Quickscan behoefte naar een onderzoeksprogramma gericht op negatieve CO_2-emissie

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX AMERSFOORT
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

T +31 88 348 20 00
F +31 33 463 36 52
info@rhdhv.com
royalhaskoningdhv.com

Quickscan negatieve CO_2 emissie

RVO

Status: Finaal

Datum: 15 maart 2022

Inhoud

Samenvatting 1

1 Inleiding 4

2 Methode en leeswijzer 5

3 De definitie van negatieve emissie 7

3.1 Overzicht gehanteerde definities 7

3.2 Rode draad in de definities 8

3.3 Voorstel definitie en randvoorwaarden 10

4 Negatieve CO_2-emissie concepten 12

4.1 Overzicht negatieve CO_2-emissie concepten 12

4.2 Kansrijke concepten en potentie Nederland 17

5 Wat speelt er in Nederland? 21

5.1 Reeds actieve organisaties in Nederland 21

5.2 Huidige innovatieprogramma's en -projecten 22

6 Wat speelt er in Europa? 26

6.1 Beleid 26

6.2 Onderzoek en programma's 28

6.3 Projecten 29

7 Behoefte aan onderzoeksprogramma en richting 33

7.1 Genoemde hiaten en barriéres 33

7.2 Onderzoeksprogramma richtingen 34

7.3 Mogelijkheid samenwerking met EU 35

7.4 Zienswijze NGO's 35

8 Conclusie 36

Bijlage A. Begrippenlijst 38

Bijlage B. Overzicht van geïnterviewde personen/organisaties 39

Bijlage C. CO_2 en broeikasgasemissies in Nederland 40

Samenvatting

Met de motie d.d. 8 juli 2021 van Henri Bontenbal (CDA) en Mustafa Amhaouch (CDA) als aanleiding is verkend of een onderzoeksprogramma gericht op de ontwikkeling van technieken en ketens die leiden tot negatieve CO_2-emissie wenselijk is. Het gaat daarbij om het langs biologische of technische weg verwijderen van CO_2 uit de lucht waarna vastlegging plaatsvindt om zo te komen tot afremming en uiteindelijk omkering van klimaatverandering op aarde. De verkenning omvatte een literatuurstudie en interviews met vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven, de onderzoekswereld en NGO's.

De noodzaak om te komen tot vermindering van broeikasgassen in de atmosfeer is groot zo toont IPCC aan. Verwijdering van CO_2 uit de atmosfeer is nodig om zo niet vermijdbare broeikasgasemissies te compenseren én om bij te dragen aan een trendbreuk in de almaar stijgende temperatuur op aarde. Het communiqué van de EU d.d. 15 december 2021 over 'Duurzame Koolstof Cycli' onderschrijft dit en geeft aan dat 2%punt van de Europese 55% CO_2-reductiedoelstelling voor 2030 t.o.v. 1990 moet worden bereikt met negatieve CO_2-emissie.

De verkenning heeft duidelijk gemaakt dat op drie terreinen stappen moeten worden gezet:

1. Beleidsontwikkeling Rijksoverheid gericht op negatieve CO_2-emissie;
2. Onderzoek gericht op ketens en technieken die CO_2 uit de lucht halen en vastleggen;
3. Onderzoek gericht op het kunnen maken en uitvoeren van beleid.

Uit de verkenning blijkt dat een op Nederland gerichte aanpak van negatieve CO_2-emissies gewenst is. Deze aanpak dient aanvullend te zijn op het huidige beleid waar het gaat om het voorkomen van CO_2-emissie (energiebesparing en duurzame energie) en het afvangen en opslaan van CO_2-emissie in de industrie en bij de productie van elektriciteit en warmte (CCS). Een onderzoeksprogramma maakt deel uit van deze aanpak. In het onderzoeksprogramma moet de nadruk liggen op die technieken en ketens die bij toepassing in Nederland substantieel kunnen bijdragen aan het halen van CO_2-doelen op middellange termijn (2030) en lange termijn (2050 en daarna). De volgende ketens zijn daarbij in ieder geval van belang, waarbij CO_2 uiteindelijk wordt vastgelegd in producten of opgeslagen in de ondergrond (CCS):

1. Biobased economy waarbij koolstofhoudende reststromen worden vastgelegd;
2. Directe verwijdering van CO_2 uit de lucht (DAC-technologie) geïntegreerd in de industrie;
3. Koolstof vastleggen in minerale en biologische bouwstoffen.

Van de biologische routes zoals bebossing en herbebossing, biokool en koolstofopslag in de bodem en mariene CO_2-opslag is het waarschijnlijk dat binnen de Nederlandse context hier vooral de ecologische waarde hoog kan zijn maar dat de bijdrage in termen van tonnen CO_2 vooralsnog beperkt lijkt te zijn.

Duidelijk is geworden dat onderzoek zich niet alleen moet richten op technieken en schakels in de koolstof / CO_2-ketens maar ook op het beantwoorden van onder andere de volgende vragen:

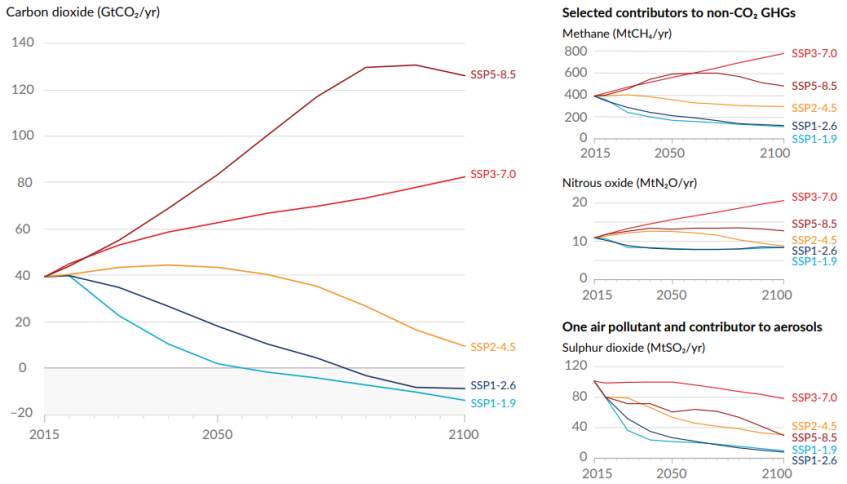
1. Wat is de kosteneffectiviteit beschouwd over de gehele keten, inclusief neveneffecten?
2. Hoe bepalen wij dat een keten daadwerkelijk, permanent en netto leidt tot negatieve CO_2?
3. Hoe kunnen wij de prestatie van een keten meten in termen van ton CO_2 per jaar vastgelegd?
4. Wat is een passend instrumentarium om negatieve CO_2-ketens te beheren en stimuleren?
5. Hoe laten negatieve CO_2-ketens zich inpassen in Nederland?
6. Welke meekoppelkansen doen zich voor en wat zijn de negatieve effecten?

Aanbevolen wordt om aan te haken op internationaal lopende onderzoeksprogramma's om zo kennis te combineren en tot versnelde toepassing van negatieve CO_2-ketens in Nederland te komen.

Negatieve CO_2-emissies zijn essentieel om de Parijsdoelstellingen te halen (IPCC, 2021)

1 Inleiding

Om de impact van klimaatverandering tegen te gaan moet de CO_2-concentratie in onze atmosfeer worden gestabiliseerd of beter nog worden verlaagd. Een belangrijk aspect van het verlagen van de CO_2-concentratie is minder CO_2 uit stoten. Echter, om de Parijsklimaatdoelstelling van maximaal 1,5°C opwarming te halen is uitstoot verminderen alleen niet toereikend. Hiervoor zal er ook actief CO_2 uit de atmosfeer moeten worden gehaald. In Figuur 1 zijn de toekomstige CO_2-concentraties voor vijf opwarming scenario's van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) weergegeven. Bij scenario's SSP1-1.9 (gemiddeld 1,5°C opwarming) en SSP1-2.6 (gemiddeld 1,9°C opwarming) is de CO_2 emissie vanaf de tweede helft van de 21ste eeuw negatief.



Figuur 1 Toekomstige emissies CO_2 voor de verschillende IPCC scenario's[1]

De CO_2-emissie moet negatief zijn om zo de ook op termijn positieve emissie van overige broeikasgassen (Figuur 1: methaan, stikstofoxiden en zwavel dioxiden) te compenseren. De CO_2-emissie moet ook negatief zijn om zo de CO_2-concentratie in de atmosfeer dusdanig te verlagen dat de klimaatverandering een halt wordt toegeroepen en de gemiddelde temperatuur op aarde stabiliseert en zelfs weer af gaat nemen.

Om de CO_2-concentratie te verlagen zijn er 'negatieve CO_2-emissie oplossingsrichtingen nodig. Dit zijn technologieën die CO_2 uit de atmosfeer afvangen en vervolgens langdurig opslaan. Omdat deze technieken nog in de kinderschoenen staan hebben op 8 juli 2021 Henri Bontenbal (CDA) en Mustafa Amhaouch (CDA)[2] het Kabinet gevraagd om na te gaan of een Nederlands onderzoeksprogramma negatieve CO_2-emissie wenselijk is en zo ja waarop dit programma zich dan dient te richten. Dit nader vast te stellen in samenspraak met onderzoeksinstellingen en bedrijven.

Naar de vraag van deze motie is door Royal HaskoningDHV op twee manieren onderzoek gedaan. Allereerst is er een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de beschikbare negatieve CO_2-concepten en ten tweede zijn een reeks aan interviews gehouden met experts bij bedrijven, onderzoeksinstellingen en organisaties. Tezamen heeft dit geleid tot een beeld van de huidige stand van zaken, een inzicht in de noodzaak voor een onderzoeksprogramma en hoe zo'n onderzoeksprogramma het beste kan worden opgezet. In deze rapportage vindt u de resultaten van deze verkenning.

[1] https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

[2] *Motie Bontebal 8 juli 2021* https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2021Z13159&did=2021D28184

2 Methode en leeswijzer

De verkenning is opgezet om in samenspraak met onderzoeksinstellingen en bedrijven te bezien of, en zo ja, gericht op welke technologieën een onderzoeksprogramma nodig is om zo te komen tot het realiseren van negatieve CO_2-emissie. De verkenning is opgedeeld in vier stappen.

1. Definiëren van negatieve emissies

Als onderdeel van de verkenning is het allereerst van belang om vast te stellen wanneer van een negatieve CO_2-emissie gesproken wordt. Er bestaat onwetendheid en onduidelijkheid over de definitie. Aan de hand van literatuuronderzoek en interviews worden gehanteerde definities en hieraan gerelateerde discussiepunten geïdentificeerd, zie Hoofdstuk 3.

2. Identificeren relevante oplossingsrichtingen Nederland

Vervolgens worden verschillende oplossingsrichtingen, en indien relevant inclusief de daarbij behorende technieken, beschreven en wordt bepaald welke naar verwachting het meest relevant zijn voor Nederland, zie Hoofdstuk 4. Omdat bij negatieve CO_2-emissie er niet noodzakelijkerwijs sprake is van een technologie sec, spreken wij in deze verkenning van negatieve CO_2-emissie concepten.

3. Samenwerkingsmogelijkheden Nederland en EU

Het is belangrijk om in kaart te brengen welke organisaties al actief zijn op het gebied van onderzoek en technologische ontwikkeling en wat hun plannen zijn voor de komende jaren. Dit inzicht biedt mogelijkheden voor samenwerking of versterking. Voor een overzicht, zie Hoofdstuk 5 en 6.

4. Vaststellen van hiaten en barrières die leiden tot de noodzaak voor een onderzoeksprogramma

Door vast te stellen wat de hiaten en barrières zijn bij het realiseren van negatieve CO_2-emissie kan worden vastgesteld op welke onderwerpen nieuwe programma's en projecten gewenst zijn of intensivering van de aanpak gewenst is, zie Hoofdstuk 7. Deze verkenning geeft aan of er een noodzaak is voor een onderzoeksprogramma, en zo ja, in welke richting. De verkenning geeft nog geen invulling aan een onderzoeksprogramma.

