversorganisaties, “*dat voor het globale Vlaamse industrieel beleid de afweging zou gemaakt worden voor welke industriële processen CCS nodig is of zal zijn. Het wetenschappelijk onderzoek over CCS in Vlaanderen kan mede daarop gericht worden.*” In dit advies werd ook voor het eerst verwezen naar CCU: “*Het gebruik van CO₂ als koolstofbron in industriële productieprocessen (CCU, Carbon Capture and Usage) krijgt veel aandacht van de Europese Commissie als technologie om de emissie te voorkomen. De Minaraad vraagt te onderzoeken of Vlaanderen hier een rol kan spelen.*” Inzake het CCS Besluit zelf was de Minaraad “*tevreden met de verduidelijking van*

¹² Zowel totaal als aandeel koolstofdioxide zijn zonder LULUCF. “*Deze emissiegegevens worden in de loop van 2020 nog door de Europese Commissie doorgelicht en kunnen op basis van deze audit nog worden bijgesteld.*”
<https://www.vmm.be/data/uitstoot-broeikasgassen/uitstoot-broeikasgassen>

¹³ <https://www.vmm.be/data/emissies-per-sector/overzicht>

¹⁴ MINARAAD (2009), de sociaaleconomische partners onthielden zich bij dit advies omdat zij hierover met de SERV een advies uitbrachten op 21 januari 2009.

¹⁵ MINARAAD EN SERV, (2009).

¹⁶ MINARAAD EN SERV, (2011).

¹⁷ MINARAAD (2014), VOKA, UNIZO en Boerenbond onthielden zich bij dit advies.

de kostendekking en de regeling van de financiële bijdrage en vindt hij het positief dat de kosten voor het verwerven van emissierechten bij lekkage zijn meegenomen". De Raad vroeg echter "*afstemming met andere vergunningsprocedures*". Verder pleitte hij "*voor een wederzijdse informatieplicht met buurlanden en buurregio's*".

- Op 2 juni 2016 gaf de Minaraad het advies "*inzake het te voeren klimaatbeleid*"¹⁸, in antwoord op de vraag die hiertoe op 4 mei gesteld was door de Bijzondere Commissie Klimaat van het Vlaams Parlement. Deze vraag was niet direct gestoeld op een afgelijnd dossier: het ging om een uitgebreide brief van het Vlaams Parlement die een reeks afzonderlijke vragen bevatte. Een van deze vragen handelde over de mogelijke bijdrage van het natuurbeleid aan de klimaatdoelstellingen en het potentieel van LULUCF. De Raad beveelt in dit advies onder andere aan om "*in het natuurbeleid te voorzien in duidelijke doelstellingen en afdoende incentives opdat mitigatie- en adaptatiemaatregelen meegenomen zouden worden in het concrete terreinbeheer van natuurterreinen, zoals voorzien in het gewijzigde natuurdecreet*."¹⁹. De Raad gaf eveneens aan dat er in dit kader nog nood is aan bijkomende dataverzameling en onderzoek om de door de landgebruikssector geleverde inspanningen mee in rekening te brengen.²⁰
- Op 30 januari 2018 organiseerde de Minaraad een *hoorzitting over Land Use, Land Use Change and Forestry* (LULUCF). Het merendeel van de maatregelen die worden genomen om te voldoen aan de doelstelling van de LULUCF-Verordening (geen netto-emissies uit de landgebruikssector) worden beschouwd als negatieve-emissie-technologie.
- Op 20 juli 2018 werden het ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 en het ontwerp Vlaams energieplan 2021-2030, onder de vorm van twee conceptnota's, goedgekeurd op de Vlaamse Regering. Deze plannen vormen de Vlaamse bijdragen voor het Nationaal Klimaat- en Energieplan 2030 (NKEP). De voorbereiding van dat nationaal klimaat- en energieplan 2030 gaf uitvoering aan een Europese Verordening die de lidstaten oplegde om tegen 31 december 2018 een ontwerp NKEP voor 2021-2030 op te maken. De SERV, SALV en Minaraad hebben voor beide conceptnota's een [gezamenlijk advies](#)²¹ opgesteld. Wat landgebruik en koolstofopslag betreft, steunden de Raden de ambitie van Vlaanderen om als regio te voldoen aan de doelstelling uit LULUCF-Verordening en dus ook het nemen van extra maatregelen om koolstof op te slaan in deze sectoren.

Daarnaast kwamen de besproken concepten ook in andere adviezen aan bod, zoals bijvoorbeeld in advies 14|030 over het multilaterale, Europese en Vlaamse klimaatbeleid en advies 19|011 op vraag van het Departement Landbouw en Visserij over de ontwerpstrategie Vlaams Gemeenschappelijk Landbouwbeleid.

¹⁸ MINARAAD (2016), met een standpunt van Voka, Boerenbond en UNIZO inzake productbeleid.

¹⁹ MINARAAD (2016), p. 35.

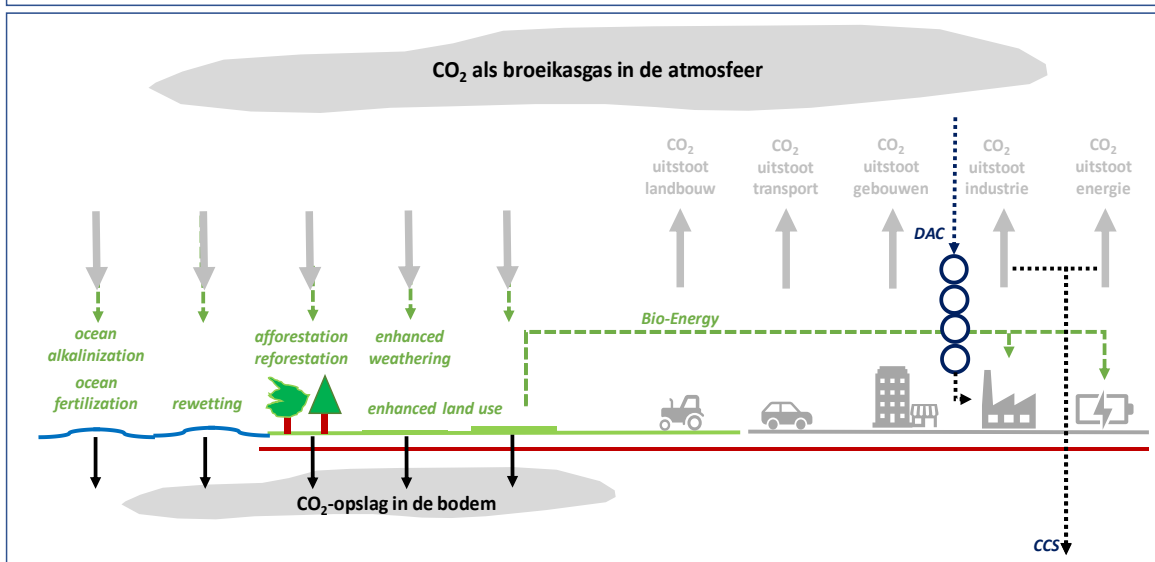
²⁰ MINARAAD (2016), p. 43.

²¹ MINARAAD, SALV EN SERV (2018).

3 Afzonderlijke negatieve emissietechnologieën

Met dit hoofdstuk wordt meer in detail geschetst welke de afzonderlijke negatieve emissietechnologieën zijn die aan de orde kunnen zijn bij koolstofopvang, -opslag en/of -gebruik. Een overzicht wordt gegeven met **figuur 3**.

Figuur 3. Synthese figuur negatieve emissie-technologieën. Bron: Minaraad (2020).



Zoals eerder al aangeduid, worden hieronder enkel de zes technologieën vermeld die in het [IPCC-rapport over opwarming tot 1,5°C](#) en het achtergronddocument bij de [langetermijnvisie van de EU](#) worden behandeld²².

Bij vier van deze zes technologieën is natuurlijke fotosynthese het centrale proces om de CO₂ uit de atmosfeer te verwijderen, met name (her)bebossing (AF/RF), *Soil Carbon Sequestration* (SCS), bio-energie met gebruik van CCS (BECCS) en *Ocean Fertilisation* (OF). De eerste twee technologieën worden beleidsmatig gevat met de notie “LULUCF”, i.e. het beleid gericht op “*Land Use, Land Use Change and Forestry*” of de zgn. landgebruiksector. De overige twee technologieën – met name DACCS en *Enhanced Weathering* – gebruiken chemische processen om CO₂ vast te leggen.

Betekenisvol is dat het IPCC er van uit gaat dat, om kosteneffectief te zijn, “*the vast majority*” van strategieën die gericht zijn op koolstofopslag, een beroep zullen moeten doen op maatregelen in de landgebruikssector²³.

3.1 Bebossing en herbebossing

In de rapportering van het IPCC²⁴ worden beide termen als volgt gedefinieerd:

- “*Bebossing*”: het planten van bomen op grond die gedurende een lange tijd niet bebost is geweest (bv. wordt 50 jaar aangenomen in het kader van het protocol van Kyoto);
- “*Herbebossing*”: het herstellen van bossen na een tijdelijke toestand met minder dan 10% kruinbedekking, en dit door menselijke ingrijpen of natuurlijke verstoring.

²² Blue Carbon (die CO₂ opvangt via marine ecosystemen zoals mangroves, zeegrasen en kwadlers) en technologieën die andere broeikasgassen verwijderen, worden niet behandeld in deze nota.

²³ IPCC(2018), H3, p. 268 en volgende.

²⁴ IPCC, (2018), H4, p. 343.

Eenmaal de bossen zijn aangeplant is het doorvoeren van een aangepast beheer gericht op koolstofopslag noodzakelijk. Maar naast koolstofopslag kan deze methode tal van andere ecosysteemdiensten aanleveren, afhankelijk van de wijze waarop er (her)bebost wordt. Om die reden zijn er in dit verband synergiën met andere beleidsvelden of -doelen denkbaar. Voor wat het Vlaamse natuurbeleid aangaat betreft het met name bijkomende bebossing in kader van de instandhoudingsdoelstellingen en de aanleg van stadsrandbossen. Wat het Vlaamse landbouwbeleid betreft is er sprake van *agroforestry* en bebossing van landbouwgronden.

Daarnaast moet evenwel rekening worden gehouden met het feit dat er ook CO₂ kan vrijkomen door de grondbewerking die nodig is voor het bebossen. Bovendien is er het gegeven dat de met bebossing of herbebossing bekomen koolstofopslag reversibel is. De opgeslagen CO₂ kan met name relatief gemakkelijk terug in de atmosfeer terecht komen door bepaalde omstandigheden, waarvan er sommige in de toekomst meer zullen voorkomen onder invloed van klimaatverandering (bosbranden).

In het Verenigd Koninkrijk loopt het [Woodland Carbon CO₂-project](#).

Het Woodland Carbon Code-project is een standaard voor bebossingsprojecten waarbij vastgesteld wordt dat er een bepaalde hoeveelheid koolstof wordt opgeslagen. De grootte van de opslag wordt door een onafhankelijke bron gecontroleerd, alsook of het aangeplante bos op een duurzame manier wordt beheerd.

3.2 Opvang in eco- en landbouwsystemen (*soil carbon sequestration*)

Planten nemen, zoals reeds aangestipt, CO₂ op uit de atmosfeer door fotosynthese, en de koolstof wordt ingebouwd in stengel, wortel en blad. Als dit plantenmateriaal in of op de bodem achterblijft (zoals bij wortelresten, wortel-exudaten, bladval, oogstresten,...) of via dierlijke mest, compost, digestaat of biochar enz. terug naar de bodem wordt gebracht, breken de bodemorganismen dit af en een deel wordt vastgelegd als stabiele organische koolstof in de bodem. Indien er aldus één ton stabiele koolstof in de bodem opgeslagen wordt, wordt 3,7 ton CO₂ uit de lucht verwijderd. Belangrijk gegeven is wel dat de bodemorganismen elk jaar een deel van die stabiele organische stof in de bodem terug zullen afbreken. Als beoogd wordt om de hoeveelheid koolstofopslag in de bodem te verhogen, moet men dus meer stabiele koolstof aanbrengen dan dat er jaarlijks wordt afgebroken. Alleen zo wordt er netto meer CO₂ uit de lucht onttrokken. Daarbij is de hoeveelheid organische koolstof in de bodem sterk afhankelijk van het concrete landgebruik, de bodemtextuur en de grondwaterstand²⁵.

Het is evenwel ook zo dat de koolstofvastlegging in de bodem niet rechtlijnig verloopt: vaak is die het hoogst direct na een verandering in landgebruik of landbeheer. Na die eerste opslagperiode evolueert de bodem naar een nieuw evenwicht. Dit evenwicht wordt bereikt na 20 tot zelfs 100 jaar. Daarna blijft de koolstofvoorraad min of meer constant. De uiteindelijke koolstofopbouw in de bodem hangt af van een aantal factoren. Een eerste factor is de capaciteit van een bodem om koolstof vast te leggen, en dat hangt dan weer vooral af van het kleigehalte en de initiële koolstofstock. Een tweede factor is het heersende klimaat, want bodemtemperatuur en -vochtgehalte bepalen de mineralisatiesnelheid. Ten derde is er de kwaliteit van de toegevoegde koolstof aan de bodem. Ten vierde bepaalt het beheer van akker- en grasland hoeveel koolstof wordt toegevoegd en hoe snel organische stof wordt afgebroken. Hoe meer zuurstof in de bodem wordt gebracht, bijvoorbeeld door intensieve bewerking, hoe actiever het bodemleven en hoe meer CO₂ de bodemorganismen terug uitstoten. Specifiek voor landbouwbodems kan er van uit gegaan worden dat er in het Vlaamse Gewest nog een

²⁵ BROECKX ET AL. (2013), p. 65.

aanzienlijk potentieel aanwezig is om extra koolstof op te slaan. Zo blijkt uit de meest recente publicatie van de Bodemkundige Dienst van België dat het koolstofgehalte van ongeveer de helft van de bemonsterde landbouwpercelen in Vlaanderen zich onder de streefzone voor koolstof bevindt.²⁶

In Vlaanderen voert het Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO) reeds enige tijd [onderzoek](#) uit met betrekking tot die diverse methoden voor het verhogen van koolstofopslag in landbouwbodems (akkerland, grasland, *agroforestry* en randen²⁷). Praktisch bestaan er diverse manieren om koolstofopslag in akkerland te verhogen, waaronder:

- het toedienen van stabiel organisch materiaal (vb. compost en stalmest) aan de bodem;
- de teelt van groenbedekkers na het hoofdgewas;
- het inwerken van graanstro;
- het voorzien van grasbufferstroken en/of haagkanten;
- het inpassen van meerjarige/diepwortelende gewassen in de rotatie (vb. tijdelijk grasland, luzerne, rode klaver, bomen in een *agroforestry*-systeem);
- minder intensief bewerken.

Onder grasland kan meer koolstof opgeslagen worden dan onder akkerland. Hoe langer het grasland aanligt op hetzelfde perceel, hoe meer koolstof opgebouwd wordt. Bij een matig intensief graslandbeheer, waarbij de grasstoppel en de -wortels voldoende kans krijgen om te ontwikkelen, wordt het meeste koolstof opgebouwd.

Onder de technologie van *Soil Carbon Sequestration* valt ook het verhogen van koolstofopslag door aangepast natuurbeheer en door het herstellen van ecosystemen. In het achtergronddocument bij de langetermijnvisie van de Europese Commissie wordt hierover het volgende gesteld: “*Achieving net zero GHG emissions by the end of the century will require significant amounts of negative emissions from the land use sector through for instance afforestation, reforestation and other types of ecosystem restoration [...]*”²⁸. Met betrekking tot koolstofopslag is hierbij vooral het herstel van waterrijke ecosystemen van belang, alsook bosbehoud en bosuitbreiding, evenwel met een kanttekening inzake competitie met landgebruik voor onder andere voedselproductie, als dit op zeer grote schaal zou gebeuren²⁹. Belangrijk om op te merken is dat het aangepast natuurbeheer vooral zorgt voor een extra koolstofopslag in de bodem; bij aangepast beheer van bossen gaat het evenwel voor een groot deel ook om opslag in biomassa. Het INBO voert onderzoek en schrijft rapporten over de koolstofopslag in natuurlijke ecosystemen.

Er bestaan diverse initiatieven en (onderzoeks)projecten met betrekking tot koolstofopslag in landbouwsystemen en natuurlijke ecosystemen, hieronder een beperkte selectie: (1) [4 per mille in Frankrijk](#); (2) [Project Humusaufbau](#) in Oostenrijk: bedrijven betalen landbouwers voor koolstofopslag; (3) [INTERREG North Sea – Carbon Farming](#): met name proefprojecten die zoeken naar nieuwe verdienmodellen; (4) EJPsoil: European Joint Programme: Towards climate-smart sustainable management of agricultural soils; Europees programma voor beleidsondersteunend bodemonderzoek met sterke nadruk op koolstofopslag; (5) CarbonConnects project (INTERREG NWE). Het doel van dit project is het beschermen van koolstofvoorraden in veengebieden door vernatting; (6) [INTERREG North Sea – Carbon Farming](#). Dit INTERREG-project heeft een dubbel doel: klimaatverandering mitigeren en de toestand van landbouwbodems verbeteren. Dit wordt bereikt door het toepassen van Carbon farming

²⁶ TITS ET AL. (2016).

²⁷ Zie onder andere D’Hose en Ruyschaert (2017).

²⁸ EUROPESE COMMISSIE (2018c), p. 15.

²⁹ EUROPESE COMMISSIE (2018c), p. 179.

technieken die ervoor zorgen dat er meer CO₂ uit de atmosfeer in de landbouwbodem wordt opgeslagen. Deze extra opslag van CO₂ zorgt eveneens voor een betere waterhuishouding, bodemstructuur, bodemdiversiteit en nutriëntenbeschikbaarheid.

3.3 *Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS)*

In deze benadering wordt vegetatie (zoals bomen) gekweekt en als biomassa verbrand. Bij het verbranden wordt aansluitend een *carbon capture*-techniek gebruikt om de koolstof op te vangen vooraleer deze in de atmosfeer wordt uitgestoten (zie hierna, 4.3., CCS). Aangezien de vegetatie tijdens de groei CO₂ uit de atmosfeer haalt en er bij het verbranden een *carbon capture*-techniek wordt gebruikt om de koolstof op te vangen vooraleer deze in de atmosfeer wordt uitgestoten, wordt het geheel als een negatieve emissietechnologie beschouwd. Vaak worden er echter vraagtekens geplaatst bij deze technologie, met name inzake de duurzaamheid ervan³⁰.

Het Drax Power Station-project werd begin 2019 opgestart in het Verenigd Koninkrijk³¹. In deze installatie wordt biomassa verbrand om energie op te wekken. Het project zou tegen 2050 50 miljoen ton CO₂ per jaar opvangen en opslaan in de ondergrond.

3.4 *Enhanced weathering en ocean alkalization (P.M.)*

Verwerking ("*weathering*") is het natuurlijk proces van afbraak van stenen en rotsen door chemische en fysische processen waarbij CO₂ wordt omgezet naar vaste of opgeloste alkaline bicarbonaten en/of carbonaten³². De koolstof die tijdens deze natuurlijke verweringsprocessen oplost, neerslaat en in sedimenten wordt vastgelegd, wordt daardoor aan de atmosfeer en de biosfeer onttrokken. De *enhanced weathering*, als CDR-technologie, bestaat er in om dit proces te versnellen door het verspreiden van vermalen stenen op een bepaalde oppervlakte. Bij *Ocean alkalization* wordt op deze manier de buffercapaciteit van oceanen vergroot.

Beide technologieën worden in de Europese langetermijnvisie evenwel niet als valabel beschouwd³³. Uit het gevoerde overleg met de verschillende onderzoeksinstituten bleek evenwel dat er in Vlaanderen momenteel heel wat onderzoek loopt inzake de potenties van deze technologie. Silicaatgesteenten worden hier en daar al gebruikt in (biologische) landbouw en natuurherstel vanwege de positieve effecten op de zuurtegraad en vruchtbaarheid van de bodem. De verweringsproducten (o.a. Si, HCO₃) komen uiteindelijk in de waterlopen en de oceanen terecht, waar ze het waterleven positief kunnen beïnvloeden en oceaanzuivering tegengaan. Het lange-termijn potentieel van *enhanced weathering* inzake koolstofopslag vergt nog heel wat onderzoek, maar de techniek kan als veelbelovend worden beschouwd voor wat de positieve neveneffecten ervan aangaat.

3.5 *Ocean fertilisation (P.M.)*

Ocean fertilisation slaat op het "*bemesten*" van de oceanen. Het toevoegen van nutriënten zorgt voor een verhoging van de voedselproductie in de oceanen, voor dewelke ook CO₂ uit de atmosfeer wordt gehaald. Een deel van deze CO₂ wordt dan later ook dieper in de oceaan en/of in de oceaانبodem opgeslagen.

³⁰ EUROPESE COMMISSIE (2018c), p. 16 en 17, IPBES (2019) en [FERN](#).

³¹ Drax Group (2019). Carbon dioxide now being captured in first of its kind BECCS pilot. <https://www.drax.com/press.release/world-first-co2-beccs-ccus/>

³² De bekendste vorm van carbonaten is waarschijnlijk calciumcarbonaat, wat in de aardkorst het meeste voorkomt.

³³ EUROPESE COMMISSIE (2018c), p. 190: "4.8.1.2 *Other options not considered further in this assessment.*".

Ook deze technologie wordt in de Europese langetermijnvisie vooralsnog niet als valabel beschouwd en wordt verder in deze nota dus niet behandeld³⁴.

3.6 Rechtstreekse opvang van CO₂ uit de atmosfeer (DAC)

Technisch kan men CO₂ ook op een niet-natuurlijke of kunstmatige wijze rechtstreeks uit de atmosfeer afvangen. Deze technologie is bekend onder de naam *Direct Air Capture* (DAC) en komt aan bod in de 1,5°C-scenario's van de Europese langetermijnstrategie³⁵. Het betreft het afvangen van CO₂ uit de buitenlucht door het (doorgaans via ventilatoren) in contact te brengen met een bepaalde chemische stof, waaraan het zich bindt. De CO₂ wordt achteraf weer losgemaakt van die chemische stof door het te verhitten (100 tot 900 graden³⁶). Tot slot kan de geconcentreerde CO₂ opgeslagen worden.

Het belangrijkste voordeel van DAC is dat een dergelijke installatie geplaatst kan worden in elk land, met eender welk klimaat. Maar de energieconsumptie bij directe afvang is evenwel tot 3 keer hoger per ton afgevangen CO₂ (waarvan 20% en 80% warmte) dan bij indirecte afvangstrategieën (zie hoofdstuk 4). Dit komt omdat de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer veel lager is in vergelijking tot uitlaatgassen bij puntbronnen. De hoge energienood bij DAC (dikwijls in eerste instantie met fossiele bronnen ingevuld) zou gecompenseerd kunnen worden door te werken met hernieuwbare energie, zoals deze afkomstig uit zonnepanelen. Maar dan blijft nog steeds het inefficiënt(er) gebruik van energie (vergeleken met onrechtstreekse opvang).

Een andere nadeel is dat DAC nood heeft aan veel ruimte (zie illustratie, **figuur 4**). In theorie zou een DAC-installatie gemakkelijk kunnen worden opgeschaald en zou het technisch potentieel bijgevolg onbeperkt zijn. Maar het afvangen van 1 Mton CO₂ per jaar zou pas lukken met vijf afvanginstallaties van 1 km lang op een oppervlak van 1,5 km². In Nederland, bijvoorbeeld, zou dan ook, voor de opvang van de Nederlandse emissies, 250km² aan DAC-installaties nodig zijn³⁷.

Figuur 4. Kunstmatige en rechtstreekse afvangstrategie via Direct Air Capture



³⁴ Ibidem.

³⁵ EUROPESE COMMISSIE (2018b), p. 12.

³⁶ De temperatuur is afhankelijk van de gebruikte techniek.

³⁷ STRENGERS ET AL. (2018), p.16.

DAC blijkt, tot op heden, nog steeds een beginnende technologie te zijn met vooral toepassingen op laboratoriumschaal, maar ook enkele demonstratie-, pilootprojecten en zelfs enkele commerciële projecten (zie onder).

Het Zwitserse Climeworks AG is een technologie die via ventilatoren lucht onttrekt aan de atmosfeer³⁸. De CO₂ hierin bindt zich met een chemische stof in een filter. Als de filter verzadigd is met CO₂ wordt deze opgewarmd tot 100°C. De CO₂ wordt vervolgens losgemaakt van de filter als geconcentreerd gas om te gebruiken in producten (bijvoorbeeld in koolstofhoudende dranken) of voor ondergrondse ((semi)permanente opslag). De CO₂-vrije lucht wordt vervolgens weer vrijgelaten in de atmosfeer. Het betreft hier een voortdurend cyclisch proces waarbij de filter minstens 700 cycli kan meegaan.

De Climeworks installatie in Hinwil, Switzerland, gebruikt ongeveer 600 KWh elektriciteit en 1.800 – 2.500 KWh thermische energie om 1 ton CO₂ te kunnen opvangen³⁹. Eén collector kan 50 ton CO₂ per jaar opvangen. Maximum 6 collectoren passen in een container. Indien meer dan 1,23 miljoen containers (met 6 collectoren) ingezet zouden worden voor DAC, dan kan 1% van de jaarlijkse globale CO₂-emissies gecapteerd worden. Dit zou ongeveer 200 miljard aan elektriciteit en 800 miljard KWh aan thermische energie vergen (of voldoende KWh om Canada voor 2 jaar te voorzien van elektrische energie). Bij deze berekening werd nog niet de energie meegerekend voor de productie, opstart en onderhoud van de installatie. Technische gegevens over de mogelijke toxiciteit van de productie alsook verwijdering van de gebruikte CO₂-filters of absorptiemiddelen zijn niet beschikbaar.

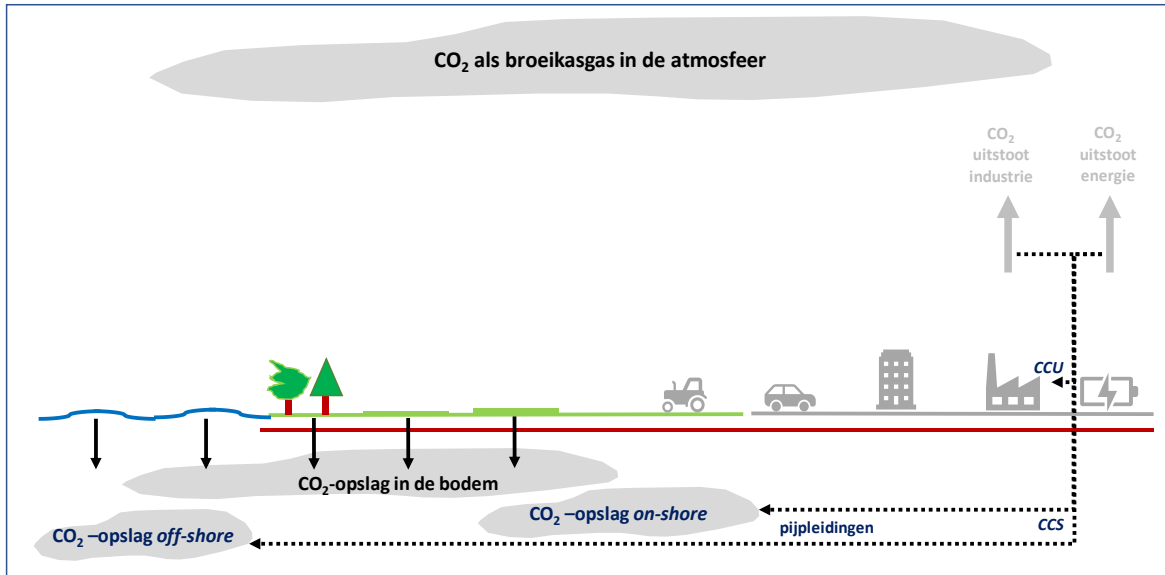
³⁸ Climeworks (2019). Our technology. <http://www.climeworks.com/our-technology/>

³⁹ Geoengineering monitor (Juli 2019) *Direct air capture: recent developments and future plans*. <http://www.geoengineeringmonitor.org/2019/07/direct-air-capture-recent-developments-and-future-plans/>. Cijfers inzake de vergelijking met de jaarlijkse globale emissiereducties zijn afkomstig van de EC. (M. Muntean, et al.: Fossil CO₂ emissions of all world countries. 2018 report., zie ook voetnoot in tekst).

4 Afzonderlijke technologieën i.v.m. CO₂ uit puntbronnen (CCU/S)

Met dit hoofdstuk wordt geschetst welke de diverse technologieën zijn die aan de orde kunnen zijn bij de captatie van CO₂ uit puntbronnen (bv. de uitlaat van een verbrandingsoven of van industriële installaties), waarna de gecapteerde CO₂ vervolgens opgeslagen wordt in de diepe ondergrond (CCS) of gebruikt wordt in andere productieprocessen (CCU). Een en ander wordt schematisch weergegeven in **figuur 5**.

Figuur 5. Synthese figuur betreffende CCS/CCU. Bron: Minaraad (2020).



Bij dit soort processen zijn er vier technologische vraagstukken aan de orde: (1) de technologieën voor de captatie van CO₂, (2) de technologieën voor het transport van CO₂, (3) de technologieën voor de opslag van CO₂ in de diepe ondergrond en (4) de technologieën voor het gebruik van CO₂ in andere industriële processen.

4.1 Captatietechnologieën

Het gaat hier enkel over kunstmatige vormen van opvang die **voor, tijdens en na de verbranding** kunnen gebeuren. Hiervoor bestaan tal van technologieën, die gemiddeld 85 tot 95 % van alle CO₂ uit de rookgassen kunnen afscheiden.

In essentie zijn er drie strategieën inzetbaar:

- Het afvangen van CO₂ na een verbrandingsproces (de zgn. *post-combustion*). Het gaat om *end-of-pipe*-technologieën waarbij de CO₂ verwijderd wordt uit rookgassen, bijvoorbeeld met behulp van een gaswasser.
- Het afvangen van CO₂ voor het verbrandingsproces (de zgn. *pre-combustion*). Hierbij wordt een *reformer* of kolenvergasser ingezet die de brandstof omzet naar H₂ en CO₂. Beide worden gescheiden met behulp van *pressure swing adsorption*, dan wel met keramische of metalen membranen.
- Het afvangen van CO₂ bij het verbrandingsproces zelf, met zuivere zuurstof (*oxyfuel*) (in ontwikkeling).

