



# ***Hoe zou verantwoord CDR-beleid en -onderzoek er in Nederland uit kunnen zien?***

*Een verkennend rapport met  
aanbevelingen voor beleid en  
onderzoek*

**Samenvatting**

# HOE ZOU VERANTWOORD CDR-BELEID EN -ONDERZOEK ER IN NEDERLAND UIT KUNNEN ZIEN?

EEN VERKENNEND RAPPORT MET AANBEVELINGEN  
VOOR BELEID EN ONDERZOEK

EEN RAPPORT IN OPDRACHT VAN KLIMAATONDERZOEK INITIATIEF NEDERLAND  
(KIN) EN UITGEVOERD DOOR ONDERZOEKERS VAN DE UNIVERSITEIT TWENTE,  
TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT, EN DELTARES

## AUTEURS

NICOLE HUIJTS\*, SAMANTHA ELEANOR  
TANZER\*, ROSALIE ARENDT, MICHEL  
BOURBAN, CHERYL DE BOER, WIM  
BRILMAN, GUUS DIX, ANNE DIJKSTRA,  
DOMINIC LENZI, ANDREW NELSON,  
MICHAEL SCHLUND, WOUTER VAN DER  
STAR, MARIJN WINKELHORST

\*HOOFDAUTEURS (DE OVERIGE AUTEURS  
STAAN IN ALFABETISCHE VOLGORDE)

## EDITOR

SAMANTHA ELEANOR TANZER

## RAPPORTCOÖRDINATOR

NICOLE HUIJTS

## KIN PROGRAMMA COÖRDINATOR

MIRKO LUKÁCS

## VOORGESTELDE REFERENTIE

Huijts, N.M.A., Tanzer, S.E., Arendt, R., Bourban, M., de Boer, C., Brilman, W., Dix, G., Dijkstra, A., Lenzi, D., Nelson, A., Schlund, M., van der Star, W., Winkelhorst, M. (2026) *What could responsible carbon dioxide removal look like in the Netherlands? An exploratory study with recommendations for research and governance [Dutch Summary]*. University of Twente/Klimaatonderzoek Initiatief Nederland. <https://doi.org/10.3990/1.9789036572040>

UNIVERSITY  
OF TWENTE.

 TU Delft

Deltares

 KIN  
Klimaatonderzoek  
Initiatief Nederland  
Samen transitie versnellen

ISBN: 978-90-365-7204-0

©2026. This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International.  
To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# Samenvatting

---

Aangezien de huidige inspanningen om klimaatverandering tegen te gaan nog steeds tekortschieten, is koolstofverwijdering (CDR—"carbon dioxide removal") hoger op de politieke agenda komen te staan, onder meer in het meest recente Nationale Klimaatplan van de Nederlandse regering. CDR kan plaatsvinden via technieken die zowel actief CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer halen als voorkomen dat die CO<sub>2</sub> weer in de atmosfeer terechtkomt. Organisaties zoals het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en de Wetenschappelijke Klimaatraad (WKR) stellen dat grootschalige CDR zeer waarschijnlijk nodig zal zijn om tijdig een CO<sub>2</sub>-neutrale samenleving te realiseren om de doelstellingen van het Akkoord van Parijs te halen en de vrijwel onvermijdelijke overschrijding in de wereldwijde temperatuurstijging te verminderen. Grootschalige toepassing van CDR-technieken roept echter ook veel vragen op, met name over de mogelijke negatieve ecologische en maatschappelijke effecten en de benodigde beleidskaders. De discussie wordt bemoeilijkt door het brede palet aan CDR-technieken die zich in verschillende ontwikkelingsstadia bevinden, verschillende profielen hebben wat betreft het gebruik van hulpbronnen, en gepaard gaan met uiteenlopende risico's en onzekerheden.

Dit verkennende rapport, uitgevoerd door onderzoekers van de Universiteit Twente, de Technische Universiteit Delft en Deltares, in opdracht van KIN (Klimaatonderzoek Initiatief Nederland), beantwoordt de volgende centrale vraag:

*Hoe zou verantwoord CDR-beleid en -onderzoek er in Nederland uit kunnen zien?*

De vraag leidde tot een veelzijdige, kritische beoordeling van vormen en configuraties van CDR die potentieel in Nederland kunnen worden ingezet. Deze studie heeft een breed scala aan CDR-types beoordeeld om inzicht te krijgen in zowel de mogelijke voordelen en effecten van CDR als in de onzekerheden en risico's. Vervolgens is gekeken naar de manier waarop CDR de concurrentie om schaarse hulpbronnen binnen en buiten Nederland zou kunnen versterken en welke monitortechnieken ten behoeve van risicomanagement beschikbaar zijn. Aangezien CDR-technieken altijd binnen een maatschappelijke context plaatsvinden, werpt deze studie ook een kritische blik op de huidige maatschappelijke en politieke omstandigheden in Nederland en beoordeelt welke voorwaarden nodig zijn om te voorkomen dat mitigatiemaatregelen worden ontmoedigd of dat onrechtvaardige risico's en lasten worden overgedragen op bijvoorbeeld volgende generaties als gevolg van de opschaling van CDR. Het rapport bundelt inzichten uit literatuuronderzoek uitgevoerd door onderzoekers met een breed scala aan academische expertise (onder meer ingenieurs, sociale wetenschappers en filosofen, met inzichten verzameld via interviews, schriftelijke feedback en een workshop met vertegenwoordigers van de overheid, het bedrijfsleven, maatschappelijke organisaties en onderzoeksinstituten. Dit onderzoek identificeert een uitgebreide lijst van op te vullen kennislacunes voordat inzet van CDR-technieken kan worden gekwantificeerd. Het rapport sluit af met aanbevelingen voor beleidsmakers en managers van onderzoeksprogramma's.