Interviews en bureaustudie

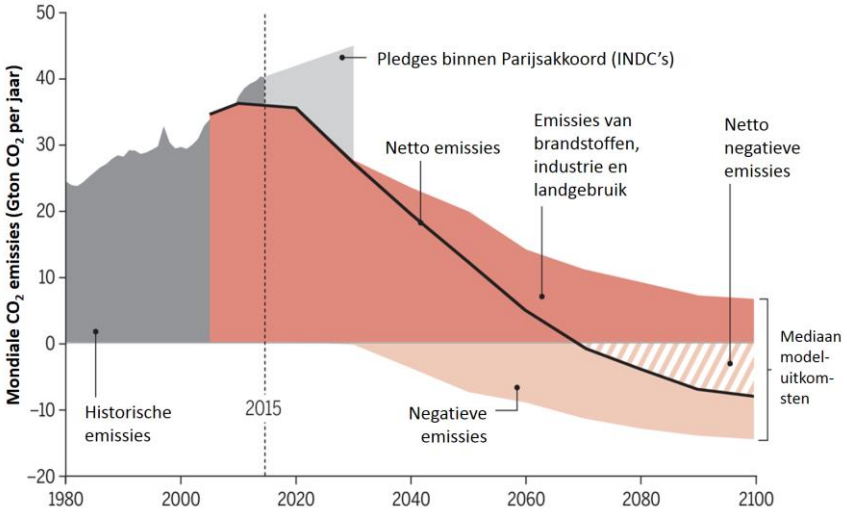
Voor dit onderzoek zijn in totaal 20 partijen geïnterviewd. Het gaat om twee grote industriële partijen twee energiebedrijven, één AVI, één biobased bedrijf, drie negatieve CO_2-emissie technologiebedrijven, zeven onderzoeksinstellingen, twee milieuorganisaties en één brancheorganisatie. De geïnterviewde partijen zijn op elk van de vier stappen in dit onderzoek bevraagd. Dit is gedaan in een kader dat breder is dan technologie alleen. Maatschappelijke, beleidsmatige en economische aspecten zijn ook aan bod gekomen. De resultaten zijn geaggregeerd en verwerkt in het rapport.

De informatie uit de interviews is aangevuld met bureaustudie over gehanteerde definities, oplossingsrichtingen en internationale ontwikkelingen die op dit moment plaatsvinden.

Wanneer
is een CO_2
emissie
negatief?

3 De definitie van negatieve emissie

Omvangrijke negatieve CO_2-emissie is nodig, hoe eerder hoe beter maar conform het Parijs-akkoord zeker vanaf 2030, zie Figuur 2 [3]. Niet alleen om de stijging van broeikasgasemissies af te remmen en om te buigen naar een daling. Maar ook, in aanvulling op autonome processen van CO_2-vastlegging en ter compensatie van broeikasgasemissies die op de lange termijn onvermijdelijk zijn [4].



Figuur 2: Het Parijs-akkoord vereist een omvangrijke negatieve CO_2-emissie, te beginnen vanaf ongeveer 2030, om zo voor 2070 netto negatief te zijn
INDCs = Intended Nationally Determined Contributions.

Maar er is nog geen eenduidigheid over de precieze definitie van negatieve CO_2-emissie. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van gehanteerde definities en de belangrijkste discussiepunten.

3.1 Overzicht gehanteerde definities

Het woordgebruik en definities rond het onderwerp negatieve CO_2-emissie zijn geïnventariseerd. Dit is zowel nationaal als internationaal verkend alsook binnen de wetenschap, beleidsmatig en in de communicatie met stakeholders. Daarbij zijn vooral vooraanstaande referenties gebruikt die veelvuldig geciteerd worden.

- **Tanzer & Ramirez, 2019 When are negative emissions negative emissions? –** De definitie is vierledig: 1). Fysieke broeikasgassen worden uit de atmosfeer verwijderd. 2). De verwijderde gassen worden vastgelegd op een manier die bedoeld is om permanent te zijn. 3). Stroomopwaartse en stroomafwaartse broeikasgas- emissies die samenhangen met het verwijderings- en opslagproces, zoals de oorsprong van biomassa, het energieverbruik en de nevenproducten, worden bepaald en opgenomen in de broeikasgas balans. 4). De totale hoeveelheid verwijderd en permanent opgeslagen atmosferische broeikasgassen is groter dan de totale hoeveelheid broeikasgassen

[3] *Anderson, K. & Peters, G. (2016) 'The trouble with negative emissions', SCIENCE 354 (6309): 182-183 http://science.sciencemag.org/content/sci/354/6309/182.full.pdf.*

[4] *PBL – Negatieve emissies, technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland blz. 20 (2018)*

die in de atmosfeer wordt uitgestoten tijdens het proces en de daarmee samenhangende keten.

- **PBL, 2018 Achtergrondstudie negatieve emissies, Bart Strengers et all.** – Deze studie geeft geen expliciete definitie, maar werkt indirect wel met een definitie doordat een aantal technieken/routes geevalueerd worden op hun negatieve CO_2-emissie potentieel bij toepassing in Nederland.
- **CEPS, 2021, Setting the context for an EU policy framework for negative emissions, scoping paper -** Meldt in zijn abstract: Negatieve CO_2-emissies – de verwijdering van kooldioxide uit de atmosfeer – zullen in de EU en wereldwijd nodig zijn om de klimaatdoelstellingen op de lange termijn te halen.
- **IPCC, 2018 -** Het IPCC definieert negatieve emissies als: Verwijdering van broeikasgassen uit de atmosfeer door opzettelijke menselijke activiteiten, dat wil zeggen naast de verwijdering die zou plaatsvinden via natuurlijke koolstofcyclusprocessen. Een situatie van netto negatieve emissies wordt bereikt wanneer door menselijke activiteiten meer broeikasgassen uit de atmosfeer worden verwijderd dan erin worden uitgestoten. Wanneer er meerdere broeikasgassen bij betrokken zijn, hangt de kwantificering van negatieve emissies af van de gekozen klimaatmaatstaf om de emissies van verschillende gassen te vergelijken (zoals het aardopwarmingsvermogen, het globale temperatuurveranderingspotentieel en andere, evenals de gekozen tijdshorizon).
- **IEA, 2020 Going carbon negative: what are the technology options? -** Om CO_2-negatief te worden, moet een bedrijf, sector of land meer CO_2 uit de atmosfeer halen dan het uitstoot.

3.2 Rode draad in de definities

Uitgangspunt bij de inventarisatie is dat negatieve CO_2-emissie leidt tot een afname van de CO_2-concentratie in onze atmosfeer en dit wordt veroorzaakt door menselijk handelen in aanvulling op natuurlijke processen die CO_2 uit onze atmosfeer absorberen.

Permanentie en wanneer is een emissie negatief?

Op de definitie van Tanzer & Ramirez na, wordt er in de definities uit paragraaf 3.1 geen invulling gegeven aan de permanentie van het verwijderen van emissies uit de atmosfeer. Hoe lang moet de CO_2 worden vastgelegd opdat hieraan de kwalificatie negatief aan kan worden toegekend? Over het algemeen is er een voorkeur voor het zo lang mogelijk opslaan van emissies. Dit kan bijvoorbeeld via opslag in lege gasvelden.

Maar er wordt ook gesproken over een periode van minimaal 100 jaar [5], omdat in deze eeuw het broeikasgaseffect en daarmee samenhangende klimaatverandering het grootst is. Juist in deze periode is het dan nodig om over technieken en concepten te beschikken waarmee CO_2 voor een langere tijd wordt vastgelegd.

[5] *Microsoft, XPRIZE Foundation: durable sequestration*

Afbakening keten en netto negatief

Negatieve emissies komen veelal tot stand uit een keten van activiteiten. Denk bijvoorbeeld aan een biomassacentrale met CO_2-afvang en -opslag. Allereerst moeten er bomen geplant en gekapt worden, vervolgens worden deze bomen getransporteerd waarbij reststromen als biomassa verbrand worden in een energiecentrale. Tot slot worden de emissies afgevangen en opgeslagen (CCS). Volgens alle definities moeten er meer broeikasgas-emissies uit de atmosfeer worden verwijderd dan worden uitgestoten door de activiteiten in de keten. Punt van discussie is waar de grenzen van de keten liggen waarover bepaald wordt of een emissie netto negatief is. Ook wanneer sprake is van een keten die als voldoende effectief wordt gezien.

Meetbaarheid & monitoring

Onderdeel van de discussie is de meetbaarheid. Hoe stellen wij vast dat daadwerkelijk sprake is van negatieve CO_2-emissie? De geëmitteerde en opgenomen CO_2 moet gemeten en gemonitord worden voor elk onderdeel van de keten. Voor sommige negatieve emissie concepten is dat een probleem. Bijvoorbeeld in het geval van versnelde verwering is het in veldcondities moeilijk om de CO_2-opname nauwkeurig te meten. Onderzoeksgroepen zijn bezig om te kijken hoe de effectiviteit beter gemeten kan worden.

Juist wanneer het gaat om opslag voor een periode van 100 jaar of meer worden meetbaarheid en monitoring een belangrijke factor. Denk bijvoorbeeld aan het opslaan van CO_2 in de bouw via hout of olivijn voor langere tijd. Dit zou betekenen dat allereerst huidige bouwstandaarden aangepast moeten worden zodat dit op grote schaal toepasbaar wordt. Vervolgens moet er een goed recycling systeem opgezet worden die waarborgt (bestuurlijk, juridisch en uitvoerend) dat de CO_2 ook daadwerkelijk voor 100 jaar of meer opgeslagen blijft.

Meetbaarheid en monitoring

Wanneer het gaat om vastlegging van CO_2 voor een periode van 100 jaar of meer zijn meetbaarheid en monitoring essentiële factoren. Het gaat om een objectieve en verifieerbare vaststelling.

Het systeem moet robuust zijn en onverwachte veranderingen in de toekomst mogen niet leiden tot emissies.

Organiseren monitoring & risico's

Tot slot moet gegarandeerd worden dat er een monitoringsysteem is voor de komende 100 jaar die de negatieve emissies over de hele keten meet. De keten kan in deze 100 jaar veranderen, bijvoorbeeld door calamiteiten als bosbranden of recyclingbedrijven die failliet gaan. Het monitoringssysteem moet robuust zijn, zodat negatieve emissies niet leiden tot emissies. Een belangrijk vraagstuk is hoe zo'n systeem georganiseerd moet worden, e.g.; wie is verantwoordelijk, wie draagt toekomstige kosten als het niet loopt zoals gepland en hoe wordt er indien nodig gecompenseerd.

3.3 Voorstel definitie en randvoorwaarden

In de aanloop naar een mogelijk onderzoeksprogramma negatieve CO_2-emissie wordt op basis van de huidige inzichten de volgende definitie voorgesteld:

- De keten en daarin opererende technieken en activiteiten leiden tot een netto negatieve emissie in CO_2-equivalenten. Het gaat daarbij om de verwijdering van CO_2 uit de atmosfeer door menselijk handelen met gebruikmaking van biologische en/of chemisch fysische processen.
- Heeft betrekking op de gehele keten en de daarmee samenhangende broeikasgasemissies. Betreft in ieder geval scope 1 en scope 2 emissies in de keten. Een en ander vast te stellen via LCA.
- Leidt tot aantoonbare permanente vastlegging van CO_2 voor een periode van minimaal 100 jaar in water, bodem, grondstoffen of producten.

Randvoorwaarde is daarbij dat de keten opereert op een duurzame wijze en per saldo, aantoonbaar en verifieerbaar leidt tot een positief effect voor mens en milieu. Dit gespiegeld aan duurzaamheidseisen die nu gangbaar zijn rond het gebruik van biomassa (RED II [6]) en de UN duurzaamheidsdoelen[7].

Onderzoeken en activiteiten in het kader van een mogelijk onderzoeksprogramma dienen getoetst te worden aan de definitie en de randvoorwaarden. Hieraan moet voldaan worden of het onderzoek moet leiden tot het op termijn kunnen voldoen aan de definitie en randvoorwaarden.

Belangrijk is om de definitie aan te passen aan voortschrijdend inzicht.