4.1.1 Afvangen van CO₂ na verbranding

Bij deze techniek wordt CO₂ afgevangen na de verbranding – vandaar de Engelse naam *post-combustion*. De rookgassen worden “gewassen” in een gaswasser. Hierin zijn er speciaal

ontwikkelde absorbenten die de CO₂ opnemen en elders weer afgeven. Alzo kan de CO₂ worden opgeslagen en het absorbens achteraf weer hergebruikt worden.

Deze techniek is ver ontwikkeld en wordt doorgaans toegepast bij grote vaste puntbronnen, namelijk bij staal-, ijzer- en cementproductie, maar ook bij grote ketels voor hoge temperatuur, zoals warmte- en elektriciteitscentrales.

In 2018 is energieproducent Drax⁴⁰ begonnen aan de voorbereidingen voor het Drax BECCS project op hun site in North Yorkshire (VK⁴¹). Dit project zou het eerste demonstratieproject ter wereld moeten worden dat onderzoekt in hoeverre CCU/S, met post-combustion technologie, toepasbaar is op de 4 biomassa-eenheden van zijn site in North Yorkshire (BECCS).

In januari 2019 is men van start gegaan met de eerste fase van het project, namelijk nagaan of de absorbenten compatibel zijn met de uitlaatgassen van de biomassa-installatie. Op laboratoriumschaal wordt ook een haalbaarheidsstudie gedaan naar het hergebruik van uitlaatgas zwavel. Afhankelijk van het resultaat van deze haalbaarheidsstudie, zal in een twee fase van het pilootproject (herfst 2019) getracht worden om de CO₂ uit de uitlaatgassen van de biomassa te isoleren. Indien dit demonstratieproject succesvol blijkt te zijn, dan zou elektriciteit geproduceerd kunnen worden met negatieve emissies.

Dit project werd ondersteund met investeringen voor innovatie vanuit de Britse "Clean Growth Strategy", waarin BECCS beschouwd wordt als één van de technologieën voor lange termijn decarbonisatie.

4.1.2 Afvangen van CO₂ voor verbranding

Een volgende groep technologieën bestaat in de afvang van CO₂ voor de verbranding ("pre-combustion"). Hierbij wordt de fossiele brandstof – met behulp van water en/of zuurstof – omgezet in syngas (een mengsel van waterstof en koolmonoxide). Daarna wordt stoom toegevoegd en de water-gas-shift-reactie gehanteerd om koolstofmonoxide en water gedeeltelijk om te zetten in diwaterstof of waterstofgas (H₂) en CO₂. Door het afscheiden van CO₂ wordt deze omkeerbare chemische omzetting beïnvloed ("shift"). Hierdoor ontstaat vrijwel zuivere waterstof in gasvorm. Waterstof geeft bij verbranding alleen water en geen CO₂.

Deze technologie wordt al enige tijd aangewend in de industrie, bijvoorbeeld bij ammoniakproductie en bij raffinaderijen. Het voordeel van de toepassing ervan in een kolenvergasser voor stroomproductie is dat deze technologie – bij een lage stroomvraag of teveel aan hernieuwbare elektriciteit – het gas op het aardgasnet kan steken, waardoor men ertoe in staat is fluctuaties in de stroomvraag op te vangen. Ook kan de waterstof uit de water-gas-shift-reactie gebruikt worden in verschillende bestaande chemische producten/processen. Bovendien kan de gewonnen waterstof ook ingezet worden in de transitie van de chemische sector naar koolstofarme producten/processen, evenals bij de verwarming voor gebouwen en als brandstof voor voertuigen. Inzet van waterstof als energiebron gebeurt doorgaans daar waar, in het kader van de transitie naar een koolstofarme samenleving, elektrificatie aan de hand van hernieuwbare energiebronnen moeilijk of onhaalbaar is.

Het eerste wereldwijde pilootproject met pre-combustion technologie voor de afvang van CO₂ (in combinatie met waterstof en elektriciteitsproductie), vond plaats in 2010 bij de ELCOGAS installatie te

⁴⁰ Drax is een energieproducent met energiecentrales in zowel Groot-Brittannië als in de Verenigde Staten. Op zijn site in North Yorkshire (Verenigd Koninkrijk) wilde het in 2012 aanvankelijk inzetten op de combinatie van zijn kolencentrales met CCS, maar dit project is enkel bij studies gebleven (zie hoofdstuk 4.1 Bestaand beleid – Europees beleid). Vervolgens is Drax in 2018, op die zelfde site, gestart met de reconversie van 4 van de 6 energie-installaties op basis van kolen, naar biomassa (waardoor het Europa's grootste decarbonisatieproject in de energiesector is geworden én biomassa momenteel de grootste bron van elektriciteit is in het VK). <https://www.drax.com/press-release/drax-closer-coal-free-future-fourth-biomass-unit-conversion/>

⁴¹ Drax Group (2019). Carbon dioxide now being captured in first of its kind BECCS pilot. <https://www.drax.com/press-release/world-first-co2-beccs-ccus/>

Puertollano in Spanje⁴². Bij deze gasinstallatie (van 335 MW) wordt CO₂ voor de verbranding gescheiden via chemische adsorptietechnologie. Het betreft hier een 14 MW (thermisch) CCS pilootproject met een opvanggraad van 91,7%.

4.1.3 Afvangen van CO₂ bij verbranding met zuivere zuurstof

Een laatste type afvangtechnologie betreft verbranding met zuivere zuurstof – ook gekend als *oxyfuel*. De uit deze verbrandingsprocessen voortkomende rookgassen blijven hierdoor vrij van stikstof en bevatten ook een hoog percentage CO₂ dat gemakkelijk is af te vangen. Voor deze technologie is de productie van pure zuurstof noodzakelijk. Deze technologie wordt al geruime tijd bij de gasproductie toegepast.

Total, Air Liquide, Alstom, French Petroleum Institute (IFP) het Franse Bureau of Geological and Mining Research (BRGM) zijn midden 2009 van start gegaan met de installatie van een Oxy boiler⁴³. Het betrof hier een onderdeel van een CCS pilootproject waarbij ruwe olie werd omgezet in natuurlijke gas (en de verkenning van de mogelijkheid tot connectie met andere fossiele brandstoffen) in Lacq Frankrijk. Het CCS project, met CO₂-injectie in een uitgeput gasveld te Rouse (Pyreneeën⁴⁴, liep van 8 januari 2010 tot 15 maart 2013. De gasboiler had een capaciteit van 35 MW met 40 ton stoom per uur. Tijdens die tweejarige periode werd 120.000 ton CO₂ succesvol opgevangen en geïnjecteerd. Het proefproject heeft 60 miljoen euro gekost. Een voorstudie werd uitgevoerd in 2006, gevolgd door een uitgebreide ingenieursstudie in 2007. Na de proefperiode tussen 2010 en 2013, volgde een monitoring voor 3 jaar om na te gaan in hoeverre de opgeslagen CO₂ in de nieuwe ondergrondse locatie bleef zitten. Het project liep vervolgens af op 30 september 2016.

4.2 Technologieën voor transport van CO₂ (bij CCU/S)

Een afzonderlijke technologische kwestie betreft het transport van de afgevangen CO₂ uit puntbronnen. Afgevangen CO₂ wordt, omwille van de efficiëntie, meestal in vloeibare vorm vervoerd. Die wordt dan, omwille van de veiligheid en om corrosie van de leidingen te vermijden, ontdaan van toxische of corrosieve onzuiverheden. Na deze voorbereiding, kan het transport gebeuren per tanker, schip en *offshore* of *onshore* pijpleidingen (inclusief pompstations).

Pijpleidingen zijn het meest aangewezen voor het transporteren van grote volumes over het land. Doorgaans wordt hierbij gekeken naar nieuwe infrastructuur, maar er zijn ook studies (en plannen voor concrete projecten) die er op gericht zijn om bestaande infrastructuur, zoals gasinfrastructuur, hiervoor te hergebruiken. Voor kleine volumes wordt soms ook gewerkt met tankwagens of vervoer per trein.

Voor transport over zee wordt meestal gekozen voor tankers of pijpleidingen. Hierbij zijn pijpleidingen het meest voordelig voor korte afstanden en grote volumes. Er wordt voor schepen gekozen indien het transport dient te gebeuren over grote afstanden (> 1000 km) en voor kleine volumes (enkele miljoenen ton per jaar).

⁴² Elcogas (s.d.). *CO₂ Capture*. <http://www.elcogas.es/en/igcc-technology/desing-technology/co2-capture> Pedro Caseroa, Francisco García-Peña, Pilar Cooa (2013). *Elcogas pre-combustion carbon capture pilot. Real experience of commercial technology*. https://www.researchgate.net/publication/270955088_Elcogas_Pre-combustion_Carbon_Capture_Pilot_Real_Experience_of_Commercial_Technology

⁴³ Total (s.d.). *Carbon capture and storage: a Climate change answer*. <https://www.total.com/en/media/video/carbon-capture-and-storage-climate-change-answer>; MIT (2016). *Total Lacq Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project*. https://sequestration.mit.edu/tools/projects/total_lacq.html; ZeroCO₂.NO (2016). *Lacq Basin CCS Pilot Project*. <http://www.zeroCO2.no/projects/total2019s-project-in-lacq>

⁴⁴ De opgevangen koolstofdioxide werd via pijpleidingen getransporteerd van Lacq naar Rouse (27 kilometer verder). De stockage gebeurde op een diepte van 4,5 kilometer in de ondergrond.

Het transport kan binnen een bepaald land plaatsvinden, maar ook tussen verschillende landen en dus grenzen. Indien het transport van CO₂ plaats zou vinden binnen het Vlaams Gewest zou het gaan om een gewestbevoegdheid, maar het transport binnen de Europese Economische Zone (EEZ) en de territoriale zee (Noordzee) zou een federale bevoegdheid betreffen. Tot op heden vindt er – via pijpleidingen – geen transport van CO₂ plaats in en/of doorheen Vlaanderen. Er is evenwel (ook in Vlaanderen) een (kleinschalige) markt met gekoelde CO₂ als "product"⁴⁵ waarbij het transport via tankers verloopt.

De [Verenigde Staten](#) hebben reeds vier decennia ervaring in het transport van CO₂ per pijplijn voor geavanceerde olieherwinningsprojecten. Daar worden er jaarlijks miljoenen tonnen CO₂ getransporteerd per tanker, schip en pijpleidingen voor commerciële doeleinden.

De ontwikkeling van een efficiënt transportnetwerk voor CO₂ wordt met name beschouwd als sleutelvoorwaarde voor de (toekomstige) ontplooiing van CCU-toepassingen. De investeringen hierin kunnen gebeuren via private middelen, publieke middelen of de combinatie van de beide. In het [Verenigd Koninkrijk](#) wordt CCU specifiek ingezet in de buurt van geclusterde industriële clusters zoals bijvoorbeeld South Wales, Humberside, Teesside, Cork en Grangemouth – zones met typische transportinfrastructuur zoals pijpleiding en havens. Het voordeel van deze clusters is dat de CO₂ als "afvalproduct" opgevangen kan worden om het vervolgens relatief snel te kunnen transporteren en omzetten in de richting van een nieuw gebruiksproces – zonder hiervoor een lange afstand te moeten overbruggen (wat meestal wel het geval is voor CCS). Ook de co-locatie van CCU en CCS kan een positief effect hebben op de rendabiliteit van beide. Het bundelen van transport- en opslagkosten voor verschillende sectoren kan, tot slot, ook bijdragen in het reduceren van de kosten.

Een concreet voorbeeld is Ervia CCS in Cork. Ervia⁴⁶ en Gas Networks Ireland⁴⁷ werken in dit project samen aan een grootschalig CCS project – dat verbonden is aan de industriële cluster van Cork. Daar wil men, in eerste instantie, van start gaan met twee relatief moderne gascentrales – die geschikt zouden zijn voor opvang van broeikasgassen na de verbranding.

De bestaande lokale gasinfrastructuur zou hierbij mogelijks hergebruikt kunnen worden⁴⁸. De offshore pijpleidingen, die aanvankelijk aardgas vanuit de zeebodem naar het Ierse vasteland brachten, zouden ook hergebruikt kunnen worden om CO₂ op te slaan. Het nabij geleden Kinsale Energy Offshore gasveld, dat tegen 2020-2021 uitgeput zal zijn, kan dienen als opslaglocatie. Reeds in 2008 werd het CCS-opslagpotentieel van dit gasveld, tezamen met nog een aantal andere uitgeputte gasvelden en geologische structuren in Ierland⁴⁹, als zijnde "gunstig" geëvalueerd.

⁴⁵ Zoals bijvoorbeeld CO₂ als cryogeen koelmiddel in de voedingsindustrie. Zie ook hoofdstuk 4.4.2 inzake direct gebruik CCU.

⁴⁶ Ervia is een commercieel *multi-utility* staatsbedrijf dat verantwoordelijk is voor het leveren van aardgas, water en kabeldiensten.

⁴⁷ Gas Networks Ireland is de dochtermaatschappij van Ervia en fungeert als Ierse transmissienetbeheerder.

⁴⁸ Ook bij het Acorn CCS-project in Schotland wordt gekeken naar bestaande infrastructuur en hoe die te benutten voor zowel het Acorn project als andere CCS projecten rondom de Noordzee (onder de naam CO₂ SALPING). Meer informatie hierover bij voorstel 3 van de 4de oproep PCI-projecten:

https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/detailed_information_regarding_the_candidate_projects_in_CO2_network_0.pdf

⁴⁹ Assessment of the Potential for Geological Storage of CO₂ for the Island of Ireland. 2008. Report prepared for Sustainable Energy Ireland, Environmental Protection Agency, Geological Survey of Northern Ireland, Geological Survey of Ireland. https://www.seai.ie/Publications/Statistics_Publications/EPSSU_Publications/Commissioned_Research/Commissioned_Research.html

4.3 Technologieën voor opslag van CO₂ (bij CCS)

De concrete opslag van CO₂ bij CCS gebeurt in voormalige aardgasvelden, voormalige steenkoolvelden, enz. Hierbij zijn er vele aspecten die een negatief effect kunnen hebben op de ontwikkeling en/of de toepasbaarheid van deze technologie⁵⁰:

- Er zijn kwesties die te maken hebben met gedegen modellenbouw: er is nood aan modellen inzake het verplaatsen van formatiewaters bij de injectie van CO₂, aan modellen om de seismische respons en de kans op reactivering van breuken te voorspellen, evenals aan modellen inzake de chemische processen die gepaard gaan met de injectie van CO₂;
- Er is behoefte aan kennisverhoging, met name m.b.t. de invangmechanismen, m.b.t. de heterogeniteit van opslagformaties en afsluitende lagen, m.b.t. de hydrodynamische effecten van CO₂-injectie op industriële schaal, m.b.t. de effecten van verschillende injectiestrategieën op de capaciteit en de integriteit van de opslagformaties;
- er is nood aan technieken om de kans op lekken in te schatten en om lekken en kunstmatig opgewekte groundbewegingen te monitoren;
- er is nood aan technieken gericht op de afsluitende werking van afgesloten boorgaten;
- er is nood aan technieken om de stabilisatie van het geïnjecteerde CO₂ te vergroten.
- er is nood aan technieken die toelaten in te grijpen in het geval van lekken.

De opslag voor CO₂ in Europa gebeurt het beste in *offshore* locaties, omwille van beschikbaarheid en geschiktheid ervan. Hier tegenover staat dat industriële emissies vaak geconcentreerd voortkomen uit een relatief laag aantal industriële clusters verspreid doorheen Europa. Daarom wordt de infrastructuur voor de opvang en omzetting van CO₂ idealiter geconcentreerd bij industriële clusters of *hubs*, namelijk locaties waar bron en opslag het dichtst bij elkaar liggen. Dit wil uiteraard niet zeggen dat er niet dient gewerkt te worden aan transportoplossingen voor industriële emissies van sites die ver(der) liggen van opslaglocaties (zie 4.2.). Maar hier moet dan wel rekening gehouden worden met de kostenberekening van koolstofopslag (overheen de hele keten).

In Europa zijn er drie Lidstaten, met name Nederland, het Verenigd Koninkrijk, Noorwegen die (pro)actief inzetten op CCU/S projecten.

In het Nederlandse regeerakkoord van het kabinet Rutte III alsook in hun Klimaatakkoord wordt het belang van CCU/S onderschreven. Daarom werken het Havenbedrijf Rotterdam, Gasunie en Energie Beheer Nederland (EBN) samen onder de projectnaam Porthos (Port of Rotterdam CO₂ Transport Hub & Offshore Storage) samen aan CCU/S. Hierbij wordt CO₂ van de industrie verzameld, getransporteerd via pijpleidingen (onshore en vervolgens offshore – 25 km van de kust) om de CO₂ tot slot op te slaan in gasvelden (op ongeveer 2,9 km diepte) onder de Noordzeebodem⁵¹. Een deel van de CO₂ kan ook via CCU gebruikt worden in de serres van Zuid-Holland om er planten sneller te doen groeien. Momenteel wordt er gewerkt aan de financiële en technische onderbouwing van het project. In 2020 zou dit moeten resulteren in een definitief investeringsbesluit met concrete startdatum voor het project. Het objectief van Porthos is om op korte termijn (tot 2030) 2 tot 5 miljoen ton CO₂ per jaar op te slaan en op lange termijn (na 2030) deze capaciteit te vergroten tot 10 miljoen ton per jaar, door uit te breiden naar andere industriële clusters in Duitsland, Verenigd Koninkrijk en België. Het Porthos project heeft een PCI-status sinds 2017 en ontvangt sinds januari 2019 CEF- steun vanuit de Europese Unie. In mei 2019 hebben de havenclusters van Rotterdam, Antwerpen en North Sea Port (Gent-Terneuzen-Vlissingen) de handen in elkaar geslagen door zich samen te engageren voor CCS via het CO₂TransPorts project. Deze drie havens, zijn verantwoordelijk voor een derde van de totale uitstoot van broeikasgassen in de Benelux. Samen willen ze, tegen 2030, CO₂ opvangen, vervoeren en stockeren in een leeggepompt aardgasveld in de

⁵⁰ Deze opsomming is gebaseerd op LAENEN ET AL (2013), p. 14.

⁵¹ Opvanginstallaties voor koolstofdioxide maken geen deel uit van dit project.

bodem van de Nederlandse Noordzee. In de Europese erkenningsaanvraag voor een (nieuwe) PCI-status staat te lezen dat het initiële doel een opslag van 10 miljoen ton CO₂ is. Nadien zouden er mogelijkheden en plannen zijn om de opslagcapaciteit nog verder uit te breiden. Uitsluitend over deze PCI-status en dus Europese subsidies wordt verwacht tegen oktober 2019.

De Noorse regering heeft een CCS-ambitie en -strategie om ten minste één demonstratieproject inzake CCS te realiseren in Noorwegen tegen 2023 (met een opslagcapaciteit van 1,3 miljoen ton CO₂ per jaar). Deze ambitie stoelt op een haalbaarheidsstudie van de Noorse minister voor Petroleum en Energie, Tord Lien, die uitgebracht werd in 2016. Het overheidsbeleid inzake CCS bevat een brede waaier aan maatregelen waaronder onderzoek en ontwikkeling, demonstratieprojecten, het realiseren van CCS faciliteiten, transport, opslag, gebruik van CO₂ en tot slot internationale samenwerking om CCS te promoten. Het voorliggende demonstratieproject wordt Northern Lights Project genoemd en zal gerealiseerd worden door Equinor, Shell en Total. De bedoeling is om CO₂ op te vangen uit drie industriële sites, deze gecomprimeerd tijdelijk op te slaan, vervolgens de gecomprimeerde CO₂ te vervoeren per schip, deze opnieuw tijdelijk op te slaan, daarna de CO₂ te transporteren via offshore pijpleidingen om hem tot slot permanent op te slaan in een ondergronds reservoir op 1 tot 3,3 kilometer diepte onder het zeeniveau. Het transport per schip biedt mogelijkheden voor het bereiken van andere industriële clusters in Europa. Bovendien kan het demonstratieproject in Noorwegen ook een katalysator zijn voor andere landen in Europa om (gelijkaardige) CCS infrastructuur te ontwikkelen. De doelstelling van dit project is alleszins het stimuleren van de ontwikkeling van CCS zodat de lange-termijn doelstellingen van Noorwegen, alsook van de Europese Unie bereikt kunnen worden aan een zo laag mogelijke kost.

De "Teesside Collective" is een cluster van energie intensieve bedrijven in de Tees-vallei van Engeland⁵² die – binnen hun industriële cluster, onder coördinatie van de Tees Combined Authority⁵³ en gesteund door de North East Process Industry Cluster⁵⁴, samenwerken aan een grootschalig CCS project. Met steun de overheid (Verenigd Koninkrijk) – inclusief de ontwikkeling van een CCS-beleid op lange termijn en een investeringsmechanisme doorheen de verschillende fasen van ontwikkeling van dit project – zouden "miljoenen tonnen CO₂ per jaar op een kosteneffectieve manier opslaan kunnen worden". In een eerste fase heeft men zichzelf als doel gesteld 0,8 Mtpa op te slaan. Indien het volledig regionaal koolstofdioxidenetwerk volledig operationeel zou zijn, zou de opslag uitgebreid kunnen worden tot 10 Mtpa. De werken inzake opslag zullen midden jaren "2020 van start gaan, waarbij CO₂ via pijpleidingen getransporteerd zal worden naar drie offshore locaties in de Noordzee. Aangezien de "Teesside Collective" als doel heeft uit te groeien tot een Europese CCS hub, werd in 2017 een PCI-status verleend. Er zullen dus ook regionale CO₂-pijpleidingen en faciliteiten voor boten aangelegd worden om CO₂ vanuit (andere) Europese Lidstaten te importeren en te stockeren.

4.4 Technologieën voor gebruik van CO₂ (bij CCU)

Tot slot moet ingegaan worden op de technologieën die beschikbaar of in ontwikkeling zijn bij het gebruik van CO₂ bij CCU. Voor de onderstaande bespreking kunnen deze technologieën grofweg opgedeeld worden in twee categorieën: direct en indirect gebruik, in **figuur 6** aangeduid met resp. "direct use" en "after end use"⁵⁵.

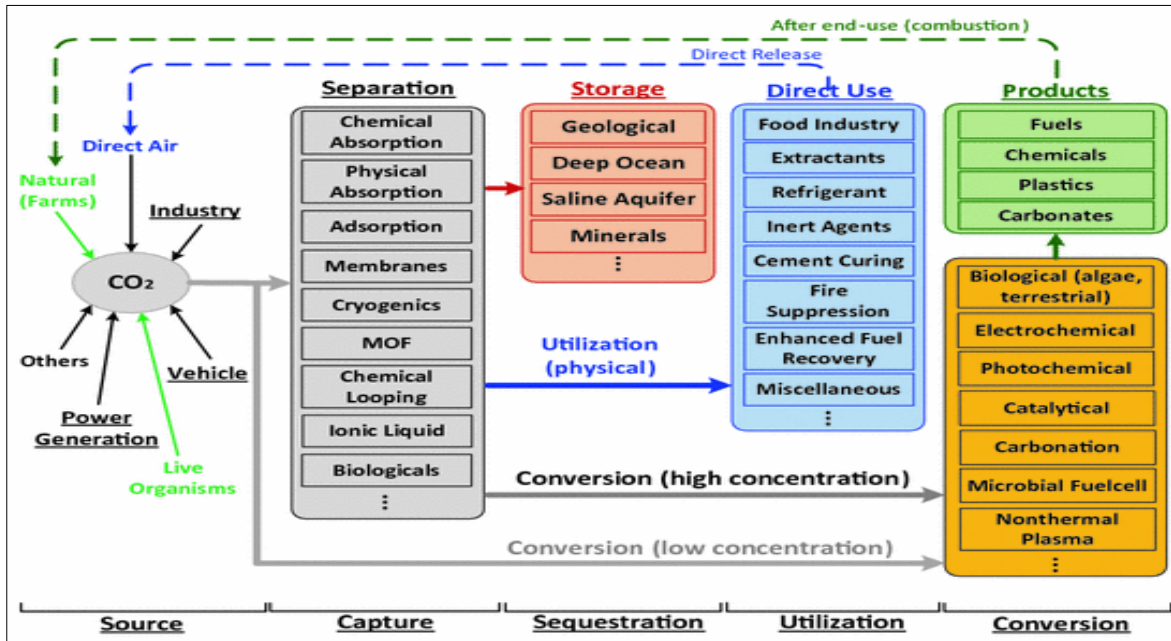
⁵² De Tees-vallei is een stadsregio in het noordoosten van Engeland rond de benedenloop van de rivier de Tees.

⁵³ De Tees-vallei wordt beheerd door de *Tees Valley Combined Authority*, die bestaat uit vijf unitaire autoriteiten: Darlington, Hartlepool, Middlesbrough, Redcar en Cleveland en Stockton-on-Tees.

⁵⁴ De North East Process Industry Cluster NEPIC is "een ledenorganisatie die werkt aan de groei van de chemische verwerkende industrie, bedrijven en bijbehorende toeleveringsketens in het noordoosten van Engeland".

⁵⁵ Voor de onderstaande bespreking volgen we de opdeling voorgesteld door de studie van *Ecofys* inzake het identificeren van CCU technologieën of processen (in hun verschillende fasen van technologische maturiteit en marktpotentieel). Men bracht hierbij 25 processen en technologieën aan, die opgedeeld werden in direct en indirect gebruik. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/799293/SISUK17099AssessingCO2_utilisationUK_ReportFinal_260517v2_1.pdf

Figuur 6. Gebruik van koolstofdioxide. Bron: CHIANG, P.C..and PAN, S.Y. (2017)



4.4.1 Indirect gebruik of conversie van CO₂

Hierbij wordt de opgevangen CO₂ via een chemisch of biologisch proces omgezet tot een product dat commercieel gebruikt kan worden.

Productie van synthetische brandstoffen

CO₂ kan dienen om synthetische brandstoffen te produceren, die vervolgens gebruikt kunnen worden in het transport (door bij te mengen met conventionele diesel/petroleum of als enige brandstof). Hoewel er een zekere diversiteit is in de beschikbare processen om synthetische brandstof te produceren, kan algemeen gesteld worden dat CO₂ gecombineerd wordt met waterstof in de aanwezigheid van een katalysator. De waterstof die hierbij gehanteerd wordt, kan een afvalproduct zijn afkomstig van andere processen of geproduceerd zijn geweest via elektrolyse van water.

Om synthetische brandstof te produceren is een relatief grote hoeveelheid elektrische energie nodig. Het betreft hier zelfs meer energie input dan de output die voorzien kan worden bij het verbranden van de aldus bekomen brandstof (dus een negatieve *energy return on investment* of EROI). Om bij te dragen aan de reductie van broeikasgassen is het bijgevolg nodig dat de gebruikte energie aan de inputzijde hernieuwbaar is of minstens een lage koolstofvoetafdruk heeft. De productie van de synthetische brandstof kan ook dienen als opslag voor een teveel aan hernieuwbare energie (zoals bijvoorbeeld een overproductie aan wind op momenten waarop er reeds een verzadiging is van elektrische energie op het net).

De productie van synthetische brandstof kan echter niet beschouwd worden als een methode waarbij koolstof permanent opgeslagen wordt, aangezien de CO₂ die in de brandstof verwerkt werd uiteindelijk vrijkomt in de atmosfeer, met name bij het beoogde verbrandingsproces. Indien synthetische brandstoffen, geproduceerd door hernieuwbare elektrolyse en water of als afvalproduct van een ander proces, in de plaats komen van fossiele brandstoffen, kunnen ze alsnog helpen om emissies te reduceren. Zo kan het gebruik van synthetische brandstoffen via CCU een (tijdelijke) oplossing zijn voor de vliegtuigsector, die volgens verschillende rapporten (momenteel) moeilijk volledig te decarboniseren is.

In maart 2019 kondigde het consortium Stad Gent, de Provinciale Ontwikkelingsmaatschappij Oost-Vlaanderen, North Sea Port, de UGent, Cleantech Flanders en enkele belangrijke industriële partners, waaronder Arcelor-Mittal, Engie alsook de speerpuntclusters Catalisti (chemie en kunststoffen) en Flux50 (energie) aan te gaan voor een CCU-hub in de Gentse Kanaalzone⁵⁶. De partijen mikken enerzijds op captatie en recuperatie van CO₂ en anderzijds op de productie van zuurstof en waterstof op basis van hernieuwbare energie. De CO₂ en waterstof worden vervolgens omgezet in lokaal bruikbare chemische producten (recycled carbon fuels, e-fuels of chemische grondstoffen). Hiervoor zijn er vier productie-eenheden nodig. De eenheden worden, door hun onderlinge link en nabije locatie, maximaal geïntegreerd – volgens een circulair model.

Het doel is, om via proefprojecten in een demonstratiefabriek, te onderzoeken hoe CO₂ in de Kanaalzone Gent-Terneuzen kan worden gecapteerd en hergebruikt. Op termijn zou er een CCU-hub moeten komen. In eerste instantie wordt er gefocust op de ontwikkeling van brandstoffen. Mogelijke afnemers hiervoor zijn het zwaar transport (treinen, scheepvaart, vrachtverkeer) en de luchtvaart – om fossiele brandstoffen te vervangen door schonere e-fuels. Maar ook andere chemische grondstoffen kunnen geproduceerd worden.

Productie van chemicaliën

Op basis van (afval-)CO₂ kunnen verschillende chemicaliën gemaakt worden, waaronder polymeren (die de basis vormen van plastics). Vandaag en op korte termijn is het meest commercieel interessante proces hierbij het gebruik van CO₂ voor de productie van polymeren via innovatieve katalysatoren. Net zoals bij de productie van synthetische brandstoffen, vergt ook de productie van chemicaliën op basis van CO₂ veel energie. Een voordeel evenwel is dat de CO₂ gedurende de gehele levenscyclus van het product opgeslagen blijft – wat bij chemicaliën meerdere jaren kan zijn.

(Eveneens⁵⁷) in maart 2019, kondigde de Port of Antwerp aan van start te gaan met een proefproject inzake CCU in het Antwerps havengebied⁵⁸. Het betreft hier de productie van methanol uit opgevangen CO₂ en duurzaam opgewekte waterstof. Het pilootproject mikt op een productie van 4000 tot 8000 ton duurzame methanol per jaar.