## Samenvatting van overkoepelende kwesties voor de inzet van CDR

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gereedheid                      | <p>CDR-systemen zijn divers en veel daarvan gebruiken componenten die momenteel in de handel verkrijgbaar zijn. Vanwege onzekerheden over beschikbare hulpbronnen, de veiligheid van koolstofopslag en technologie-integratie, evenals tekortkomingen op het gebied van bestuur en rapportage, is echter geen enkele CDR-technologie al klaar voor grootschalige toepassing in Nederland. Alle soorten CDR-opties kunnen worden toegepast in Nederland, maar moeten per geval worden beoordeeld om de specifieke voordelen en risico's ervan in kaart te brengen. Al met al is het is nog niet mogelijk om goed in te schatten in welke mate CDR in de toekomst beschikbaar is.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Beschikbaarheid van hulpbronnen | <p>Nederland is een klein, dichtbevolkt land met beperkte bronnen en middelen om grootschalige CDR binnen zijn grenzen te ondersteunen.</p> <p><b>Land:</b> Bijna al het land in Nederland is al in gebruik. Elke inzet van specifieke, op land gebaseerde CDR of ondersteunende activiteiten (bijv. biomassaproductie, productie van zonne-energie) concurreert met bestaande en alternatieve vormen van landgebruik.</p> <p><b>Biomassa:</b> De extra productie van biomassa in Nederland wordt, zoals hierboven vermeld, beperkt door de beschikbare grond. Het gebruik van geïmporteerde biomassa (bijvoorbeeld voor biochar of BECCS) is mogelijk, maar brengt het risico met zich mee dat ecologische en sociale lasten worden overgedragen naar de regio van de teelt. Het toepassen van CCS op de verbranding van bestaande afvalbiomassa is een minder risicovolle bron van BECCS, maar de beschikbaarheid ervan kan afnemen naarmate de concurrentie om biomassa toeneemt, met name voor toepassingen met een hogere toegevoegde waarde (bijvoorbeeld biomaterialen, chemicaliën, meststoffen) en biomassa in de loop van de tijd efficiënter wordt gebruikt.</p> <p><b>Energie:</b> Nederland heeft een sterk overbelast elektriciteitsnet en de concurrentie om extra elektriciteit en warmte blijft groot, zowel vanuit de industrie als vanuit de consumenten.</p> <p><b>Mineralen:</b> Er zijn in Nederland geen noemenswaardige afzettingen van mineralen die geschikt zijn voor versnelde verwerking; deze zouden daarom moeten worden geïmporteerd, waardoor de daarmee samenhangende transportemissies toenemen.</p> <p><b>CO<sub>2</sub>-transport- en opslaginfrastructuur:</b> Nederland is begonnen met de ontwikkeling van CO<sub>2</sub>-transport- en opslaginfrastructuur, maar is nog niet begonnen met actieve injectie. Er is offshore geologische opslag beschikbaar, onder meer in de vorm van uitgeputte olie- en gasbronnen. De beoordeling van de toekomstige schaalbaarheid van CO<sub>2</sub>-opslag zal afhangen van 'al doende leren'.</p> |
| Risico's                        | <p>Het grootste risico van CDR is dat activiteiten om de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer te verlagen juist, direct of indirect, tot meer opwarming leiden. Deze risico's vloeien voort uit onzekerheden bij het voorspellen van netto klimaatvoordelen en neveneffecten, indirecte effecten door concurrentie om hulpbronnen en afzwakking van klimaatmitigatiemaatregelen ("mitigation deterrance"), evenals de mogelijkheid dat opgeslagen koolstof weer vrijkomt in de atmosfeer. Deze risico's nemen toe naarmate de schaal van CDR toeneemt. Risicobeheer vereist strenge en conservatieve regels voor meting, rapportage, kennisuitwisseling en monitoring, evenals aansprakelijkheids- en noodplannen, die allemaal regelmatig moeten worden geëvalueerd en herzien naarmate de kennis over CDR toeneemt.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

## Samenvatting van overkoepelende kwesties voor de inzet van CDR, *vervolg*

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Klimaatrechtvaardigheid</b>            | Klimaatrechtvaardigheid vormt het kader voor onderzoeks- en innovatieactiviteiten op het gebied van koolstofverwijdering (CDR), waarbij de nadruk ligt op het belang van internationale en intergenerationele rechtvaardigheid in het klimaatbeleid, evenals op morele conflicten die door CDR-maatregelen ontstaan tussen mondiale, regionale en lokale schaalniveaus. Belangrijke ethische bezwaren tegen CDR zijn onder meer het uitstellen van mitigatiemaatregelen, onaanvaardbare neveneffecten van grootschalige implementatie, het overschatten van de technische mogelijkheden om CO <sub>2</sub> te verwijderen, en de rol van grote uitstoters die profiteren van CDR.                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Maatschappelijk draagvlak</b>          | De maatschappelijke acceptatie is van invloed op het succes van de implementatie van CDR en moet worden meegenomen bij zowel ontwikkeling van beleid als bij besluitvorming over specifieke projecten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Belangrijke onderzoeksbehoeften</b>    | Beoordeling van het overheidsbeleid rond CDR en de boekhoudpraktijken om het risico op afzwakking van mitigatiemaatregelen, onderwaardering van negatieve effecten en dubbeltelling van voordelen tot een minimum te beperken.<br>Een in tijd en ruimte expliciete beoordeling van risico's en voordelen, met inbegrip van opwarmings- en afkoelingseffecten, evenals de vraag naar hulpbronnen en nevenvoordelen voor alle CDR-technieken. De interacties tussen de opschaling van CDR en andere Nederlandse klimaatmaatregelen en de vraag naar hulpbronnen, met inbegrip van technische, economische en sociale gevolgen en mogelijke synergieën.<br>Het vaststellen van de behoefte aan CDR door een nauwkeurige bepaling van de resterende emissies, waarbij zowel de hoogst mogelijke ambitie voor emissiereductie als de realistische inzetmogelijkheden van CDR worden meegenomen. |
| <b>Aanbevelingen voor overheidsbeleid</b> | De Nederlandse klimaatdoelstellingen zijn niet afhankelijk van een specifieke hoeveelheid CDR totdat verder onderzoek een realistisch niveau van beschikbaarheid en schaalbaarheid heeft vastgesteld.<br>Bij CDR-initiatieven wordt prioriteit gegeven aan projecten die aansluiten bij bestaande activiteiten in Nederland, om risico's en de vraag naar hulpbronnen te verminderen en nevenvoordelen te maximaliseren. Bij biologische CDR op land krijgt ecologische meerwaarde voorrang boven het maximaliseren van koolstofopslag.<br>Particuliere partners met een staat van dienst waarin zij aanzienlijk hebben bijgedragen aan broeikasgasemissies en het ondermijnen van het klimaatbeleid, ontvangen geen overheidsfinanciering om CDR uit te voeren, en zijn niet betrokken bij door de overheid (mede)gefinancierde CDR-onderzoeks- en innovatieconsortia.                    |