[6] *Zie ook https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/biomass_en*

[7] *Zie ook https://sdgs.un.org/goals*

“Hoe meer de broeikasgas-emissies in de hele keten verminderd worden, hoe effectiever negatieve CO_2-emissie concepten zijn”

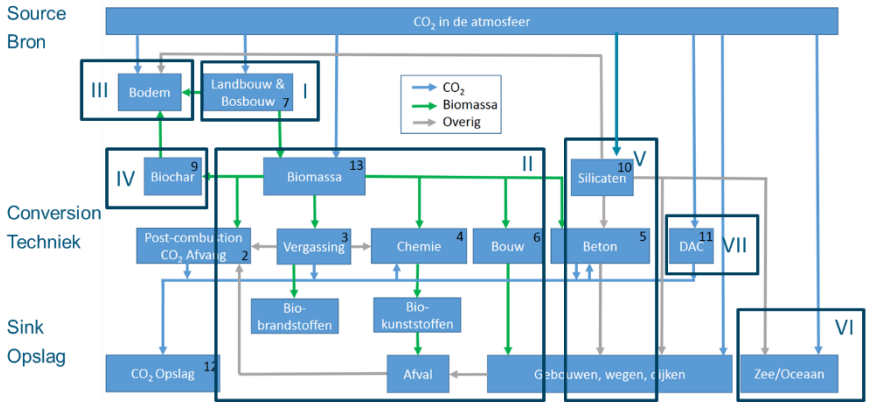
4 Negatieve CO_2-emissie concepten

4.1 Overzicht negatieve CO_2-emissie concepten

De zeven[8] belangrijkste concepten leidend tot negatieve CO_2-emissie die internationaal worden onderkend lichten wij in dit hoofdstuk toe, zie ook Figuur 3 met Romeinse cijfernotatie:

1.	Bebossing en herbebossing	Afforestation/reforestation (AR);
2.	Bio-economie met CCS	Biobased Economy (BBE);
3.	Koolstof opslag in de bodem	Soil carbon sequestration (SCS);
4.	Biokool	Biochar (BC);
5.	Versnelde verwering mineralen	Enhanced weathering (EW);
6.	Mariene CO_2 opslag	Marine NETP;
7.	Directe CO_2 verwijdering	Direct Air Capture (DAC).

De algemene term voor deze concepten is CO_2-verwijdering uit lucht, CDR of wel Carbon Dioxide Removal. Het Horizon 2020 programma NEGEM spreekt van Negative Emission Technologies and Practices (NETP).



Figuur 3: CO_2-verwijderingstechnieken. Door PBL geïdentificeerde routes zijn vergeleken met de zeven concepten (I t/m/ VII) die internationaal gebruikt worden. Bron PBL, 2018

Negatief CO_2-emissie doel, een eerste indicatie

In lijn met internationale doelstelling (Figuur 2) zal de negatieve CO_2-emissie in Nederland vanaf 2070 naar rato van de CO_2-emissie in 2020 een omvang moeten hebben van circa 1/3 van het huidige broeikasgasemissie niveau (164 Mton, 2020). Dat is circa 50 Mton per jaar.

[8] *Bio-economie is een verbreed concept ten opzichte van het gangbare BECCS concept. Mariene CO_2-opslag is een verbreed concept ten opzichte van het gangbare Ocean Fertilisation concept*

1. Bebossing en herbebossing

Bebossing en herbebossing zorgt voor negatieve emissies doordat (groeiende) bomen CO_2 opnemen uit de atmosfeer. Men spreekt van *bebossing* bij het aanleggen van bos in een gebied dat nooit eerder bedekt is geweest met bos en van *herbebossing* bij het aanleggen of op natuurlijke wijze ontstaan van nieuw bos in een gebied dat eerder bosrijk was[9]. Het Nederlandse bos legt jaarlijks circa 1,65 Mton CO_2 vast. Bij continuering van het huidige beleid zal dit afnemen tot 0,8 Mton CO_2 in 2050, doordat de gemiddelde leeftijd van de bossen geleidelijk oploopt en daardoor minder goed in staat is CO_2 vast te leggen[10].

Het Nederlands bos heeft een oppervlakte van 365.000 ha, ongeveer 11% van het landoppervlak. Hiervan wordt iets meer dan de helft ingezet als productiebos en de rest als natuurbos. Van de totale bijgroei van circa 10 m^3/ha wordt iets meer dan de helft geoogst uit beide soorten bos.

Door 'slim' bosbeheer kan zowel de jaarlijkse vastlegging als het aandeel oogst van de bijgroei worden verhoogd, met beperkte effecten op de natuurkwaliteit en behoud van overige functies van het bos. Slim bosbeheer betekent intensieve verjongingskap en aanplant met een cyclus van 20 tot 100 jaar gericht op vergroting van de CO_2-opnamecapaciteit van het bos.

Daarnaast kan het aanleggen van nieuw bos leiden tot extra vastlegging van CO_2. Bij snelle uitrol van bosaanplant en een keuze voor snelgroeiende boomsoorten kunnen er in de toekomst jaren zijn met een vastlegging tussen de 2 tot 3 Mton CO_2 per jaar. PBL gaat vooralsnog uit van 0,5 tot 1,0 Mton CO_2 in 2030 oplopend tot 1,2 Mton CO_2 per jaar in 2050[10].

Bos is multifunctioneel

Het is belangrijk om mee te nemen dat het maatschappelijk nut van bos niet alleen draait om CO_2-reductie in de atmosfeer, maar ook om multifunctionele doelen als natuur, landschap, voedsel, recreatie, volksgezondheid en houtproductie.

(Her)bebossing heeft positieve neveneffecten voor de bodemkwaliteit, wat zorgt voor meer CO_2 vastlegging. Door de impact op het land zijn ook negatieve effecten mogelijk, waaronder het Albedo-effect. Dit is de impact op het huidige landgebruik voor bijvoorbeeld voedselvoorziening en mogelijk negatieve implicaties voor de biodiversiteit in gevallen waarin meer bio diverse graslanden worden verdrongen door bossen. Daarnaast zijn er zorgen over de permanentie en de CO_2 boekhouding [11].

2. Bio-economie, bio-energie en CCS

Een biomassacentrale (BEC) in combinatie met Carbon Capture & Storage (CCS) zorgt voor negatieve emissies door de CO_2 die vrijkomt bij verbranding van biomassa af te vangen en op te slaan. Om CCS toe te passen is een puntbron nodig, die bij een biomassacentrale, maar ook bij bijvoorbeeld afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) aanwezig is. Bio-energie en

[9] *NETs featured by the IPCC Special Report on 1.5°C (2018)*
[10] *PBL – Negatieve emissies, technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland blz. 52 en blz. 53 (2018)*
[11] *NETs featured by the IPCC Special Report on 1.5°C (2018)*

CCS-installaties (BECCS) brengen kosten met zich mee vanwege de CCS-installatie, maar het heeft ook een lage ruimtelijke voetafdruk, doordat de CO_2 uit biomassa op de lange termijn wordt opgeslagen in lege gasvelden in plaats van bos.

De potentie voor BECCS in Nederland is groot. Zo kan de RWE-centrale in de Eemshaven bij overstap naar biomassa in combinatie met CCS in één klap leiden tot 8,8 Mton negatieve CO_2-emissie per jaar [12]. Een nadeel is dat BECCS afhankelijk zijn van de beschikbaarheid van biomassa. Dit effect wordt versterkt omdat energieproductie uit biomassa als een laagwaardige toepassing is, dit in vergelijking tot het gebruik als grondstof.

Bij AVI's is een potentieel voorzien dat kan oplopen tot 4,9 Mton negatieve CO_2-emissie uitgaande van het verbranden van 7,7 Mton niet herbruikbaar brandbaar afval en een biogeen aandeel van ruim 50%. Het regeerakkoord uit 2017 spreekt van een indicatief doel van 1,4 Mton negatieve CO_2-emissie in 2030.

Opslag van CO_2 is ook mogelijk via de grondstofroute. Hout wordt daarbij gebruikt als bouwstof waarbij het van belang is dat deze bouwstof een langere tijd (100 jaar of meer) in gebruik blijft. Staatsbosbeheer ontwikkelt op dit moment met marktpartijen technieken (Cross Laminated Timber, CLT) om laagwaardige houtstromen zo een hoogwaardige en langjarige bestemming te geven.

3. Koolstof opslag in de bodem

Koolstofvastlegging in de bodem omvat een reeks praktijken die negatieve emissies opleveren door CO_2 op organische wijze in de bodem op te slaan en daarin vast te houden. Maatregelen die leiden tot vastlegging zijn bijvoorbeeld het beperken van kerende grondbewerking, het zoveel mogelijk gebruik maken van stikstofbindende gewassen die vervolgens worden ondergeploegd en beter akkerrandenbeheer. In totaal is er een potentie van 0,8 tot boven de 1,0 Mton CO_2-vastlegging per jaar in 2050[12].

Anders dan bij bebossing, waar het draait om het vergróten van opslag in plantaardige biomassa, draait het bij bodemkoolstofvastlegging om het aanpassen van landbouwgrond beheer. Er is dus geen herbestemming van land. Bovendien is een toename van het organische stof/bodem koolstofgehalte in de bodem gunstig voor de bodemvruchtbaarheid.

Meetbaarheid is een punt van zorg, aangezien een verhoogde opname van koolstof in de bodem onder bepaalde omstandigheden ongedaan kan worden gemaakt.

[12] *PBL – Negatieve emissies, technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland blz. 25, tabel 2.2 en blz. 50 (2018) https://www.pbl.nl/publicaties/negatieve-emissies-technisch-potentieel-realistisch-potentieel-en-kosten-voor-nederland*

4. Biokool

Biokool is een houtskool die wordt gevormd door de pyrolyse van biomassa. Wanneer de houtskool met een hoog koolstofgehalte aan de bodem wordt toegevoegd, neemt de koolstofopname in de bodem toe resulterend in negatieve CO_2-emissie. Op deze manier kan de koolstof tot wel eeuwenlang worden opgeslagen, afhankelijk van bodemtype[13].

Het nadeel van biokool is dat het afhankelijk is van de beschikbaarheid van biomassa. Of het positieve neveneffecten heeft op de bodemkwaliteit bij toepassing in Nederland wordt betwijfeld[14]. De doeltreffendheid van biokool als klimaatmitigatie optie is nog onzeker. Hoewel het productieproces al ver ontwikkeld is, wordt om die reden de potentie op maximaal 1 Mton negatieve CO_2-emissie per jaar geschat in 2050[15].

5. Versnelde verwering mineralen

Door het minerale verweringsproces van gesteenten zoals olivijn en serpentijn te versnellen door het te vermalen en over land te verspreiden wordt negatieve CO_2-emissie gecreëerd. Versnelde verwering resulteert in carbonatatie (dat wil zeggen carbonaatgesteente), wat als een vorm van geologische opslag is te beschouwen.

Negatieve bijwerkingen zijn onder meer water- en grondvervuiling, voor het precieze effect is meer onderzoek nodig. Ook is het lastig om de snelheid van versnelde verwering nauwkeurig te meten in veldcondities. Daarnaast zijn er risico's in de toeleveringsketen met betrekking tot mijnbouw, winning, het energie-intensieve proces van het malen van stenen en het energie-intensieve transport die de efficiëntie van deze technologieën als negatieve CO_2-emissie niet ten goede komt[16] [17]

Hoewel silicaten nog weinig worden toegepast is het technisch potentieel groot, gezien silicaten bijna 95% van de aardkorst omvatten. Het realistisch potentieel wordt door eerdergenoemde nadelen echter een stuk lager geschat, indicatief op 4,7 Mton CO_2 per jaar via olivijn als ophoogzand in 2050[15].

6. Mariene CO_2-opslag

Mariene CO_2-opslag kent drie vormen:

- Zeewier groei en opslag;
- Oceaan bemesting;
- Versnelde minerale verwerking van kuststroken.

Met zeewier kan CO_2 worden vastgelegd. Sprake is van vastlegging als zeewier na groei naar de bodem zinkt en daar afsterft onder condities waarbij de koolstof niet wordt omgezet in CO_2 [18]. Verwerking van zeewier op deze manier is alleen zinvol wanneer zeewier niet nodig is als voedsel en grondstof voor mens en dier.

[13] *NETs featured by the IPCC Special Report on 1.5°C (2018)*
[14] *Brancheorganisatie Akkerbouw, www.kennisakker.nl*
[15] *PBL – Negatieve emissies, technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland blz. 55 en blz. 59 (2018)*
[16] *NETs featured by the IPCC Special Report on 1.5°C (2018)*
[17] *Life cycle and cost assessment of mineral carbonation for carbon capture and storage in European power generation - ScienceDirect*
[18] *NEGEM, Sustainability Assessment of Marine NETPs (2022)*

Oceaan bemesting levert negatieve emissies op doordat toevoeging van micro- of macronutriënten aan de oppervlakte om zo de CO_2-opname van oceanen verbeteren. Echter, is er maar beperkt bewijs en weinig overeenstemming over zaken als potentieel, technologische paraatheid en duurzaamheid[16].