Methanol behoort tot een van de meest gebruikte grondstoffen in de chemische industrie. Het kan eveneens gebruikt worden als energiebron, op zichzelf of bijgemengd in brandstoffen (biodiesel). Hoewel de technologie voor groene methanol al bestaat en de afzetmarkt voor methanol groot is (300.000 ton/jaar alleen voor de haven van Antwerpen), is de groene variant nog erg duur (in vergelijking tot de fossiele variant) en moeten er dus vooral daar nog op gewerkt worden.

De Port of Antwerp, doet dit project niet alleen, maar rekent op de expertise van Engie, Oiltanking, Indaver HELM Proman Methanol AG en meerdere kennisinstellingen. Een deel van de financiering wordt opgenomen door de Vlaamse Milieuholding neemt. Naast dit project, staan er nog enkele andere gerelateerde proefprojecten op stapel in de Antwerpse Haven.

⁵⁶ Stad Gent (2019). Unieke samenwerking om CO₂ in Gentse regio op te vangen en te hergebruiken.

<https://persruimte.stad.gent/172023-unieke-samenwerking-om-co2-in-gentse-regio-op-te-vangen-en-te-hergebruiken>

⁵⁷ De aankondiging van het CCU-project in de Port of Antwerp gebeurde in maart 2019 – bijna simultaan maar net eerder dan het project van de North Sea Port in Gent. Zie inmiddels bericht in DE TIJD, vrijdag 8 mei 2020: “Antwerpse industrie maakt brandstof van afgevangen CO₂”.

⁵⁸ Port of Antwerp (2019). Port of Antwerp brengt verschillende spelers samen voor productie duurzame methanol.

<https://www.portofantwerp.com/nl/news/port-antwerp-brengt-verschillende-spelers-samen-voor-productie-duurzame-methanol>.

Mineralisatie

Op basis van (afval-)CO₂ kunnen er ook mineralen geproduceerd worden die dan de basis kunnen vormen voor bouwmaterialen⁵⁹. De CO₂ die aldus in het bouw materiaal wordt verwerkt, kan opgeslagen worden gedurende de hele levenscyclus van het bouwsel. Dit komt mogelijk neer op een sequestratie van enkele tientallen tot honderden jaren.

Mineraliseren vergt evenwel relatief veel elektriciteit (zoals bijvoorbeeld voor het malen van stenen tot voldoende kleine grootte). Het voordeel is dan weer dat tijdens het proces van mineraliseren hitte vrijkomt die gebruikt zou kunnen worden als restwarmte voor andere processen.

De commercieel meest beloftevolle technologieën – die ook het verste staan in de fase van commercialisatie – zijn:

- *Uitmineraliseren of carbonatie tot gesteente.* Het betreft hier een techniek waarbij men CO₂ laat reageren met minerale poeders, zoals calcium en magnesium, tot carbonaten. Deze carbonaten (of versteend materiaal) kunnen vervolgens gebruikt worden als bouw materiaal. Die techniek heeft als grote voordeel dat het broeikasgas in de steen zelf wordt opgeslagen. Het is in feite de versnelling van het natuurlijk proces van verstening (dat honderden tot duizenden jaren kan duren vooraleer het broeikasgas omgezet zou zijn in ongevaarlijke mineralen).
- *CO₂ gebruiken ter vervanging van stoom tijdens het uitharden van beton.* Dit geeft als voordeel dat de CO₂ vastgezet wordt, alsook dat er minder energie vereist is voor dit proces.
- *Nieuwe cement samengesteld uit afval- of rest CO₂ (in plaats van conventionele cement).* Dit type product is echter nog in een vroege fase van ontwikkeling en moet nog bewezen worden commercieel haalbaar te zijn.

In België/Vlaanderen heeft een samenwerking tussen VITO en Carbstone Innovation (een dochteronderneming van staalslakkenverwerker en -transporteur Orbix) geleid tot een gepatenteerd systeem om metaalslakken en CO₂ om te zetten in stenen, klinkers of tegels⁶⁰. Met dit innovatieve systeem van carbonisatie kan CO₂ opgevangen én benut worden als bindstof voor losse bouwelementen in plaats van cement, wat goedkoper en duurzamer is. Daarnaast maakt het metaalslakken 100% herbruikbaar (circulair).

4.4.2 Direct gebruik van CO₂

Bij direct gebruik van CO₂ wordt de opgevangen vorm ervan onmiddellijk gebruikt in een commercieel proces.

Enhanced oil recovery (EOR)

De productiegraad van een ondergrondse olieput kan tezamen met de levensduur ervan verhoogd worden door er CO₂ in te injecteren. Deze techniek wordt “*enhanced oil recovery* met gebruik van CO₂ (of kortweg CO₂-EOR)” genoemd. Het gebruik van CO₂ in de ondergrondse olieput verandert de fysieke eigenschappen van de in de ondergrond opgeslagen olie of de stroompatronen ervan. CO₂-EOR kan het aandeel extraheerbare olie laten toenemen van 20-40% tot 30-60%. De exacte aanpak verschilt echter van het beoogde doel, namelijk het maximaliseren van de productiegraad van olie enerzijds of de opslag van CO₂ anderzijds. Wat

⁵⁹ Koolstofdioxide verwerken tot een nieuw product of gebruiken voor nieuwe toepassingen gebeurt trouwens ook al enige tijd bij waterzuiveringssystemen, groenteteelt in serres of de productie van droog ijs.

⁶⁰ Vito (2019). Converting CO₂ to building materials. <https://vito.be/en/carbstone>

dat laatste betreft, zou 80% van de geïnjecteerde CO₂ opgeslagen kunnen worden. Het maximaliseren van de productiegraad via deze techniek wordt in de VS al toegepast sinds 1972.

In 2000 is men van start gegaan met het toepassen van EOR op het Weyburn-Midale gasveld in Canada⁶¹. Volgens schattingen zou het project ongeveer 20 miljoen ton CO₂ stockeren, waardoor 130 miljoen olievatens gecreëerd werden. Daarnaast kon ook de levensduur van dit veld verlengd worden met twintig jaar.

Sommige NGO's, zoals [Greenpeace](#), zijn bezorgd over het gebruik/misbruik van CO₂-EOR als mitigatietechniek, vanwege de bijdrage die aldus geleverd wordt tot de continuering van het gebruik van fossiele brandstoffen, alsook omwille van mogelijke effecten op de omgeving waaronder aardbevingen. Het [IEA](#) stelde dat de techniek kan helpen in het ontwikkelen van een grotere CCS markt. Zo berekende het IEA dat in 2050 met CO₂-EOR, weliswaar op een globaal niveau, 60 gigaton CO₂ opgeslagen kan worden in oliereservoirs die einde levensloop zijn⁶².

Tuinbouw

Het artificieel laten toenemen van de concentratie van CO₂ in serres kan de productiviteit en bijgevolg ook opbrengsten van gewassen doen toenemen⁶³. Bijna alle toegevoegde CO₂ in de serre wordt achteraf opnieuw geventileerd indien het "gewenste" niveau bereikt wordt. Bovendien zal de toegevoegde CO₂ enkel opgeslagen blijven in de gewassen tot ze opgegeten worden. Toch kan hiermee een klimaatwinst bekomen worden indien productie-eenheden die (veel) CO₂ uitstoten fysiek gelinkt worden aan serres die deze CO₂ kunnen gebruiken voor hun gewassen. Op die manier wordt immers toevoeging van CO₂ uit een (extra) fossiele bron (doorgaans aardgas) vermeden.

In Nederland bezorgt het bedrijf OCAP al enkele jaren zuivere CO₂ aan de glastuinbouw voor plantbemesting⁶⁴. In 2017 werd ongeveer 0,5 megaton CO₂ geleverd, wat in 2018 toenam tot 0,6 megaton CO₂. De CO₂ was afkomstig van twee bedrijven in de Botlek. Via Energieakkoord werd afgesproken een uitbreiding van de CO₂-levering te voorzien met 0,1 tot 0,2 megaton in 2020. Die uitbreiding zou in 2020 de glastuinbedrijven een besparing moeten opleveren in hun aardgasverbruik van 2,2 [1,8-2,7] petajoule. Dit komt neer op een reductie van 0,1 megaton CO₂-equivalenten. De Nederlandse bedrijven die CO₂ afvangen voor het gebruik ervan in de glastuinbouw mogen deze niet als CO₂-reductie inbrengen. Bij de Nederlandse nationale uitstoot mag enkel rekening gehouden worden met de emissiereductie van 0,1 megaton als vermeden fossiel gasgebruik in de glastuinbouwsector.

Voedsel- en drankensector

⁶¹ Rebecca Shuang Gao, Alexander Y. Sun, Jean-Philippe Nicot (2016). *Identification of a representative dataset for long-term monitoring at the Weyburn CO₂-injection enhanced oil recovery site, Saskatchewan, Canada*. International Journal of Greenhouse Gas Control 54 (2), P.454-465.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1750583616302705?via%3Dihub>

⁶² Volgens het IEA wordt voor EOR tot nu toe evenwel koolstofdioxide uit de ondergrond gebruikt: "Today the majority of CO₂ injected in CO₂-EOR projects is produced from naturally occurring underground CO₂ deposits. This may appear a somewhat ironic situation, but the reason for this is the absence of available CO₂ close to oil fields. Using natural sources clearly provides no benefit in terms of the emissions intensity of the produced oil. In the United States, more than 70% of the CO₂ injected today for CO₂-EOR is from natural sources. There are, however, some projects that use CO₂ captured from anthropogenic sources for EOR: the Century and Petra Nova plants in Texas are two of the largest such facilities. For these, it is important to track who claims credit for the avoided CO₂ emissions. A credit associated with storing CO₂ underground can only be counted once: either it can reduce the emissions from the original source when it was captured or it can reduce the emissions from oil production. It cannot do both." IEA (2019). Commentary: Can CO₂-EOR really provide carbon-negative oil?
<https://www.iea.org/newsroom/news/2019/april/can-co2-eor-really-provide-carbon-negative-oil.html>

⁶³ ECOFYS (2017).

⁶⁴ STRENGERS ET AL. (2018), p. 16.

De drankenindustrie is wereldwijd één van de grootste gebruikers van koolstofdioxide⁶⁵. CO₂ wordt wereldwijd gebruikt voor koolzuurhoudende dranken, zoals frisdrank en bier. Daarnaast wordt het (in mindere mate) ook gebruikt als cryogeen koelmiddel om de houdbaarheid van verse producten te vergroten en ze onderweg gekoeld te houden. Net zoals bij tuinbouw zal de CO₂ maar vervat blijven in de producten tot consumptie of – specifiek in het geval van bewaring van voedsel – tot er geen nood meer aan is (einde transport omwille van verkoop).

Het Zwitserse bottelbedrijf "Coca-Cola Hellenic Bottling Company" (CCHBC) gaat dit jaar CO₂ gebruiken om dranken te voorzien van koolzuur. Het bedrijf levert de dranken voor 12 grote merken, waaronder Coca-Cola, Fanta en Sprite. CCHBC zal de neutrale CO₂ als eerste toevoegen aan bronwatermerk "Valser". De CO₂ dient om het water te laten bruisen. In november 2018 werd dit bronwater uit Zwitserland, reeds uitgeroepen tot eerste 'klimaatneutrale' bronwater – aangezien het klimaat niet wordt beschadigd bij de productie van het verkochte bronwater. CCHBC werkt voor het aanleveren van de CO₂ samen met het Zwitserse bedrijf "Climeworks" – dat CO₂ uit lucht haalt via DAC (zie kader i.v.m. Climeworks).

⁶⁵ODE (Januari 2019). *Coca-cola gaat duurzame CO₂ gebruiken*. [https://www.ode.be/nl/artikel/183/coca-cola-gaat-duurzame-CO₂-gebruiken](https://www.ode.be/nl/artikel/183/coca-cola-gaat-duurzame-CO2-gebruiken).

5 Bestaande juridische omkadering

5.1 Internationale verdragen

5.1.1 Het Klimaatverdrag en bijhorende protocols en akkoorden

Het [VN-Klimaatverdrag](#) dateert van 9 mei 1992. In dit Verdrag worden de termen “*reservoirs*” en “*sinks*” benut om het engagement vast te leggen dat de Verdragsluitende Staten aangaan t.a.v. koolstofopslag. De nadruk wordt gelegd op opslag door middel van landgebruik (“*including biomass, forests and oceans as well as other terrestrial, coastal and marine ecosystems*”), zonder daarom andere koolstofputten uit te sluiten.

Voor alle Verdragsluitende Partijen wordt het engagement geïntroduceerd om de inventarisatie van koolstofputten te bevorderen, evenals de programmatische aanpak en het duurzame management ervan. Ten aanzien van het Annex I landen is er een sterker engagement opgenomen, met name om te “*protecting and enhancing its greenhouse gas sinks and reservoirs*” en daar een boekhouding voor op het getouw te zetten⁶⁶.

Om de concretere engagementen van de Annex I landen verder gestalte te geven, werd op 11 december 1997 het [Kyoto Protocol](#) vastgesteld. Het trad pas op 16 februari 2005 in voege. Op grond hiervan wordt er sinds 2008 systematisch gerapporteerd over onder meer verwijdering van broeikasgasemissies; aansluitend is er ook een mechanisme van sanctionering voorzien. Te noteren valt ook dat het Kyoto-Protocol, artikel 6, realisatie van doelstellingen via *Joint Implementation* en via het *Clean Development Mechanism* toeliet, waarbij een Partij investeringen en technologie ontvangt van een verstrekkende Partij, en hiertoe emissiereducties of ook koolstofverwijdering realiseert t.b.v. de verstrekkende Partij.

Het [Akkoord van Parijs](#) werd overeengekomen op 12 december 2015. Dit Akkoord sluit aan bij het Kyoto Protocol en verbindt nu bijna alle landen wereldwijd om actie te ondernemen in verband met de klimaatverandering, en dit op grond van “*successive nationally determined contributions*”. Met dit akkoord werd, zoals bekend, afgesproken om de temperatuurstijging ruim onder 2°C (t.o.v. de pre-industriële periode) te houden en een beperking tot 1,5°C na te streven. Daartoe zou in de tweede helft van deze eeuw een evenwicht te bereiken moeten worden tussen de uitstoot van de door de mens veroorzaakte broeikasgasemissies en de opname door *sinks*⁶⁷. Wat dat laatste betreft worden de verplichtingen “*to conserve and enhance sinks and reservoirs of greenhouse gases*” (wat in dit context andermaal in hoofdzaak betrekking heeft op bossen, landbouwgrond enz.) veralgemeend tot alle Verdragsluitende Partijen, inclusief de daarbij horende boekhouding en de daarbij horende implicaties inzake samenwerking⁶⁸.

5.1.2 Verdragen ter bescherming van de zee, met relevantie voor CCS

Het “[Verdrag inzake de voorkoming van verontreiniging van de zee ten gevolge van het storten van afval en andere stoffen](#)” is een internationaal verdrag uit 1975 dat als doel heeft de vervuiling op zee – via het storten van afval en andere stoffen – te beperken. In 2006 werd via een protocol, het [Londen Protocol](#), overeengekomen om dit verdrag te moderniseren en uiteindelijk te vervangen. Volgens het Protocol is alle dumping in zee of in de zeebodem in principe verboden, met uitzondering van eventueel aanvaardbaar afval op de zogenaamde

⁶⁶ V.N.-Klimaatverdrag, resp. art. 3.3, 4.1. en 4.2.

⁶⁷ Dit alles uit het Akkoord van Parijs, art. 4.1.

⁶⁸ Akkoord van Parijs, art. 5 en art. 13 – dit laatste betreft het zgn. transparatiemechanisme.

"reverse List" van Annex I. In die Annex I is onder meer ook voorzien in de mogelijkheid van sequestratie van CO₂. Het oorspronkelijke artikel 6 van het Protocol bepaalde bovendien dat "verdragsluitende partijen niet toestaan dat afvalstoffen en andere stoffen naar andere landen worden geëxporteerd voor dumping of verbranding op zee".

In 2009 werd door de Verdragsluitende Partijen een resolutie aanvaard tot wijziging van artikel 6, met name door een [amendement tot vrijstelling van het vervoer van CO₂ voor opslagdoeleinden onder zee](#). De inwerkingtreding ervan vereiste echter een twee derde (34 van de 50) meerderheid van de verdragsluitende partijen. Dit aantal werd tot op heden nog niet bereikt. België heeft zowel het oorspronkelijke Verdrag in 1985 als het Protocol in 2006 ondertekend. In 2017 heeft het Vlaamse Gewest – vanuit zijn bevoegdheid en als voortrekker binnen het Belgische staatsbestel – het Amendement uit 2009 geratificeerd. Het betreft hier echter een gedeelde federale en gewestbevoegdheid. Het gegeven dat nog niet alle gefedereerde entiteiten hebben geratificeerd, maakt dat de staat België nog niet kan gelden als partij bij dit amendement.

Tijdens hun jaarlijkse bijeenkomst van 7 tot 11 oktober 2019 hebben de Partijen bij het London Protocol evenwel, op initiatief van Nederland en Noorwegen, een resolutie aangenomen waardoor het in 2006 doorgevoerde amendement bij artikel 6 van het Protocol voorlopig toepasselijk wordt in afwachting van ratificatie ervan door voldoende partijen⁶⁹. Het wordt dus mogelijk om over te gaan tot transport van CO₂ over de zeebodem met het oog op opslag ervan in geologische formaties onder de zeebodem. Om concreet hiertoe over te gaan, moeten de Verdragsluitende Partijen een verklaring neerleggen bij het secretariaat-generaal van de Internationale Maritieme Organisatie (IMO).

Naast het Verdrag inzake de voorkoming van verontreiniging van de zee ten gevolge van het storten van afval en andere stoffen en het daarbij horende London-Protocol, moet er ook gewezen worden op het [Verdrag inzake de bescherming van het mariene milieu in het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan](#) (OSPAR). Dit is een kaderverdrag uit 1992 dat (het [Verdrag van Oslo](#) van 1972 en het [Verdrag van Parijs](#) in 1974 vervangt en) instaat voor de bescherming van het mariene milieu in het noordoostelijk deel van de Atlantische oceaan – waartoe ook de Noordzee behoort.

In 2007 heeft de bevoegde OSPAR-Commissie [twee besluiten](#) (amendementen) genomen: één betreffende het verbieden van koolstofdioxideopslag in de waterkolom of op de zeebodem, en één aangaande het toelaten van geologische opslag van CO₂ in geologische formaties onder de zeebodem, alsook over de voorwaarden die hieraan verbonden zijn. De inwerkingtreding hiervan vereist de goedkeuring van ten minste zeven verdragstaten. Dit is inmiddels gebeurd. Ook België heeft deze amendementen op 1 september 2012, via een federale instemmingswet, bekrachtigd.

5.2 Europese regelgeving

5.2.1 Met relevantie voor zowel negatieve emissietechnologieën als CCS en CCU

De Verordening betreffende bindende jaarlijkse broeikasgasemissiereducties

De in mei 2018 vastgestelde [Verordening met bindende jaarlijkse broeikasgasemissiereducties](#) is er in essentie op gericht om de algemene taakstelling van 40% emissiereducties voor de gehele Europese economie (i.e. tegen 2030) te verdelen over de Lidstaten.

⁶⁹ IMO (2019). *Addressing barriers to transboundary carbon capture and storage*. <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/22-CCS-LP-resolution.aspx>.

In deze Verordening (en ook in de zgn. *Governance*-Verordening) worden zowel de negatieve emissietechnologieën als CCS en CCU gevat met de – op zich niet gedefinieerde – termen “*verwijdering*” en “*verwijderingen per put*”.

Hoofdzak van de Verordening Broeikasgasemissiereducties is dat iedere Lidstaat een reductiedoelstelling opgelegd krijgt tegen 2030, die vastgesteld wordt in vergelijking met de emissies van die Lidstaat van 2005, en die behaald moet worden volgens een reductiepad in de vorm van jaarlijkse doelstellingen vanaf 2021 tot 2030⁷⁰.

- De Lidstaat kan deze doelstelling proberen te behalen met alle types maatregelen – gericht op industriële processen, landbouw, vervoer, gebouwen, enz. – maar ook met inbegrip van de mogelijkheid in te zetten op maatregelen als CCS, CCU, of vergelijkbare verwijderingsmaatregelen.
- Op grond van deze Verordening kan elke Lidstaat gebruik maken van een reeks flexibiliteitsmechanismen: niet alleen in de tijd, in relatie met andere Lidstaten, enz., maar ook in relatie tot door LULUCF-sectoren gegenereerde verwijderingen van broeikasgassen⁷¹.

Voor België geldt aldus, op grond van Bijlage I bij de Verordening, een reductiedoelstelling van -35% aan broeikasgasemissies tegen 2030, vergelijken met 2005, en volgens een groeipad vanaf 2021. Op grond van Bijlage III mag België in de periode tot 2030 max 3,8 miljoen ton CO₂-equivalent inzetten aan uit LULUCF gegenereerde netto-verwijderingen.

Kortom: België (c.q. het Vlaamse Gewest) kan, om de vereiste reductiedoelstellingen te behalen, onder meer ook inzetten op CCS en CCU of vergelijkbare verwijderingsmaatregelen, voor zover die niet onder LULUCF vallen; resultaten uit de LULUCF-sector kunnen slechts binnen bepaalde perken ingezet worden voor het behalen van de reductiedoelen.

De zgn. *Governance*-Verordening

De eind 2018 uitgevaardigde *Governance-Verordening* “*van de Energie-Unie en van de Europese Klimaatactie*” beoogt de plannings-, monitorings- en rapporteringsinspanningen van de Lidstaten inzake klimaat- en energiebeleid zodanig te stroomlijnen en te verbeteren, dat er “*een betrouwbare, inclusieve, kostenefficiënte, transparante en voorspelbare governance van de energie-unie en de klimaatactie*” tot stand gebracht wordt, “*waardoor wordt gegarandeerd dat de doelstellingen en streefcijfers van de energie-unie voor 2030 en voor de lange termijn worden gehaald overeenkomstig de Overeenkomst van Parijs*”⁷².

Wat “*verwijderingen*” (van koolstof) aangaat, wordt er in de *Governance*-Verordening in hoofdzaak verwezen naar de geldende CCS-Richtlijn en de geldende LULUCF-Verordening (zie hierna). Niettemin zijn er in de *Governance*-Verordening bepalingen opgenomen die van wezenlijk belang zijn voor het kader waarbinnen negatieve emissietechnologieën, CCS en CCU kunnen ontplooid worden.

De overwegingen van de Verordening zijn met name dat, in gevolge het Parijs’ akkoord, het systeem van de Unie voor monitoring en rapportering van zowel emissies als van

⁷⁰ Verordening broeikasgasemissiereducties, art. 4.1. en 4.3.

⁷¹ Verordening broeikasgasemissiereducties, art. 7, lid 1: “*In zoverre voor een bepaald jaar de broeikasgasemissies van een lidstaat hoger liggen dan zijn jaarlijkse emissieruimten, met inbegrip van eventuele jaarlijkse emissieruimten in reserve uit hoofde van artikel 5, lid 3, van deze verordening, kan een hoeveelheid van maximaal de som van de totale nettoverwijderingen en de totale netto-emissies afkomstig van de in artikel 2, lid 1, onder a) en b), van Verordening (EU) 2018/841 bedoelde landgerelateerde boekhoudcategorieën bebost land, ontbost land, beheerd bouwland en beheerd grasland*” enz.

⁷² *Governance*-Verordening, overweging 1.

verwijderingen moet worden geactualiseerd⁷³. Voor de Europese Unie moet het de doelstelling zijn om zo snel mogelijk een balans te proberen te bereiken tussen enerzijds antropogene emissies per bron en anderzijds verwijderingen per put van broeikasgassen⁷⁴. Met name de sector landgebruik, verandering in landgebruik en bosbouw (LULUCF) kan hierbij belangrijke bijdragen leveren, zo wordt gesteld, onder meer door putten en koolstofvoorraden in stand te houden en uit te breiden. “*Van essentieel belang [hierbij] zijn strategieën op lange termijn die als basis dienen voor duurzame investeringen gericht op het vergroten van doeltreffende koolstofvastlegging, duurzaam hulpbronnenbeheer en langdurige stabiliteit en aanpasbaarheid van koolstofreservoirs*”⁷⁵.

De verplichtingen die uit de *Governance*-Verordening voortvloeien zijn als volgt:

- De Lidstaten moeten in hun geïntegreerde nationale energie- en klimaatplan (i.e. eerste editie loopt van 2020 tot 2030) een reeks specifieke hoofddoelstellingen, streefcijfers en bijdragen vastleggen, met daarbij inbegrepen, voor “*de dimensie „decarbonisatie”*”, ook doelstellingen en streefcijfers met betrekking tot onder meer verwijderingen van broeikasgassen⁷⁶.
- De analytische basis van de geïntegreerde nationale energie- en klimaatplannen moet onder meer een staat bevatten van de broeikasverwijderingen op het ogenblik van de indiening van het plan. In die analytische basis moet er bovendien ook een evaluatie *ex ante* vervat zijn van de effecten die verwacht worden van de voorgenomen maatregelen tijdens en na de planperiode; hierbij moet ook een vergelijking gemaakt worden met de prognoses op basis van bestaande beleidslijnen en maatregelen. Er moet ook inzicht verschaft worden in de interacties tussen de (zowel bestaande als voorgenomen) maatregelengroepen, er moet een macro-economische inschatting voorliggen en er moet een beeld geschapen worden van de benodigde investeringen⁷⁷.
- Ook in de gevraagde lange-termijnplannen moet er werk gemaakt worden van een beeld inzake de beoogde “*verwijderingen*”⁷⁸.
- Vanaf 15 maart 2023, en vervolgens om de twee jaar, moeten de Lidstaten een geïntegreerd voortgangsverslag overmaken aan de Europese Commissie, met daarin onder meer gegevens over resultaten inzake de gerealiseerde koolstofdioxideverwijdering⁷⁹.
- “*Uiterlijk op 1 januari 2021 zorgen de lidstaten voor de vaststelling, werking en permanente verbetering van nationale inventarisatiesystemen om een raming te maken van [...] verwijderingen per put van broeikasgassen*”⁸⁰.
- “*In 2027 en 2032 voert de Commissie een algehele evaluatie uit van de nationale inventarisgegevens*” (enz.)⁸¹.

⁷³ *Governance*-Verordening, overweging 7; zie ook *Governance*-Verordening, overweging 41: “*Overeenkomstig Besluit 1/CP.16 van de Conferentie van de Partijen bij het UNFCCC moeten nationale regelingen worden vastgesteld voor de raming van antropogene emissies per bron en verwijderingen per put van alle broeikasgassen. De onderhavige verordening moet de vaststelling van deze nationale regelingen mogelijk maken.*”.

⁷⁴ *Governance*-Verordening, overweging 9.

⁷⁵ *Governance*-Verordening, overweging 36.

⁷⁶ *Governance*-Verordening, artikel 4, a.

⁷⁷ *Governance*-Verordening, artikel 8.

⁷⁸ *Governance*-Verordening, artikel 15.

⁷⁹ *Governance*-Verordening, artikel 17.

⁸⁰ *Governance*-Verordening, artikel 37, lid 1.

⁸¹ *Governance*-Verordening, artikel 38.

Slotsom: de Lidstaat moet haar beleidsvoornemens en -verwezenlijkingen inzake alle mogelijke verwijderingstechnologieën (CCS, CCU, negatieve emissietechnologieën) – en de daaraan verbonden investeringen en samenwerkingsverbanden, evenals de onderlinge vergelijking en afweging in dat verband – op een ernstige wijze opnemen in haar nationale planning en rapportering.

5.2.2 Met relevantie voor negatieve emissietechnologieën

LULUCF Verordening

In de eerste plaats dient verwezen te worden naar de [LULUCF-Verordening](#), van 30 mei 2018: Deze Verordening heeft betrekking op klimaat-gerelateerd landgebruik, verandering in landgebruik en bosbouwen is gericht op alle landgebruikshandelingen die op het Europese grondgebied worden uitgevoerd door mensen, zoals omzettingen van grasland naar akkerland of omgekeerd, ontbossingen of bebossingen en vernatting of droogleggen van *wetlands*, alsook om het gebruik van houtproducten.

De Verordening, verplicht de Lidstaten ertoe om ervoor te zorgen dat er in de periode tussen 2021-2030 geen netto-emissies vanuit de landgebruikssector worden veroorzaakt⁸². De Verordening legt hiertoe boekhoudkundige regels vast, met name om de emissies en verwijderingen eenduidig te berekenen⁸³, evenals flexibiliteitsmechanismen die aansluiten bij deze van de Verordening betreffende bindende jaarlijkse broeikasgasemissiereducties (zie hiervoor)⁸⁴. In maart 2027 moeten de Lidstaten een rapport indienen m.b.t. de eerste periode, waarna evaluatie volgt⁸⁵.

Vogel- en Habitatrichtlijn

De [Vogelrichtlijn](#) van 2009 en [Habitatrichtlijn](#) van 1992 leggen aan de Lidstaten verplichtingen op wat betreft de bescherming en het goede beheer van Europees relevante habitats en soorten.

In verband met landgebruik moet genoteerd worden dat deze twee Richtlijnen de Lidstaten ertoe verplichten om een afdoende hoeveelheid speciale beschermingszones aan te duiden⁸⁶. Als resultaat van deze verplichting is er in de afgelopen decennia een Europees netwerk van gebieden tot stand gekomen waarin natuurbeheer prevaleert. In het Vlaamse Gewest nemen de aldus aangeduide zones ongeveer 12% van de landoppervlakte in beslag⁸⁷.

Binnen deze zones moet er door de Lidstaat (c.q. het Vlaamse Gewest) gestreefd worden naar habitatherstel, -behoud en -verbetering, en moet ook elke significant negatieve impact van door de mens geïnstigeerde projecten worden tegengaan, in hoofdzaak op grond van een zgn. passende beoordeling bij vergunningverlening⁸⁸. Over het algemeen kan er van uitgegaan worden dat de beoogde inrichting en het beheer van deze gebieden een positieve impact heeft op koolstofopslag (bv. door het herstel van moerassen, door het behoud van historische

⁸² Artikel 4 van de LULUCF-Verordening: “Tijdens de perioden van 2021 tot en met 2025 en van 2026 tot en met 2030, zorgt elke lidstaat ervoor, [...], dat de emissies niet hoger liggen dan de verwijderingen, berekend als de som van de totale hoeveelheid emissies en de totale hoeveelheid verwijderingen op zijn grondgebied in alle [...] boekhoudcategorieën voor land gecombineerd, [...]”.

⁸³ LULUCF-Verordening, artikel 5 tot en met 10.

⁸⁴ LULUCF-Verordening, artikel 11 tot en met 13.