## Kenmerkende eigenschappen van CDR

Het kenmerkende aspect van een CDR-systeem of techniek is de opname en opslag van koolstof uit de atmosfeer (dat wil zeggen kooldioxide, CO<sub>2</sub>), hetzij via natuurlijke processen (bijvoorbeeld via fotosynthese), hetzij via technologische processen (bijvoorbeeld via chemische oplosmiddelen). Systemen die uitsluitend fossiele koolstof uit uitlaatgassen afvangen en opslaan (bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> afgevangen bij de verbranding van fossiele brandstoffen of bij de cementproductie) verminderen de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die aan de atmosfeer wordt toegevoegd, maar vallen niet onder CDR.

Volgens de IPCC-indeling kunnen CDR-technieken worden onderverdeeld in drie hoofdtypen: biologische CDR op het land (waaronder CDR via levende ecosystemen en gewonnen biomassa), biologische CDR in de oceaan en (geo)chemische CDR:

1. **Biologische CDR op het land** omvat de opname van CO<sub>2</sub> via fotosynthese in ecosystemen. CDR via levende ecosystemen is afhankelijk van natuurlijke, levende systemen die in staat zijn koolstof op te slaan in de levende biomassa en ander organisch materiaal. Dit type CDR kan verder worden onderverdeeld in bebossing en verbeterd bosbeheer, herstel van zogenoemde wetlands (moerasgebieden) en veengebieden, en koolstofopslag in landbouwgrond. Anderszins kan CDR plaatsvinden via gewonnen biomassa, waarbij de biomassa wordt geoogst en elders wordt opgeslagen. Dit betreft biomassa in combinatie met koolstofafvang en -opslag ("BioCCS" of "BECCS"), waarbij de biomassa wordt verbrand en de resulterende CO<sub>2</sub> wordt opgeslagen in geologische formaties, en de vorming van zogeheten biochar door pyrolyse van biomassa, die vervolgens kan worden opgeslagen in bodems of andere reservoirs (bijv. door begraving).
2. **Biologische CDR in de oceaan** omvat de afvang van CO<sub>2</sub> uit het oppervlaktewater van de oceaan via fotosynthese, waardoor de oceaan meer CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer kan opnemen. Dit kan worden bereikt door het kweken en laten bezinken van micro- en macrobiomassa in de oceaan, waarvan wordt verwacht dat deze in marien sediment terechtkomt (oceanbemesting en het kweken en laten bezinken van macroalgen), of via het herstel of de uitbreiding van kustvegetatie. In de oceaan gekweekte biomassa kan ook worden geoogst en gebruikt voor bio-CCS, waarbij de resulterende CO<sub>2</sub> wordt opgeslagen in geologische formaties.
3. **Geochemische CO<sub>2</sub>-reductie** omvat land-gebonden methoden waarbij de directe opname van gasvormig CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer via fysische of chemische methoden wordt geconcentreerd, gezuiverd en opgeslagen in geologische formaties (bijvoorbeeld lege olie- en gasvelden, zout- of watervoerende lagen) — ook wel bekend als DACCS ("direct air (carbon) capture and storage") — en de carbonisatie van atmosferisch CO<sub>2</sub> in onverzadigde minerale gesteenten (bijvoorbeeld olivijn en wollastoniet), waardoor carbonaten en bicarbonaten worden gevormd, die vervolgens in het mineraal zelf worden opgeslagen (mineralisatie) of in de bodem worden opgelost (versnelde verwerking). Deze categorie omvat ook analoge methoden waarbij CO<sub>2</sub> uit de oceaan wordt verwijderd en daarin wordt opgeslagen, bijvoorbeeld door het verspreiden van alkalische materialen (bijv. silicaten, carbonaten) in het water, die opgeloste CO<sub>2</sub> binden (verhoging van de alkaliteit van de oceaan), of door directe CO<sub>2</sub>-afvang uit de oceaan (DOCCS) met behulp van bijvoorbeeld elektrochemische processen.