7. Direct Air Capture (DAC) en opslag

De DAC-technologie haalt CO_2 rechtstreeks uit de atmosfeer door CO_2 te laten binden aan een chemische stof. Dit wordt vervolgens permanent opgeslagen om negatieve emissies te realiseren (Direct Air Capture Carbon Storage, DACCS). De afgevangen CO_2 kan ook worden toegepast in producten, zoals brandstoffen, maar dan telt het niet als negatieve emissie.

Er zijn weinig bekende negatieve neveneffecten van DAC's. Hoewel de TRL tussen 4 en 8 ligt, wordt het technisch potentieel gelimiteerd door de capaciteit van CO_2-opslag in lege gasvelden. Daarnaast spelen hoge kosten een limiterende rol. Het grootste nadeel is de energie-intensiteit van het proces. Voordat DAC's ook echt tot netto negatieve CO_2-emissie leiden zonder een negatief effect te hebben op ketens, moet er een overschot aan duurzame energie zijn. Mede om deze reden wordt de potentie van DAC's vooralsnog als gering geschat door PBL [19].Echter zijn er bedrijven en onderzoekinstellingen in de wereld die werken aan het verbeteren van deze technologie zodat grootschalige toepassing mogelijk wordt, zie Figuur 4.

Figuur 4: DAC Carbyon (bron: www.carbyon.com). Nederlandse ontwikkeling waarbij meer CO_2 per eenheid volume kan worden onttrokken aan de atmosfeer met een lager specifiek energieverbruik dan nu gangbare technieken. Dit tegen kosten van naar verwachting 50 € per ton CO_2-verwijdering

[19] *PBL – Negatieve emissies, technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland blz. 63 (2018)*

4.2 Kansrijke concepten en potentie Nederland

De concepten worden benoemd die voor Nederland als kansrijk worden gezien door de geïnterviewden. Hiermee wordt bedoeld dat ze in de Nederlandse context naar verwachting betaalbaar, op grote schaal en met overzienbare neveneffecten kunnen worden ingezet. Hierbij wordt er gekeken naar het potentieel van het concept. Het kan zijn dat sommige concepten in de huidige staat niet kansrijk zijn, maar dit wel binnen afzienbare tijd kunnen worden. Deze belemmeringen wegnemen is als missie van het onderzoeksprogramma te zien.

Het is duidelijk dat negatieve CO_2-technieken moeten worden ontwikkeld en grootschalig moeten worden ingezet. Daarnaast is het ook niet de vraag op welke concepten Nederland moet inzetten, want om de klimaatdoelen te halen is een mix van concepten nodig. Echter zijn sommige concepten kansrijker voor Nederland dan andere, in deze paragraaf worden de meest kansrijke concepten voor Nederland besproken. Om CO_2-concentraties in de atmosfeer wezenlijk te verminderen moeten jaarlijks megatonnen aan CO_2 uit de atmosfeer worden onttrokken en vastgelegd. De concepten die het meest kansrijk zijn moeten op deze schaal kunnen opereren. Daarnaast is het belangrijk dat de oplossingen holistisch zijn, denk hierbij aan aspecten als biodiversiteit, ruimtegebruik en het behoud van energie- en materiaalgebruik.

Korte termijn, de komende 10 jaar

Op korte termijn kan bio-energie in combinatie met CCS een belangrijke rol spelen in het Nederlandse klimaatbeleid, mits dit maatschappelijk aanvaardbaar wordt geacht en er politiek voldoende draagvlak is.. Nederland heeft een grote chemische industrie en veel kennis van biochemie en CCS. Daarnaast beschikt zij over een mogelijkheid om veel CO_2 onder de Noordzee op te slaan. Het voordeel van dit concept is dat het *technology readiness level* (TRL) hoog is waardoor CO_2 efficiënt en betaalbaar kan worden vastgelegd. Dit concept heeft ook nadelen. Zo is de beschikbare biomassa in Nederland beperkt en heeft bio-energie productie geen prioriteit over andere toepassingen. Daarnaast kan het lang duren voordat de biomassa weer is aangegroeid. Hierdoor leidt dit concept niet direct tot negatieve CO_2-emissie. Tenslotte bestaat het risico dat de grootschalige implementatie van BECCS de ontwikkeling van andere concepten uitstelt of tegenhoud. Dit concept is vooral interessant omdat het op de korte termijn op redelijk schaal kan worden uitgevoerd. Zo zou een bio-energie centrale met CCS bij RWE Eemhaven voor 8,8 Mton/jaar CO_2-vastlegging kunnen zorgen.

Midden-lange termijn, over 10 tot 20 jaar

Op de midden-lange termijn kan bebossing en herbebossing een rol spelen. Bebossing en herbebossing worden door de geïnterviewde gezien als een algemeen goede ontwikkeling. Buiten dat er CO_2 wordt afgevangen kan het de biodiversiteit verhogen. In Nederland is beperkt ruimte beschikbaar voor het aanplanten van bossen. Concurrentie voor ruimtegebruik is in Nederland groot. Een mogelijke kans voor bebossing en herbebossing kan voortkomen uit de stikstofcrisis. Door de stikstofcrisis moet de veeteelt in Nederland worden teruggeschroefd, hierbij komt land vrij dat gedeeltelijk kan worden gebruikt voor het aanleggen van bossen.

Tabel 1: Overzicht negatieve CO_2-emissie concepten met hun belangrijkste kenmerken

Negatieve CO_2-emissie concept	Realistisch potentieel in 2050[20]	Koppelkansen	Negatieve effecten	Ruimtelijke impact	Kostprijs per ton CO_2[21]	Maatschappelijk draagvlak	TRL
1. Bebossing, herbebossing	1,2 Mton CO_2/jaar	Biodiversiteit, recreatie, houtproductie, omzetten weidegrond naar bos heeft positief effect op stikstofdepositie	Landgebruik	Groot (75,000 ha[20]), afhankelijk van bosbeheer	50 tot >200 €/ton (duurder op voormalig landbouwgrond)	Hoog	9
2. Bio-economie, bio-energie en CCS	27,4 Mton CO_2/jaar	Benutten van Nederlands grote CO_2-opslag potentieel en CCS-infrastructuur. Duurzame koolstofcycli	Biomassa productie en bijbehorend landgebruik	Groot, er is biomassa productie nodig	50 tot 70 €/ton	Laag	4 - 9
3. Koolstof opslag in de bodem	1,0 Mton CO_2/jaar	Biodiversiteit, bodemvruchtbaarheid	Meetbaarheid is onduidelijk, CO_2 kan weer vrijkomen	Geen	0 tot 50 €/ton	Hoog	9
4. Biokool	1,0 Mton CO_2/jaar	Onzeker, mogelijk positief effect op bodemkwaliteit en klimaatadaptatie	Biomassa productie en bijbehorend landgebruik	Groot, er is biomassa productie nodig	100 tot 500 €/ton	Laag	3 - 6
5. Versnelde verwering mineralen, beton	4,4 Mton CO_2/jaar	Toepassing in bouwstoffen waaronder beton(vervangers)	Onzeker, mogelijk grond- en watervervuiling. Energie intensief proces en transport, risico's rond mijnbouw	Hoog, duurzame energie opwek nodig	70 €/ton	Neutraal	5 - 7
6. Mariene CO_2-opslag	Onbekend	Groei zeewier kan positief effect hebben op ecosysteem	Onzeker, kan negatief effect hebben op ecosysteem en waterstromen	-	-	Laag	-
7. Direct Air Capture & opslag	Nihil[22]	Kan een CO_2-bron vormen voor processen die CO_2 of C nodig hebben. Te combineren met industrie.	Energie intensief proces. Vraagt ruimte	Hoog, duurzame energie opwek nodig	260 tot 850[22] €/ton	Neutraal	4 - 8

[20] Op basis van PBL – Negatieve emissies, technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland, zie tabel B.2 blz. 19 (2018)

[21] Het gaat hier om additionele kosten voor negatieve CO_2-emissie. Op basis van PBL – Negatieve emissies, technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland (2018)

[22] Lange termijn doel van Climeworks is 85 €/ton CO_2-afvang, 24 kton CO_2 afvang per ha per jaar en halvering van de warmtevraag, dan wordt de potentie groter. Doel Carbyon 50 €/ton CO_2-afvang

Daarnaast duurt het volwassen worden van bomen lang (30 jaar). Hierdoor duurt het lang voordat de bomen een impact maken. Ook moeten volwassen bomen gekapt worden omdat deze nauwelijks meer CO_2 opnemen, het hout moet langdurig gebruikt worden en niet in de open haard verdwijnen.

Versnelde verwering wordt door de geïnterviewden vaak ook als kansrijk concept voor Nederland gezien. Dit komt doordat mineralen als olivijn effectief zijn in het opslaan van CO_2 voor een zeer lange tijd, doordat olivijn veel beschikbaar is in de oppervlakkige aardlagen en doordat het proces van versnelde verwering goed begrepen is. Het gereageerde olivijn kan over het land worden uitgestrooid, maar er worden ook toepassingen van olivijn als bestandsdeel in beton ontwikkeld.

Alhoewel het een kansrijk concept is zitten er ook enkele nadelen aan. Allereerst is er heel veel olivijn nodig, per ton olivijn kan er 1,25 ton CO_2 uit de lucht worden gehaald. Er zijn dus miljoenen tonnen olivijn nodig om op grote schaal impact te maken. Buiten dat dit impact heeft op het landschap, is voor het mijnen, malen en transporteren van olivijn veel energie nodig en kunnen daarbij negatieve milieueffecten optreden.

Lange termijn, vanaf 2040

Voor de lange termijn is Direct Air Capture and Carbon Storage (DACCS) waarbij de CO_2 bij voorkeur als grondstof wordt gebruikt in producten die zorgen voor langjarige vastlegging van CO_2 een kansrijk concept voor Nederland. De hoeveelheid CO_2 die op deze manier uit de atmosfeer kan worden onttrokken is voor zover de beschikbare ruimte dit toelaat nagenoeg onbeperkt, echter is dit met de huidige staat van de techniek nog niet op grote schaal mogelijk. Daarnaast kost het langs de filters laten stromen van de lucht en de desorptie van de CO_2 van het adsorptiemiddel veel energie. Technische ontwikkelingen om deze drempels te overkomen en onderzoek naar de opschaling van dit concept zijn nodig.

Noodzaak negatieve CO_2-emissie concepten

Gezien de omvang van broeikasgasemissies in Nederland en de hieruit volgende opgave is het nodig om in aanvulling op het vermijden van CO_2-emissie en directe afvangst van CO_2 (CCS) ook in te zetten op negatieve CO_2-emissie. Geen enkel concept mag daarbij op voorhand uitgesloten worden.

“Besef over de tijdspanne
van een negatieve emissie
is belangrijk, zo duurt het
bijvoorbeeld 30 jaar om
een boom te groeien.”

5 Wat speelt er in Nederland?

5.1 Reeds actieve organisaties in Nederland

In Nederland zijn bedrijven en onderzoeksinstellingen bezig met het ontwikkelen van negatieve CO_2-emissie concepten. In onderstaande lijst zijn activiteiten van de geïnterviewden weergegeven, dit wil niet zeggen dat het desbetreffende bedrijf enkel deze acties onderneemt in het kader van de conceptontwikkeling. De lijst is aangevuld met bedrijven die niet geïnterviewd zijn, maar wel werken aan het ontwikkelen van de concepten.

Staatsbosbeheer houdt zich bezig met de **herbebossing** van Nederland. In 1750 was er in Nederland circa 50.000 hectare bos. Dit is toegegroeid naar ruim 375.000 hectare nu. Ook houdt Staatsbosbeheer zich bezig met het hoogwaardiger inzetten van hout, zodat het koolstof langer wordt vastgehouden. Daarnaast worden er toepassingen gezocht voor gebruik van grasachtige biomassa in de bouw, hier wordt een grote groei mogelijk geacht omdat dit potentieel nog nauwelijks hoogwaardig gebruikt wordt.