⁸⁵ LULUCF-Verordening, art. 14.

⁸⁶ Zie vooral Habitatrichtlijn, artikel 4.

⁸⁷ Zie <https://www.inbo.be/nl/natuurindicator/oppervlakte-natura-2000-gebied>.

⁸⁸ Zie vooral Habitatrichtlijn, artikel 6.

graslanden of door het doelbewust laten verouderen van bossen). Niettemin worden er ook in bepaalde beschermingszones, op grond van de instandhoudingsdoelen, ontbossingen ondernomen, met het oog op herstel van andere types habitats: in die gevallen is er sprake van koolstofverlies.

Tot slot moet er op gewezen worden dat de zgn. “passende beoordelingen” ook aan de orde kunnen zijn bij vergunningverlening van industriële installaties in de buurt van beschermingszones: dit kan in principe ook impact hebben op de vergunningverlening m.b.t. DAC, CCS of CCU, enz.

Europees landbouwbeleid

Het Europees Gemeenschappelijk Landbouwbeleid is gebaseerd op een specifieke bepaling in het (geconsolideerde) [Verdrag van 25 maart 1957 betreffende de Werking van de Europese Unie](#) (het zgn. VWEU), en heeft op grond hiervan een meervoudige doelstelling: voedselvoorziening, landbouwincome, marktstabiliteit, voorzieningszekerheid, en redelijke prijzen⁸⁹. Bij het tot stand brengen van het landbouwbeleid moet rekening gehouden worden met een aantal randvoorwaarden, zoals de structurele en natuurlijke ongelijkheden tussen de verschillende landbouwgebieden, de noodzaak eventuele aanpassingen geleidelijk te doen verlopen en de eis van integratie van milieubeschermingsnaden in de omschrijving en uitvoering van het beleid⁹⁰.

Het Europees landbouwbeleid verloopt telkens in cycli; de nu aflopende cyclus is gericht op de periode 2014-2020. In deze opeenvolgende cycli van het Europees landbouwbeleid werd in stijgende mate aandacht besteedt aan koolstofopslag. In de aflopende cyclus werd aan dit beleidsaccent vorm gegeven met onder andere het algemeen geldende systeem van de *cross compliance* (de randvoorwaarden van de zgn. 1^{ste} pijler), maar ook op grond van het meer facultatieve systeem van de beheermaatregelen van de zgn. 2^{de} pijler. Ook in de aankomende cyclus is het trefwoord “koolstofopslag” aan de orde.

Biomassabeleid

[Richtlijn \(EU\) 2018/2001 van 11 december 2018](#) ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare energiebronnen legt restricties vast inzake de oorsprong van biomassa die voor energiedoeleinden kan worden gebruikt vanuit het oogpunt van het beschermen van land met een hoge biodiversiteitswaarde en land met hoge koolstofvoorraden. Bossen, waterrijke gebieden en veengebieden worden expliciet vernoemd. Hierbij wordt aldus onderkend dat broeikasemissiereducties kunnen worden tenietgedaan als gevolg van indirecte veranderingen in landgebruik⁹¹.

Specifiek voor biobrandstoffen, vloeibare biomassa en biomassa-brandstoffen uit bosbiomassa wordt in deze Richtlijn gesteld dat deze moeten voldoen aan welbepaalde eisen in het kader van LULUCF, met name dat het land waaruit de bosbiomassa afkomstig is, de Overeenkomst van Parijs moet hebben geratificeerd, een nationale bijdrage (NDC) aan het Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering moet hebben geleverd en moet beschikken over wetgeving overeenkomstig artikel 5⁹² van de Parijsovereenkomst.

⁸⁹ VWEU, art. 39.1.

⁹⁰ Zie VWEU, art. 39.2. en VWEU, art. 11.

⁹¹ EUROPEES PARLEMENT EN RAAD (2018), overweging 81.

⁹² Met het oog op instandhouding en versterking van koolstofvoorraden en -putten.

CCS Richtlijn

Op 23 april 2009 werd een eerste Europese regeling inzake CCS vastgesteld, namelijk de [Richtlijn betreffende de geologische opslag van CO₂](#). *“Bij deze richtlijn wordt een wettelijk kader vastgesteld voor de milieuveilige geologische opslag van CO₂ teneinde bij te dragen tot de bestrijding van de klimaatverandering. Het doel van milieuveilige geologische opslag van CO₂ is de permanente insluiting van CO₂ op een zodanige manier dat negatieve effecten op en risico's voor het milieu en de volksgezondheid worden voorkomen of, indien dit niet mogelijk is, zoveel mogelijk worden weggenomen.”*

Voor de Lidstaten introduceert deze richtlijn vereisten inzake de samenstelling van CO₂-stromen, vergunningen, monitoring, rapportage, inspecties, corrigerende maatregelen, evenals verplichtingen tijdens en na de sluiting, alsook een omschrijving van de verantwoordelijkheid van de staat en de introductie van een systeem van financiële zekerheden.

Naderhand, in 2011, heeft de Europese Commissie nog [vier richtlijnen gepubliceerd voor het stimuleren van een veilig gebruik van CCS](#). De eerste richtlijn schetst een levenscyclusrisicobeheerkader voor de opslag van CO₂. De andere drie richtlijnen zijn eerder technisch van aard, en betreffen de samenstelling van de koolstofdioxidestroom, het monitoren en bijsturen van eigenschappen van het opslagcomplex, de criteria voor overdracht van verantwoordelijkheid aan de lidstaat en financiële zekerheid. Deze vier richtlijnen zijn in hoofdzaak gericht tot de bevoegde autoriteiten en relevante belanghebbenden.

In 2014 en 2017 werd een evaluatie rapport opgemaakt en beschikbaar gesteld inzake de effectiviteit, efficiëntie, coherentie, relevantie en toegevoegde waarde van deze CCS-regelgeving, in uitvoering van het [Regulatory Fitness and Performance](#) (REFIT) programma van de Europese Commissie. De resultaten voor de CCS Richtlijn bleken telkens gunstig te zijn.

De Richtlijn Industriële Emissies

[De Richtlijn 2010/75/EU inzake Industriële Emissies \(RIE\)](#), van 24 november 2010, is in hoofdzaak de opvolger van de [Richtlijn geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging](#). Ingevolge artikel 10 van deze Richtlijn, samen-gelezen met Bijlage I, punt 6.9., is het centrale hoofdstuk van deze Richtlijn ook van toepassing op het afvangen van CO₂-stromen van onder deze richtlijn vallende installaties voor geologische opslag, overeenkomstig [Richtlijn 2009/31/EG](#).

Dit betekent dat de Lidstaten er toe gehouden zijn om de kernbepalingen van de RIE toe te passen op alle activiteiten die door de CCS-Richtlijn gevat zijn. Het betreft onder meer de algemene verplichtingen van de exploitant, de voorwaarden inzake de vergunningsaanvraag, het in rekening brengen van grensoverschrijdende effecten, de toepasselijkheid van BBT-referentiedocumenten, het gegeven dat een vergunning alle nodige maatregelen moet omvatten, de eisen inzake monitoring, de regeling van wijzigingen aan installaties en de mogelijkheid tot toetsing en bijstelling, het voorzien in een afdoende milieu-inspectie, de toegang tot informatie t.b.v. het publiek en de mogelijkheid tot deelname aan de vergunningsprocedure, de mogelijke toegang tot de rechter.

In artikel 36 is er een specifieke regeling vervat die betrekking heeft op de geologische opslag van kooldioxide i.v.m. grote stookinstallaties (i.e. met een nominaal elektrisch vermogen van 300 megawatt of meer), waarvan de oorspronkelijke bouwvergunning of exploitatievergunning is verleend na de inwerkingtreding van de CCS-richtlijn.

MER-Richtlijn

In 2011 werd de [richtlijn betreffende milieueffectbeoordeling](#) voor particulieren en openbare projecten (MER) van toepassing. Hierdoor zijn de Lidstaten ertoe verplicht om in hun vergunningenstelsel een voorafgaande beoordeling in te lassen voor projecten die een aanzienlijke milieu-impact kunnen hebben – omwille van hun aard, ligging of omvang. Onder het bereik van deze richtlijn vallen CCU/S-projecten.

Kaderprogramma's voor onderzoek en ontwikkeling, en het SET-plan

Sinds 1984 wordt er binnen de Europese Unie gewerkt met *Framework Programmes for Research and Technological Development*, ook kortweg *Framework Programmes* of "FP" genoemd, gaande van FP1 tot en met FP9⁹³, met FP8 als "[Horizon 2020](#)". Het zijn meerjarige financieringsprogramma's ter bevordering van Europees onderzoek. De concrete doelstellingen en acties verschillen tussen de kaderprogramma's. Pas vanaf [FP7](#) (2007-2013) konden/kunnen CCU/S programma's binnen dit kader steun ontvangen.

Eveneens in 2007 werd het [Europese Strategic Energy Technology Plan](#) (SET-Plan) uitgebracht. Dit plan is bedoeld als de pijler voor het onderzoek en de innovatie die vereist zijn voor het energie- en klimaatbeleid van de Europese Unie richting 2020 én 2050. Het SET-Plan werd in 2015 herzien om in overeenstemming te komen met de onderzoeks- en innovatieprioriteiten van de EU-strategie voor de Energie-Unie, die eveneens in 2015 werd ingevoerd. CCS was in 2007 al een prioriteit en CCU/S is na de herziening prioriteit geworden.

- De implementatie van dit plan is begonnen met de oprichting van de [European Industrial Initiatives](#) (EII's) in 2008 waarin de industrie, de onderzoeksgemeenschap, de Lidstaten en de Commissie risico's delen en samenwerken in publiek-private partnerschappen die gericht zijn op de snelle ontwikkeling van essentiële energietechnologieën op Europees niveau. Er zijn in totaal zes EII's, waarvan CCS er een is. Het [implementatieplan](#) inzake CCS, werd gelanceerd in 2010 met als doel de ontwikkeling van CCS (na 2020) op een kosten-efficiënte manier – om toegepast te kunnen worden in de koolstof intensieve industrie. In 2016 heeft een consultatief proces op grond waarvan de belangrijkste prioriteiten en doelen voor de SET-prioriteiten werden vastgesteld, geleid tot elf uitvoeringsplannen tussen 2016 en 2018. Een van die plannen betrof het [implementatieplan](#) inzake CCS en CCU in 2017.
- Naast EII's, werkt (eveneens sinds 2008) de [European Energy Research Alliance](#) (EERA) aan het afstemmen van onderzoek en ontwikkeling op de prioriteiten van het SET-plan om een gezamenlijk programmeringskader op EU-niveau vast te stellen. Sinds 2015 is CCU/S hierin opgenomen. Onder [het Accelerating CCS Technologies](#) (ACT) werden immers twee oproepen voor projectfinanciering voorzien. Een eerste oproep werd in 2016 gelanceerd met een investeringsbedrag van 41.2 miljoen euro. Hieruit werden [acht projecten geselecteerd](#) die in 2017 met hun CCU/S initiatief van start zijn gegaan. Een tweede oproep werd gelanceerd in 2018 met een budget van 30 miljoen euro. In juni 2019 werden [20 projecten ingediend](#), waarvan er 12 in september 2019 van start gingen en hiervoor een budget kregen van 31 miljoen euro. Er zijn ook plannen voor een nieuwe oproep in 2020. België is evenwel geen ACT-partnerland⁹⁴.

⁹³ Momenteel wordt er nog gewerkt aan de opvolger van Horizon 2020, namelijk FP9. De Commissie heeft haar voorstel voor FP9, onder de naam Horizon Europe, reeds in 2018 gepubliceerd. Het betreft hier een programma voor onderzoek en innovatie ter waarde van 100 miljard euro en is tot stand gekomen in het kader van het Meerjarig Financieel Kader (MFK 2021-2027). Daarnaast werd er ook rekening gehouden met tussentijdse evaluaties van Horizon 2020, het Lab-Fab-app rapport (ook gekend onder het Lamy rapport), toekomstverkenningen en andere rapporten. Momenteel zijn de Raad en het Europees Parlement nog aan het onderhandelen over het definitieve programma dat op 1 januari 2021 gelanceerd zal worden.

⁹⁴ Nederland, Frankrijk, Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Griekenland, Noorwegen, Spanje, Roemenië, Zwitserland, Turkije en de Verenigde Staten zijn wel ACT-partnerlanden.

Europese Fondsen gericht op CCS/U

In 2009 werd het *European Energy Programme for Recovery* (EEPR)⁹⁵ gelanceerd o.a. ter ondersteuning van CCS-demonstratie-installaties. Vanuit dit fonds werd één miljard euro aan financiering vrijgemaakt voor zes CCS demonstratieprojecten⁹⁶. De ondersteuning had betrekking op zowel de opvang, de opslag als het transport van CO₂. Eén project met betrekking tot operationele proefinstallaties voor afvang, transport en opslag is afgerond. Drie projecten zijn voortijdig stopgezet en één project werd vóór de voltooiing beëindigd. Eén project loopt nog. Voor de projecten is dd. 2016 reeds 432.227.825 EUR uitbetaald⁹⁷. Alle projecten hebben vertraging opgelopen, waardoor ze de deadline van opstart in 2015 niet gehaald hebben. Officieel werd gesteld dat de zes CCS-projecten te maken hadden “*met grote onzekerheden die een succesvolle implementatie ondermijnen.*”⁹⁸

Op grond van een [Besluit van de Europese Commissie](#) werden vervolgens selectiecriteria en de procedure vastgesteld voor de toekenning van middelen ter bevordering van de milieutechnisch veilige afvang en geologische opslag van CO₂, alsook voor innovatieve hernieuwbare energietechnologieën – in het kader van de opbrengst uit de Europese emissiehandel (EU ETS). Zo is in 2011 het [NER 300](#) ontstaan – één van de grootste fondsenprogramma’s voor demonstratieprojecten inzake “lage koolstof” ter wereld⁹⁹.

In dit programma werd er gewerkt met twee rondes van *calls*, waarop projecten in Europese Lidstaten konden intekenen. Een van de voorwaarden was echter dat er ook private en of nationale cofinanciering zou plaatvinden. Het uitblijven van deze cofinanciering bleek zowel in de eerste al in de tweede ronde de reden te zijn waarom projecten alsnog niet geselecteerd konden worden. Een tweede reden was een tegenvallende opbrengst van emissierechten omwille van de lage koolstofprijs op dat moment. Dit alles maakte dat er in de eerste ronde geen CCS-project geselecteerd kon worden. In de tweede ronde werd één CCS project voor NER 300 steun geselecteerd, maar is dit achteraf nog geannuleerd moeten worden omwille van terugtrekking van investeringen (in 2015) vanuit de Britse overheid omwille van bezorgdheden over hoge kosten voor de consument in technologie die nog niet kosten-efficiënt¹⁰⁰.

⁹⁵ De EEPR is het energiedeel van de *Economic Recovery Plan* (ERP), ontstaan in 2009. De EEPR met als algemeen doel de economische crisis in Europa alsook de doelstellingen van het Europese energiebeleid aan te pakken. Bijna 4 miljard euro werd toegewezen voor de cofinanciering van Europese energieprojecten die het economisch herstel zouden bevorderen, zouden bijdragen tot de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen en de zekerheid van de energievoorziening zouden vergroten. De drie sectoren die hier aanspraak op konden maken waren die van de gas- en elektriciteitsinfrastructuur, *offshore* windenergie en CCS. In totaal ontvingen 59 energieprojecten financiering, waarvan 44 gas- en elektriciteitsinfrastructuurprojecten, 9 *offshore* windprojecten en 6 CCS-projecten. <http://ec.europa.eu/energy/eepr/projects/>

⁹⁶ (1) *Jaenschwalde, Duitsland* – afvang van koolstofdioxide bij verbranding met zuivere zuurstof (*oxyfuel*) en opvang na verbranding (*post-combustion*) op een demonstratie verbrandingsinstallatie van 300 MW, met *onshore* CO₂-opslag; (2) Porto Tolle, Italië - afvang na verbranding (*post-combustion*) op een energiecentrale van 250 MW, met *offshore* CO₂-opslag; (3) Belchatow, Polen - afvang na verbranding (*post-combustion*) op een “nieuwe” centrale van 260 MW, met *onshore* CO₂-opslag; (4) Compostilla, Spanje - afvang van koolstofdioxide bij verbranding met zuivere zuurstof (*oxyfuel*) op een “nieuwe” piloot energiecentrale op basis van kolen (in eerste fase van 30 MW die later opgeschaald zou worden tot 323 MW), met *onshore* CO₂-opslag; (5) ROAD, Nederland - afvang na verbranding (*post-combustion*) op een rookgasstroom van 250 MW, voor een kolencentrale van 1070 MW, met *offshore*-opslag; (6) *Don Valley, Groot-Brittannië* - geïntegreerde vergassingscombinatiecyclus op een centrale van 900 MW, met opslag op zee in zoutwatervoerende lagen.

⁹⁷ EUROPESE COMMISSIE (2016), p. 5.

⁹⁸ <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/climate-action-24-2018/en/>

⁹⁹ Het programma heeft zijn naam te danken aan de opbrengst van 300 miljoen emissierechten vanuit de *New Entrants' Reserve* of Nieuwkomersreserve (NER) – verbonden aan het Europese ETS-systeem voor de periode 2013-2020.

¹⁰⁰ Het betrof hier het White Rose CCS-project op de Drax site in New Yorkshire, VK. Het voorstel werd reeds in 2012 gelanceerd en zou de eerste steenkoolcentrale geweest zijn met oxy-fuel captatietechnologie, waarbij 2 Mt koolstofdioxide per jaar gestockeerd zou worden in een zoutwatervoerende grondlaag in de zeebodem (*offshore*). De kennis en informatie uit het project werd weliswaar gebundeld in een rapport, dat achteraf nog gebruikt werd voor een ander CCS-project (zie 3.2. Onrechtstreekse afvang van koolstofdioxide uit puntbronnen – Afvang van koolstofdioxide na verbranding).

De opvolger van de NER300 is het [Innovatiefonds](#). Dit fonds is gericht op het ondersteunen van innovatieve koolstofarme technologieën en projecten in energie-intensieve industrieën, innovatieve technologieën voor hernieuwbare energie alsook energieopslag en tot slot milieuvriendelijke CCU en CCS. De bedoeling is om projecten, zodra ze de onderzoeksfase met succes hebben doorlopen, door te laten breken op de markt. Zo wil het de financiële kloof dichtend voordat een innovatief project of een innovatieve technologie op de markt wordt gebracht¹⁰¹. De Commissie wil hiermee tegemoetkomen aan de klachten over het NER300. De Europese Rekenkamer had in haar [rapport](#) van 2018 immers vastgesteld dat de investeringen in koolstofopvang en -opslag weinig opgeleverd hebben op het gebied van succesvolle projecten en resultaten. Het Innovatiefonds is gelinkt aan de (nieuwe) EU-regeling voor ETS voor de periode 2021-2030. Het beschikt over ten minste 450 miljoen emissierechten die, afhankelijk van de koolstofprijs, ongeveer 10 miljard euro kunnen bedragen. Daarnaast zal het ook alle niet-uitgekeerde inkomsten uit de NER300 samenvoegen en (her)verdelen. De eerste oproep zou reeds in 2020 gelanceerd worden, met regelmatig nieuwe oproepen tot 2030.

Sinds 2013 stelt de Europese Commissie, om de twee jaar, een lijst op van [EU-projecten van gemeenschappelijk belang](#) (PCI's). Dit zijn Europese infrastructuurprojecten die de energiesystemen van verschillende Europese Lidstaten met elkaar in verband brengen. Ze zijn strategisch, doorkruisen de landsgrenzen van minstens twee Europese lidstaten en geven invulling aan de vijf dimensies van de Energie Unie. PCI's kunnen genieten van een snellere plannings- en vergunningsprocedure, lagere administratieve kosten, meer zichtbaarheid voor investeerders en meer participatie via consultaties.

PCI's hebben ook het recht om CEF-steun (*Connecting Europe Facility*) aan te vragen. CEF werd in 2013 bij [CEF-verordening](#) opgericht en is een Europees programma ter financiële ondersteuning van projecten van gemeenschappelijk belang voor de sectoren telecommunicatie, vervoer en energie.

5.3 Belgisch-federale regelgeving met relevantie voor CCS

Het transport van CO₂ binnen de exclusief economische zone (EEZ)¹⁰² en de territoriale zee is een bevoegdheid van de federale overheid. Het transport van CO₂ op grondgebied van het Vlaams gewest is een (gewest)bevoegdheid. Indien het transport zou plaatsvinden via bestaande gasinfrastructuur dan gelden de traditionele bevoegdheidsverdeling voor gas- en elektriciteit: distributie behoort tot de gewestelijke en transmissie tot de federale bevoegdheid.

Wet ter bescherming van het mariene milieu

Transport per schip en per *offshore* pijpleidingen is een federale bevoegdheid. Hierbij is in eerste instantie de [wet van 20 januari 1999 ter bescherming van het mariene milieu](#) (en ter organisatie van de mariene ruimtelijke planning) van toepassing om eventuele verontreiniging bij transport (van CO₂) in de Noordzee tegen te gaan.

Marien Ruimtelijk Plan

Vanaf 20 maart 2020 treedt het [Marien Ruimtelijk Plan](#) in werking. Dit plan heeft als doel de verschillende gebruiken van het Belgische deel van de Noordzee, zoals scheepvaart, zeevisserij, zandwinning, natuurgebieden en hernieuwbare energie, te laten samengaan. Hoewel er

¹⁰¹ Daarom is het Innovatiefonds een aanvulling op Horizon Europe en andere Europese financieringsprogramma's (die in een vroege fase van ontwikkeling ondersteuning aanbieden). http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-19-1416_en.htm

¹⁰² EEZ = "gebied in de Noordzee waar België het uitsluitend exploratie- en exploitatierecht heeft op niet-levende rijkdommen in watergedeelte, zeebodem en ondergrond. Het sluit zeewaarts aan op de territoriale zee en heeft dezelfde afbakening als het Belgisch continentaal plat en de Belgische visserijzone" <https://www.milieuraapport.be/woordenboek/exclusief-economische-zone-eez>

“industriële en commerciële activiteiten” worden toegestaan alsook “de toekenning van domeinconcessies voor de bouw en exploitatie van installaties voor de productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen en voor de toekenning van domeinconcessies voor de bouw en exploitatie van installaties voor de transmissie van elektriciteit”, staat er in dit plan geen verwijzing naar infrastructuur specifiek voor het transport op/onder de Noordzee inzake CO₂.

5.4 Regelgeving op Vlaams niveau

5.4.1 Het Decreet Diepe Ondergrond (met relevantie voor CCS)

Met het [Decreet Diepe Ondergrond](#) (DDO), van 8 mei 2009, behandelde aanvankelijk het opsporen en winnen van koolwaterstoffen en de geologische opslag van CO₂ in de Vlaamse ondergrond, in uitvoering van de Europese CCS-Richtlijn. Aan het DDO werd uitvoering gegeven met het [Vlaams besluit van 15 juli 2011](#) – een besluit dat werd bijgesteld tot en met 22 mei 2018.

Einde 2016 werd er in het DDO onder meer een juridische basis toegevoegd voor het creëren van een “*Structuurvisie Diepe Ondergrond*”. Deze visie heeft als doel beleidsmakers en potentiële investeerders duidelijkheid te bieden over de valorisatiemogelijkheden van de diepe ondergrond. Daartoe wordt een overzicht gegeven van: (1) de reeds verleende vergunningen voor activiteiten in de diepe ondergrond, (2) de toepassingen die te combineren zijn in tijd en ruimte, (3) de potentiële interferenties tussen de verschillende potentiële toepassingen en (4) de toepassingen die andere toepassingen in de toekomst onmogelijk maken. Daarnaast zou de structuurvisie ook een afwegingssysteem moeten bevatten die het mogelijk maakt om prioriteiten te stellen en beleidskeuzes te maken indien meerdere toepassingen in een zelfde volumegebied in de ondergrond mogelijk zijn.

Niet alleen kunnen er binnen de Vlaamse bevoegdheden meerdere toepassingen zijn voor een zelfde volumegebied in de ondergrond, ook federale en Vlaamse toepassingen kunnen aanspraak maken voor een zelfde gebied. Zowel de Vlaamse als de federale overheid kunnen autonoom vergunningen verlenen voor de activiteiten of toepassingen in de Vlaamse diepe ondergrond die tot hun bevoegdheid behoren. Om interferenties tussen diverse activiteiten of toepassingen (zoals winning van aardwarmte, opslag gas, stockage CO₂, ...) tussen Vlaamse en federale bevoegdheden te vermijden, werd op 11 december 2018 een protocolakkoord voorbereid tussen de Federale overheid, Vlaamse overheid, de Nationale Instelling voor het beheer van Radioactief en verrijkte splijtstoffen (NIRAS) en het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC)¹⁰³. Dat akkoord moet zorgen voor de uitwisseling van informatie, het plegen van overleg, de oprichting van een stuurgroep Vlaamse Diepe Ondergrond en tot slot afspraken inzake confidentialiteit van uitgewisselde informatie.

Indien men gebruik zou maken van de Vlaamse diepe ondergrond voor opslag van koolstofdioxide, is echter niet enkel een vergunning binnen het kader van het DDO noodzakelijk. Er zal ook een vergunning nodig zijn in het kader van het [decreet van 25 april 2014 betreffende de omgevingsvergunning](#) (zie hierna). Daarenboven geldt bij de verschillende ondergrondse toepassingen, vergund onder het DDO, ook de [regelgeving inzake milieueffectrapportage](#).

5.4.2 Omgevingsvergunning (met relevantie voor CCS)

[Het Besluit van de Vlaamse Regering van 27 november 2015 tot uitvoering van het decreet van 25 april 2014 betreffende de omgevingsvergunning](#) regelt de procedures die verband houden

¹⁰³ “samenwerkingsovereenkomst tussen de Vlaamse overheid, federale overheid, fanc en niras betreffende de uitwisseling van informatie en het plegen van overleg met het oog op het verantwoord beheer van de Vlaamse diepe ondergrond”

met de omgevingsvergunning. In artikel 1, 10°, wordt bepaald dat dit besluit onder meer gericht is op de uitvoering [richtlijn 2009/31/EG](#) van het Europees Parlement en de Raad van 23 april 2009 betreffende de geologische opslag van kooldioxide (enz. – zie hierboven).

Inrichtingen die gericht zijn op of gebruik maken van technologieën voor het afvangen van CO₂ (zie 4.1.), zijn omgevingsvergunning-plichtig, en vallen met name, in de Indelingslijst van bijlage I bij titel I van het Vlarem, onder de Rubriek 16, “*gassen*”, met name onder sub-rubriek 16.12., “*installaties voor het afvangen van koolstofdioxide*”.

- Het gaat om (1) installaties specifiek voor het afvangen van koolstofdioxidestromen met het oog op de geologische opslag overeenkomstig het decreet van 8 mei 2009 betreffende de diepe ondergrond, of om (2) andere dergelijke afvanginstallaties die vallen onder het decreet van 8 mei 2009 betreffende de diepe ondergrond, en die met name onderdeel uitmaken van een installatie die de vierde kolom van de Indelingslijst (“bemerkingen”) met een X is aangeduid¹⁰⁴.
- De installaties van sub-rubriek 16.12. worden aangemerkt als behorende tot Klasse 1 – de inrichtingen met de grootste risico’s of hinder. Deze vergunningsaanvragen zullen in principe op provinciaal niveau (de deputatie) behandeld worden.
- In de vierde kolom staat er bij sub-rubriek 16.12. een “N” genoteerd, wat wil zeggen dat er over de vergunningverlening advies verstrekt moet worden door de afdeling, bevoegd voor natuurlijke rijkdommen.

Ook het transport van CO₂-stromen via nieuwe¹⁰⁵ *onshore* pijpleidingen voor geologische opslag is onderhevig aan de omgevingsvergunning, op grond van sub-rubriek 16.3., “*Inrichtingen voor het fysisch behandelen van gassen (samenpersen – ontspannen)*”, met daarin, onder “3”, “*Pompstations die horen bij pijpleidingen met een diameter van meer dan 800 mm en een lengte van meer dan 40 km voor het vervoer van koolstofdioxidestromen voor geologische opslag*”. Ook deze subrubriek is ingedeeld onder Klasse 1 en heeft als bemerking “N”.

Wat het opslaan van CO₂-stromen in geologische formaties zelf betreft, valt tot slot te noteren dat er in Vlarem II wordt bepaald dat het hoofdstuk met algemene voorwaarden t.a.v. de beheersing van bodem- en grondwaterverontreiniging niet van toepassing zijn op “*de injectie van koolstofdioxidestromen met het oog op opslag in geologische formaties die door hun aard blijvend ongeschikt zijn voor andere doeleinden, op voorwaarde dat dergelijke injecties plaatsvinden overeenkomstig het decreet van 8 mei 2009 betreffende de diepe ondergrond dan wel op grond van artikel 37, tweede lid, van voormeld decreet buiten de werkingsfeer ervan vallen.*”¹⁰⁶. Het niet toepasselijk zijn van de algemene voorwaarden wil zeggen dat de voorwaarden voor een concreet project op het niveau van de afzonderlijke vergunning moeten worden vastgesteld.

Over het algemeen moet het aanvragen van een omgevingsvergunning op afvangen, opslag of transport van CO₂ gepaard gaan met het opmaken van een milieu-effect-rapport. Op grond van [het Besluit van de Vlaamse Regering van 10 december 2004, houdende vaststelling van de categorieën van projecten onderworpen aan milieueffectrapportage](#), moeten ...

¹⁰⁴ Deze groep van de met “X” aangeduide installaties slaat op de “*GPBV-installaties zoals gedefinieerd door sub 16° van artikel 1 van titel I van het VLAREM en die als dusdanig tevens onder de toepassing valt van de bepalingen van de titels I en II van het VLAREM inzake geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging als bedoeld in de EU-richtlijn 96/61/EEG van 24 september 1996*”.

¹⁰⁵ Dit soort transportnetwerk bestaat tot op heden nog niet in Vlaanderen.

¹⁰⁶ Besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne (VLAREM III), art. 4.3.1.1., §2, 4°.