## Samenvatting van aandachtspunten bij CDR-technieken: biologische CDR op het land

| CDR-techniek                                          | Gereedheid                                                                                                                                                 | Belangrijkste hulpbronnen                                                              | Integratiepotentieel                                                                                                    | Risico's                                                                                                                                                                                                                                | Belangrijkste onderzoeksbehoeften                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bebossing, herbebossing en verbeterd bosbeheer</b> | Technisch volwassen praktijken. Vereist voortdurend beheer.                                                                                                | Grond; beperkte mogelijkheden om bestaande bosbouwpraktijken te intensiveren.          | Nevenvoordelen voor de biodiversiteit, bodemkwaliteit en het lokale temperatuurbeheer.                                  | Vrijgave van opgeslagen koolstof als gevolg van plagen, branden, droogte of menselijke activiteiten.                                                                                                                                    | Potentieel, risico's, profielen en beheer onder veranderende klimatologische omstandigheden en concurrentie om hulpbronnen.                             |
| <b>Herstel van veengebieden</b>                       | Technisch volwassen praktijken. Vereist continu beheer.                                                                                                    | Grond; momenteel ontwaterde veengebieden die nu worden gebruikt voor landbouw.         | Nevenvoordelen voor de biodiversiteit en het waterbeheer, veenlandbouw.                                                 | Methaanemissies uit opnieuw bevochtigde veengebieden; indirecte effecten van herbestemming van landbouwgrond.                                                                                                                           | Timing van klimaateffecten; potentieel, risico's, profielen en beheer onder veranderende klimatologische omstandigheden en concurrentie om hulpbronnen. |
| <b>Koolstofopslag in landbouwgrond</b>                | Technisch volwassen praktijken. Vereist continu beheer. Behoeft aan kennisuitwisseling en maatschappelijke acceptatie.                                     | Land; kan op dezelfde locatie worden toegepast als bestaande landbouwgrond.            | De effecten op gewasopbrengsten en de behoefte aan aanvullende voedingsstoffen kunnen zowel positief als negatief zijn. | Koolstofopslag is zeer gevoelig voor veranderingen in beheerpraktijken.                                                                                                                                                                 | Effectieve meting en monitoring; methoden om koolstofopslag in evenwicht te brengen met andere milieudoelstellingen.                                    |
| <b>Biomassa met koolstofafvang en -opslag</b>         | De afzonderlijke technologieën zijn volwassen, maar de systeemintegratie is nog niet op grote schaal bewezen. Lange doorlooptijden voor de infrastructuur. | Infrastructuur voor biomassa, CO <sub>2</sub> -transport en -opslag.                   | CO <sub>2</sub> -opslag kan worden toegepast op bestaande afvalenergiecentrales, fermentatie- en biogasinstallaties.    | Technische uitdagingen; stabiliteit van de CO <sub>2</sub> -opslag; moeilijkheden bij het opschalen van CO <sub>2</sub> -opslag; klimaateffecten van de toeleveringsketen voor biomassa; Indirecte effecten van de invoer van biomassa. | Monitoring en beheer van directe en indirecte effecten van het gebruik van geïmporteerde biomassa, inclusief niet-klimaatgerelateerde effecten.         |
| <b>Biochar</b>                                        | Technisch volwassen productieproces, maar grote onzekerheid over afbraak en duurzaamheid, meetbaarheid en bijkomende effecten.                             | Biomassa, grond; Kan op dezelfde locatie worden aangelegd als bestaande landbouwgrond. | Mogelijke positieve en negatieve effecten of de gewasopbrengst, waterretentie en stikstofemissies.                      | Methaanemissies tijdens de productie van biochar; onzekere afbraaksnelheden; effecten van bodeminteracties zijn moeilijk te voorspellen; afname van de lokale weerkaatsing van zonnestraling.                                           | Afbraak onder veranderende klimaatomstandigheden; bodeminteracties; monitoring en verificatie van opslag in de bodem en daarbuiten.                     |

## Samenvatting van aandachtspunten bij CDR-technieken: Biologische CDR- in de oceaan

| CDR-techniek                                    | Gereedheid                                                                                                                          | Belangrijkste hulpbronnen                      | Integratiepotentieel                                              | Risico's                                                                                                                                           | Belangrijkste onderzoeksbehoeften                                                                                           |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Oceaanbemesting</b>                          | Beperkte veldproeven. De opslag van gezonken microalgen blijft zeer onzeker. Momenteel verboden door internationale overeenkomsten. | Geschikte locaties in de oceaan.               | Onbekend.                                                         | Verstoring van het ecosysteem; verkeerde inschatting van de klimaatvoordelen.                                                                      | Het meten en monitoren van koolstofopslag; indirecte effecten op mariene ecosystemen.                                       |
| <b>Kweek en bezinking van macroalgen</b>        | De kweek van macroalgen is technisch volwassen. De opslag van gezonken macroalgen blijft zeer onzeker.                              | Geschikte locaties in de oceaan voor de teelt. | Onbekend.                                                         | Verstoring van het ecosysteem; verkeerde inschatting van de klimaatvoordelen.                                                                      | Het meten en monitoren van koolstofopslag; indirecte effecten op mariene ecosystemen.                                       |
| <b>Herbebossing en herstel van kustgebieden</b> | Technisch volwassen praktijken. Vereist voortdurend beheer.                                                                         | Kustgebied en ruimte dicht bij de kust.        | Nevenvoordelen voor de biodiversiteit en het overstromingsbeheer. | Verkeerde schatting van de koolstofopname; heruitstoot van opgeslagen koolstof als gevolg van plagen, branden, droogte of menselijke activiteiten. | Potentieel, risico's, profielen en beheer onder veranderende klimatologische omstandigheden en concurrentie om hulpbronnen. |