Een aantal bedrijven zijn bezig met het ontwikkelen van **DACCS**. Carbyon ontwikkelt een nieuwe technologie om CO_2 af te vangen, SCW Systems is momenteel een pilot aan het opzetten in Alkmaar. Zij willen het afgevangen CO_2 gebruiken voor mineraalvorming. Denk aan olivijn, serpentijn, restproducten van ijzer/staal industrie, magnesiumcarbonaat en calciumcarbonaat, maar ook andere mineralen. Skytree is bezig met de ontwikkeling van Ersa, dit is een systeem dat CO_2 in auto's afvangt. Daarnaast onderzoekt Vattenfall in combinatie met Universiteit Utrecht de toepassing van DACCS op grote schaal. TU Delft doet onderzoek naar de integratie van DACCS en BECCS in industriële systemen.

BECCS wordt door een aantal bedrijven binnen Nederland onderzocht. RWE wil een BECCS in Eemshaven uitrollen om hun stoomproductie te verduurzamen en Shell wil biobrandstoffen produceren en het CO_2 afvangen en afvoeren via Porthos. Biogene CO_2 wordt mogelijk in de toekomst gewild als grondstof voor de toepassing van CO_2, waardoor dan een BECCU-route aantrekkelijk wordt, naast de BECCS-route.

Toepassingen van mineralen verkregen uit **versnelde verwering** worden door Green Minerals onderzocht. Wageningen Universiteit doet onderzoek naar de toepassing van mineralen op de landbouwbodem en de interactie met organische stoffen. Ook de Universiteit Twente doet binnen het Energy Innovation programma onderzoek naar de utilisatie van afgevangen CO_2.

5.2 Huidige innovatieprogramma's en -projecten

Subsidieregelingen

Binnen de Topsector Energie is het Meerjaren Missiegedreven Innovatieprogramma 6, sluiting van industriële ketens, relevant. Dit MMIP richt zich op 1) Circulaire kunststoffen; 2) Biobased grondstoffen voor producten en transportbrandstoffen, waaronder de combinatie met BECCS en het ontwikkelen van biokool; 3) CCU (Carbon Capture and Usage – het gebruik van CO_2 als grondstof, waarbij de focus ligt op de productie van chemicaliën uit CO en CO_2); 4) Circulaire non-ferro metalen; 5) CCS, waar ook BECCS en DAC deel van uitmaken[23].

Binnen de regeling Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie (MOOI), thema Industrie, is één van de innovatiethema's *Productie van duurzame en circulaire bulk- en platformchemicaliën.* CO_2 kan hiervoor de basis vormen[24]. Deze chemicaliën leiden pas tot negatieve CO_2-emissie als aan alle voorwaarden is voldaan, in het bijzonder het permanent vastleggen van CO_2.

De regeling Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+) richt zich op pilot- en demonstratieprojecten. CCUS is één van de thema's. Voor de lange termijn wordt hier ook de toepassing van CCUS genoemd in het kader van het realiseren van negatieve emissies[25]. De DEI+ regeling is gericht op inzicht in werkelijke kosten en effecten van de toepassing op grote schaal[26].

Tot slot is van belang te noemen dat de SDE++ na 2035 niet meer zal worden toegepast op CCS (de 'horizon'), maar wel bij toepassing van negatieve emissies kan gelden.[27]

Binnen de Topsector Agri & Food is aandacht voor de natuur gebaseerde technieken[28]. Zo is er MMIP B4 E11D 'Verhoging vastlegging koolstof in bos en natuur', waarbinnen Blue Carbon (het vastleggen van CO_2 in de kustzone) een prioriteit is. Binnen MMIP B6 E12B 'Productie en gebruik van biomassa' wordt een nationaal innovatieprogramma voor biobased en circulair bouwen ontwikkeld.

Er zijn enkele subsidieregelingen beschikbaar vanuit de Topsector, waarvan in dit kader de meest relevante de co-financieringsfaciliteit is. Deze is o.a. beschikbaar voor bovengenoemde prioriteiten. Hiervoor is jaarlijks € 15 miljoen beschikbaar, waarvan € 10 miljoen geselecteerd voor Wageningen Research.[29] Er is daarmee geen specifiek budget voor negatieve emissies, wel past het op sommige plekken in de beschikbare instrumenten.

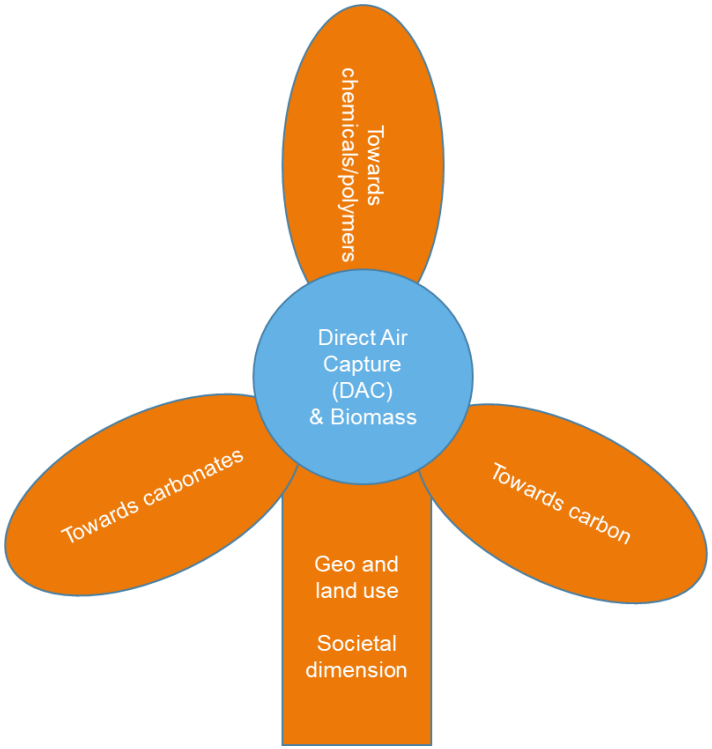
---

[23] O. van den Brink et al. MMIP6: Sluiting van industriële ketens, blz. 4 tot en met 6.
[24] Bijlage 4.2.6. behorende bij artikel 4.2.43 van de Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, zie: Bijlage 4.2.6. behorende bij artikel 4.2.43 van de Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies (rvo.nl), geraadpleegd 21-2-2022
[25] Handleiding DEI+, blz. 8
[26] Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie 2021 (DEI+) (rvo.nl), geraadpleegd 21-2- 2022

[27] Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, Introductiedossier: kennismaking met inhoudelijke onderwerpen, januari 2022, blz. 96
[28] Topsector Agri & Food, Kennis- en Innovatieagenda Landbouw, Water, Voedsel, oktober 2019
[29] Zie: PPScallLWV2021oproepdef.pdf (kia-landbouwwatervoedsel.nl), geraadpleegd 25-2-2022

Universiteiten en kennisinstellingen

De Universiteit Twente is bezig om een breed onderzoeksprogramma op te richten, gericht op negatieve emissies. In onderstaande Figuur 5 wordt een overzicht gegeven van het programma.



Figuur 5: Schematische weergave inhoud onderzoeksprogramma (bron: Universiteit Twente)

Het programma heeft Direct Air Capture en Biomassa is het hart, de generator van de 'windturbine'. De drie wieken zijn de verschillende toepassingen van de afgevangen CO_2. De mast van de windturbine is de geologische scope, het landgebruik en de maatschappelijke dimensie. Zo worden negatieve emissies breed onderzocht.

TNO heeft een onderzoeksfaciliteit gericht op Negatieve Emissie Technologieën (NET-faciliteit)[30]. Deze wordt gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. De NET-faciliteit richt zich op Direct Air Capture, specifiek op technieken voor absorptie en adsorptie.

Wageningen Universiteit & Research (WUR) voert onderzoek uit naar natuurgebaseerde technieken, echter veelal niet onder de noemer negatieve emissies. Zo wordt er onderzoek uitgevoerd naar de CO_2-opslag in bossen[31], is er onderzoek gaande naar biokool, versnelde verwering en de synergie daartussen[32] en naar de opslag van CO_2 in de bodem[33]. Veelal vormen de negatieve emissies niet de hoofdcomponent in het gehele programma, maar wel een onderdeel.

Momenteel wordt er vanuit verschillende universiteiten en kennisinstellingen gewerkt aan een nieuw onderzoeksprogramma, gericht op negatieve emissies. Het is de intentie om in een open kenniscoalitie met universiteiten, kennisinstellingen, overheden, maatschappelijke organisaties en be-

[30] Zie: Onderzoeksfaciliteit voor negatieve CO_2-emissies | TNO, geraadpleegd 21-2-2022.
[31] Zie bijvoorbeeld: Worldwide forest carbon sources and sinks mapped in unprecedented detail - WUR, geraadpleegd 25-2-2022
[32] Zie: Towards carbon negative agricultural systems with improved soil functioning: an experimental study on the synergies between enhanced silicate weathering and biochar — Research@WUR, geraadpleegd 25-2-2022
[33] Zie: Climate and soils - WUR, geraadpleegd 25-2-2022

drijven de krachten te bundelen om CO_2-verwijderingsopties milieuvriendelijk, technologisch volwassen, opgeschaald, maatschappelijk ingebed en economisch aantrekkelijk te maken Een groot aantal Nederlandse instellingen (NIOZ, UU, KNMI, TU Delft, VU, TU/e, RU, TNO, DIFFER, Wetsus, NIOO-KNAW, TU Twente, WUR, SRON, ITC Twente, Deltares en Marin) ondersteunen dit Arrhenius-initiatief (genoemd naar de Nobelprijswinnaar die in 1896 als één van de eerste wetenschappers het effect van kooldioxide op klimaat beschreef).

Samengevat

De natuurgebaseerde technieken en industriële technieken voor negatieve emissies lijken veelal gescheiden van elkaar te opereren: andere topsectoren, andere subsidieregelingen, andere onderzoeksinstellingen. Het zijn verschillende typen technieken, tegelijkertijd ontbreekt hierdoor een integrale blik op negatieve emissies en de potentie van verschillende concepten ervan. Kansen om onderling kennis uit te wisselen over de principes van verschillende concepten worden zo niet gepakt. Het veld is verbrokkeld. Daarnaast vormt negatieve CO_2-emissie slechts bij enkele onderzoeksprogramma's de hoofdmoot, veelal is het 'bijvangst' of een extra component.

Onderzoek naar natuurgebaseerde technieken en industriële technieken vindt veelal nog gescheiden van elkaar plaats. Er is geen onderzoeksprogramma dat alle technieken verenigt.

De Europese Commissie stelt voor om een certificerings-schema specifiek voor koolstofverwijdering te ontwikkelen.

6 Wat speelt er in Europa?

In vogelvlucht worden internationale ontwikkelingen, vooral de ontwikkelingen in Europa in relatie tot negatieve CO_2-emissie, toegelicht.

6.1 Beleid

UNFCCC

In Artikel 6 van het Klimaatakkoord van Parijs is een raamwerk opgenomen voor de overdracht van emissiereductie tussen landen. Het gaat dan om credits verkregen door projecten die emissiereductie realiseren (ITMO-credits, Internationally Traded Mitigation Outcomes).

De regels hierover zijn nader uitgewerkt tijdens de klimaattop in Glasgow (COP-26). Hierin is onder andere opgenomen dat deze ITMO-credits ook gelden voor de verwijdering van CO_2[34]. In de uitwerking van artikel 6.4[35], dat gaat over de handel tussen landen, is gespecificeerd dat de verwijdering minimaal 15 jaar moet zijn, om in aanmerking te komen voor het handelsplatform. Afgesproken is dat de monitoring, rapportage en verificatie hiervan nog verder wordt uitgewerkt in 2022.

Europese Unie

De Europese Klimaatstrategie voor 2050 kent twee scenario's. De ene gaat uit van jaarlijks 281 Mton negatieve emissies, de ander van jaarlijks 606 Mton negatieve emissies om zo te voldoen aan het 1,5 °C-scenario[36]. Vertaald naar Nederland op basis van een aandeel van 4,5% in de Europese emissie van broeikasgassen is dit 12,6 of 27,3 Mton per jaar.

In de Europese doelstelling om 55% minder broeikasgassen uit te stoten in 2030 (CO_2 equivalent) t.o.v. 1990, zit 2%punt negatieve emissies besloten[37]. In december 2021 publiceerde de Europese Commissie een Communicatie[38] die hier invulling aan geeft. Voor Nederland komt dit neer op 3,3 Mton/jaar in 2030 (2% van 163 Mton CO_2 emissie in 1990).