- ... aldus bijlage I bij dat besluit, volgende projecten onderworpen worden aan een project-MER overeenkomstig artikel 4.3.2, § 1 van het decreet aan de project-m.e.r.: (1) installaties voor het afvangen van koolstofdioxidestromen met het oog op de geologische opslag overeenkomstig het decreet van 8 mei 2009 betreffende de diepe ondergrond, afkomstig van onder deze bijlage vallende installaties, of als de totale jaarlijkse afvang van CO₂ 1,5 megaton of meer bedraagt, evenals (2) pijpleidingen met een diameter van meer dan 800 mm en een lengte van meer dan 40 km voor het vervoer van koolstofdioxidestromen voor geologische opslag, inclusief de desbetreffende pompstations;
- ... op grond van bijlage II bij dat besluit, volgende projecten aan de project-m.e.r. worden onderworpen (zij het dat de initiatiefnemer in dit verband een gemotiveerd verzoek tot ontheffing kan indienen): installaties voor het afvangen van koolstofdioxidestromen met het oog op geologische opslag overeenkomstig het decreet van 8 mei 2009 betreffende de diepe ondergrond, voor zover die installaties niet onder bijlage I vallen.

5.4.3 Natuur- en bosbeleid (met relevantie voor negatieve emissietechnologie)

Inzake het vergroten van de natuurlijke koolstofvoorraden door aangepast beheer dient te worden opgemerkt dat de natuurbeheerregeling in het natuur- en bosbeleid in de afgelopen jaren ingrijpend werd gewijzigd. Op dit moment wordt natuur- en bosbeheer (geïntegreerd beheerd) geregeld via art. 12bis en volgende van het [Natuurdecreet](#), het [besluit inzake de natuurbeheerplannen](#) en het [besluit inzake de subsidiëring van het natuurbeheer](#). Op te merken valt dat deze regelingen in de eerste plaats uitgaan van het ondersteunen van beheer in functie van natuurstreefbeelden en het ontwikkelen van bepaalde vegetatietypes, waarvan de helft habitatrictlijnvegetaties zijn. Over ondersteuning van beheer met het oog op klimaatmitigatie (of -adaptatie) wordt niet expliciet iets vermeld.

Naast wat door beheer mogelijk is, kunnen koolstofvoorraden ook door de uitbreiding van het areaal aan *sinks* vergroot worden. De bestaande types *sinks* in Vlaanderen zijn de bossen, de graslanden en de waterrijke gebieden. Inzake het vergroten van koolstofvoorraden door de uitbreiding van deze *sinks* moet er gekeken worden naar de afbakenings-, plannings-, investerings- en subsidie-instrumenten van het natuur- en bosbeleid en het waterbeleid.

Onder het natuur- en bosbeleid is dit de regelgeving inzake de uitbreiding van natuurgebieden en natura 2000-gebieden o.a. via de instandhoudingsdoelstellingen en de mogelijkheden voor het toekennen van aankoopsubsidies onder het besluit inzake de subsidiëring van natuurbeheer en de regelingen inzake (her)bebossing en bosuitbreiding onder artikelen 6bis¹⁰⁷, 48¹⁰⁸ en 87¹⁰⁹ van het Bosdecreet.

5.4.4 Landbouwbeleid (met relevantie voor negatieve emissietechnologie)

Negatieve emissietechnologieën in het huidige Vlaams landbouwbeleid zijn vooral in het huidige [Vlaams Programma voor Plattelandsbeleid \(PDPO III\)](#) terug te vinden. Dit plan is opgebouwd

¹⁰⁷ ... Daartoe kan het Vlaamse Gewest, op voorstel van het Agentschap, onder meer overeenkomsten afsluiten met gemeenten, provincies en andere openbare besturen om bebossingprojecten voor te bereiden en uit te voeren

¹⁰⁸ Om de bescherming, de ontwikkeling, het herstel, het behoud en de uitbreiding van het bosareaal te garanderen, kan de Vlaamse Regering onder de voorwaarden die ze zelf bepaalt, subsidies verlenen aan publiekrechtelijke rechtspersonen die eigenaar zijn van een openbaar bos of die een openbaar bos wensen aan te leggen

¹⁰⁹ Voor elke beplanting met houtachtige gewassen van minstens een halve hectare volgens een plan, goedgekeurd door het Agentschap, kunnen door de Vlaamse regering subsidies verleend worden. De Vlaamse Regering kan tevens subsidies verlenen met het oog op de bescherming, de ontwikkeling, het herstel, het behoud en de uitbreiding van het bosareaal, voor zover deze activiteiten beantwoorden aan de criteria voor duurzaam bosbeheer, vastgesteld ter uitvoering van artikel 41, tweede lid

rond de zes Europese prioriteiten, waarvan prioriteit 5 voorziet in steun voor de omslag naar een koolstofarme en klimaatbestendige economie in de landbouw-, de voedsel-, en de bosbouwsector. Het plan voorziet in verschillende maatregelen, zoals bijvoorbeeld agromilieuklimaatmaatregelen¹¹⁰ en beheerovereenkomsten¹¹¹, die een bijdrage leveren aan het verhogen van koolstofopslag in landbouwbodems.

5.4.5 Ruimtelijk beleid (met relevantie voor negatieve emissietechnologie)

Het nog in opmaak zijnde Beleidsplan Ruimte Vlaanderen zal mogelijk ook gevolgen hebben inzake de mogelijkheden voor koolstofopslag. In dit kader kan onder andere verwezen worden naar de beleidsvoornemens inzake ontharding en het realiseren van een groenblauw netwerk.

Het landinrichtingsdecreet voorzien mogelijkheden voor het uitbreiden van het areaal aan “sinks” via onder andere het instrument van de landinrichtingsprojecten.

5.4.6 Biomassabeleid (met relevantie voor negatieve emissietechnologie)

Beleid inzake biomassa wordt in Vlaanderen geregeld via het Energiedecreet¹¹² en de desbetreffende uitvoeringsbesluiten. In het kader van deze nota moet daarbij vooral gekeken worden naar het gebruik van biomassa afkomstig uit bossen en landbouw. Inzake dit gebruik heeft de Vlaamse Regering besluitmatig duurzaamheidscriteria vastgelegd¹¹³.

5.4.7 Wettelijke basis voor financiering en onderzoek

Algemene financiële ondersteuningsinstrumenten – met relevantie voor CCU

Uit de in 2016 doorgevoerde studie “[Onderzoek naar mogelijk ondersteuningsbeleid m.b.t. nieuwe toepassingsmogelijkheden van CO₂ als grondstof/ feedstock](#)” blijkt dat er op federaal en Vlaams niveau een aantal algemene ondersteunende maatregelen bestaan, zoals bijvoorbeeld [strategische ecologiesteun](#) (STRES). Met deze financiële ondersteuning (van 20 tot 40% van het investeringsbedrag¹¹⁴) wil de Vlaamse overheid kmo’s en grote ondernemingen stimuleren om te investeren in niet standaardiseerbare, ecologische investeringen.

Daarnaast worden in Vlaanderen CCU-projecten gefinancierd, o.a. via [MIP](#), de speerpuntcluster voor de chemische en plastic industrie [Catalisti](#), de speerpuntcluster voor energie [Flux50](#) en het Vlaams [Agentschap Innoveren en Ondernemen](#) (VLAIO). Het gaat doorgaans om coöperatieve projecten tussen onderzoeksinstituten en bedrijven of tussen bedrijven onderling.

Moonshot-plan – met relevantie voor CCU/S

Naast deze algemene instrumenten werd in maart 2019 door de Vlaamse regering beslist van start te gaan met een langdurig investeringsprogramma voor CO₂-neutraliteit (jaarlijks 20 miljoen, of in totaal 400 miljoen voor 20 jaar, aan investeringen voor onderzoek en ontwikkeling) Dit zogenaamde [Moonshot-plan](#) zou de ontwikkeling van doorbraaktechnologie

¹¹⁰ Teelt vlinderbloemigen, teelt vezelvlas & vezelhennepe.

¹¹¹ Beheerovereenkomst over beheer en ontwikkeling van graslanden of graslandstroken en rond onderhoud van kleine landschapselementen, *agroforestry*...

¹¹² Voluit: Decreet van 8 mei 2009 houdende algemene bepalingen betreffende het energiebesluit.

¹¹³ Besluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010 houdende algemene bepalingen over het energiebeleid (citeeropschrift “het Energiebesluit van 19 november 2010”).

¹¹⁴ Dit percentage is afhankelijk van de grootte van de onderneming en de technologie.

in Vlaanderen tegen 2040 dusdanig moeten stimuleren dat die (na de implementatie ervan) tegen 2050 zou bijdragen aan het realiseren van de Vlaamse Klimaatdoelstellingen – met behoud van economische meerwaarde voor de Vlaamse bedrijven. De focus ligt hierbij op *“nieuwe en betere processen uit te voeren, waarmee nieuwe en unieke, koolstofslimme producten geproduceerd kunnen worden”*¹¹⁵. De speerpuntcluster voor chemie en kunststoffen *“Catalist”* krijgt, vanuit een innovatieperspectief, de regisseursfunctie toebedeeld en zal ook (mee) de inhoudelijke invulling geven. Ook de vijf andere speerpuntclusters worden betrokken: de Blauwe Cluster (economische projecten op zee), *Flanders’ FOOD* (voeding), Flux50¹¹⁶ (energie), SIM (materialen) en VIL (logistiek)¹¹⁷.

Inhoudelijk ligt de klemtoon op vier sterk gelieerde onderzoekstrajecten: biogebaseerde chemie (MOT¹¹⁸); circulariteit van koolstof in materialen (MOT2); elektrificatie en radicale procestransformatie (MOT3); energie-innovatie (MOT4). CCU(S) hoort bij MOT3, maar CCU hoort ook gedeeltelijk bij MOT2. In concrete doelstellingen komt dit als volgt aan bod. De technologische ontwikkeling bij MOT2 *“moet mogelijk maken tegen 2040 75% van alle kunststoffen die in Vlaanderen in omloop gebracht worden, te bekomen via (mechanische & chemische) recyclage (of biomassa of CCU)”*. Bij MOT3 wordt de focus gelegd op de uitstoot van koolstofdioxide, met o.a. de doelstelling *“economisch rendabele CO₂ capture & opzuivering, t.t.z. afvang aan puntbronnen (afkomstig van chemie, staal en energieproductie) en Direct Air Capture”*. Een andere hiermee gelieerde doelstelling is de *“economisch rendabele¹¹⁹ omzetting van afgevangen CO₂ als grondstof voor de Vlaamse industrie. De belangrijkste bijdrage wordt verwacht van conversie van CO₂ naar CO, MeOH en DME; en de verdere conversie van C1 feedstock tot added-value producten”*.

Bij de eerste *call* in 2019 werden 12 nieuwe onderzoeksprojecten goedgekeurd¹²⁰. Daarvan behoren er 9 tot SBO-projecten (strategisch basisonderzoek)¹²¹ en 3 tot LSI-projecten¹²² (*Later Stage Innovation* projecten). Samen zullen zijn €18.358.348 ontvangen van de €20.000.000 aan subsidies die de Vlaamse Regering in 2019 hiervoor ter beschikking heeft gesteld. Deze projecten zullen gerealiseerd worden via samenwerkingsverbanden tussen de kennisinstellingen KULeuven, UGent, VUB, UAntwerpen, UHasselt, Centexbel en VITO. Ze gaan van start vóór april 2020, en hebben een looptijd van 18 (SBO) tot 36 maanden (LSI). Van de 12 projecten hebben er 2 te maken met CCU (*Dioxide to Monoxide: innovative catalysis for CO₂ to CO conversion; Chemical Looping Process for Super-Dry Reforming of CO₂ into CO*) en 1 met CCS (*Intensification of CO₂ capture process (CAPTIM)*). Hieronder (in **tabel 1**) een volledig overzicht van de 12 projecten met hun partners, steuntipe en steun.

¹¹⁵ https://catalisti.be/wp-content/uploads/2019/08/moonshot_conceptnota_v20190814.pdf

¹¹⁶ *“Voor energietopics zal hierbij de Raad van Bestuur van de patronerende cluster (Flux50 of andere in de toekomst) deze verantwoordelijkheid opnemen”*. https://catalisti.be/wp-content/uploads/2019/08/moonshot_conceptnota_v20190814.pdf

¹¹⁷ Daarnaast zal het programma ook steun krijgen van Essenscia Vlaanderen, de Belgische Petroleum Federatie, het Staalindustrie Verbond en Febeliec. Tot slot wordt verwacht dat sectoren als de bouw, transport en landbouw mee zullen volgen.

¹¹⁸ MOT = Moonshot research trajectories

¹¹⁹ Economisch rendabel is binnen dit project koolstofopvang en opzuivering aan puntbronnen aan 20-30€/ton CO₂ en voor DAR aan 50-100€/ton CO₂.

¹²⁰ Schriftelijke vraag over Hermesfonds – Moonshot (2) van Maurits Vande Reyde aan minister Hilde Crevits (22/01/20).

¹²¹ SBO-projecten hebben betrekking op *“vernieuwend onderzoek dat in geval van wetenschappelijk succes een vooruitzicht biedt voor latere economische of maatschappelijke toepassingen (onder de vorm van een nieuwe generatie van producten, processen of diensten)”*. <https://www.vlaio.be/nl/andere-doelgroepen/strategisch-basisonderzoek>

¹²² LSI-projecten *“richten zich op een experimentele productdemonstratiefase voor toekomstige marktintroductie gebaseerd op laboschaal ontwikkelde technologie om innovatieve producten, processen en diensten te versnellen”*. <http://docs.vlaamsparlement.be/pfile?id=1533799>

Tabel 1: overzicht van de potentiëlen voor NET op wereldvlak (gebaseerd op Fuss et al., 2018, table 2)

Projecttitel	Projectpartners	Steun-type	Steun toegekend / aangevraagd (€)
<i>Dioxide to Monoxide: innovative catalysis for CO₂ to CO conversion</i>	UGent, UA, KUL, UHasselt, VITO	SBO	1.499.735 / 1.499.735
<i>Power to Chemicals (2PC)</i>	UGent, KUL, UA, VITO	SBO	697.555 / 1.495.537
<i>Intensification of CO₂ capture process (CAPTIN)</i>	UGent, KUL, VUB, VITO	SBO	1.495.539 / 1.495.539
<i>Artificial Clathrates for safe storage, transport and delivery of hydrogen (ARCLATH)</i>	UGent, KUL, VUB, UA	SBO	1.474.775 / 1.482.580
<i>Control algorithms for flexibility in Power-to-X and industrial processes (FLEX)</i>	UGent, KUL, VITO	SBO	1.500.000 / 1.500.000
<i>Circular Thermosets by Design: Recycling the Unrecyclable (ReSet)</i>	UGent, VUB	SBO	1.399.728 / 1.399.728
<i>Circular Use of Step-Growth End-of-Life Polymers for Monomer/Oligomer Recover and re-use (CORE²)</i>	UGent, KUL, UHasselt,	SBO	1.297.460 / 1.297.460
<i>Novel Integrated Biorefinery Concepts for a Carbon Neutral Bio-Economy (NIBCON)</i>	UGent, KUL, VUB, VITO	SBO	1.499.959 / 1.499.959
<i>Polymer additives from lignin building blocks (PADDL)</i>	UGent, KUL, UA, VITO, Centexbel	SBO	1.499.959 / 1.499.959
<i>Unique PIlot infrastructure for innovative catalytic biorefinery of Lignocellulosic material of functional bio-Aromatics (PILLAR)</i>	KUL, VITO	LSI	1.999.848 / 1.999.848
<i>Chemical Looping Process for Super-Dry Reforming of CO₂ into CO</i>	UGent	LSI	1.995.416 / 1.995.416
<i>Hydrogen Panel Project (HyPPr)</i>	KUL	LSI	1.998.379 / 1.998.379

Binnen het *Moonshot-plan* is momenteel nog een inhoudelijke studie lopende door een consortium rond Deloitte met als titel: “*Contextanalyse en roadmapstudie ‘Vlaamse industrie koolstofcirculaire en CO₂-arm in 2050 door de ontwikkeling van marktrijpe innovatieve technologieën in Vlaanderen tegen 2040*”. Een evaluatie en bijsturing van de huidige Moonshot onderzoekstrajecten kan binnen deze studie voorgesteld worden.

6 Potentiëlen, hindernissen, opportuniteiten en kosten

6.1 Potentiëlen

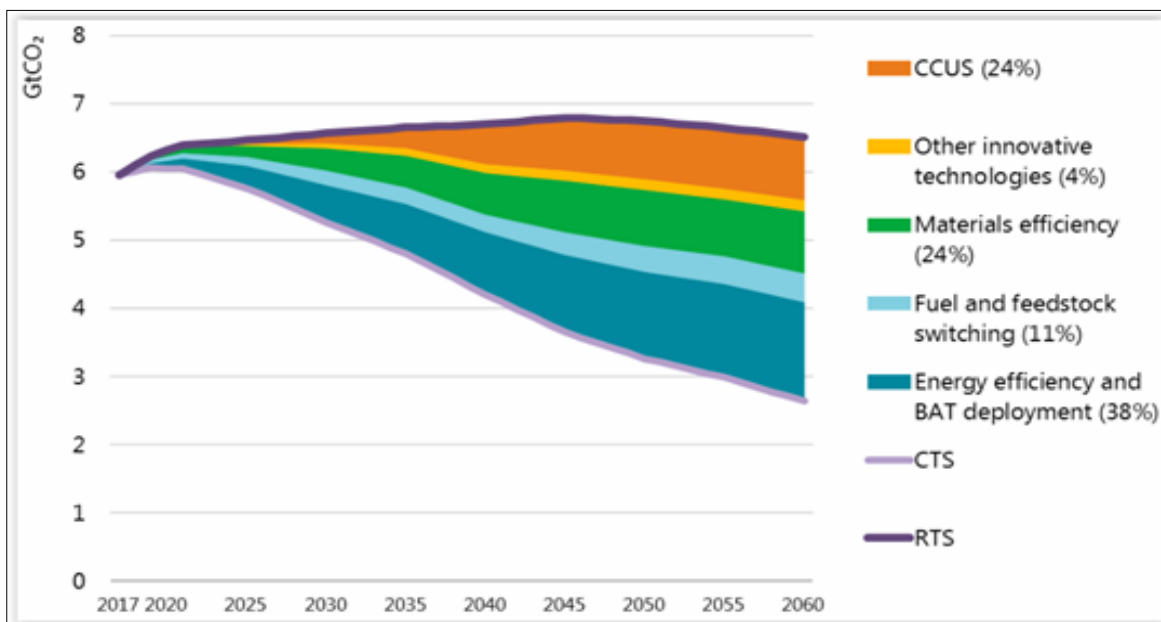
6.1.1 CCU/S

Op wereldvlak kan CCU/S een belangrijke rol spelen voor de industriële sector. Uit een [studie](#) van het Internationaal Energie Agentschap (IEA) blijkt dat CCU/S mede een kosten-efficiënte oplossing kan zijn voor de klimaattransitie van de industriële sector¹²³. Met name zou CCU/S

¹²³ In de studie wordt een vergelijking gemaakt tussen twee studies. het vergelijken van verschillende scenario's. Zo is er enerzijds het Clean Technology Scenario (CTS) met hoge volumes koolstofdioxide die opgevangen worden van industriële processen en vervolgens getransporteerd worden voor gebruik of opslag. Concreet gaat het om 115 GT CO₂ met CCU/S in 2060 – waarvan 107 GT CO₂ permanent opgeslagen wordt. Daarnaast staat het Limited Storage Scenario (LCS) met lage volumes koolstofdioxide die opgevangen worden van industriële processen en vervolgens getransporteerd worden voor gebruik of opslag. Hier gaat et concreet om 24 GT CO₂ met CCU/S – waarvan 24 GT CO₂ permanent opgeslagen wordt. In de studie wordt duidelijk de voorkeur gegeven aan een hoge captatie tussen 2017 en 2060 met het grootste deel van de gecapteerde koolstofdioxide (93%)

tegen 2060, in een scenario dat consistent is met het Parijs Akkoord, kunnen instaan voor een reductie van tot een vijfde (24%) van de aan de industriële sector verbonden emissies, of 28 GtCO₂. Uit [figuur 7](#) valt ook af te leiden dat CCU/S een van de factoren met het grootste reductiepotentieel is, naast mogelijke vorderingen op vlak van materialenefficiëntie en energie-efficiëntie (i.e. resp. 24% en 38%).

Figuur 7. emissiereducties voor de belangrijkste industriële subsectoren: cement, staal, chemie en ijzer – per mitigatiestrategie, CTS vergeleken met RTS, 2017-2060 (bron IEA).



In de chemische sector kan CCU/S, aldus de vermelde IEA-studie, tot 38% bijdragen van de beoogde emissiereducties; in de cementindustrie kan CCU/S bijdragen tot 18% van de beoogde reducties; in de staal- en ijzersector is de potentiële bijdrage 15%. Voor de staal- en ijzersector wordt verwacht dat de implementatie van CCU/S zal doorgevoerd kunnen zijn tegen 2030, zeker – met een sterke groei en toegenomen competitiviteit na 2030. Bij de cementsector is het nodig om reeds voor 2030 van start te gaan met demonstratieprojecten en de bijhorende infrastructuur voor CO₂. Indien er niet op korte termijn transport en opslaginfrastructuur wordt aangelegd (investeringen die doorgaans meerdere jaren in beslag nemen), dan kan dit beperkende factor zijn voor de ontplooiing van CCU/S.

Ook in [diepteanalyse van de Europese Commissie](#), bij de mededeling inzake de lange termijn visie, wordt gesteld dat CCS niet enkel meer genoemd wordt als decarboniseringsoptie binnen de energiesector, maar sinds kort ook erkend wordt voor zijn mogelijke rol wat emissiereducties bij de industrie aangaat. Daarbij wordt CCS opgevat als een overgangstechnologie.

En ook voor Nederland wordt door het Planbureau aan CCS een relatief aanzienlijk technisch emissiereductiepotentieel toegedicht. Het technisch potentieel voor CCS hangt, aldus [de studie](#) van het PBL, in principe samen met (1) de aanwezigheid van bronnen die in aanmerking komen voor CO₂-afvang, met (2) de beschikbare opslagcapaciteit (verbonden aan lege gas-, steenkool-

voor permanente opslag. Het LCS wordt eerder beken als het falen in voldoende opslag van koolstofdioxide op een voldoende hoog niveau. LCS zou, volgende de berekeningen, leiden tot een verdubbeling van de kosten om CO₂-emissies in de industrie tegen 2060 te beperken. Het beperkt gebruik van CCU(S) als mitigatiepotentieel zou het bovendien voor de industrie noodzakelijk maken om de focus te leggen op alternatieve en nieuwe technologie – die in een vroegere fase van ontwikkeling zitten en onvoldoende (op het juiste schaalniveau) getest werden.

en olievelden evenals aan bepaalde diepe aquifers), evenals met (3) de snelheid waarmee de benodigde installaties en infrastructuur kunnen worden aangelegd¹²⁴.

Wat Vlaanderen aangaat, lijkt het er op dat er een relatief groot technisch potentieel zou kunnen zijn voor CCS, als gevolg van de aanwezigheid van grote puntbronnen voor CO₂-emissies in de (energie-intensieve) industrie en energie(productie)sector – die ten andere, volgens het [laatste milieurapport van de VMM](#), samen instaan voor meer dan 50% van de CO₂-emissies in Vlaanderen.

Wat de beschikbaarheid van opslagcapaciteit aangaat, leent de Vlaamse ondergrond zich bovendien in principe voor belangrijke CO₂-opslag, met name in de voormalige Limburgse steenkoolmijnen evenals in niet-ontginbare reservoirs en in diepe, zouterwaterhoudende, reservoirs¹²⁵. Uit drie studies¹²⁶ en een relatief recente parlementaire vraag¹²⁷ blijkt evenwel dat dit theoretisch potentieel in de praktijk beperkt is of op korte termijn niet operationeel gemaakt kan worden.

In het Vlaamse tijdschrift “Ruimte”¹²⁸ wordt, in het kader van de structuurvisie voor de diepe ondergrond in Vlaanderen (zie 5.3), gesteld dat de Vlaamse ondergrondse aquifers in theorie voldoende permeabiliteit en porositeit bevatten om CO₂ in te injecteren en om deze CO₂ dus op te slaan in de eigen ondergrond. Bovendien wordt er gesteld dat er in de Vlaamse ondergrond ook meerdere afsluitende lagen voorkomen. Maar, gezien beperkte kennis van de (diepe¹²⁹) ondergrond, is het – tot op heden – onzeker of er daar voldoende opvangstructuren aanwezig zijn. Om hier uitsluitsel over te hebben, zou er eerst extensief geëxploreerd moeten worden, en dergelijke exploratie vergt tijd.

Om die redenen is het waarschijnlijk dat het Vlaamse Gewest, voor de opslag van CO₂, in de eerste decennia gebruik zal moeten maken van buitenlandse opslagcapaciteit, zoals de lege gasvelden in de Noordzee. Dit werd ook (in 2017) bevestigd en vervolgens gebruikt ter legitimatie voor [de aanpassing van artikel 6 van de Londen Protocol](#) – om CCS via grensoverschrijdend transport in Vlaanderen mogelijk te maken (zie 5.1). *“Doordat België/Vlaanderen voor CCS-projecten op de korte en middellange termijn afhankelijk is van buitenlandse opslaglocaties, en de meest realistische CO₂-opslagmogelijkheden zich op de korte en middellange termijn in het Britse, Noorse en Nederlandse deel van de Noordzee bevinden, is het essentieel dat offshore-export (transport) van CO₂ mogelijk wordt, en wel zo snel mogelijk. ... Rekening houdende met de beperkte Vlaamse opslagcapaciteit zal transport van koolstofdioxide op korte en middellange termijn allicht verlopen via pijpleidingen of per schip – naar een buitenlands opslagproject”*¹³⁰.

Concreet Vlaams potentieel bevindt zich momenteel in het Antwerps en het Gentse havengebied. Wat Antwerpen aangaat *“wordt momenteel de mogelijkheid onderzocht van een grensoverschrijdend project waarbij CO₂ uit de Antwerpse haven deels zou worden*

¹²⁴ KOELEMEIJER ET AL. (2018), p. 30; de grootheden van p. 32 zijn te vergelijken met de grootteordes van p. 58.

¹²⁵ Verlaten Limburgse mijnen, Kolenkalkgroep in de Kempen, zoutwatervoerende reservoirs in het Noordoosten van de provincie Limburg.

¹²⁶ PIESSENS ET AL. (2009); MIRA (2012); LAENEN ET AL (2013).

¹²⁷ Vraag om uitleg over de *Roadmap towards a climate neutral industry in the Delta region* van Willem-Frederik Schiltz aan minister Joke Schauvliege en minister Bart Tommelein (08/05/18).
<https://www.vlaamsparlement.be/commissies/commissievergaderingen/1252410/verslag/1253553>

¹²⁸ Zie FERKET, H. en DEBACKER, T. (2017).

¹²⁹ Verschil tussen ondiepe en diepe ondergrond is wettelijk vastgesteld op 500 meter t.o.v. de TAW. De kennis van de diepe ondergrond in Vlaanderen, gaat momenteel tot ongeveer 300 meter. Maar proefprojecten inzake diepe geothermie, kunnen deze kennis aanvullen.

¹³⁰ VLAAMSE REGERING (2017).

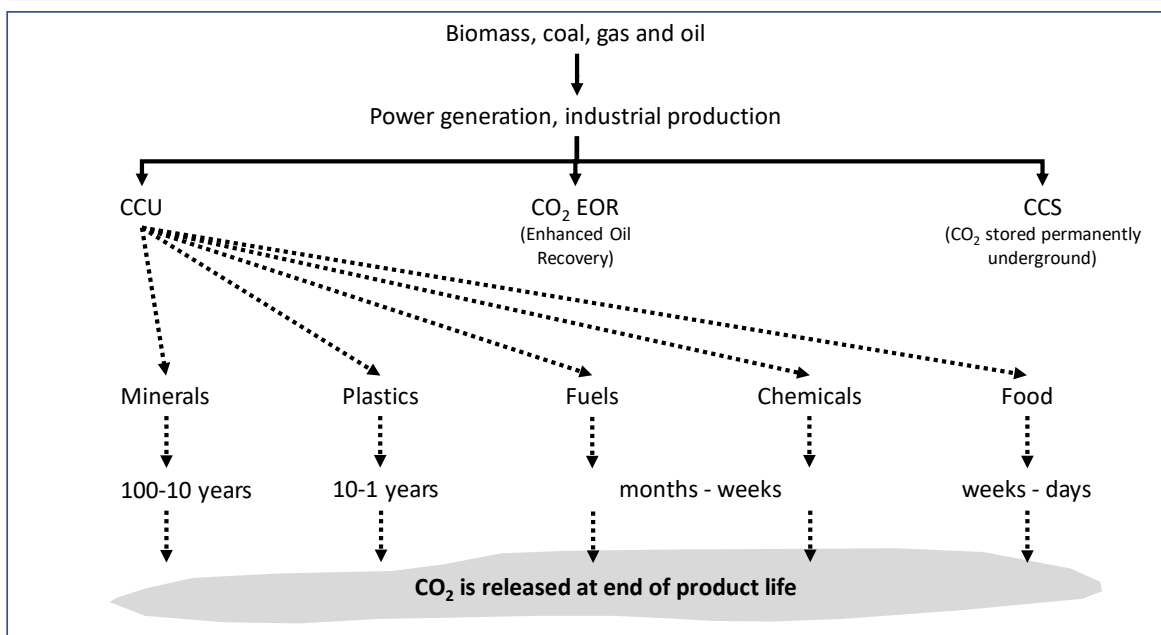
getransporteerd naar opslaglocaties onder het Britse, Nederlandse of Noorse deel van de Noordzee om daar geologisch opgeslagen te worden”¹³¹. Intussen is ook gebleken dat de Gentse Kanaalzone over een gunstig potentieel beschikt aangezien die, samen met Antwerpen en Rotterdam deelneemt aan het grensoverschrijdende *CO₂TransPorts project* (zie 4.3).

6.1.2 CCU

Een Britse studie uit 2017 heeft onderzoek gevoerd naar het potentieel van de opvang en het gebruik van CO₂ als mitigatiestrategie ten aanzien van klimaatverandering. Daarbij werd de schaal en snelheid van de CO₂ productie/emissie vergeleken met de huidige potentiëlen van CCU technologieën. De studie concludeert dat het hoogst onwaarschijnlijk is dat de chemische omzetting van CO₂ (CCU) meer dan 1% van het mitigatiepotentieel zal uitmaken tegen 2050.

Daarnaast moet worden vastgesteld dat, bij elke toepassing van CCU, er op het einde van de levenscyclus CO₂ wordt vrijgelaten (zie figuur 8), wat maakt dat het reductiepotentieel van CCU op termijn lager is dan alternatieve emissiereductiepaden.