## Samenvatting van aandachtspunten bij CDR-technieken: (Geo)chemische CDR

| CDR-techniek                                          | Gereedheid                                                                                                                                                                                              | Belangrijkste hulpbronnen                                                                                                                                                      | Integratiepotentieel                                                                            | Risico's                                                                                                                                                                                                      | Belangrijkste onderzoeksbehoeften                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Directe koolstofafvang en -opslag uit de lucht</b> | Er zijn baanbrekende technologieën op demonstratieschaal beschikbaar, maar de schaalbaarheid is onzeker, met name wat betreft de integratie met CO <sub>2</sub> -opslag en energiesystemen.             | Energie.                                                                                                                                                                       | Onbekend.                                                                                       | Technische uitdagingen; stabiliteit van de CO <sub>2</sub> -opslag; moeilijkheden bij het opschalen van de CO <sub>2</sub> -afvang en opslag; concurrentie om energie (en water voor bepaalde soorten DACCS). | Vermindering van de energie- en chemische behoeften; afvangrendement bij wisselende weers- en klimaatomstandigheden.                              |
| <b>Versnelde verwerking van gesteente</b>             | De afzonderlijke technologieën zijn technisch volwassen, maar de technieken voor het meten en monitoren van de opname en opslag van koolstof bevinden zich nog in de ontwikkelingsfase van veldproeven. | Energie, mineralen, land; kan op dezelfde locatie worden uitgevoerd als bestaande landbouwgrond, evenals andere in gebruik zijnde grond, mijnbouw- en transportinfrastructuur. | Potentiële impact op bodemkwaliteit en gewasopbrengsten, maar sterk locatiespecifiek.           | Verkeerde schatting van de koolstofopname; ecologische interacties; gezondheidsrisico's door fijnstof, toegenomen mijnbouwactiviteiten, afhankelijkheid van import.                                           | Meting en monitoring van de CO <sub>2</sub> -opname; mogelijke interacties binnen het ecosysteem.                                                 |
| <b>Verhoging van de alkaliteit van de oceaan</b>      | Kleinschalige pilotstudies, laboratoriumonderzoek en modellering. De daadwerkelijke koolstofopname en indirecte effecten zijn zeer onzeker. Momenteel verboden door internationale overeenkomsten.      | Mineralen, energie, mijnbouw en transportinfrastructuur.                                                                                                                       | Onbekend.                                                                                       | Ecologische interacties kunnen lokale ecosystemen verstoren of de netto klimaatvoordelen verminderen; toegenomen mijnbouwactiviteiten; afhankelijkheid van import.                                            | Tracering van de verspreiding van mineralen; indirecte effecten; onderscheid maken tussen de effecten van de activiteit en natuurlijke processen. |
| <b>Directe koolstofafvang en -opslag in de oceaan</b> | Kleinschalige demonstratie-installaties in bedrijf.                                                                                                                                                     | Energie; toegang tot de kust; infrastructuur voor het transport en de opslag van CO <sub>2</sub> .                                                                             | Door de combinatie met ontziltingsinstallaties kunnen infrastructuur en energie worden gedeeld. | Onbekende effecten op het ecosysteem en indirecte effecten.                                                                                                                                                   | Invloed van lokale klimatologische omstandigheden; effecten op het ecosysteem.                                                                    |

## CDR in Nederland

Op dit moment bestaat grootschalige CDR in Nederland voornamelijk uit bebossing, herbebossing en verbeterd bosbeheer, en uit kustvegetatieherbeplanting en -herstel. Deze technieken zijn voornamelijk geïmplementeerd met andere beoogde doelstellingen dan koolstofvastlegging in gedachten. Vooral natuurbeschermingsinspanningen die de biodiversiteit wilden vergroten zijn een belangrijke drijfveer geweest. Andere CDR-technieken, zoals startups en commerciële proefprojecten en door onderzoek gedreven proof-of-concept-initiatieven, komen in Nederland op verwaarloosbare schaal voor.

Onderzoeksinspanningen van andere groepen hebben ook geleid tot adviesrapporten over de toepassing van CDR in Nederland. CE Delft heeft een uitgebreide analyse gepubliceerd over de behoefte aan en het aanbod van CDR in Nederland (de Vries et al., 2025). In het rapport brengen de auteurs het potentieel voor de implementatie van CDR in kaart (zowel technisch haalbare als realistische scenario's). Deze studie is, samen met andere literatuur, door de Nederlandse Wetenschappelijke Klimaatraad gebruikt om de Nederlandse regering te adviseren over het CDR-beleid, wat heeft geleid tot de CDR-routekaart die in 2025 door het Nederlandse Ministerie van Klimaatbeleid en Groene Groei is voorgesteld. De routekaart benadrukt de rol van CDR als strikt aanvullend op emissiereductie en de noodzaak om emissies van broeikasgassen (BKG's) met een lange levensduur te compenseren met permanente vormen van CDR.

Het Nederlandse Klimaatplan 2035-2045 gaat ervan uit dat de periode tot 2030 voor CDR de opstartfase zal zijn, waarin de nadruk ligt op het creëren van passende regelgeving en markten. Vervolgens is de periode 2030-2040 gericht op opschaling, waarbij de inzet van CDR naar verwachting tegen 2040 jaarlijkse verwijderingspercentages van 20-25 Mt CO<sub>2</sub> per jaar kan bereiken. Deze ambities betekenen dat alleen al in Nederland in iets meer dan een decennium 7 tot 28 keer de huidige hoeveelheid wereldwijd ingezette CDR moet worden gerealiseerd. Dit zou een ongekend niveau van technologische kennisontwikkeling en implementatie vereisen, evenals een eveneens ongekend niveau van initiatief en samenwerking binnen en tussen landen voor collectief wereldwijd afvalbeheer.

Het is ook belangrijk om in gedachten te houden dat CDR-systemen zeer divers zijn. Hoewel veel systemen componenten bevatten die momenteel commercieel verkrijgbaar zijn, bestaan er onzekerheden over beschikbare middelen, de veiligheid van koolstofopslag, financiële middelen en technologie-integratie. Daarnaast zijn er bestuurlijke kwesties – zoals tekortkomingen in de boekhouding, marktgedreven uitbreiding en ontmoediging van mitigatie. Ten slotte roept CDR belangrijke ethische problemen op, met name wat betreft de oneerlijke verdeling van klimaatlasten op mondiaal en intergenerationeel niveau en het gebrek aan betrokkenheid bij besluitvormingsprocessen van de mensen die door de effecten van CDR worden getroffen. In het licht van deze bezwaren is geen enkele CDR-techniek duidelijk klaar voor grootschalige toepassing in Nederland. Afzonderlijke CDR-projecten zijn mogelijk binnen alle soorten CDR-systemen, maar moeten per geval worden beoordeeld om de specifieke voordelen en risico's ervan in kaart te brengen. Bovendien mogen de Nederlandse klimaatdoelstellingen niet uitgaan van een specifieke hoeveelheid

CDR omdat het op dit moment niet mogelijk is in te schatten hoeveel CDR er in de toekomst beschikbaar zal zijn. Onderzoek is nodig om een realistisch niveau van beschikbaarheid en schaalbaarheid vast te stellen. Om risico's en de vraag naar hulpbronnen te verminderen en nevenvoordelen te maximaliseren, is het nodig om Nederlandse CDR-projecten te prioriteren die aansluiten bij bestaande activiteiten.