Deze Communicatie valt uiteen in drie delen. Ten eerste het opschalen van koolstoflandbouw; ten tweede het ontwikkelen van een nieuwe industriële waardeketen voor afvang, recycling, transport en opslag van koolstoffen; en ten derde het certificeren van negatieve emissies. Daarbij benadrukt de Commissie het belang van monitoring, rapportage en verificatie.

1. Koolstoflandbouw

Met koolstoflandbouw bedoelt de Commissie het vastleggen van koolstof in natuurlijke ecosystemen. In de zomer van 2021 heeft de Commissie een wijziging van de Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) verordening voorgesteld, gericht op jaarlijkse netto verwijdering van 310 Mton CO_2-equivalenten, een niveau dat in het verleden ook is behaald. Carbon

[34] *Zie: CMA 3_AUV_TEMPLATE (unfccc.int), geraadpleegd 22-2-2022*
[35] *Zie: cma3_auv_12b_PA_6.4 (unfccc.int), geraadpleegd 22-2-2022*
[36] *Europese Commissie, IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM(2018) 773, november 2018, blz.198*
[37] *Commission under fire for including 'carbon sinks' into EU climate goals – EURACTIV.com, geraadpleegd 21 februari 2022*
[38] *Europese Commissie, Sustainable Carbon Cycles, COM (800), december 2021. Tenzij anders vermeld, komt de informatie uit paragraaf 6.1 uit deze Communicatie*

farming is ook benoemd in de voorgestelde Europese Farm to Fork-strategie en in de Bossenstrategie. Allen maken onderdeel uit van de Green Deal.

Nu stelt de Commissie voor om financiële prikkels te geven voor goed landbeheer, waarmee koolstoflandbouw een bedrijfsmodel wordt. Het voorstel is om dit te doen door 'koolstoflandbouw-credits' te verstrekken bij koolstofvastlegging. Daarbij zouden positieve neveneffecten, zoals een verbeterde biodiversiteit, beloond moeten worden. Door publieke middelen ter beschikking te stellen, is het mogelijk om koolstoflandbouw op te schalen. Tevens stelt de Commissie een expertgroep in, om toe te werken naar standaardisatie van monitoring, rapportage en verificatie.

De Commissie besteedt ook aandacht aan blauwe koolstof (koolstofvastlegging in oceanen en kustecosystemen). Hier zet de Commissie vooral in op het vergroten van kennis over de regio's die risico lopen vanwege de degradatie van het ecosysteem, kennis over het kunnen kwantificeren van koolstofvastlegging, investeringen om ecosystemen te beschermen en carbon farming bij de kust, bijvoorbeeld met zeewier.

2. Industriële opvang, gebruik en opslag van koolstof

Om haar doelstelling te behalen, dient de EU tussen de 300 en de 500 Mton CO_2 uit afval, biomassa en direct uit de atmosfeer af te vangen in 2050. Die CO_2 kan worden opgeslagen of gebruikt in producten die lang meegaan. De Commissie schat de potentie daarvan op 200 Mton in 2050. Hiervoor kijkt zij onder andere naar de bouwsector. Hier is echter nog extra onderzoek nodig hoe lang de CO_2 opgeslagen blijft.

De Commissie stelt voor deze industriële oplossingen met name extra innovatiegelden beschikbaar. Een overzicht daarvan is te vinden in paragraaf 6.2. Verder bestudeert de Commissie of er een open toegankelijke CO_2-infrastructuur moet komen, die over de landsgrenzen heen gaat. Ook benadrukt de Commissie het belang van certificering, zodat gevolgd kan worden hoeveel CO_2 jaarlijks wordt opgeslagen en weer vrijkomt. Zo laat zich de per saldo negatieve CO_2-emissie bepalen.

3. Certificering van negatieve CO_2-emissie

De Commissie stelt voor om een certificeringsschema specifiek voor koolstofverwijdering te ontwikkelen (Carbon Removals Certificate Mechanism, CRC-M). Dit is zowel voor koolstoflandbouw als voor industriële opslag en gebruik van CO_2 randvoorwaardelijk. De Commissie zal eind 2022 met een voorstel komen voor het CRC-M-schema.

Emissiehandelssysteem (ETS)

De EU ETS-richtlijn biedt de mogelijkheid om BECCS mee te tellen als negatieve emissies. Dat kan op basis van artikel 24a. Dit artikel biedt de mogelijkheid om emissierechten uit te geven voor projecten die broeikasgassen reduceren die niet binnen het EU ETS vallen. De Commissie waarschuwt daarbij wel dat dubbeltelling moet worden voorkomen en dat een volledige analyse van de klimaatvoordelen van de combinatie van biomassa en CCS benodigd is, denk hierbij aan het energieverbruik van het

project en mogelijk rendementsverlies van de centrale door het gebruik van biomassa.[39]

6.2 Onderzoek en programma's

Europese Unie, Horizon Europe

Horizon Europe is binnen de EU het belangrijkste programma voor onderzoek en innovatie. Horizon Europe kent vijf missies, waarbinnen onderzoek en innovatie gecombineerd worden met gericht beleid[40].

In haar Communicatie kondigt de Europese Commissie aan verschillende concepten onder te zullen brengen bij verschillende missies binnen Horizon Europe. Zo wordt koolstoflandbouw ondergebracht bij de missie A Soil Deal for Europe, gericht op bodemverbetering. Binnen het netwerk van 100 *living labs,* dat bij deze missie moet ontstaan, zal koolstoflandbouw getest worden. Daarnaast ontwikkelt de Commissie vanuit de Bossenstrategie een onderzoeksprogramma, o.a. gericht op herbebossing en bodemgezondheid.[41]

Hoirzon Europe richt zich nu al op CCUS. In de toekomst zal Horizon Europe ook calls uitbrengen gericht op BECCS en DACCS, naast CCUS. Dat gaat in met het volgende werkprogramma (2023/2024).[42]

Onder Horizon Europe is het Pathfinder programma ingericht, gericht op radicale nieuwe technologieën. Eén van de Pathfinders richt zich op de verwaarding van koolstofdioxide en stikstof. Dat betreft de opvang, opslag en gebruik van CO_2, waarbij netto neutrale en netto negatieve energiesystemen worden ontwikkeld.[43]

Duitsland

Duitsland heeft in zijn Klimaatwet vastgelegd dat het in 2045 klimaatneutraal wil zijn. Dan wil het jaarlijks 40 Mton CO_2 per jaar opslaan in bossen, bodem en veengrond. Dutsland kiest voor natuur gebaseerde technieken, omdat deze als meest kosteneffectief beschouwd worden. Voor andere technieken richt het zich op onderzoek, met name om potentieel, schaalbaarheid, risico's en realisatiemogelijkheden in kaart te brengen. Daartoe is in 2021 een breed onderzoeksprogramma "Carbon Dioxide Removal" opgericht, waarvoor € 21 miljoen beschikbaar is gesteld. Dit richt zich op DACCS, biokool, BECCS, enhanced weathering en bebossing/herbebossing.[44]

Zweden

Zweden is voornemens om in 2045 klimaatneutraal te zijn en daarna een netto negatieve CO_2-emissie te hebben. Dit is vastgelegd in de Zweedse Klimaatwet[45]. 85% hiervan dient bereikt te worden via binnenlandse emissiereductie. De overige 15% kan via extra maatregelen bereikt worden, zoals bebossing, BECCS en het aankopen van emissierechten in andere landen. BECCS wordt gezien als kansrijke technologie. De Zweedse overheid

[39] *Zie: Answer to Question No E-1622/09 (europa.eu), geraadpleegd 24-2-2022*
[40] *EU Missions in Horizon Europe | European Commission (europa.eu), geraadpleegd 24-2-2022*
[41] *Europese Commissie, Sustainable Carbon Cycles, december 2021*
[42] *Europese Commissie, Sustainable Carbon Cycles, december 2021*
[43] *Zie: EIC Pathfinder Challenge: Carbon dioxide and nitrogen management and valorisation (europa.eu), geraadpleegd 24-2-2022*
[44] *Zie: Forschung für Nachhaltigkeit (FONA) – FONA, geraadpleegd 24-2-2022*
[45] *Zie: Sweden Plans to Be Carbon Neutral by 2045 | UNFCCC, geraadpleegd 24-2-2022*

heeft daarom doelen vastgelegd van 1,8 Mton CO_2-verwijdering via BECCS per jaar in 2030 en 3 tot 10 Mton per jaar in 2045. Er is subsidie beschikbaar voor research en innovatie voor de industrie, via het Industry Leap-programma. Hier valt BECCS ook onder[46]. In 2021 heeft de Zweedse regering een ondersteuningsprogramma voor BECCS aangekondigd, met een tendersysteem waarop partijen kunnen inschrijven. Hiervoor is 400 miljoen SEK (€ 37,6 miljoen) per jaar beschikbaar, gedurende een looptijd van 15 jaar[47].

Verenigd Koninkrijk

Het Verenigd Koninkrijk (VK) vormt een uitzondering. In 2008 nam het VK de Climate Change Act aan, gericht op 80% CO_2-reductie in 2050. Hieronder vielen reeds negatieve emissies, in het bijzonder gericht op landgebruik, verandering van landgebruik en bebossing. In 2019 nam de regering een doel aan om in 2050 netto nul emissies te hebben. Het VK heeft zich ten doel gesteld om in 2030 5 Mton negatieve emissies te realiseren.

In 2017 startte het eerste met publieke middelen gefinancierde R&D-project dat volledig gericht was op negatieve emissies: het *Greenhouse Gas Removal from the Atmosphere* programma, dat liep tot 2021. Dit programma was gericht op de haalbaarheid van diverse technieken en beoogde wetenschappelijke en technische kennis bij elkaar te brengen voor beleidsmakers. Inmiddels zijn er ook vijf demonstratieprojecten gestart.

Daarnaast is er een *Greenhouse Gas Removals Directorate Hub* opgericht, die zich richt op de economische, sociale en juridische randvoorwaarden voor de verschillende technieken. Voor de demonstratieprojecten en de hub is meer dan £ 30 miljoen beschikbaar[48]. In het kader van groen herstel na Covid-19, heeft de regering inmiddels ook een fonds voor DAC aangekondigd en initiatieven om CCS op te schalen[49].

Andere landen

Uit de gehouden interviews rijst een verbrokkeld beeld op van de activiteiten in andere landen. Veel verschillende landen en universiteiten zijn genoemd voor deelonderzoeken en specifieke technologieën.

6.3 Projecten

Europese Unie

Een belangrijk project in het kader van het aangekondigde Europese beleid, betreft het NEGEM-project. Dit project is in juni 2020 gestart en loopt tot mei 2024. Het project richt zich op de beoordeling van het realistisch potentieel van negatieve emissietechnologieën en de bijdrage die deze technieken kunnen leveren aan de klimaatneutrale ambities van de EU[50]. In de eerste fase gaat het om de beoordeling van het potentieel, in de

De Europese Unie heeft drie projecten gericht op onderzoek naar de potentie van negatieve emissies en mogelijke scenario's.

[46] *Sweden's long-term strategy for reducing greenhouse gas emissions, december 2020*
[47] *Zie: New and expanded investments in the green transition of the industry - Regeringen.se, geraadpleegd 25-2-2022*
[48] *Zie: UK invests over £30m in large-scale greenhouse gas removal – UKRI, geraadpleegd 24-2-2022*
[49] *Zie: Frontiers | Governing Carbon Dioxide Removal in the UK: Lessons Learned and Challenges Ahead | Climate (frontiersin.org), geraadpleegd 22-2-2022*
[50] *Zie: THE PROJECT | Negem Project, geraadpleegd 24-2-2022*

tweede om de ontwikkeling van scenario's. Binnen NEGEM wordt ook gewerkt aan een accountingsysteem voor negatieve emissies. Vanuit Nederland zijn de Rijksuniversiteit Groningen en Sappi (materialenproducent op basis van houtvezels) partners bij het project.

Het LANDMARC (Land Use Based Mitigation for Resilient Climate Pathways)-project richt zich op het in kaart brengen van het realistisch potentieel van landgebaseerde negatieve emissies. Het betreft bebossing, BECCS, vastlegging van koolstof in de bodem, biochar en landmanagement van graslanden, diverse gewassen en agroforestry (bebossing gecombineerd met landbouw)[51]. Het project loopt van 2020 tot en met 2024. Het programma wordt gecoördineerd door de TU Delft en JIN Climate and Sustainability uit Groningen. Vanuit Nederland maken verder eLeaf, Bioclear Earth en het KNMI deel uit van het consortium.