Figuur 8. Overzicht periodes waarin, bij CCU, CO₂ terug afgegeven wordt. Bron: House of Parliaments (2018).



Daarom vrezen de Britse onderzoekers dat het inzetten van CCU als mitigatiestrategie op termijn een “kostelijke afleiding” zal worden – op zowel economisch als politiek gebied. De conclusie van dit onderzoek is: “*CCU may prove to be a costly distraction, financially and politically, from the real task of mitigation*”.

6.1.3 Negatieve emissietechnologieën

De laatste jaren is het aantal rapporten en studies over negatieve emissietechnologieën in klimaatscenario’s sterk gestegen. De meeste rapporten spitsen zich daarbij toe op het technisch potentieel, i.e. het biofysisch potentieel gecombineerd met het vermogen van de beschikbare technologieën – ze maken dus abstractie van de ethische en socio-economische uitdagingen die gepaard kunnen gaan met het inzetten van dit soort technologieën op grote schaal (i.e. grote oppervlakten land worden in een ander gebruiksregime gebracht).

131 P.5 <https://docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2015-2016/g833-1.pdf>

De technische potentiële inschattingen voor deze negatieve emissietechnologieën, vermeld in al deze rapporten, lopen sterk uiteen (zie [tabel 2](#)). Voor herbebossing zijn deze evenwel meestal sterk gelijklopend, waarschijnlijk te wijten aan het feit dat dit al een beproefde technologie is¹³².

Tabel 2: overzicht van de potentiële voor NET op wereldvlak (gebaseerd op Fuss et al., 2018, table 2)

Technologie	Potentieel 2050 (Gton CO ₂ /jaar)		Potentieel 2100 (Gton CO ₂ /jaar)	
	Min	max	Min	max
BECCS	0,5	5	2,1	54,18
DACCS	0,5	5	10	40
(her)bebossing	0,5	3,6	0,54	12
<i>Soil Carbon Sequestration</i> (gemiddelde van verschillende mogelijkheden)	2	5	1,47	2,57

Fuss et al. (2018) concluderen dat de opties gebaseerd op landgebruik alle een technisch potentieel hebben in de *range* van 1 tot 4 GtCO₂/jaar op wereldvlak in 2050. Over het realistisch potentieel van BECCS bestaat in de literatuur evenwel nog veel discussie en scepsis. In het *global assessment* van IPBES uit 2019 wordt gesteld dat de inzet van op landgebruik gebaseerde maatregelen (*nature based solutions*) met een positief effect op biodiversiteit kan zorgen voor 37% van het aandeel dat nodig is om de opwarming onder de 2°C te houden en dit tot 2030.¹³³

De *European Academies' Science Advisory Council* (EASAC), die de nationale wetenschappelijke academies van de EU Lidstaten, Noorwegen en Zwitserland vertegenwoordigt, heeft in 2018 een [rapport](#) uitgebracht over de rol van negatieve emissietechnologieën inzake het halen van de doelstellingen uit het Parijsakkoord. Een betekenisvolle conclusie van die studie met betrekking tot negatieve emissietechnologieën is dat er vooral moet worden ingezet op het verhogen van koolstof in de bodem en in bosbiomassa.

Wat DACCS betreft, is er volgens dit [rapport](#) van de *European Academies' Science Advisory Council* nood aan verder onderzoek om het potentieel met voldoende wetenschappelijke zekerheid te bepalen.

Het Planbureau voor de leefomgeving (PBL) in Nederland becijferde dat het afvangen van 1 Mton CO₂ per jaar vijf DAC-afvanginstallaties van 1 km lang over een oppervlakte van 1,5 km² zou behoeven. Dit komt overeen met ongeveer 6,7 ktonCO₂/ha/jaar. DACCS is evenwel zeer energie-intensief. Indien men deze installaties op zonne-energie wil laten functioneren, zal de benodigde oppervlakte met een factor 20 verhoogd moeten worden.¹³⁴

Voor Vlaanderen zijn er eigenlijk maar twee types technologieën waarvoor al geruime tijd studiewerk werd verricht, met name *Soil Carbon Sequestration* (SCS) en (her)bebossing en in mindere mate BECCS. *Enhanced Weathering* is een recente en nieuwe onderzoekspiste in Vlaanderen.

¹³² MINX ET AL. (2018), p.6.

¹³⁴ STRENGERS ET AL. (2018), p. 62.

Inzake de mogelijkheden voor koolstofopslag in landbouwsystemen in Vlaanderen publiceerde het ILVO in 2017 een [rapport](#). Daarin wordt het volgende gesteld om het potentieel om de koolstofopslag onder akkerland te verhogen.

Inzake het toedienen van organisch materiaal (compost en stalmest) aan de bodem¹³⁵, stelt ILVO vast dat op langere termijn gemiddeld 0,26 en 0,20 t C ha⁻¹ jaar⁻¹ wordt opgeslagen (in de bodemlaag 0-30cm) per ton C die onder de vorm van respectievelijk compost en stalmest wordt toegediend per ha.

Inzake de teelt van groenbedekkers na het hoofdgewas merkt ILVO op dat:

- er naast koolstofopslag verschillende extra voordelen aan deze methode verbonden zijn zoals minder uitspoeling van nutriënten, minder nood aan kunstmest, geleidelijkere beschikbaarheid nutriënten, toename bodemleven, tegengaan erosie, verbetering bodemstructuur;
- er op dit moment weinig literatuurgegevens over deze methode bestaan en er nood is aan meer onderzoek;
- het koolstofopslagpotentieel 0,15 -0,50 t C/ha/jaar bedraagt, maar dat het potentieel zal afhangen van het type groenbedekker en de mate waarin deze tot ontwikkeling kan komen;

Inzake het inwerken van graanstro meldt de studie;

- een koolstofopslagpotentieel van 0,1 – 0,6 t C/jaar;
- dat het toepassen van 1 t C/ha/jaar onder de vorm van graanstro kan leiden tot een koolstofopslag op langere termijn van 0,18 t C/ha/jaar in de bodemlaag 0-30cm;

Inzake het voorzien van grasbufferstroken stelt het ILVO dat;

- deze maatregel ook een positieve impact heeft op het opvangen van sediment en water ten gevolge van erosie;
- er een koolstofopslagpotentieel is van 0,5 – 1,0 t C/ha/jaar en dat dit gelijkaardig is aan inzaaien en laten aanliggen van grasland;

Inzake het gebruik maken van een niet-kerende bodembewerking stelt het ILVO dat dit enkel een herverdelend effect heeft.

ILVO concludeert uit de doorrekening van een aantal mogelijke scenario's dat het behoud van het areaal blijvend grasland het hoogste koolstofopslagpotentieel heeft. Kanttekening die hierbij moet worden gemaakt is dat hiervoor het grasland op hetzelfde perceel behouden dient te blijven, wat mogelijk niet altijd overeenkomt met de realiteit. Voor een aantal maatregelen is nog verder onderzoek nodig wat de impact ervan op de koolstofopslag betreft.

Samenvattend concludeerde het rapport dat *“het behoud van het areaal blijvend grasland in combinatie met een verdubbeling van het compostgebruik, een verruiming van het areaal groenbedekkers met een derde en dubbel zoveel graanstro inwerken op akkerland jaarlijks 173 kiloton CO₂ uit de atmosfeer [zou] kunnen halen.”*¹³⁶ Dat is bijna 15 procent van de huidige, jaarlijkse CO₂ uitstoot van de akker- en tuinbouw.

Wat potentiëlen voor opslag in natuurlijke ecosystemen betreft werd in 2013 in opdracht van het ANB een studie opgemaakt over de [baten van Natura 2000 in Vlaanderen](#). Daarin werd ook de koolstofopslag bekeken. Na realisatie van de instandhoudingsdoelstellingen zou er jaarlijks

¹³⁵ Evenwel met risico's op uitspoeling van nutriënten, zie D'HOSE EN RUYSSCHAERT (2017), p. 52.

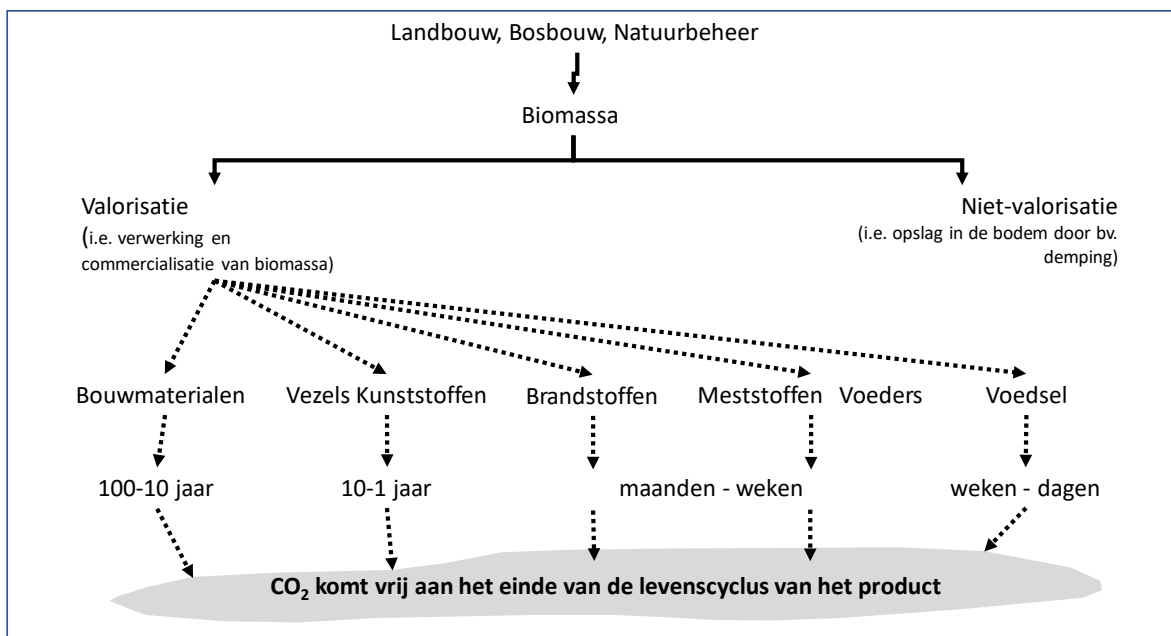
¹³⁶ D'HOSE EN RUYSSCHAERT (2017), p. 8.

in deze speciale beschermingszones 5.024 ton C¹³⁷ in biomassa en 1.758.763 ton C in de bodem worden opgeslagen¹³⁸.

Recenter (2018) werd in Vlaanderen ook een studie opgeleverd die bekeek op welke manieren een systeem van *Payment for Ecosystem Services* (PES) kan opgezet worden waarbij investeringen in ecosystemen gefinancierd kunnen worden vanuit klimaatdoelstellingen voor hun bijdrage op vlak van koolstofsekwestratie. Hierin wordt een theoretische maximale potentiële sekwestratie van 2.642.343 ton CO₂ per jaar naar voor geschoven door het uitvoeren van bebossings- en vernattingsprojecten (rekenend met een oppervlakte van 436.700 ha). Dit is evenwel een theoretisch maximum. Maar over het totaal potentieel van de mogelijke extra koolstofopslag door natuurinrichting en natuurbeheer in Vlaanderen bestaat op dit moment geen cijfermateriaal.

Wat tot slot het emissiereductiepotentieel aangaat dat verbonden is aan de oogst, verwerking en commercialisatie van biomassa, moet opgemerkt worden dat er iets analoogs geldt als bij CCU-processen: op termijn is het reductiepotentieel eerder beperkt, omdat de in de biomassa gecapteerde CO₂ binnen bepaalde tijd weer vrijkomt (afhankelijk van het type gebruik kan dit binnen afzienbare tijd of zeer lange termijn zijn). Dit wordt geïllustreerd met **figuur 9**.

Figuur 9. Analoog overzicht als dat voor CCU, met overzicht periodes waarin, bij het gebruik van biomassa, CO₂ terug afgegeven wordt. Bron: Minaraad (2019).



6.2 Hindernissen

6.2.1 CCU/S

Een belangrijke hindernis bij CCU en CCS is de nood aan een koolstofdioxidebron met een hoge zuiverheid¹³⁹. Zo bevatten de rookgassen van een elektriciteitscentrale gebaseerd op aardgas slechts 8% CO₂ naast zuurstof, waterdamp en inerte stikstof (73 %). Om de CO₂ te gebruiken (CCU) of op te slaan (CCS) moet een scheiding gebeuren tussen CO₂ en de andere gassen. Deze scheidings- en zuiveringsprocessen kosten energie. Vaak wordt die energie uitgedrukt als de

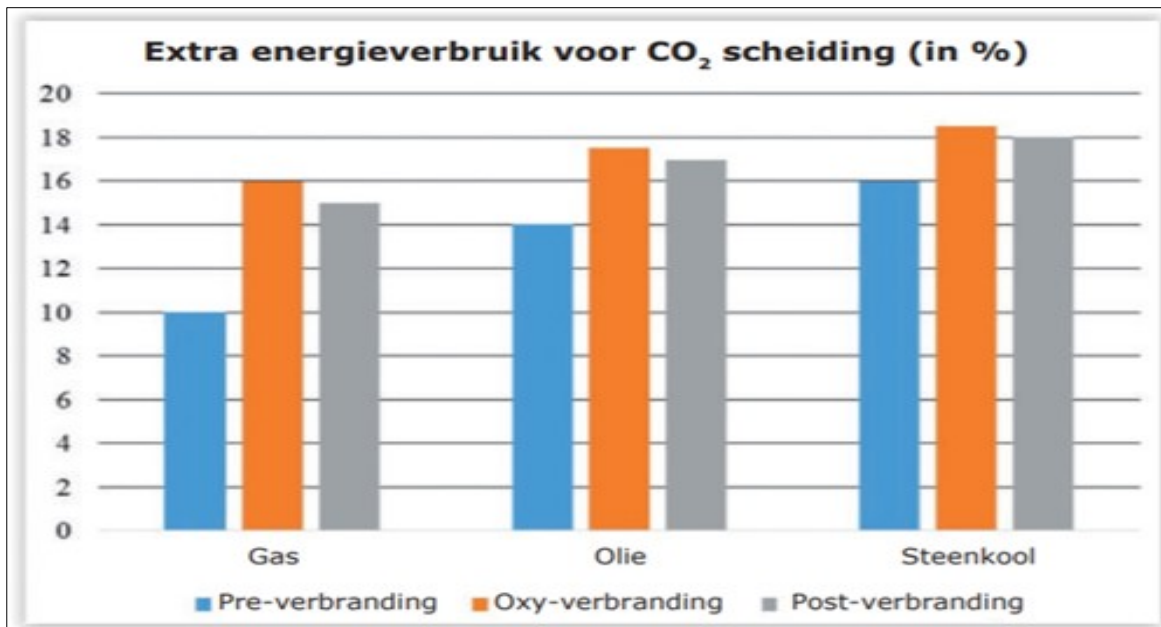
¹³⁷ 1 ton C = 3,66 ton CO₂

¹³⁸ BROECKX ET AL. (2013), p. XI.

¹³⁹ MARTENS ET AL. (2015).

energy-penalty – de fractie van energie die de elektriciteitscentrale produceert die terug ingezet moet worden voor het eigen productieproces. De *energy-penalty* van de captatie en vervolgens ook opslag of het gebruik van koolstof maakt deze technologie relatief duurder (in vergelijking met andere, vaak fossiele, alternatieven). De vergelijking wordt geïllustreerd met **figuur 10**.

Figuur 10. De nood aan extra energie voor de scheiding van CO₂ Bron: KVAB (2015).



Meer algemeen zijn “*capture-rates*” van meer dan 90% moeilijk te behalen en kostelijk om te halen. Dit betekent dat het in principe niet mogelijk is om met CCS te zorgen voor een volledige decarbonisatie, wanneer blijvend gebruik wordt gemaakt van fossiele brandstoffen¹⁴⁰.

Een niet te onderschatten hindernis is de graad van perceptie en sociale aanvaarding van koolstofopvang, -opslag en -gebruik bij de diverse *stakeholders* (beleidsmakers, investeerders, belangenorganisaties, journalisten, het algemeen publiek, ...). Daarnaast bestaat er ook weerstand vanwege de onzekerheid over de lange termijn opslag.

Indien er te veel tijd verloren gaat naar het zoeken van een draagvlak, dan heeft dit ook een impact op het tijdsplan om concrete CCU/S projecten te realiseren. Doorgaans wordt gerekend op een voorbereidingstraject van zulk een project van vijf tot zes jaar¹⁴¹. Bij de start ervan moet nog eens gerekend worden op vier jaar bouwtijd. Daar is de benodigde tijd voor het aanleggen van transportinfrastructuur nog niet ingerekend.

Vervolgens is het ook belangrijk om een geschikt boekhoud-mechanisme te construeren voor het berekenen van de opgevangen CO₂ en de evaluatie van de netto emissiereductie die bereikt wordt met de inzet van CCU of CCS. Op die manier kan ook gecommuniceerd hoeveel CO₂ opgevangen, opgeslagen en/of benut wordt met welk type technologie, wat onder meer ook een positieve impact kan hebben op de sociale aanvaardbaarheid ervan.

Naast al deze hindernissen houdt het grootste obstakel voor CCS en CCU verband met de rendabiliteit. Ondanks financiering vanuit verschillende Europese fondsen, zijn deze technologieën nog niet klaar om zonder financiële ondersteuning te functioneren op de vrije markt. De koolstofprijs is daarvoor veel te laag en er zijn ook te weinig resultaten uit

¹⁴⁰ EUROPESE COMMISSIE (2018a), p. 61.

¹⁴¹ Getuigenis van expert bij Shell, Syrie Crouch, tijdens een hoorzitting van Euractiv op 8 juli 2019.

demonstratieprojecten beschikbaar om de besproken technologieën efficiënter te maken en zo de kostprijs ervan te drukken (wat bijvoorbeeld wel het geval is bij PV of windenergie).

Tot slot kan ook het al dan niet kiezen voor een technologie, zoals CCU/S, een hindernis vormen (pad-afhankelijkheid). De organisatie en kostprijs voor een installatie en bijhorende infrastructuur inzake CCU/S maakt aan de ene kant dat keuzes richting 2030 en 2050 nu reeds gemaakt dienen te worden om al dan niet in te zetten op deze technologie. Door niet of te laat te starten, kan men de boot gemist hebben. Te vroeg hiermee starten levert in een demonstratiefase misschien nog enkele kinderziektes op. Daarnaast kan de sterke uitbouw van CCU/S ook zorgen voor padafhankelijkheid en in zekere zin een *lock-in* met zich meebrengen¹⁴². Eenmaal de opvang, verwerkings- en transport faciliteiten aangelegd worden, is het de bedoeling deze gedurende lange tijd te gebruiken. Een radicale switch naar andere technologie is dan nog wel theoretisch en zelfs praktisch mogelijk, maar de niet-afgeschreven investeringen zouden ook voldoende druk zetten om hiermee verder te gaan. Daarom dat de Europese Commissie ervoor waarschuwt dat het kiezen voor CCS alsook BECCS risico's inzake *lock-in* met zich kunnen meebrengen – indien de industrie hier te sterk zou op focussen en dus afhankelijk van zijn.

6.2.2 CCU

Specifiek voor CCU blijkt de grootste hindernis, zoals reeds aangegeven, de productiekost te zijn. De kost om CO₂ te capteren en om te zetten in bruikbare producten is immers veelal hoger dan de kost die nodig is voor het bekomen van gelijkaardige conventionele producten. Zo blijken, tot op heden, synthetische brandstoffen veel duurder te zijn dan equivalente petroleumproducten. Met andere woorden: de grootste uitdaging voor CCU is het omvormen van CO₂ als duur afvalproduct naar een duurzame en betaalbare grondstof – waar bovendien waarde uit gecreëerd kan worden.

Deze hindernis heeft grotendeels te maken met de vroege fase van ontwikkeling waarin vele CCU-toepassingen zich tot op heden bevinden. CO₂ is immers een stabiel chemisch element. Dit maakt dat er veel energie nodig is voor het omvormingsproces ervan. Indien deze energie niet gepuurd kan worden uit een koolstofarme energiebron, zouden de broeikasgassen aan het einde van de operatie netto stijgen, wat in het kader van maatregelen tegen klimaatsverandering niet de bedoeling kan zijn. Daarnaast heeft een stabiele chemische stof zoals CO₂ nood aan een katalysator om chemische reacties te verkrijgen die de CO₂ omzetten in andere producten.

Een verdere kostenreductie van CCU is dan ook afhankelijk van toekomstige wetenschappelijke innovaties, die in grote lijnen verband zullen houden met het vinden van de juiste katalysator voor CO₂. De huidige lage energie- en koolstofdioxideprijzen hebben trouwens ook geen gunstige invloed op de commerciële levensvatbaarheid van vele CCU-technologieën.

¹⁴² EUROPESE COMMISSIE (2018c), p.18: "Gelet op de lock-in ten aanzien van technologieën voor fossiele brandstoffen, d.w.z. het feit dat een fabriek die vandaag wordt gebouwd in 2050 waarschijnlijk nog steeds operationeel zal zijn, vergroot de mogelijkheid om technologieën voor koolstofverwijdering in te kunnen voeren de geloofwaardigheid van de langetermijnstrategie van de EU. CCS heeft het stadium van commercialisering nog niet bereikt, daarbij gehinderd door het gebrek aan projecten om de technologische en economische haalbaarheid aan te tonen, alsmede door belemmeringen van regelgevende aard in bepaalde lidstaten en een beperkt draagvlak onder het publiek. Om CCS binnen de komende tien jaar op grotere schaal te kunnen realiseren zullen tevens veel grotere inspanningen op het gebied van onderzoek, innovatie en demonstratie nodig zijn om ervoor te zorgen dat de technologie voor de bovengenoemde opties, d.w.z. energie-intensieve industriële sectoren, biomassa en inrichtingen voor koolstofneutrale synthetische brandstoffen, kan worden ingevoerd. Bovendien vereist CCS nieuwe infrastructuur, onder meer met betrekking tot transport en opslag. Om het potentieel van CCS te kunnen verwezenlijken, zijn gecoördineerde en krachtige maatregelen nodig om de bouw van demonstratie-installaties en commerciële faciliteiten in de EU te waarborgen en in te gaan op kwesties die spelen in de publieke opinie in enkele lidstaten."

Met betrekking tot CCU bevestigen verschillende studies ook de complexiteit en de onzekerheid inzake het effectief potentieel voor mitigatie ([zie 4.4.](#))¹⁴³.

6.2.3 Negatieve emissietechnologieën

Algemeen geldt voor de land-gebaseerde negatieve emissietechnologieën dat de ingezette landoppervlakten na verloop van tijd een saturatiegraad bereiken (voor (her)bebossing kan het bereiken ervan wel tot 100 jaar duren) en dat deze oppervlakten een aangepast onderhoud en beheer vereisen¹⁴⁴. Hoe meer biomassa in beheerde systemen ter plaatse blijft (oogstresten, maaisel, kroonhout), hoe meer koolstof in de bodem kan worden opgeslagen. Daarnaast hebben bijna alle vormen van bodembewerking een negatieve invloed op de C-stocks. Landverstoringen zoals ploegen zorgen voor een verluchting van de toplaag waardoor organisch materiaal gemakkelijker mineraliseert en de koolstofsequestratie daalt.

Onafhankelijk van het landgebruik en of beheer bepalen vooral de vochttoestand en het kleigehalte van de bodem de capaciteit voor koolstofopslag. Hoe natter de bodem en hoe hoger het kleigehalte, hoe meer koolstof kan worden vastgelegd. Deze vormen van koolstofopslag zijn evenwel reversibel: veranderingen in het landgebruik kunnen er immers voor zorgen dat de koolstofvoorraad terug afneemt.

Indien bij (her)bebossing gebruik wordt gemaakt van meststoffen bij de aanplant kan dit het rendement van de koolstofopslag negatief beïnvloeden.

Voor het uitrollen van BECCS op grote schaal vormt de beschikbaarheid van duurzaam geproduceerde biomassa en land de limiterende factor. Inzake opslagcapaciteit en transport van de afgevangen CO₂ zijn de hindernissen gelijkaardig aan deze die werden aangehaald voor CCS.

Een hindernis voor koolstofopslag in landbouwbodems is de implementatiegraad van sommige maatregelen. In een rapport van het Nederlandse Planbureau voor de Leefomgeving inzake het maximaal en realistisch potentieel voor koolstofopslag in Nederland wordt hierover gesteld dat *“landbouwbedrijven hun beproefde en vertrouwde werkwijze [...] niet zomaar zullen verlaten”* en dat het realistisch potentieel inzake koolstofopslag (0,8 MtonCO₂/jaar), in landbouwbodems dus maar 35% van het maximaal potentieel (2,3 Mton CO₂/jaar) zou bedragen¹⁴⁵.

Tijdens de [hoorzitting](#) inzake de nieuwe landgebruiksverordening, die de Minaraad op 30 januari 2018 organiseerde, kwam aan bod dat in bepaalde aspecten uit de Vlaamse mestwetgeving (i.e. de hoeveelheid (stal)mest die per oppervlakte per tijdseenheid kan worden toegediend) een hinderpaal vormen voor extra koolstofopslag in akkers.

Inzake de opslag in natuurlijke ecosystemen is er vooral een gebrek aan data over de precieze grootte van de koolstofvoorraad in de bodem, de mogelijke impact van beheermaatregelen en de situering van koolstoflekken en koolstof *“hot spots”*.

6.3 Kosteneffectiviteit

Voor Vlaanderen/België zijn er tot op heden zijn er geen berekeningen beschikbaar over de kosten die verbonden zouden zijn aan de inzet van negatieve emissietechnologie of CCU/S. Er bestaan wel cijfers uit Europese rapporten alsook in verband met Nederland en het Verenigd Koninkrijk.

¹⁴³ EUROPESE COMMISSIE (2018a), p. 62

¹⁴⁴ FUSS ET AL., 2018, p. 33.

¹⁴⁵ STRENGERS ET AL. (2018), p. 50.

Afvang

De grootste kostprijs voor CCU/S ligt bij de afvang van de CO₂. Volgens de [Global CCS Institute liggen de kosten voor CCS in Europa en binnen de energiesector](#) tussen €62 en €131 per ton afgevangen CO₂, terwijl deze bij de industriesector eerder tussen de €19 en €172 per ton CO₂ zouden liggen.

Het Planbureau voor de Leefomgeving geeft, bij de diverse vormen van CCS, een inschatting van de kosteneffectiviteit, in relatie tot gerealiseerde koolstofdioxidereductie (**tabel 3**)¹⁴⁶:

<i>Tabel 3: technisch potentieel, geschatte kosten en kosteneffectiviteit van CCS</i>				
	Technisch potentieel (Mton)	Kosten schatting (M€)	NL Kosten-effectiviteit (€/ton) (eigen berekening)	Bandbreedte kosten-effectiviteit (€/ton)
CCS industriële procesemissies laag	1,5	55	37	10 tot 50
CCS industriële emissies staal	5,5	290	53	40 tot 60
CCS raffinaderijen	6,0	520	87	60 tot 100
CCS industriële emissies algemeen	10,5	1085	103	70 tot 120
CCS afvalverbrandingsinstallaties	3,0	335	112	85 tot 135
CCS kolencentrales	13,0	455	35	35
CCS gascentrales	4,1	255	62	62

Deze kosten zijn, waar toepasselijk, inclusief de uitgespaarde aankoop van ETS-rechten. Te noteren valt dat in hetzelfde rapport en met betrekking tot de sector industrie, de kosten voor emissiereductie door “recycling” of verhoogde procesefficiëntie over het algemeen beduidend lager worden ingeschat¹⁴⁷.

Transport

De transportkost van CO₂ via pijpleidingen is afhankelijk van de capaciteit (of dikte) van de pijp, de afstand en tot slot of het transport plaatsvindt op het land (*onshore*) of in de zee (*offshore*). Bij een capaciteit die hoger ligt dan 10 Mt CO₂ per jaar zijn de transportkosten – zeker in vergelijking met de kosten voor afvang – relatief laag (**tabel 4**)¹⁴⁸.

Tabel 4: kosten van transport via pijpleidingen van CO₂ in € per ton

¹⁴⁶ KOELEMEIJER ET AL. (2018), p. 32.

¹⁴⁷ KOELEMEIJER ET AL. (2018), p. 6.

¹⁴⁸ Uit STRENGERS ET AL. (2018), p. 65-66.

capaciteit van de pijpleiding	onshore per 250 km	offshore per 250 km	per schip tot 500 km
3 MtCO ₂ per jaar	€ 6,50	€ 9,40	€ 15,00
10 MtCO ₂ per jaar	€ 2,50	€ 3,50	€ 12,00
30 MtCO ₂ per jaar	€ 1,50	€ 1,80	

Indien men bij een CCU/S project gebruik zou kunnen maken van bestaande infrastructuur, dan heeft dit een gunstige impact op de kosteneffectiviteit van een het project.

Kunstmatige opslag in de diepe ondergrond

In de Nederlandse lege gas- en olievelden worden de kosten geschat als zijnde “medium”, met een *range* tussen €6 en €10 per ton CO₂ en een totale *range* tussen €2 en €14 per ton CO₂¹⁴⁹. Deze grote range heeft te maken met het moeilijk in kunnen schatten van kosten die te maken hebben met aansprakelijkheid en de verplichting inzake langdurige monitoring van mogelijke lekken uit de ondergrondse opslag.

6.3.2 Negatieve emissietechnologieën

Wat kosten betreft, kan er bij dit onderdeel nog een onderscheid gemaakt worden tussen BECCS en DACCS, die beide een component bevatten voor opslag in de diepe ondergrond (en dus ook transport er naar toe), wat, ten opzichte van de andere technologieën (met name (her)bebouwing en opslag in natuurlijke systemen en landbouwsystemen, een extra kost, gelijkaardig aan deze bij CCS in de energiesector en de industrie, met zich meebrengt.

Voor DAC (i.e. de afvang, zonder opslag) zijn de kosteninschattingen voor het overige onzeker en liggen ze erg ver uiteen, van €350 tot €850 per ton afgevangen CO₂¹⁵⁰.

Voor de CO₂-captatie bij BECCS is er geen extra en directe kost voor afvang: het gaat om opslag via natuurlijke processen; wel kan er sprake zijn van opportuiniteitskosten die verband houden met het niet inzetten van de landoppervlakte voor meer lucratieve doeleinden.