Wat betreft het opschalen van CDR in Nederland springen verschillende risico's in het oog. Allereerst is Nederland een klein en dichtbevolkt land met beperkte middelen om grootschalige CDR-systemen binnen zijn grenzen te ondersteunen. Nederland heeft een sterk overbelast elektriciteitsnet en de concurrentie om extra elektriciteit en warmte, blijft groot vanwege de bestaande en toekomstige vraag van zowel industriële partijen als consumenten. Bovendien is bijna alle grond al in gebruik, zodat elke inzet van specifieke, op het land gebaseerde CDR of ondersteunende activiteiten (bijvoorbeeld biomassaproductie, productie van zonne-energie) concurreert met bestaande en alternatieve vormen van landgebruik. Het gebruik van landbouwafval voor biochar of BECCS via de toepassing van CCS op de verbranding van bestaande afvalbiomassa zijn potentiële bronnen van op biomassa gebaseerde CDR, maar de beschikbaarheid hiervan kan afnemen naarmate biomassa in de loop van de tijd efficiënter wordt gebruikt en de concurrentie om biogene koolstof toeneemt.

De beperkte mogelijkheden voor grootschalige CDR vergroten het risico dat de last van CDR op landen en gemeenschappen elders komt te liggen. Zo zijn er geen noemenswaardige minerale afzettingen in Nederland die geschikt zijn voor versnelde verwerking, waardoor deze zouden moeten worden geïmporteerd, wat de daarmee samenhangende uitstoot en zorgen over grondstofwinning vergroot. Aangezien de extra productie van biomassa in Nederland wordt beperkt door de beschikbare grond, gaat een toename van bijvoorbeeld biochar of BECCS gepaard met een toename van het gebruik van geïmporteerde biomassa. Dit betekent echter dat ecologische en sociale lasten worden overgedragen naar de teeltregio.

Hoewel Nederland is begonnen met de ontwikkeling van infrastructuur voor het transport en de opslag van CO<sub>2</sub> en er potentieel bestaat voor geologische opslag onder de zeebodem, is er nog geen enkele CCS-installatie operationeel en is de toekomstige schaalbaarheid van op CCS gebaseerde CDR-technieken (d.w.z. BECCS, DACCS en DOCCS) onzeker vanwege de al decennialang durende moeilijkheden om de CCS-technologie überhaupt op te schalen.

## Negen belangrijke aandachtspunten rond CDR

Er zijn verschillende punten van zorg rond CDR die belangrijk zijn om in overweging te nemen bij het streven naar de ontwikkeling van verantwoorde CDR. Inzicht in de onzekerheden en risico's die deze punten van zorg met zich meebrengen, en hoe deze op elkaar inwerken en op concurrerende technische, economische en maatschappelijke processen, vormt een belangrijk aandachtsgebied voor verder CDR-onderzoek.

Ten eerste **is de toekomstige beschikbaarheid van CDR onbekend**. De meeste CDR-technieken bevinden zich nog in een pril stadium, met veel technische en nog op te lossen implementatie gerelateerde onzekerheden. Bovendien zijn CDR-systemen doorgaans zeer grondstofintensief, te beginnen met koolstof en energie, en kunnen ze ook grote hoeveelheden land, mineralen, water, ondergrondse CO<sub>2</sub>-opslagreservoirs en andere hulpbronnen vereisen. Hoewel er enige synergie mogelijk is, zal grootschalige CDR concurreren met de vraag naar voedselproductie en infrastructuur, andere economische sectoren en andere mitigatie- en adaptatietechnologieën. Ten slotte hangt de effectiviteit van veel soorten CDR af van klimatologische omstandigheden, die nu al aan het veranderen zijn, wat extra onzekerheid met zich meebrengt voor het potentieel ervan op de lange termijn.

Ten tweede **heeft de toepassing van CDR gevolgen die verder reiken dan de vermindering van broeikasgassen in de atmosfeer**. Hoewel sommige daarvan positief kunnen zijn, zoals verbetering van de biodiversiteit of de bodemkwaliteit, zijn de risico's op negatieve gevolgen groot. Verder kan de behoefte aan hulpbronnen niet alleen leiden tot concurrentie om hulpbronnen, maar mogelijk ook tot andere gevolgen voor ecosystemen en de menselijke gezondheid als gevolg van de CDR-activiteiten, de toeleveringsketens en het afval. De hulpbronnenbehoeften en risico's van een bepaalde CDR-activiteit zijn niet alleen specifiek voor het type CDR, maar ook voor de specifieke locatie en configuratie van het CDR-systeem.

Ten derde **vormt de afzwakking van klimaatmitigatie ("mitigation deterrence") een groot probleem**. Voor CDR-technieken is er de zorg dat het vooruitzicht om CO<sub>2</sub> later uit de atmosfeer te verwijderen, ertoe zal leiden dat zinvolle en effectieve broeikasgasemissiereducties worden uitgesteld. Op basis van de aangevoerde argumenten en de keuzes die door overheids- en bedrijfsactoren zijn gemaakt, zijn er inderdaad aanwijzingen dat mitigatie nu al wordt afgeremd door CDR-gerelateerde argumenten en maatregelen, ondanks de veelvuldige nadruk dat CDR een aanvulling blijft op emissiereducties (niet een vervanging ervan). In het geval dat toepassing van CDR emissiereductie op korte termijn remt, kan dit klimaatgerelateerde risico's en schade verder vergroten. Dergelijke klimaatgerelateerde risico's worden versterkt door de onzekerheid over de vraag welke schaal van toekomstige CDR-toepassing überhaupt aannemelijk is, waardoor ook de langetermijnschade door klimaatverandering toeneemt in het geval dat de momenteel beoogde schaal van CDR nooit beschikbaar komt.