Een derde project om te benoemen is OceanNETs (Ocean-based negative emissions technologies). Dit project brengt in kaart in hoeverre oceaangebaseerd negatieve emissietechnieken kunnen bijdragen aan het behalen van de klimaatdoelen van het Akkoord van Parijs en welke opties prioriteit zouden moeten krijgen, in het licht van o.a. beperking van de CO_2-uitstoot, milieu-impact en risico's. Technieken die onder andere onderzocht worden zijn het opslaan van CO_2 uit de oceaan, het gebruik van mariene biomassa voor biochar of voor bio-energie met CCS en oceaanalkalinisatie[52]. Hier zijn geen Nederlandse partijen bij betrokken. Ook dit project kent een looptijd van 2020 tot en met 2024.

Andere landen: enkele projecten uitgelicht

In IJsland ging in september 2021 het eerste grootschalige demonstratieproject voor Direct Air Capture, inclusief opslag van de afgevangen CO_2, van start. Het project Orca bestaat uit 8 containers, elk met de mogelijkheid om 500 ton CO_2 per jaar af te vangen, 4 kiloton in totaal.[53] Het project is een partnerschap tussen het Zwitserse Climeworks, dat de technologie levert, en het IJslandse Carbfix, dat CO_2 opslaat. Momenteel zijn er wereldwijd 15 DAC-projecten actief. Het Orca-project is het grootste operationele project tot nog toe.

Op het gebied van BECCS is Drax in het VK een voorloper. Drax heeft momenteel twee pilot-projecten draaien op zijn biomassacentrale. Het voornemen is om in 2027 een volledig operationele koolstofafvanginstallatie te hebben, die dan op commerciële schaal opereert[54]. Drax is echter niet de enige met BECCS-plannen: zo hebben Orsted, Aker Capture en Microsoft een MoU getekend in maart 2021 om BECCS te ontwikkelen in Denemarken en heeft Stockholm Exergi gelden toegekend gekregen voor de realisatie van BECCS bij de warmtekrachtcentrale van Stockholm.[55, 56] Het Zweedse Energieagentschap onderzoekt of het mogelijk is om een

[51] *Zie: LANDMARC Tools — LANDMARC Horizon 2020 (landmarc2020.eu), geraadpleegd 24-2-2022*
[52] *Zie: OceanNETs – ocean-based negative emissions technologies, geraadpleegd 24-2-2022*
[53] *Zie: Orca is Climeworks' new large-scale carbon dioxide removal plant, geraadpleegd 24-2-2022*
[54] *Zie: Drax BECCS – CCUS around the world – Analysis - IEA, geraadpleegd 24-2-2022*
[55] *Zie: policy_funding_innovation-fund_large-scale_successful_projects_en.pdf (europa.eu), geraadpleegd 13-3-2022*
[56] *Zie: Ørsted, Microsoft, Aker Carbon Capture agree to develop BECCS | Bioenergy Insight Magazine (bioenergy-news.com), geraadpleegd 24-2-2022*

(Scandinavische) markt voor BECCS te ontwikkelen, op basis van het eerder genoemde marktmechanisme uit artikel 6 van het Akkoord van Parijs.[57]

Private initiatieven

In 2020 kondigde Microsoft de ambitie aan om in 2030 koolstofnegatief te zijn. In het eerste jaar dat Microsoft hieraan werkte, heeft het van 26 projecten voor in totaal 1,3 Mton aan CO_2 opgekocht. Dat betrof voornamelijk natuurgebaseerde technieken. Microsoft heeft tevens een Climate Innovation Fund opgericht, van $ 1 miljard, gericht op technieken als Direct Air Capture[58]. Verschillende andere bedrijven richten zich op negatieve emissies. Dat zijn o.a. Amazon, Apple, Stripe, Google, Facebook (Meta) en Mars. Zo kocht ook Stripe van 6 projecten de CO_2 op[59].

In november 2021 is het door Elon Musk gelanceerde XPRIZE Carbon Removal programma gestart. Het programma heeft een omvang van $ 100 miljoen. Zo wil men bijdragen aan het 10 Gton/jaar CDR doel in 2050 van het IPCC. De looptijd van dit programma is 4 jaar. In 2022 worden de projecten geselecteerd. Het Nederlandse Carbyon is een van de kanshebbers.

[57] *Zie: New project examines conditions for a Nordic BECCS market - IVL Svenska Miljöinstitutet, geraadpleegd 24-2-2022*
[58] *Zie: One year later: The path to carbon negative – a progress report on our climate 'moonshot' - The Official Microsoft Blog, geraadpleegd 24-2-2022*
[59] *Zie: Stripe Newsroom: Stripe commits $8M to six new carbon removal companies, geraadpleegd 24-2-2022*

“Negatieve emissies zijn geen alternatief voor het verminderen van emissies of een excuus voor uitgestelde actie. Maar ze kunnen wel deel uitmaken van de CO_2-reductie maatregelen.”

7 Behoefte aan onderzoeksprogramma en richting

De motie-Bontenbal/Amhaouch vraagt te bezien of, en zo ja, gericht op welke technologieën een onderzoeksprogramma opgezet kan worden om te werken aan technologieën voor het realiseren van negatieve emissies. Uit de interviews blijkt dat een onderzoeksprogramma toegevoegde waarde kan opleveren.

7.1 Genoemde hiaten en barriéres

Er valt een onderscheid te maken tussen algemene barrières voor negatieve emissies en kennislacunes en barrières per specifieke techniek.

Algemeen: beleid

Veel genoemd als barrière is het ontbreken van beleid voor negatieve emissies. Er zijn geen regels voor het rapporteren en monitoren van negatieve emissies. Ook ontbreekt het aan een financiële prikkel om negatieve emissies toe te passen. Het is voor geïnterviewden niet duidelijk of het Rijk wil inzetten op negatieve emissies en zo ja hoe, op welke termijn en in welke mate.

Daarnaast is er geen definitie van negatieve emissies vastgelegd in het beleid. Met name hoe permanent de vastlegging van negatieve emissies moet zijn en hoe dit te berekenen en te monitoren ontbreekt nog.

Daarbij merken we op dat sommige van deze zaken reeds opgepakt zullen worden in EU-beleid (rapporteren, monitoren, financiële prikkels). Ook zijn nationale doelen af te leiden uit het beleid dat door de EU is geformuleerd.

Onderzoek ter ondersteuning van beleidskeuzes

Voor beleidskeuzes van het Rijk kan een verkennend onderzoeksprogramma ondersteuning bieden. Dit dient vooralsnog breed van opzet te zijn. Geen enkele techniek, methodiek of concept voor de verwijdering van CO_2 uit de atmosfeer kan daarbij uitgesloten worden. Uit deze verkennende fase worden de richting en de kaders duidelijk waarlangs in Nederland invulling kan worden gegeven aan negatieve CO_2-emissie. Vervolgens wordt een onderzoeksprogramma mogelijk dat gericht hierop inspeelt. Voor dit moment is belangrijk dat bestaande programma de ruimte bieden om onderzoek en projecten uit te voeren op het gebied van negatieve CO_2-emissie. Het gaat daarbij vooral om technieken die nog een lange weg te gaan hebben om marktrijp te worden en van grote waarde zijn gezien het potentieel voor toepassing in Nederland.

Techniekspecifiek

- Voor koolstofvastlegging in de bodem en maritiem gebaseerde technieken is meetbaarheid van de vastlegging van CO_2 en monitoring van de permanentie van de vastlegging een kennishiaat;
- Ook voor versnelde verwering geldt dat de meetbaarheid in veldcondities een kennishiaat is;
- Bij versnelde verwering is nog meer kennis noodzakelijk over water- en grondvervuiling en andere neveneffecten, zoals bij de winning en het transport van het gesteente;

- Voor BECCS en biokool is de beschikbaarheid van duurzame biomassa een knelpunt. Onduidelijk is hoe en in welke mate dit een onderdeel is van de biobased economy – waarbij opgemerkt wordt dat dit mogelijk relevanter is om op te pakken binnen onderzoek naar de biobased economy dan binnen onderzoek naar negatieve emissies;
- Voor Direct Air Capture geldt dat onderzoek nodig is om de techniek te verbeteren en te optimaliseren, bijvoorbeeld voor de opname van de CO_2 (geschikte materialen), de schaalbaarheid en de vermindering van het energie- en ruimteverbruik;
- Voor herbebossing lijken er weinig kennislacunes te bestaan.

7.2 Onderzoeksprogramma richtingen

De inzet van negatieve CO_2-emissie staat nog in de kinderschoenen. De focus ligt nu op het voorkomen van positieve emissies. Een onderzoeksprogramma voor negatieve emissies zou zich dan nu vooral moeten richten op meer begrip krijgen, met name over de keten als geheel. Hoe ziet de keten van negatieve CO_2-emissie eruit, wat zijn de netto effecten, hoe wordt dit gemeten en hoe wordt de duurzaamheid geborgd? Het is nuttig om dit voor alle technieken en ketens nader in kaart te brengen. Daarbij denken we ook aan het gebruik van CO_2 in materialen en de permanentie van dit gebruik. Dit pakt de kennislacune op het gebied van de definitie van negatieve emissies en de permanentie van de vastlegging van die emissies aan.

Technieken kennen neveneffecten, o.a. op het gebied van water-, land- en energiegebruik. Bij het in kaart brengen van de keten is een relevante onderzoeksvraag in hoeverre deze neveneffecten aanvaardbaar zijn, vallen op te lossen of te mitigeren en welke oplossingsrichtingen daarvoor mogelijk zijn. Dat geeft een beeld van de toekomstige inzet van deze technieken, op basis waarvan beleidsmakers kunnen beslissen hoe zij deze neveneffecten meewegen in besluitvorming.

Een tweede richting voor het onderzoeksprogramma is kennisuitwisseling tussen verschillende technieken. Het nut van een integraal programma, waarin beide typen concepten (biologisch en chemisch/fysisch) zijn opgenomen, is dat hier ruimte voor ontstaat. Bijvoorbeeld voor het in kaart brengen van neveneffecten, de permanentie van gebruiksmogelijkheden of wellicht dat begrip voor de principes van bepaalde technieken tot inzichten kan leiden voor andere technieken, hoewel dit op voorhand niet valt te zeggen.

Tot slot valt er per techniek een lijn te maken met techniek specifiek benodigd onderzoek, waarbij, op basis van de nu geconstateerde lacunes, met name in de ontwikkeling van DACCS nog veel potentie en kansen voor Nederland lijken te liggen. Voor veel technieken worden de kennislacunes reeds opgelost met de bovengenoemde eerste richting: de keten en het onderzoeken van oplossingsrichtingen voor neveneffecten.

In de interviews is het belang van toepassingsgericht onderzoek benadrukt. Het gaat erom te zorgen dat de technieken in de praktijk kunnen functioneren en schaalbaar zijn. Overwogen kan worden om pilots en demonstratieprojecten onderdeel uit te laten maken van een dergelijk programma.

Het onderzoeksprogramma kan beleidsmakers ook inzicht verschaffen in wat er aan beleid nodig is om negatieve CO_2-emissie concepten mogelijk te maken. De basis vormt echter het verkrijgen van begrip voor de keten en de potentie van negatieve CO_2-emissie in Nederland.

7.3 Mogelijkheid samenwerking met EU

Er vindt al veel samenwerking plaats tussen individuele kennisinstellingen in Nederland en het buitenland. Vanuit de EU komen er innovatiegelden beschikbaar. Het onderzoeksprogramma zou op *calls* vanuit deze gelden kunnen reageren met deelonderzoeken.

Het is vooral belangrijk om af te bakenen waar reeds beleid wordt ontwikkeld in EU-verband en waar het onderzoeksprogramma zich dan minder op hoeft te richten. Denk aan de ontwikkeling van een monitorings- en verificatiesysteem in EU-verband. Hier ligt dan minder urgentie voor het onderzoeksprogramma.

Daarnaast is er de mogelijkheid om uitwisseling te creëren met bestaande onderzoeksprogramma's in andere EU-landen, zoals het Duitse programma, of met het Verenigd Koninkrijk.