Ten opzichte van deze meer artificiële oplossingen, heeft opslag in natuurlijke en landbouwsystemen een relatief lage kost. Bovendien brengen deze natuurlijke oplossingen ook andere voordelen met zich mee, met name het leveren van bijkomende ecosysteemdiensten zoals waterzuivering, bescherming tegen overstromingen, gezondheidseffecten van natuur, ...).

Het Planbureau voor de Leefomgeving in Nederland berekende de kosteneffectiviteit van natuurlijke en halfnatuurlijke negatieve emissietechnologieën. De resultaten hiervan worden weergegeven in **tabel 5**¹⁵¹.

<i>Tabel 5: overzicht van de kosteneffectiviteit van natuurlijke en halfnatuurlijke negatieve emissietechnologieën</i>	
Optie	Kosteneffectiviteit (€/ton CO ₂ -eq. ¹⁵²)

¹⁴⁹ STRENGERS ET AL. (2018), p. 66.

¹⁵⁰ STRENGERS ET AL. (2018), p. 62. en p. 66.

¹⁵¹ KOELEMEEIJER ET AL (2018), p. 46 e.v.

¹⁵² In het Nederlandse rapport wordt niet vermeld of het gaat over ton C, ton CO₂ of ton CO₂-eq. Uit het geheel wordt afgeleid dat er hier CO₂-eq. wordt bedoeld.

Stoppen van (netto) ontbossing ¹⁵³	0
Slim bosbeheer	< 10
Onderwaterdrainage	25 - 35
Passieve vernatting	30
Koolstofvastlegging landbouwgrond	50
Landbouwgrond naar natte landbouw	50
Landbouwgrond naar natuur	150
Vergroten bosareaal	160 (50 - > 200)
Gebruiksverandering moerige veengronden	380

Daarbij wordt, in het PBL-rapport, volgende duiding verschaft:

- Het tegengaan van ontbossing (kap van tijdelijke bossen op agrarische grond, ontbossing vanwege bebouwing of aanleg van infrastructuur, transitie van bos naar park, hei of duin) wordt aangemerkt als de meest kosteneffectieve emissiereductiemaatregel. In het rapport lijkt wel abstractie gemaakt te worden van de opportuniteitskost – de boseigenaar verliest de kans zijn grond in te zetten voor een meer rendabel gebruik.
- “Slim bosbeheer” wordt opgevat als het productiever maken van de bossen, waardoor de oogst hieruit toeneemt. Volgens het rapport ontbreekt het aan goede cijfers over de kosten en de baten van dit actief bosbeheer, “*maar de kosten zijn in elke geval laag*”.
- “Onderwaterdrainage” is een alternatieve vorm van het gebruiksklaar houden van veengronden in polders. Door de drainage ondergronds te voeren, vermindert de oxidatie, en daarmee de uitstoot van CO₂. De aanleg ervan kost 200 tot 300 euro per jaar aan kapitaals- en onderhoudskosten.
- Van “passieve vernatting” is sprake als het grondwaterpeil op een vast niveau ingesteld wordt, dicht bij de zode. De emissies door oxidatie nemen daardoor ook af. Deze maatregel leidt tot opbrengstderving die onzeker is maar met de jaren toeneemt, en die, bij introductie aan het begin van het volgende decennium, ca. €100/ha/jaar zou kunnen bedragen.
- Een verhoging van de koolstofvastlegging in de landbouwgrond wordt bewerkstelligd door diverse ingrepen die hetzij kosten, hetzij verminderde baten met zich mee kunnen brengen. De reële kost zal ook afhangen van marktfactoren. De bandbreedte varieert van omzeggens geen extra kosten (verplichting vanggewas) tot veel hogere extra kosten (aankoop biomassa). In deze kosteninschatting zijn de positieve effecten van de maatregelen niet verdisconteerd.
- Bij “transitie naar natte landbouw” (zoals lisdoddeeteelt) wordt een waardevermindering van de landbouwgrond gegenereerd van minstens 50%.
- Bij transitie van veenweide naar natuur of recreatie wordt uitgegaan van een waardevermindering van de landbouwgrond met 100%.
- Bij het “vergroten van het bosareaal” wordt gesteld dat de kosten onder meer afhangen van de nood aan grondaankoop. Als de te bebossen grond reeds in het bezit is van partijen die zinnens waren te bebossen, dan is dat een andere situatie dan als die grond verworven moet worden om te bebossen: in het eerste geval gaat het om kosten voor aanplant en onderhoud, in het tweede geval moeten kosten voor grondaankoop worden meegenomen.

¹⁵³ Strikt genomen is dit geen negatieve emissietechnologie aangezien er hierbij geen koolstof uit de atmosfeer wordt onttrokken.

De bovengrens van de range in de kosteninschatting (€200/ton reductie) gaat uit van die laatste hypothese.

- “Gebruiksverandering moerige veengronden” betreft akkerbouw in ingepolderde, moerige gronden. De kosten die hier gepaard gaan met de verandering van grondgebruik en het daaruit voortvloeiende rendementsverlies, worden geschat op €375/ha/jaar.

6.4 Opportunititeiten

6.4.1 CCU/S

CCU/S biedt het de meeste opportuniteiten voor de industriële sector¹⁵⁴. Vele industriële processen hebben nood aan warmte op hoge temperatuur (1600°C). Het vervangen van fossiele door alternatieve brandstoffen is tot op heden moeilijk of soms niet mogelijk omwille van technische barrières. Haast een kwart van de industriële emissies zijn namelijk procesemissies – die het gevolg zijn van fysische of chemische reacties.

Deze uitstoot kan, momenteel, niet vermeden worden door over te schakelen op alternatieve schone brandstoffen. Bovendien zijn de chemische installaties en faciliteiten een lang leven beschoren, sommige gaan 50 jaar mee, met een *lock-in*-effect van de daarmee gepaard gaande emissies voor decennia. Dit *lock-in*-effect is in de industrie groter dan in andere sectoren, zoals de energiesector, transport en bij gebouwen. Hier een oplossing voor te vinden, met name via CCU/S, biedt dus kansen om de broeikasgassenuitstoot bij de industrie te beperken – zeker voor installaties die een lange levensduur hebben. Ook omgekeerd kan de uitbouw van CCU/S-infrastructuur een mogelijke lock-in veroorzaken.

CCU/S kan ook zorgen voor een stimulans in de ontwikkeling van opslagtechnologie en flexibiliteitsdiensten. Dit kan vervolgens weer een positieve impact hebben op de algemene ontwikkeling en rendabiliteit van CCU/S. Daarnaast kan CCU/S een stimulus vormen voor de productie van waterstof, door er de bij de productie vrijgekomen CO₂ af te vangen.¹⁵⁵ Dit is dan weer nuttig is in het ontkoolstoffen van de transport- elektriciteits-, en verwarmingssector.

6.4.2 CCU

CCU op zich zal nooit leiden tot de oplossing van het klimaatprobleem (i.e. de trendmatige toename van atmosferische CO₂ en het daardoor veroorzaakte onevenwicht). De uitstoot van CO₂ ligt immers te hoog in relatie tot de vraag naar potentiële waardevolle producten uit CO₂¹⁵⁶. Toch kan CCU een extra *incentive* geven in de transitie naar een samenleving met netto-zero emissies. Hoewel de meeste CCU technologieën CO₂ maar voor een beperkte periode opslaan in producten (zie 4.4, met o.a. tuinbouw, koolzuurhoudende dranken en voedsel), kunnen zij alsnog

¹⁵⁴ IEA (2019).

¹⁵⁵ Hoewel waterstof als element voldoende op aarde voorkomt, is het bijna altijd verbonden aan een ander element, zoals bijvoorbeeld water (H₂O). Om er dus gebruik van te kunnen maken, moet het telkens gescheiden worden van het andere element. Het overgrote deel van al het waterstof in de wereld (95%) wordt geproduceerd door middel van “*reforming*” van aardgas of andere fossiele brandstoffen (CH₄ + 2H₂O + energie → 4H₂ + CO₂). Daarnaast gebeurt, voor minder dan 5%, de productie via elektrolyse (2H₂O + elektriciteit → 2H₂ + O₂) en, het resterende deel (<1%), via experimentele methoden zoals een algen bioreactor. De ecologische impact en energie-efficiëntie van waterstof is afhankelijk van het productieproces. Bij *reforming* van aardgas bedraagt dit 75% (= 75% van de energie die zich in het aardgas bevindt opgeslagen wordt in het waterstof, terwijl de overige 25% verloren gaat). Voor elektrolyse is dit 50 tot 70 procent. Echter heeft elektrolyse, in tegenstelling tot *reforming* van aardgas, als ecologische voordeel dat er geen koolstofdioxide bij dit proces vrijkomt. Maar bij CCU/S zou de vrijgekomen koolstofdioxide opgeslagen kunnen worden in ondergrondse reservoirs.

¹⁵⁶ Fossiele brandstoffen zorgen jaarlijks voor circa 30 miljard ton koolstofdioxide in de atmosfeer. Dit komt neer op een gemiddeld van zo'n 5 ton koolstofdioxide per persoon. Ongeveer de helft van deze uitstoot wordt opgenomen door planten (die, via het proces van de fotosynthese, koolstofdioxide nodig hebben om te groeien) alsook oceanen (koolstofdioxide lost immers op in het water). De andere helft verhoogt evenwel de van nature aanwezige concentratie van koolstofdioxide in de atmosfeer. <https://www.klimaat.be/nl-be/klimaatverandering/het-klimaat/de-invloed-van-de-mens>

de netto broeikasgasemissies doen dalen indien voor die producten CO₂ als afval of restproduct gebruikt wordt in plaats van CO₂ uit een additionele bron (bv. uit aardgas).

6.4.3 Negatieve emissietechnologieën

Algemene voordelen van de opslag in bodem en biomassa is dat deze opties relatief snel gerealiseerd kunnen worden door veranderingen in het landgebruik en/of landbeheer¹⁵⁷. Algemeen kan hierbij gesteld worden dat beheerstechnische ingrepen zoals drainage de koolstofopslag verminderen. Vernattingprocessen daarentegen verhogen de voorraad aan bodemkoolstof¹⁵⁸. Naast koolstofopslag leveren deze technologieën doorgaans ook nog tal van andere ecosysteemdiensten.

De opportuniteiten voor opslag van koolstof in natuurlijke ecosystemen en landbouwsystemen liggen vooral in maatregelen en acties die worden voorgesteld in andere beleidsdomeinen.

Zo moet er op grond van de Europese ontwerpverordeningen inzake het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid¹⁵⁹ meer aandacht gaan naar mogelijkheden van landbouw om bij te dragen aan klimaatmitigatie. Daarnaast zorgen ook landbouwmaatregelen met een andere hoofddoelstelling voor extra koolstofopslag, zoals bijvoorbeeld het tegengaan van erosie, het behoud van grasland omwille van natuurbescherming, of maatregelen ter verbetering van de bodemvruchtbaarheid.

In het kader van het natuurbeleid moet er extra natuur bijkomen voor het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen (waarvan een groot deel bossen). Deze nieuwe bossen zullen op termijn eveneens zorgen voor extra koolstofopslag in bodem en biomassa. Maar ook vernattingprocessen verhogen de voorraad aan bodemkoolstof¹⁶⁰.

In het kader van waterbeleid moeten er, onder andere in uitvoering van het [SIGMA-plan](#), overstromingsgebieden worden voorzien, onder meer om publieke en private infrastructuur te beschermen. Op Vlaams niveau wordt ook gewerkt aan het afbakenen van waterafhankelijke open ruimte gebieden, hetgeen zou impliceren dat deze in de toekomst niet meer bebouwd ("verhard") kunnen worden en, als moerasachtige gronden, voor betere sequestratie zouden instaan.

In het [kader van het nieuwe Beleidsplan Ruimte Vlaanderen](#) (als opvolging van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen) is er, op het niveau van de daartoe uitgebrachte conceptnota, veel aandacht voor ontharding en het voorzien van groenblauwe dooradering (zowel in stedelijke context als in open ruimte gebieden).

Het Vlaams klimaatbeleidsplan voorziet in al de bovenstaande sectoren in het nemen van maatregelen die de koolstofopslag verhogen.

¹⁵⁷ FUSS ET AL. (2018), p.33

¹⁵⁸ BROECKX ET AL. (2013), p.65.

¹⁵⁹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A392%3AFIN>; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A393%3AFIN> en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1530715098374&uri=CELEX%3A52018PC0394R%2801%29>

¹⁶⁰ BROECKX ET AL. (2013), p.65.

7 Beleidsontwikkeling











7.1 Internationaal beleid – diverse rapporten

7.1.1 Reguliere IPCC-assessmentrapporten





Al in 2001 toonde het IPCC via haar *Third Assessment Report* (AR3) aan de huidige beschikbare technologieën onvoldoende zullen zijn om broeikasgassen zoals CO₂ – op korte en middellange termijn – te stabiliseren. CCS zou, in de visie van dat rapport, concrete mogelijkheden bieden om, in afwachting van duurzame alternatieven, fossiele brandstoffen te gebruiken zonder bijkomende emissies van broeikasgassen te genereren.

In haar *Fifth Assessment Report* (AR5) uit 2014 werd door het IPCC, met hoge wetenschappelijke betrouwbaarheid, gesteld dat heel wat van de door hen berekende modellen pas in overeenstemming zijn met het beperken van de temperatuursopwarming tot 2°C, indien ze onder meer ook gebruik zouden maken van bio-energie, CCS of BECCS. Een en ander wordt weergegeven met **figuur 11**.

Figuur 11. De nood aan extra energie voor de scheiding van CO₂ Bron: KVAB (2015).

Mitigation cost increases in scenarios with limited availability of technologies ^d					Mitigation cost increases due to delayed additional mitigation until 2030	
[% increase in total discounted ^e mitigation costs (2015–2100) relative to default technology assumptions]					[% increase in mitigation costs relative to immediate mitigation]	
2100 concentrations (ppm CO ₂ -eq)	no CCS	nuclear phase out	limited solar/wind	limited bioenergy	medium term costs (2030–2050)	long term costs (2050–2100)
450 (430 to 480)	138% (29 to 297%) 	7% (4 to 18%) 	6% (2 to 29%) 	64% (44 to 78%) 	44% (2 to 78%) 	37% (16 to 82%) 
500 (480 to 530)	not available (n.a.)	n.a.	n.a.	n.a.		
550 (530 to 580)	39% (18 to 78%) 	13% (2 to 23%) 	8% (5 to 15%) 	18% (4 to 66%) 	15% (3 to 32%)	16% (5 to 24%)
580 to 650	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		

Symbol legend—fraction of models successful in producing scenarios (numbers indicate the number of successful models)

 : all models successful	 : between 50 and 80% of models successful
 : between 80 and 100% of models successful	 : less than 50% of models successful

7.1.2 Speciaal rapport IPCC over CCS (2005)

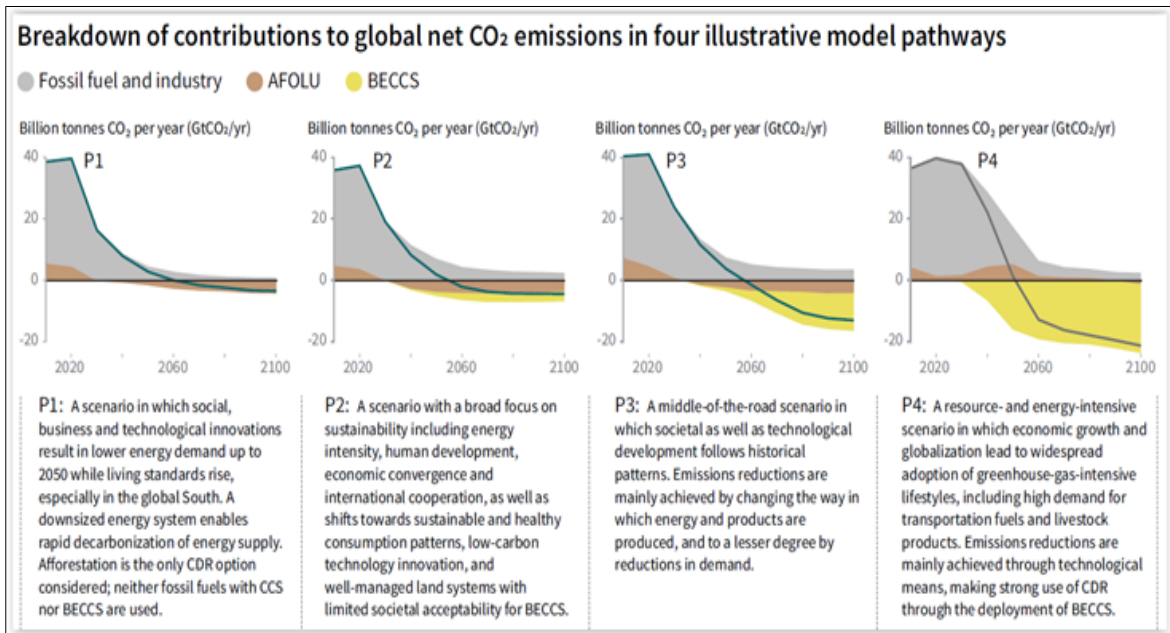
Het IPCC bracht CCS in 2005 onder de politieke aandacht, met zijn *speciaal rapport over CCS* (en in beperkte mate ook CCU). In dit rapport werd toegelicht wat CO₂ bronnen zijn, hoe deze opgevangen, getransporteerd, opgeslagen en gebruikt kunnen worden alsook de maturiteit, het potentieel, de wettelijke hindernissen, de potentiële neveneffecten (gezondheid, milieu en veiligheid) en de kosten. Vervolgens werd geconcludeerd dat CCS(U) een onderdeel hoort te zijn van mitigatieopties om de wereldwijde klimaatopwarming tegen te gaan en dat deze technologieën zelfs de kosten inzake mitigatie zouden kunnen temperen.

7.1.3 Speciaal Rapport over globale opwarming tot 1,5° (2018)

Met het IPCC *Special Report on global warming of 1.5°C* uit 2018 (dat reeds samengevat werd in een eerdere *briefing nota*) werd gesteld dat negatieve emissietechnieken of *carbon dioxide*

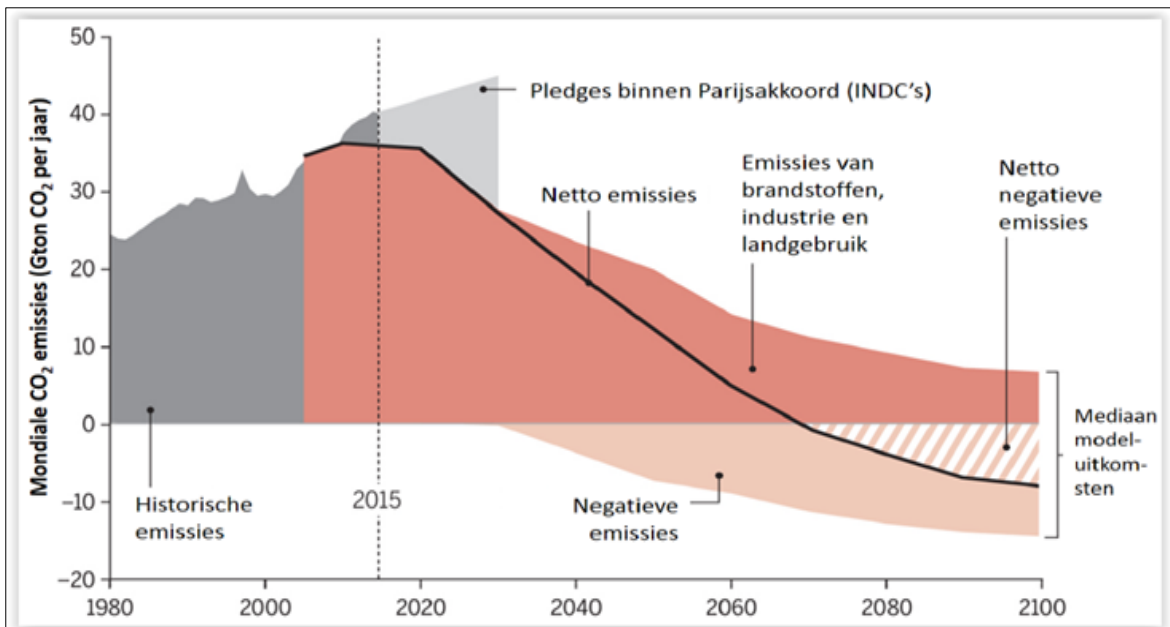
removal (CDR)-technieken, maar ook CCS – op verschillende niveaus – nodig zouden zijn om een afdoende hoeveelheid CO₂ te reduceren, zodat de opwarming van de aarde beperkt zou kunnen worden tot 1,5°C. In drie van de vier scenario's rekenen de stellers van het rapport op CCS, waaronder BECCS, om binnen de grens van 1,5°C te blijven, wat geïllustreerd wordt met **figuur 12**.

Figuur 12. De vier illustratieve paden/scenario's om binnen 1,5°C opwarming te blijven (IPCC SR15)



Algemeen impliceert het Akkoord van Parijs dat er met negatieve emissies zal moeten worden gewerkt vanaf 2030, wat blijkt uit **figuur 13**.

Figuur 13. Parijs Akkoord met negatieve emissies vanaf 2030. Bron: Anderson & Peters (2019).



7.1.4 Speciaal rapport IPCC over landgebruik en klimaat (2019)

Dit [meest recente rapport van het IPCC](#) stelt dat landgebruik een waardevolle bijdrage kan leveren aan mitigatie van klimaatverandering, maar dat er zijn limieten wat de inzet van

biomassaplantages en bebossing betreft. Uitrol van deze maatregelen op grote schaal kan de risico's op verwoestijning en landdegradatie vergroten, evenals een negatieve impact hebben op voedselzekerheid en duurzame ontwikkeling en biodiversiteit¹⁶¹.

7.1.5 Het globaal assessment IPBES (2019)

Volgens de *global assessment van IPBES uit 2019* zullen terrestrische ecosystemen een cruciale bijdrage leveren aan het behalen van de doelstellingen in het Parijsakkoord. Het realiseren van de zogenaamde “*RCPI.9 pathway*” uit het IPCC-rapport van 2018¹⁶² vereist in alle *integrated assessment models* (IAMs¹⁶³) het inzetten van *Carbon Dioxide Removal*-technologieën. In de meerderheid van de gevallen wordt hierbij gerekend op (her)bebossing, zowel als het vermijden van ontbossing en het inzetten van plantages voor bio-energie die dan verbrand wordt met gebruik van CCS¹⁶⁴.

Het IPBES stelt hierbij dat op landgebruik gebaseerde mitigatiemaatregelen een positief effect kunnen hebben op het halen van natuurdoelstellingen. Tegelijkertijd vermelden ze dat het op grote schaal aanleggen van plantages voor bio-energie en het op grote schaal bebossen van andere ecosystemen gepaard kan gaan met een negatieve impact op biodiversiteit, het functioneren van ecosystemen en voedselproductie.

7.2 Europees beleid

Er is geen specifiek Europees beleid inzake CCS/U én negatieve emissietechnologieën samen. Wel zijn er aanpalende beleidsdomeinen en beleidsvelden die elk op zich – met regelgeving en plannen – een invloed hebben op de mogelijkheden betreffende op landgebruik gebaseerde negatieve emissietechnologie (landbouwbeleid, natuurbeleid) en CCS/U. Daarnaast zijn er ook raakvlakken met het bosbeleid, maar aangezien bosbeleid geen Europese bevoegdheid uitmaakt, is er geen wetgeving in dit verband (enkel niet-bindende strategieën). Hierna een overzicht van het Europese beleid zoals dat door de Europese Commissie ontwikkeld werd in de afgelopen jaren en voor de nabije toekomst.

7.2.1 Mededeling over duurzame energieopwekking en energiebeleid (2007)

Als technologie staat CCS sinds 2007 “actief” op de Europese beleidsagenda. Dat jaar bracht de Europese Commissie twee mededelingen uit waarin CCS en/of CCU een decarbonisatierol speelt.

- De Europese Commissie maakte, met haar [mededeling over duurzame energieopwekking](#), kenbaar dat ze een mechanisme wilde uitwerken ter ondersteuning van maximum 12 grootschalige CCS-demonstratieprojecten, die in 2015 operationeel zouden moeten zijn. In diezelfde mededeling werd ook gesteld dat de Commissie zich ertoe engageerde om een duidelijk perspectief te bieden over de datum waarop het noodzakelijk zou zijn dat kolen- en gascentrales een CCS-installatie zouden moeten installeren. Tot op heden werd er op grond hiervan binnen de Europese Unie evenwel geen enkel grootschalig CCS-demonstratieproject gerealiseerd.
- In datzelfde jaar (2007) bracht de Europese Commissie een [mededeling over het energiebeleid in Europa](#) uit; hierin staat het voornemen om “*een duidelijke visie te*

¹⁶¹ IPCC (2019) Summary, p. 21.

¹⁶² IPCC (2018)

¹⁶³ IAMs volgens definitie IPBES: *Interdisciplinary models that aim to describe the complex relationships between environmental, social, and economic drivers that determine current and future state of the ecosystem and the effects of global change, in order to derive policy-relevant insights. One of the essential characteristics of integrated assessments is the simultaneous consideration of the multiple dimensions of environmental problems.*

¹⁶⁴ IPBES (2019), hoofdstuk 4, p. 32 en volgende.

formuleren voor de introductie van CO₂-afvang en -opslag in de EU, een gunstig regelgevingskader voor de ontwikkeling ervan, meer en effectiever investeren in onderzoek, evenals het nemen van internationale actie”.

7.2.2 Europese Bossenstrategie (2013)

De meest recente mededeling over bosbeleid is de [nieuwe EU-bosstrategie ten bate van de bossen en de houtsector](#) uit 2013. Daarin wordt gesteld dat *“hulpbronnefficiëntie in de bossector betekent dat de rijkdommen van het bos zo worden gebruikt dat de effecten op milieu en klimaat zo veel mogelijk worden beperkt en dat prioriteit wordt verleend aan bosproducten die [...] bijdragen aan een betere koolstofbalans.”* En ook dat bosbeheer kan bijdragen aan het temperen van de klimaatverandering mits de rol van bossen als koolstofputten wordt gehandhaafd of versterkt. Verder kunnen houtproducten ook gebruikt worden ter vervanging van koolstofintensieve materialen en brandstoffen¹⁶⁵. Een bosstrategie post 2020 is in opmaak.

7.2.3 Kaderstrategie voor een schokbestendige energie-unie (2015)

De [kaderstrategie](#) voor een schokbestendige energie-unie met een toekomstgericht beleid inzake klimaatverandering werd uitgebracht op 25 februari 2015. Deze mededeling bevat naast een aantal algemene prioriteiten ook enkele aanvullende onderzoeksprioriteiten *“die recht hebben op intensievere samenwerking tussen de Commissie en de lidstaten die deze technologieën wensen te gebruiken”*. Zowel CCS als CCU wordt bij deze onderzoeksprioriteiten vermeld. Hierbij wordt eveneens gesteld dat dit *“een stimulerend beleidskader [vergt], met inbegrip van een hervorming van het emissiehandelssysteem en het nieuwe innovatiefonds, teneinde de bedrijfsomgeving voor ondernemingen en investeerders helderder te maken, wat nodig is om deze technologieën verder te ontwikkelen.”*¹⁶⁶

7.2.4 Lange termijnvisie EU en achtergronddocument bij deze visie (2018)

Zoals reeds aangehaald, in juli 2009 spraken de leiders van de G8 en de Europese Commissie af om de broeikasgasemissies tegen 2050 te reduceren met ten minste 80% onder het niveau van 1990. In oktober 2009 werd door de Europese Raad het Europese doel vastgelegd voor de Europese Unie, namelijk tegen 2050 een reductie van 80-95% onder het niveau van 1990.

Ter ondersteuning hiervan heeft de [European Climate Foundation \(ECF\)](#) een studie uitgevoerd naar feiten om deze doelstelling – met focus op de elektriciteitssector, te kunnen halen. Het resultaat hiervan is de [Roadmap 2050](#) – uitgebracht in 2011. In deze studie wordt gefocust op broeikasgassen overheen alle economische sectoren, met een diepte-analyse van de energiesector ([Energy Roadmap](#)). Via de *back-casting* methode werden verschillende paden uitgestippeld om tot de voor 2050 beoogde reducties te komen. CCS wordt in de *Roadmap 2050* aangehaald in de meeste scenario's¹⁶⁷ en daarom vernoemd als een belangrijke optie voor het koolstofarm maken van zowel de energie- als de industriële sector. Daarbij wordt echter gewaarschuwd dat CCS wel emissies van CO₂ kan vermijden, maar dat het ook 25% meer energie vergt om hiermee te werken ([zie 3.5](#)). Daarnaast wordt gesteld dat een grootschalige ontwikkeling van transport- en opslagsystemen voor CO₂ noodzakelijk zal zijn om CCS succesvol te kunnen ontplooiën in Europa.

¹⁶⁵ EUROPESE COMMISSIE (2013), p. 9.

¹⁶⁶ EUROPESE COMMISSIE (2015), p. 19.

¹⁶⁷ Bij de industriële sector werd CCS opgenomen in de drie hoofdsenario's en bij de industriële sector zelfs in alle scenario's.

In 2018 heeft de Commissie haar langetermijnvisie “[Een schone planeet voor iedereen](#)” uitgebracht in de vorm van een mededeling¹⁶⁸. Het betrof een opvolger op de *Roadmap 2050* – die ook aansluit op de nieuwe doelstellingen uit het Akkoord van Parijs en de bevindingen van het IPCC SR15. De Commissie stelde hierbij (opnieuw) verschillende scenario’s met technologieën en acties voor, die de EU zouden moeten leiden naar een broeikasgasreductie tussen -80% (vergeleken met 1990) tot zelfs netto zero emissies tegen 2050. Het grote verschil met de vorige routemap is dat de exacte *range* van de tussentijdse broeikasreductiedoelstelling nog niet vast ligt.