Ten vierde **zijn de duur en de veiligheid van koolstofopslag van cruciaal belang**. Waar en in welke vorm de koolstof uit de atmosfeer wordt opgeslagen is de belangrijkste bepalende factor voor de verwachte duurzaamheid van een CDR-activiteit. Zo is CO<sub>2</sub> dat in geologische

formaties wordt opgeslagen bedoeld voor opslag voor onbepaalde tijd, terwijl opslag in bossen continu beheer vereist om het risico te verminderen dat de opgeslagen koolstof alsnog in de atmosfeer terechtkomt. Vanuit wetenschappelijk perspectief leidt elke toekomstige uitstoot van opgeslagen koolstof tot hernieuwde opwarming van de aarde en zal deze dus opnieuw moeten worden verwijderd als we streven naar "netto- nul" uitstoot van broeikasgassen. Sommigen stellen echter dat CDR met opslagtermijnen in de orde van grootte van enkele decennia tot enkele eeuwen op korte termijn verlichting kan bieden tegen de opwarming, terwijl de mitigatiemaatregelen worden voortgezet. Verschillende vormen van CDR vereisen verschillende vormen van beheer om geschikte opslaglocaties te selecteren, de opslag te monitoren en te voorkomen dat de opgeslagen koolstof niet vrijkomt. Alle vormen van CDR brengen dit risico van vrijkomende koolstof met zich mee, waardoor emissiereductie altijd de voorkeur verdient.

Ten vijfde is het nodig om **zowel de hoeveelheid opgeslagen koolstof in de atmosfeer als de hoeveelheid broeikasgassen die door het CDR-systeem wordt uitgestoten bij te houden (in een boekhouding)**. Hetzelfde geldt voor de benodigde middelen daarvoor. Dit zowel om de voortgang van CDR te volgen als om het risico op 'greenwashing' door landen of bedrijven te vermijden. Voor een bepaalde CDR-activiteit houdt dit in dat de netto verwijdering moet worden gekwantificeerd: de totale hoeveelheid CO<sub>2</sub> die is verwijderd uit de atmosfeer minus de totale hoeveelheid broeikasgassen die aan de atmosfeer is toegevoegd tijdens de processen en toeleveringsketens van de opname en opslag van CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer, inclusief processen na de opslag. Als we dit niet doen, lopen we het risico dat een CDR-activiteit leidt tot een toename van de opwarming van de aarde. Bij broeikasgasboekhouding is de uitdaging om de gegevens in evenwicht te brengen met wetenschappelijke onzekerheden, bestaande boekhoudconventies en administratieve lasten die variëren tussen verschillende soorten CDR, waarbij complexere CDR-systemen (bijvoorbeeld bio-CCS of biochar met geïmporteerde biomassa, CDR in de oceaan) een hoger risico op onjuiste kwantificering met zich meebrengen.

Ten zesde **ontbreken er momenteel adequate beleidskaders voor CDR**, die negatieve neveneffecten op betrouwbare wijze kunnen voorkomen. Het EU-kader voor koolstofverwijdering en koolstoflandbouw (CRCF) is er op gericht minimale kwaliteitsnormen vast te stellen voor verschillende CDR-activiteiten, door gebruik te maken van bestaande Europese regelgeving. De beleidsdoelstellingen met betrekking tot het gebruik van CDR lopen echter vooruit op deze inspanningen om ervoor te zorgen dat CDR op samenhangende wijze wordt ingebed in dit overkoepelende beleidskader. Zo onderzoekt de Europese Unie nu al de opname van CRCF-gecertificeerde kredieten in haar emissiehandelssysteem (ETS). Ook overweegt ze het gebruik van internationale CDR-kredieten, in het kader van mechanismen zoals artikel 6, lid 4, van het Parijsakkoord, om binnenlandse emissies te compenseren. Ook in Nederland wordt CDR in beleidsdiscussies steeds vaker voorgesteld als een flexibele optie, waarbij het in sommige gevallen directe emissiereducties mag vervangen, ondanks de fundamenteel andere kenmerken en onzekerheden ervan. Het huidige beleid staat haaks op de strikt complementaire rol die de CDR-routekaart aan CDR toekent ten opzichte van emissiereducties.

Ten zevende **kan CDR op het gebied van verdelende rechtvaardigheid conflicten veroorzaken**. Verdelende rechtvaardigheid betreft de manier waarop de voordelen en lasten van CDR worden verdeeld over verschillende groepen, met name tussen landen, sociale klassen en generaties. CDR is verbonden met drie belangrijke kwesties op het gebied van verdelende rechtvaardigheid. De eerste kwestie betreft de overdracht van risico's naar kwetsbare groepen, in andere woorden regionale en sociale ongelijkheid: grootschalige toepassing van CDR (met name bio-CCS en bebossing) kan de voedselzekerheid, de biodiversiteit en de toegang tot land en water in gevaar brengen. In Nederland, waar het vooral gaat om concurrentie om land met de landbouw, zullen deze risico's hoogstwaarschijnlijk de binnenlandse voedselproductie en het levensonderhoud van boeren aantasten. Het gebruik van geïmporteerde biomassa of internationale CDR-credits verlegt daarentegen waarschijnlijk het risico naar landen met een laag of gemiddeld inkomen. De prijs zal dan waarschijnlijk betaald worden door de arme gemeenschappen wereldwijd en toekomstige generaties, die weinig inspraak hebben in de huidige beleidsbeslissingen. De tweede kwestie betreft de potentiële voordelen van CDR voor de huidige vervuilers, bijvoorbeeld door het toestaan van compensaties of financiële meevallers, terwijl de risico's worden afgewenteld op anderen. De derde kwestie betreft intergenerationele onrechtvaardigheid: het vertrouwen op toekomstige CDR om uitgestelde maatregelen te compenseren, betekent dat toekomstige generaties voor een moreel dilemma kunnen komen te staan waarin zij gedwongen worden te kiezen tussen extreme CDR-toepassing met alle risico's, hulpbronnenbehoeften en onzekerheden van dien en het accepteren van extreme gevolgen van de opwarming van de aarde.