7.4 Zienswijze NGO's

In het kader van deze studie is er gesproken met verschillende NGO's. Deze onderschrijven de noodzaak voor negatieve CO_2-emissie. Op dit moment zit de wereld nog niet op het goede pad om klimaatverandering te beperken. Negatieve CO_2-emissie kan als noodrem dienen in dit stadium van nood. Wel zijn er enkele zorgen.

Ten eerste, negatieve CO_2-emissie is geen alternatief voor het verminderen van broeikasgasemissies of een excuus voor uitgestelde actie. Het hoofddoel is het reduceren van broeikasgasemissies. Negatieve emissies kunnen wel deel uitmaken van de CO_2-reductie maatregelen.

Ten tweede, er moet goed nagedacht worden over de randvoorwaarden waaronder negatieve CO_2-emissie plaatsvindt. Zo is een ketenbenadering belangrijk, waarbij de emissies over de gehele keten moeten leiden tot netto negatieve CO_2-emissie. Het is belangrijk dat er vanuit een integrale blik gekeken worden, waarin de voordelen en nadelen van een concept worden gewaardeerd op basis van een breder perspectief dan alleen negatieve CO_2-emissie. Daarnaast mag het grootschalig inzetten van biomassa niet leiden tot kaalkap, duurzaam bosbeheer en een zo hoogwaardig mogelijk gebruik van biomassa is een vereiste..

8 Conclusie

De interviews met marktpartijen, onderzoeksorganisaties en NGO's onderschrijven het beeld dat technieken en methoden om tot negatieve CO_2-emissie in Nederland te komen van groot belang zijn om de klimaatdoelen te halen. Dit beeld wordt bevestigd uit literatuur met als belangrijkste document de EC publicatie over duurzame koolstof cycli van 15 december 2021.

Marktpartijen (gebruikers) staan daarbij open voor het toepassen van technieken en methoden. Dit in het verlengde van de gangbare praktijk rond vermijden CO_2-emissie en CCS in de industrie, land- water- en bosbeheer. Marktpartijen (toeleveranciers) zijn in de vorm van start ups bezig om technologie te ontwikkelen waarmee CO_2 zich laat verwijderen uit de lucht en vervolgens laat vastleggen. Het gaat daarbij vooral om Direct Air Capture en versnelde verwering van mineralen.

Onderzoeksorganisaties zijn betrokken bij tal van internationale initiatieven waarvan NEGEM een van de belangrijkste is. Zij ontplooien ook zelf initiatieven gericht op negatieve CO_2-emissie. Zo staan zijn goed voorgesorteerd om invulling te geven aan een Nederlands onderzoeksprogramma.

NGO's erkennen het belang van negatieve CO_2-emissie maar met de kanttekening dat niet ten kosten mag gaan van de inspanning gericht op het vermijden van CO_2-emissie en met het zoeken van toepassingen voor groene koolstof die leiden tot langdurige vastlegging van CO_2.

Vanuit de noodzaak en urgentie is er behoefte aan een Nederlands onderzoeksprogramma op het gebied van negatieve CO_2-emissie. Het onderzoeksterrein zal verbindend moeten zijn met onderzoeken die internationaal plaatsvinden en zal bij moeten dragen aan het marktrijp maken van Nederlandse negatieve CO_2-emissie technologie en de ontwikkeling van ketens op grote schaal (Mton plus) waarmee CO_2 uit de atmosfeer wordt verwijderd en vastgelegd op een duurzame wijze. Het onderzoeksprogramma zal verbindingen moeten leggen met andere beleidsterreinen dan alleen Klimaatbeleid, denk hierbij aan circulaire economie, biobased economie, duurzame land- en bosbouw en ruimtelijk beleid. Tot slot is het ontwikkelen van kennis en best practices gericht op integraal CO_2-reductie beleid van groot belang. Het gaat daarbij om meten, verifiëren en handels- en sturingsmechanismen. Zo weet de markt waar zij aan toe is en wordt het mogelijk om de klimaatdoelen op een maatschappelijk verantwoorde wijze te behalen.

Don't wait for the perfect world, we need imperfect solutions. Uitspraak in een van de interviews.

BIJLAGEN

Bijlage A. Begrippenlijst

Concept	Definition	Source
(Climate change) mitigation	A human intervention to reduce emissions or enhance the sinks of greenhouse gases.	IPCC, 2018
Carbon dioxide removals	Anthropogenic activities removing CO2 from the atmosphere and durably storing it in geological, terrestrial, or ocean reservoirs, or in products. It includes existing and potential anthropogenic enhancement of biological or geochemical sinks, and direct air capture and storage, but excludes natural CO2 uptake not directly caused by human activities.	IPCC, 2018
Climate neutrality	Concept of a state in which human activities result in no net effect on the climate system. Achieving such a state would require balancing of residual emissions with emission (carbon dioxide) removal as well as accounting for regional or local bio geophysical effects of human activities that, for example, affect surface albedo or local climate.	IPCC, 2018
	The EU defines climate neutrality as net-zero GHG emissions, or "no net emissions of greenhouse gases".	EU, 2018
Common but Differentiated Responsibilities and Respective Capabilities (CBDR-RC)	Common but Differentiated Responsibilities and Respective Capabilities (CBDR–RC) is a key principle in the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) that recognises the different capabilities and differing responsibilities of individual countries in tacking climate change. The principle of CBDR–RC is embedded in the 1992 UNFCCC treaty. The convention states: "… the global nature of climate change calls for the widest possible cooperation by all countries and their participation in an effective and appropriate international response, in accordance with their common but differentiated responsibilities and respective capabilities and their social and economic conditions." Since then, the CBDR-RC principle has guided the UN climate negotiations.	IPCC, 2018
	A foundational principle of the UNFCCC, described in Art 3 (1) UNFCCC that states that developed countries should take the lead in combating climate change. It is also the principle that explains the differentiated nature of commitment under the Paris Agreement through "Nationally Determined Contributions".17	UNFCCC, 1992
Emissions reductions	Art 1 (4) of the UNFCCC defines emissions as "the release of greenhouse gases and/or their precursors into the atmosphere over a specified area and period of time". Emissions reductions can therefore be defined as: a reduction in the release of greenhouse gases from an emitting source into atmosphere. GHG emissions reductions are a form of climate change mitigation.	UNFCCC, 1992 authors' own elaboration
Geoengineering	Geoengineering refers to a broad set of methods and technologies that aim to deliberately alter the climate system in order to alleviate the impacts of climate change.	IPCC, 2013
	In this report, separate consideration is given to the two main approaches considered as 'geoengineering' in some of the literature: solar radiation modification (SRM) and carbon dioxide removal (CDR). Because of this separation, the term 'geoengineering' is not used in this report.	IPCC, 2018
GHG removal	Withdrawal of a GHG and/or a precursor from the atmosphere by a sink.	IPCC, 2018
Land use, land-use change and forestry (LULUCF)	In the context of national greenhouse gas (GHG) inventories under the UNFCCC, LULUCF is a GHG inventory sector that covers anthropogenic emissions and removals of GHG from carbon pools in 'managed land', excluding non-CO_2 agricultural emissions. Following the 2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories, 'anthropogenic' land related GHG fluxes are defined as all those occurring on 'managed land', i.e., "where human interventions and practices have been applied to perform production, ecological or social functions". Since managed land may include CO_2 removals not considered as 'anthropogenic' in some of the scientific literature assessed in this report (e.g., removals associated with CO_2 fertilization and Nitrogen (N) deposition), the land-related net GHG emission estimates included in this report are not necessarily directly comparable with LULUCF estimates in National GHG Inventories.	IPCC, 2018
Negative emissions	Removal of greenhouse gases (GHGs) from the atmosphere by deliberate human activities, i.e., in addition to the removal that would occur via natural carbon cycle processes.	IPCC, 2018
Negative emissions technologies (NETs)	A technology or management option referring to a set of techniques that aim to remove CO_2 directly from the atmosphere by either (1) increasing natural sinks for carbon or (2) using chemical engineering to remove the CO_2, with the intent of reducing the atmospheric CO_2 concentration.	Fuss et al., 2018
Net negative emissions	A situation of net negative emissions is achieved when, as result of human activities, more greenhouse gases are removed from the atmosphere than are emitted into it. Where multiple greenhouse gases are involved, the quantification of negative emissions depends on the climate metric chosen to compare emissions of different gases (such as global warming potential, global temperature change potential, and others, as well as the chosen time horizon).	IPCC, 2018
Net zero CO_2 emissions	Net zero carbon dioxide emissions are achieved when anthropogenic CO_2 emissions are balanced globally by anthropogenic CO_2 removals over a specified period.	IPCC, 2018
Sink	A reservoir (natural or human, in soil, ocean, and plants) where a greenhouse gas, an aerosol or a precursor of a greenhouse gas is stored.	IPCC, 2018
	"Sink" means any process, activity or mechanism which removes a greenhouse gas, an aerosol or a precursor of a greenhouse gas from the atmosphere.	UNFCCC, 1992

Bron: Setting the context for an EU policy framework for negative emissions, scoping paper (CEPS, 2021)

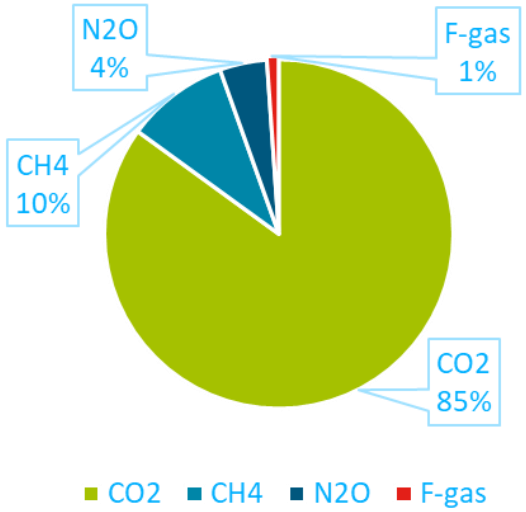
Bijlage B. Overzicht van geïnterviewde personen/organisaties

Categorie	Organisatie	Persoon	Datum
Petrochemie	Shell	Marc Zwart	27 januari
Energiesector	Vattenfall	Marnix van Alphen	11 februari
Energiesector	RWE	Marinus Tabak Jens Fuhrman	9 februari
Biobrandstof	Neste	Salla Ahonen Dietmar Huber	22 februari
Afvalsectro	AVR	Hans Wassenaar Michiel Timmerije	24 januari
Bosbouw	Staatsbosbeheer	Henk Wanningen	10 februari
DAC	Carbyon	Wim Verstappen Hans de Neve	11 januari
Mineralen	Green Minerals	Pol Knops	6 februari
Mineralen	SCW Systems	Wout de Groot	19 januari
Onderzoek	TU Delft	Samantha Tanzer	20 januari
Onderzoek	PBL	Detlef van Vuuren Bart Strengers	25 januari
Onderzoek	TNO	Soledad van Eijk Filip Neele (ZEP)	14 januari
Onderzoek	TU Eindhoven	Richard van der Sanden	26 januari
Onderzoek	U Twente	Jos Keurentjes	27 januari
Onderzoek	WUR	Mathilde Hagen	3 februari
Onderzoek	U Utrecht	Martin Junginger	20 januari
NGO	Natuur & Milieu	Peter de Jong	17 januari
NGO	Urgenda	Marjan Minnesma	8 februari
Branche	VNP	Corneel Lambregts	26 januari
Agentschap	RVO	Harry Vreuls	19 januari
Agentschap	RVO	Gerdi Breembroek	11 februari

Bijlage C. CO_2 en broeikasgasemissies in Nederland

Nadruk bij negatieve emissies ligt op CO_2 verwijdering omdat:

- CO_2 een zeer stabiel broeikasgas is, halfwaardetijd groter dan 1.000 jaar
- Aandeel CO_2 in broeikasgaseffect het grootst is, 85% en 153,6 Mton in 2019 (CBS)
- CO_2 verwijdering tal van meekoppelkansen biedt voor verduurzamen leefklimaat.

Dit in vergelijking tot: Methaan (CH_4), Lachgas (N_2O) en Fluor gassen (HFK, SF_6)

Broeikasgas	Halfwaarde	CO_2 equivalent
CO_2	> 1.000 jaar	1
CH_4	8,5 jaar	23
N_2O	120 jaar	296