De langetermijnvisie stelt dat “*Het bereiken van broeikasgasneutraliteit optimale benutting van het potentieel van de op technologie en de circulaire economie gebaseerde opties, grootschalige inzet van aan natuurland gerelateerde koolstofputten, ook in de landbouw- en bosbouwsectoren, en verschuivingen in de mobiliteitspatronen [zal] vereisen.*¹⁶⁹”

Deze route naar een broeikasgasneutrale economie “*zou kunnen verlopen via gezamenlijke actie op basis van zeven essentiële strategische bouwstenen.*¹⁷⁰” De zeven bouwstenen uit de langetermijnvisie zijn de volgende:

- Optimaal gebruikmaken van de voordelen van energie-efficiëntie, met inbegrip van nulmissiegebouwen;
- De inzet van hernieuwbare energiebronnen en het gebruik van elektriciteit optimaliseren om de energievoorziening van Europa geheel koolstofvrij te maken;
- Omarmen van schone, veilige en geconnecteerde mobiliteit;
- Een concurrerende Europese industrie en de circulaire economie als een cruciale randvoorwaarde voor het terugdringen van broeikasgasemissies;
- Een adequate slimme netwerkinfrastructuur en onderlinge verbindingen ontwikkelen;
- De voordelen van de bio-economie ten volle benutten en essentiële koolstofputten creëren;
- De resterende CO₂-emissies aanpakken door middel van koolstofafvang en -opslag.

Van belang voor deze studie zijn bouwstenen zes (over negatieve emissietechnologie) en zeven (over CCS/CCU).

In deze langetermijnvisie wordt (CCS), als zevende bouwsteen, opnieuw als “*noodzakelijk*” beschouwd en dit “*vooral in energie-intensieve industriële sectoren*” en – in de overgangsfase – voor de productie van koolstofvrije waterstof. Daarnaast zou CCS “*ook nodig zijn om CO₂-emissies uit op biomassa gebaseerde energie en industriële installaties af te kunnen vangen en op te kunnen slaan, teneinde voor negatieve emissies te zorgen.*” Zo wordt geconcludeerd dat CCS, samen met de koolstofput van het landgebruik, “*de resterende broeikasgasemissies in onze economie*” zou kunnen “*compenseren*”.

7.2.5 Europees Landbouwbeleid na 2020

Op 1 juni 2018 werden de nieuwe voorstellen voor het landbouwbeleid na 2020 gelanceerd. In de communicatie over deze voorstellen bestempelde de Commissie een hoger ambitieniveau op het gebied van milieu en klimaat als een van de topprioriteiten van het GLB na 2020. Deze aandacht voor milieu en klimaat wordt ook doorvertaald in de overwegingen van de nieuwe voorstellen.

¹⁶⁸ Het is aan de huidige Commissie om dit al dan niet om te zetten in een concrete en bindende visie.

¹⁶⁹ EUROPESE COMMISSIE (2018b), p. 9.

¹⁷⁰ EUROPESE COMMISSIE (2018b), p. 9.

Van belang voor de Lidstaten is vooral het voorstel van Verordening met betrekking tot de opmaak van strategische plannen op lidstaatniveau, dewelke zowel pijler 1 als pijler 2-maatregelen moeten omvatten. In het voorstel is aandacht voor klimaat voornamelijk terug te vinden onder de conditionaliteit (artikelen 11 en 12), het nieuwe systeem van de ecoregelingen (artikel 28) en de maatregelen in het kader van plattelandsontwikkeling (artikelen 64 en 65).

De wetgevende procedure voor het definitief vaststellen van de voorstellen is nog niet afgerond.

7.3 Vlaams beleid

7.3.1 Regeerakkoorden en beleidsnota's

In het verleden werden met betrekking tot de verschillende negatieve emissietechnologieën in de verschillende regeerakkoorden en daarop voortbouwende beleidsnota's aanknopingspunten opgenomen zoals onder andere de taakstellingen met betrekking tot het voorzien van extra bos en natuur in Vlaanderen¹⁷¹ en het concept van blauwgroene diensten¹⁷², alsook naar de maatregelen voorzien onder het deel natuur- en bosbeleid, zoals het realiseren van de instandhoudingsdoelstellingen¹⁷³.

In de Vlaamse [beleidsnota Leefmilieu en Natuur 2009-2014](#) werd aangekondigd dat, in voorbereiding van effectieve afvang- en opslagprojecten, werk zou gemaakt worden van een structureel overleg met en tussen bedrijven die CO₂ uitstoten, transportnetwerken en mogelijke ondergrondse opslagplaatsen in binnen- en buitenland. Het VITO-rapport "[Evaluatie van Evaluatie van het beleidskader en identificatie van beleidsinstrumenten voor het faciliteren van CCUS-projecten in Vlaanderen](#)" uit 2013 heeft getracht hier invulling aan te geven. De studie had als doel te peilen naar de interesse tot deelname aan CCU/S-projecten, een overzicht geven van het bestaande beleids- en regelgevend kader op Vlaams en Europees niveau, de opsomming van knelpunten en een overzicht van mogelijke beleidsinstrumenten die overheden kunnen inzetten voor het realiseren en/of faciliteren van CCU/S-projecten en tot slot een actieplan ter aanvulling en verbetering van het huidig beleids- en regelgevend kader in Vlaanderen. Dit actieplan is, tot op heden, nooit tot uitvoering gekomen.

In de Vlaamse [beleidsnota Omgeving 2014-2019](#) wordt gesteld dat *"er wordt gestart met de ontwikkeling van beleidsinstrumenten voor het faciliteren van de afvang en transport van CO₂ met het oog op de geologische opslag ervan (Carbon Capture and Storage – CCS) en het gebruik ervan in productieprocessen (Carbon Capture, Use and Storage – CCUS)"*.

Het Vlaamse [Regeerakkoord 2019-2024](#) is het eerste Vlaamse regeerakkoord dat verwijst naar CCU en CCS via de volgende paragraaf: *"We ondersteunen de uitbouw van CCS-netwerken en CCU-installaties (Carbon Capture & Storage/Usage), en doen hiervoor maximaal beroep op Europese middelen."*

7.3.2 Vlaams Mitigatieplan 2013-2020 (2013)

Op gewestelijk niveau werd een [Vlaams Mitigatieplan 2013-2020](#) uitgewerkt, als onderdeel van het Vlaams klimaatbeleidsplan.

CCS werd in eerste instantie aangehaald binnen het kader van Europese regelgeving en financiële ondersteuning, maar niet binnen een beleidsmatige (noch financieel ondersteunende)

¹⁷¹ VLAAMSE REGERING (2009), p. 47

¹⁷² VLAAMSE REGERING (2009), p. 55.

¹⁷³ VLAAMSE REGERING (2009), p. 56.

Vlaamse context. Nochtans kreeg de opvang en opslag van koolstof een belangrijke rol toebedeeld, maar dan eerder voor de periode na 2020. Voor de (niet-EU ETS) industrie¹⁷⁴ wordt gesteld dat *koolstofafvang en -opslag nodig zijn*. ... *“Bovenop de invoering van geavanceerde industriële processen en apparatuur, moet bovendien na 2035 op grote schaal koolstofafvang en opslag worden ingevoerd, vooral om de emissies door industriële processen af te vangen (bv. in de cement- en de staalnijverheid)”. CCU werd niet vernoemd. Wel waren er enkele algemene linken of verwijzingen naar hergebruik, recyclage, CO₂-bemesting van serres en valoriseren van CO₂ – zonder concrete uitwerking hiervan.*

Met verwijzing naar negatieve emissietechnologieën staat in dit plan dat “elke vorm van landbouw de klimaatwijzigingen kan afremmen door te werken aan meer koolstofopslag in de bodem en door het verminderen van inputs als meststoffen en chemische gewasbeschermingsmiddelen”.

7.3.3 Vlaams Klimaatbeleidsplan 2013-2020 (2013)

In het Vlaams Klimaatbeleidsplan 2013-2020 (overkoepelend kader) wordt enkel verwezen naar koolstofopvang en -opslag aangaande de Europese CCS- Richtlijn (zie 5.2). Inzake negatieve emissietechnologie wordt gesteld dat de ontwikkelingen rond het GLB kansen kunnen bieden voor emissiereducties in de landbouwsector¹⁷⁵. De mogelijke rol van natuur komt in dit overkoepelend gedeelte vooral aan bod onder het deel “adaptatie”, maar er wordt daar eveneens gesteld dat *“natuur de gevolgen van de klimaatverandering [kan] counteren, zoals door het verkoelend effect van groen in de stad of de sponswerking van groene gebieden die overstromingen kan voorkomen”*¹⁷⁶.

7.3.4 Vlaamse Energievisie (2017)

De [Vlaamse energievisie](#) is een langetermijnvisie die als basis moet dienen voor toekomstig beleid. Deze visie dateert van 19 mei 2017 en is het resultaat van een participatief project “Stroomversnelling¹⁷⁷”. De acties uit deze energievisie werden gebruikt als Vlaamse input voor het nationale energie- en klimaatplan dat eind 2019 ingediend werd bij de Europese Commissie. In de energievisie wordt CCU twee keer als voorbeeld aangehaald van een innovatieve technologie, maar zonder concrete uitwerking ervan. CCS komt hier niet aan bod.

7.3.5 Ontwerp Vlaams Energieplan 2021-2030 (2017)

Het (ontwerp) [Vlaams Energieplan 2021-2030](#), is het eerste geïntegreerde energieplan voor Vlaanderen en de tweede Vlaamse bouwsteen van het geïntegreerd Nationaal Energie- en Klimaatplan (NEKP). Het is gebaseerd op de Vlaamse energievisie. In dit plan wordt er weliswaar gesproken over energieopslag, maar niet over de captatie, transport en opslag voor CO₂ (dus noch CCU, noch CCS).

7.3.6 Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 (2019)

Het Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 is de opvolger van het Vlaams Klimaatbeleidsplan 2013-2020 (zie boven) en een van de twee Vlaamse bouwstenen van het geïntegreerd Nationaal Energie- en Klimaatplan (NEKP).

¹⁷⁴ CO₂-bronnen voor zowel CCS als CCU zijn voornamelijk gerelateerd aan ETS-industrie (en dus, via de Europese ETS-regeling, stuurbaar op Europees beleidsniveau), maar het gebruik van CO₂ via CCU vindt meestal plaats in niet-EU ETS bedrijven (en is dus stuurbaar op gewestelijk niveau).

¹⁷⁵ KABINET JOKE SCHAUVLIEGE (2013), p. 8.

¹⁷⁶ KABINET JOKE SCHAUVLIEGE (2013), p. 16.

¹⁷⁷ Samenwerking tussen de overheid, burgers, middenveld, ...

Inzake CCS wordt, in tegenstelling tot het vorige plan (zie boven), enkel verwezen naar de doelstelling van de Vlaamse overheid om in te zetten op demonstratieprojecten aangaande *low-carbon* technologieën, zoals power-to-X, CCU en CCS. De steun zou verlopen via specifieke ondersteuning van ontwikkelingsprojecten in de latere stadia van het innovatietraject (pilotfase). Daarnaast vernoemt het (ontwerp) Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030 het “*omvormen van CO₂ tot grondstof en CCU*” als “*veelbelovende optie om de nodige emissiereducties te realiseren in de energie-intensieve industrie*”. Om deze technologie te stimuleren worden er in het plan drie “*mogelijke acties*” opgelijst: “(1) *We onderzoeken hoe de bestaande Vlaamse ondersteuningsinstrumenten afgestemd kunnen worden op CCU-projecten, hierbij moet er naast innovatiesteun voor nieuwe processen en producten, ook steun zijn voor demonstratie- en pilot projecten, en de uitbreiding naar productie op grote schaal; (2) We brengen de huidige infrastructuur voor uitwisselingen in kaart (bv. CO₂ en H₂ infrastructuur), waarbij zowel publieke als private netwerken worden bekeken. Dit gebeurt in overleg met de relevante industrieclusters. Daarnaast wordt gekeken naar de meest aangewezen opportuniteiten om via nieuwe technologieën (vergassing, captatie, zuivering,...) en infrastructuurprojecten de netwerken uit te breiden.” Tot slot wordt CCU (naast CCS) vernoemd in het kader van demonstratieprojecten over *low-carbon* technologieën. Hierbij wil de Vlaamse Regering, via specifieke ondersteuning, de ontwikkelingsprojecten in de latere stadia van het innovatietraject (pilotfase) stimuleren.*

Wat betreft de link met negatieve emissietechnologieën, stelt Vlaanderen zich in dit plan als doelstelling om te voldoen aan de *no-debit-rule*¹⁷⁸. De cijfers voor Vlaanderen tekenen in 2016 netto-emissies uit landgebruik op (432 kton CO₂-equivalenten in 2016). Dit betekent dat we onder de huidige boekhoudregels enkel aan de “*no debit rule*” voldoen dankzij Wallonië. Hierbij dient te worden opgemerkt dat uit de meest recente cijfers van VMM¹⁷⁹ blijkt dat Vlaanderen tot en met 2002 wel een netto-sink was. Sinds 2002 is dit gewijzigd en dit vooral door stijgende emissies vanuit akkerland en bebouwing¹⁸⁰.

Om ervoor te zorgen dat het Vlaamse Gewest in de toekomst geen netto emissies veroorzaakt worden in het Vlaams energie- en klimaatbeleidsplan een aantal maatregelen voorgesteld. Deze omvatten de meeste van de in deze nota besproken negatieve emissietechnologieën, maar benoemt ze niet *as such*, i.e. als “*negatieve emissietechnologieën*”. Zo worden in het deel over landgebruik maatregelen voorgesteld met het oog op een verhoogde koolstofopslag in de landbouwsector, in bos en natuur en in houtproducten (en circulaire economie)¹⁸¹. Het plan voert eveneens de optie van een koolstofmarkt in.

In de vakliteratuur kunnen de opgegeven data voor koolstofopslag in de bodem kunnen soms sterk variëren. Specifiek voor het Vlaamse Gewest wordt daarom gewerkt aan de uitbouw van een [bodemkoolstofmeetnetwerk](#). Onder de plannen in het kader van het beleid inzake ruimtelijke ordening¹⁸² komen de groenblauwe netwerken, zowel in een stedelijke omgeving als in de onbebouwde ruimte, zoals vermeld in het witboek BRV in beeld. In dit Vlaams energie- en klimaatbeleidsplan werd eveneens aangekondigd dat er eind 2018¹⁸³ een studie zal uitgevoerd

¹⁷⁸ De *no-debit-rule*, past in het kader van de Europese LULUCF-verordening. Het betekent dat bestaande koolstofvoorraden in het begin van de LULUCF-periode, behoudens de voorziene flexibiliteit, op zijn minst behouden moeten zijn op het einde van de LULUCF-periode.

¹⁷⁹ <https://www.vmm.be/data/emissies-per-sector/overzicht>

¹⁸⁰ Deze cijfers wijken ook sterk af van de cijfers vermeld in het rapport “lozingen in de lucht” van 2017 en zijn waarschijnlijk het gevolg van een herrekening op grond van gewijzigde inzichten of een wijziging in de methodiek van het UNFCC.

¹⁸¹ VLAAMSE REGERING (2019), p.78 en volgende.

¹⁸² i.e. de voorbereidende documenten in aanloop naar het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen.

¹⁸³ De effectieve startdatum was 1 april 2019 om te eindigen op 31 maart 2020.

worden door het Vlaams Departement Omgeving naar de mogelijkheden tot koolstofopslag in diverse landgebruikscategorieën zoals parken, tuinen en andere openbare domeinen

7.3.7 Ontwerpstrategie Vlaams Landbouwbeleid 2021-2027 (2019)

Recent maakte het Departement Landbouw en Visserij een ontwerpstrategie Vlaams Gemeenschappelijk landbouwbeleid voor de periode 2021-2027¹⁸⁴. Deze strategie werd op 2 mei 2019 aan de adviesraden (Minaraad en SALV) voorgelegd en bevat zeven krachtlijnen voor het toekomstig Vlaams landbouwbeleid. Onder krachtlijn 5, een klimaatslimme duurzame land- en tuinbouw intensiveren, wordt er op drie pijlers ingezet. Pijler 1 is gericht op het verminderen van de broeikasgasemissies, pijler 2 is gericht op het stimuleren en beschermen van koolstofopslag. Pijler 3 handelt over adaptatie. Maar ook onder krachtlijn 6, aandacht en zorg voor natuurlijke hulpbronnen, biodiversiteit en landschappen en onder krachtlijn 7, het versterken van de open ruimte, is er aandacht voor koolstofopslag.

8 Toekomstige activiteiten van de Minaraad

De Minaraad stelde eind 2019 een [rollend meerjarenprogramma](#) vast met in hoofdzaak eigen initiatieven voor de komende vijf jaar.

De nu voorliggende studie wordt in dat verband opgevat als voorbereidingselement bij de volgende voorgenomen in het meerjarenprogramma opgenomen projecten:

- **Koolstofopslag via (semi-)natuurlijke processen (2020).** De bevindingen van deze *facts-finding* inzake koolstofopslag in de LULUCF-sector zullen verder worden uitgewerkt en in relatie gebracht met de bestaande regelgeving inzake natuur- en bosbeleid. Op basis van een gezamenlijke *scoping* kan er dan beslist worden te werken aan een proactief advies.
- **Perspectieven diverse technologieën in het kader van de industriële transitie (2021).** Dit eigen initiatief is gericht op de verkenning van technologiesporen die kunnen ingezet worden voor de industriële transitie in de richting van een koolstofarme samenleving (i.e. naast CCS/CCU, ook groene waterstof, elektrificatie, biomassa, circulair enz.), evenals de daartoe benodigde infrastructuur en de daaraan verbonden barrières en kansen, en dit in internationale context. VLAIO heeft in dit verband studiewerk geïnstigeerd. Bij afronding hiervan wordt er hierover een besloten hoorzitting georganiseerd om na te gaan of er, op basis van een gezamenlijke *scoping*, gewerkt kan worden aan een proactief advies.

Beide eigen initiatieven zullen gepaard gaan met de opmaak van bijkomende kennisdocumenten, met raadsinterne werkprocessen en met het organiseren van kennisdelingsmomenten. In beide gevallen wordt beoogd om door de Raad gedragen aanbevelingen te genereren, in de vorm van adviezen op eigen initiatief.

¹⁸⁴ DEPARTEMENT LANDBOUW EN VISSERIJ (2019).

Lijst afkortingen

ACT: *Accelerating CCS Technologies*
AF: *Aforestation*
BECCS: *BioEnergy with Carbon Capture and Storage*
C: Carbon = koolstof
CCS: *Carbon Capture and Storage*
CCU: *Carbon Capture and Usage*
CDR: *Carbon Dioxide Removal*
CEF: *Connecting Europe Facility*
CO₂: *Carbon dioxide* = koolstofdioxide
CO₂-eq.: CO₂-equivalent
DACCS: *Direct Air Capture with Carbon Capture and Storage*
DDO: Decreet Diepe Ondergrond
EASAC: *European Academies' Science Advisory Council*
ECF: *European Climate Foundation*
EEPR: *European Energy Programme for Recovery*
EERA: *European Energy Research Alliance*
EEZ: Europese Economische Zone
EI: *European Industrial Initiatives*
EOR: *Enhanced Oil Recovery*
ETS: *Emission Trading System*
EW: *Enhanced weathering*
FANC: Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle
GLB: Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (Europees)
IAMS: *integrated assessment models*
IEA: Internationaal Energie Agentschap
ILVO: Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek
IMO: *International Maritime Organization*
INBO: Instituut voor natuur- en bosonderzoek
IPBES: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
LCA: *Life Cycle Analysis*
LSI: *Later Stage Innovation*
LULUCF: *Land Use, Land Use Change and Forestry*
Mton: Megaton = 1000 kiloton = 10⁶ ton
Kton: kiloton = 1000 ton
MER: Milieu-Effect-Rapport
MIP: Milieu- en energietechnologie Innovatie Platform
MOT: *Moonshot research trajectories*
MRR: *mechanism for monitoring and reporting greenhouse gas emissions*
MW: MegaWatt
NEKP: Nationaal energie- en klimaatbeleidsplan
NER: *New Entrants Reserve*
OF: *Ocean Fertilisation*
OSPAR: Verdrag ter bescherming van het mariene milieu noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan
PBL: Planbureau voor de Leefomgeving
PCI: *Project of Common Interest*
REFIT: *Regulatory Fitness and Performance*
RF: *Reforestation*
RIE: Richtlijn inzake industriële emissies
SBO: strategisch basisonderzoek
SCS: *Soil Carbon Sequestration*
SET: Europese Strategic Energy Technology Plan
VITO: Vlaams instituut voor technologisch onderzoek
VLAIO: Vlaams Agentschap innoveren en ondernemen

Lijst figuren

- Figuur 1. Het (verstoorde) evenwicht tussen natuurlijke CO₂-captatie en antropogene CO₂-uitstoot; bron: Minaraad (2020) (p. 5).
- Figuur 2. Synthese figuur met CO₂-uitstoot, -opvang, -transport, -opslag en -gebruik. Bron: Minaraad (2020) (p. 8).
- Figuur 3. Synthese figuur negatieve emissie-technologieën. Bron: Minaraad (2020) (p. 11).
- Figuur 4. Kunstmatige en rechtstreekse afvangstrategie via Direct Air Capture (p. 15).
- Figuur 5. Synthese figuur betreffende CCS/CCU. Bron: Minaraad (2020) (p. 17).
- Figuur 6. Gebruik van koolstofdioxide. Bron: CHIANG, P.C. and PAN, S.Y. (2017) (p. 23).
- Figuur 7. emissiereducties voor de belangrijkste industriële subsectoren: cement, staal, chemie en ijzer – per mitigatiestrategie, CTS vergeleken met RTS, 2017-2060 (bron IEA) (p. 44).
- Figuur 8. Overzicht periodes waarin, bij CCU, CO₂ terug afgegeven wordt. Bron: House of Parliaments (2018) (p. 46).
- Figuur 9. Analoog overzicht als dat voor CCU, met overzicht periodes waarin, bij het gebruik van biomassa, CO₂ terug afgegeven wordt. Bron: Minaraad (2019) (p. 49).
- Figuur 10. De nood aan extra energie voor de scheiding van CO₂ Bron: KVAB (2015) (p. 50).
- Figuur 11. De nood aan extra energie voor de scheiding van CO₂ Bron: KVAB (2015) (p. 58).
- Figuur 12. De vier illustratieve paden/scenario's om binnen 1,5°C opwarming te blijven (IPCC SR15) (p. 59).
- Figuur 13. Parijs Akkoord met negatieve emissies vanaf 2030. Bron: Anderson & Peters (2019) (p. 59).

Lijst tabellen

- Tabel 1: overzicht van de potentiëlen voor NET op wereldvlak (gebaseerd op Fuss et al., 2018) (p. 43).
- Tabel 2: overzicht van de potentiëlen voor NET op wereldvlak (gebaseerd op Fuss et al., 2018) (p. 47).
- Tabel 3: technisch potentieel, geschatte kosten en kosteneffectiviteit van CCS (p. 53).
- Tabel 4: kosten van transport via pijpleidingen van CO₂ in € per ton (p. 54).
- Tabel 5: overzicht van de kosteneffectiviteit van natuurlijke en halfnatuurlijke negatieve emissietechnologieën (p. 55).

Bibliografie

[Voor een deel van de benutte bronnen is de verwijzing zonder meer in voetnoten opgenomen].

BROECKX ET AL (2013), Raming van de baten geleverd door het Vlaamse NATURA 2000-netwerk, november 2013

CHIANG, P.C. and PAN, S.Y. (2017) . *Carbon Dioxide Mineralization and Utilization*. Springer, Singapore, 2017

DEPARTEMENT LANDBOUW & VISSERIJ (2019), Ontwerp strategie Vlaams Gemeenschappelijk Landbouwbeleid 2021-2027, 2 mei 2019.

D'HOSE EN RUYSSCHAERT (2017), Mogelijkheden voor koolstofopslag onder gras- en akkerland in Vlaanderen. ILVO mededeling 231, juli 2017.

ECOFYS (2017), *Assessing the potential of CO utilisation in the UK. Ecofys (2017). Assessing the potential of CO utilisation in the UK.*, 26 mei 2017.

EUROPEES PARLEMENT EN RAAD (2018), Richtlijn (EU) 2018/2001 van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen (herschikking), PB L328, 21 december 2018.

EUROPESE COMMISSIE (2013), Mededeling. Een nieuwe EU-bosstrategie ten bate van de bossen en de houtsector, COM(2013) 659 final, Brussel, 20 september 2013.

EUROPESE COMMISSIE (2015), Pakket energie-unie. Mededeling van de Commissie. Een kaderstrategie voor een schokbestendige energie-unie met een toekomstgericht beleid inzake klimaatverandering, COM(2015) 80 final, Brussel, 25 februari 2015.

EUROPESE COMMISSIE (2016), Verslag van de Commissie aan het Europees Parlement en de Raad betreffende de tenuitvoerlegging van het Europees energieprogramma voor herstel en het Europees Fonds voor energie-efficiëntie, SWD(2016), 374 final, Brussel, 28 november 2016.

EUROPESE COMMISSIE (2018a), Voorstel voor een Verordening van het Europees Parlement en de Raad tot vaststelling van voorschriften inzake steun voor de strategische plannen die de lidstaten in het kader van het gemeenschappelijk landbouwbeleid opstellen (strategische GLB-plannen) en die uit het Europees Landbouwgarantiefonds (ELGF) en het Europees Landbouwfonds voor plattelandsontwikkeling (Elfpo) worden gefinancierd, en tot intrekking van Verordening (EU) nr. 1305/2013 van het Europees Parlement en de Raad en van Verordening (EU) nr. 1307/2013 van het Europees Parlement en de Raad, COM(2018) 392 final, Brussel 1 juni 2018.

EUROPESE COMMISSIE (2018b), Mededeling van de Commissie. Een schone planeet voor iedereen. Een Europese strategische langetermijnvisie voor een bloeiende, moderne, concurrerende en klimaatneutrale economie, COM(2018) 773 final, Brussel, 28 november 2018.

EUROPESE COMMISSIE (2018c), In-depth analysis in support of the commission communication COM(2018) 773, Brussel, 28 november 2018.

FERKET, H. en DEBACKER, T., "sleutelen aan een structuurvisie voor de diepe ondergrond in Vlaanderen", TIJDSCHRIFT RUIJTE, 2017, n° 34, p. 42 -45.

FUSS ET AL. (2018), *Negative emissions – Part 2: Costs, potentials and side effects*, *Environ. Res. Lett.* 13, 22 mei 2018.

GLOBAL CCS INSTITUTE (2017), *Global status of CCS 2017*.

IEA (2019), *Transforming Industry through CCUS*, mei 2019.

IOGP (2019), *The potential for CCS and CCU in Europe*. Report to the thirty second meeting of the European Gas Regulatory Forum 5-6 June 2019.

IPBES (2019), *The global assessment report on biodiversity and ecosystem services*, mei 2019.

IPCC SR15 (2018), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (Masson- Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Portner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pean, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)

IPCC (2019), *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.).

KABINET JOKE SCHAUVLIEGE (2013), *Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020. Overkoepelen luik*. Brussel, juni 2013.

KOELEMEIJER ET AL. (2018). *Kosten energie- en klimaattransitie in 2030 – update 2018*, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 28 maart 2018;

LAENEN ET AL (2013), *Evaluatie van het beleidskader en identificatie van beleidsinstrumenten voor het faciliteren van CC(U)S-projecten in Vlaanderen*, VITO 2013/TEM/R/32, Studie uitgevoerd in opdracht van: Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, Juni 2013

LETTENS ET AL. (2014), Hoofdstuk 24 – *Ecosysteemdienst regulatie van het globaal klimaat*. In Stevens et al. *Natuurrapport – Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen. Technisch rapport*. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. INBO.M.2014.1988582, Brussel.

MARTENS ET AL. (2015), *De chemische weg naar een CO₂-neutrale wereld*. KVAB Press, 4 november 2015.

MINARAAD (2009), *Advies 2009|03 over het voorontwerp van decreet betreffende de diepe ondergrond*, 23 januari 2009.

MINARAAD (2014), *Advies 2014|014 over het CCS Besluit*, 24 april 2014

MINARAAD (2016), *Advies 2016|012 naar aanleiding van de adviesvraag van het Vlaams Parlement inzake het te voeren klimaatbeleid*, 2 juni 2016

MINARAAD (2018), *Briefing nota 02 Vlaams klimaatbeleid en de landgebruikssector*.

MINARAAD EN SALV(2016), *Gezamenlijk advies 2016|021 over het voorontwerp van besluit van de Vlaamse Regering houdende vaststelling van de criteria voor geïntegreerd natuurbeheer*

MINARAAD, SALV EN SERV, (2018), *Advies 2018|024 Sporen naar een krachtiger klimaat en energieplan 2030*, Brussel 8 oktober 2030

MINARAAD EN SERV (2009), *Advies 2009|013 over het Voortgangsrapport 2008 van het Vlaams Klimaatbeleidsplan 2006-2012*, 2 april 2009.

MINARAAD EN SERV (2011), *Advies 2011|23 over het besluit diepe ondergrond*, 28 april 2011.

MINX ET AL. (2018), *Negative emissions – Part 1: Research landscape and synthesis*, *Environ. Res. Lett.* 13, 22 mei 2018.

MIRA (2012), *Milieurapport Vlaanderen, Themabeschrijving Klimaatverandering*. Brouwers J., Vlaamse Milieumaatschappij, november 2012.

PIESSENS ET AL. (2009), *Policy support system for carbon capture and storage «PSS-CCS»*. Final Report Phase 1. Brussels: Belgian Science Policy 2009 – 268 p. (Research Programme Science for a Sustainable Development.

SHUANG GAO ET AL. (2016), *Identification of a representative dataset for long-term monitoring at the Weyburn CO₂-injection enhanced oil recovery site, Saskatchewan, Canada*. International Journal of Greenhouse Gas Control 54 (2), p. 454-465.

STRENGERS ET AL. (2018). Negatieve emissies. Technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 7 februari 2018.

THE ROYAL SOCIETY (2017), *The potential and limitations of using carbon dioxide*, London, 2017.

TITS ET AL. (2016), Bodemvruchtbaarheid van de akkerbouw- en weilandpercelen in België en noordelijk Frankrijk (2012-2015). Bodemkundige Dienst van België.

VLAAMSE REGERING (2009), Een daadkrachtig Vlaanderen in beslissende tijden. Voor een vernieuwende, duurzame, en warme samenleving, juli 2009.

VLAAMSE REGERING (2017), Ontwerp van decreet houdende instemming met de wijziging van artikel 6 van het Protocol van Londen van 1996 bij het Verdrag inzake de voorkoming van verontreiniging van de zee ten gevolge van het storten van afval en andere stoffen van 1972, aangenomen te Londen op 30 oktober 2009.

VLAAMSE REGERING (2019), Vlaams klimaatbeleidsplan 2021-2030, Brussel, 20 juli 2018.

VMM (2017). Lozingen in de lucht 2000-2016.

VWEU (2016), Verdrag betreffende de werking van de Europese Unie (geconsolideerde versie), Publicatieblad van de Europese Unie C 2020/47 en volgende, 7 juni 2016.