Ten achtste **is procedurele rechtvaardigheid essentieel bij de besluitvorming over CDR**. Procedurele rechtvaardigheid heeft betrekking op inclusieve en eerlijke besluitvormingsprocessen, waarbij wordt gewaarborgd dat alle belanghebbenden, en met name de getroffen en gemarginaliseerde groepen, een stem hebben in klimaatgerelateerde beslissingen. Momenteel blijven actoren uit de fossiele brandstoffensector en andere winst gedreven belanghebbenden aanzienlijke invloed uitoefenen in de beleidsarena, waarbij zij de uitkomsten vaak zo sturen dat bestaande economische structuren in stand worden gehouden.

Ten slotte **is het belangrijk om rekening te houden met de publieke perceptie en acceptatie**, zowel vanuit democratisch en ethisch oogpunt, maar ook omdat deze van invloed zijn op het succes van de implementatie van CDR. De publieke bekendheid met CDR-opties varieert; veel CDR-technieken zijn bij het publiek vrij onbekend. Ook de acceptatie van CDR-technieken varieert: CDR-technieken die als 'natuurlijker' worden beschouwd, minder neveneffecten of risico's lijken te hebben en waarmee mensen beter bekend zijn, worden meer geaccepteerd. Mensen hebben doorgaans een positievere mening over CDR wanneer zij zich meer zorgen maken over klimaatverandering, technologisch optimistischer zijn, meer voordelen en minder risico's van CDR zien, de CDR-techniek als minder ingrijpend in de natuur en als natuurlijker beschouwen, en meer vertrouwen hebben in diverse instituties. Deelnemers aan diverse onderzoeken uitten soortgelijke zorgen als in dit rapport worden genoemd, waaronder de vraag wie de kosten draagt, de duurzaamheid van de opslag en negatieve milieueffecten. De meeste onderzoeken benadrukken de noodzaak om het publiek te betrekken bij

besluitvormingsprocessen over CDR. In Nederland is tot nu toe nog weinig onderzoek gedaan dat sociale aspecten meeneemt, wat de vraag oproept hoe groot de publieke acceptatie voor alle specifieke CDR-opties en -projecten in Nederland zou zijn, en wat de bepalende factoren daarvoor zijn.

## Aanbevelingen voor onderzoek: kennisleemtes

Er zijn vijf groepen kennisleemtes geïdentificeerd die vragen om onderzoek. Hoewel deze lijst niet uitputtend is, richten ze zich op de kernvragen voor het Nederlandse beleid over CDR. Specifieke technische en wetenschappelijke onzekerheden die voor elke CDR-techniek blijven bestaan zijn hierin niet opgenomen.

### 1. Onderzoek dat onzekerheden, afwegingen en risico's van CDR in Nederland vermindert

Om inzicht te krijgen in de mogelijke toepassing van CDR in Nederland is het noodzakelijk om inzicht te hebben in de lokaal beschikbare hulpbronnen en omstandigheden die van invloed zijn op de geschiktheid van CDR. Er is met name onderzoek nodig om te begrijpen hoe de klimatologische kenmerken van Nederland de toepassing van CDR beïnvloedt voor alle soorten CDR, en wat rekening houdt met toekomstige klimaatscenario's. Een andere onopgeloste vraag is hoe de toepassing van CDR samenhangt met veranderingen in landgebruik. Voor alle CDR-technieken geldt dat belangrijke kennis ontbreekt over de ontwikkeling van consistente en schaalbare monitoringkaders waarmee de netto koolstofverwijdering in heterogene systemen op robuuste wijze kan worden gekwantificeerd. Ten slotte is een kritische blik nodig op de modellen en maatstaven die we gebruiken om CDR te evalueren, evenals op andere opties voor het tegengaan van klimaatverandering. Inzicht in de invloed van dergelijke aannames en databronnen op CDR-scenario's is een cruciale eerste stap naar een robuustere en transparantere besluitvorming over CDR.

### 2. Onderzoek ter verbetering van transparantie van overheidsbeleid van CDR in Nederland

Er is kritische aandacht nodig voor de implementatie van een CDR beleidskader dat expliciet rekening houdt met de risico's en onzekerheden van CDR en maatschappelijke perspectieven meeneemt via betrokkenheid van relevante groepen belanghebbenden en burgers. Dergelijke beleidskaders omvatten het ontwikkelen van adaptieve beleidstrajecten, evenals aansprakelijkheidsmechanismen, en inzicht in welke CDR-risico's onafhankelijk of onderling afhankelijk zijn. Ook is meer onderzoek nodig naar het beroep van CDR op schaarse hulpbronnen. Daarbij is, zowel bij het modelleren als bij beleidsontwikkeling, aandacht nodig voor andere manieren om deze hulpbronnen in te zetten voor mitigatieopties en adaptatiemaatregelen. Gezien de beperkte beschikbaarheid van hulpbronnen en de heterogeniteit van CDR-technieken is het belangrijk om selectiecriteria vast te stellen voor een rangschikking van in Nederland beschikbare CDR-technieken. Daarbij zou rekening gehouden moeten worden met de lokale beschikbaarheid

van hulpbronnen, lokale technische en ecologische synergieën en afwegingen, verwachte verwijderingssnelheden, kosten en maatschappelijke overwegingen.

### **3. Onderzoek naar de ethische aspecten van CDR**

Vanuit ethisch oogpunt is er meer onderzoek nodig om waarden en principes, zoals autonomie, rechtvaardigheid, het niet-schaden beginsel, het beginsel van weldoen, geïnformeerde toestemming, integriteit en respect voor de natuur systematisch te integreren in CDR-projecten en activiteiten. Dit onderzoek moet zowel worden uitgevoerd met betrekking tot CDR-onderzoek en ontwikkeling als met betrekking tot de toepassing van CDR. Een ander belangrijk punt is dat de literatuur over CDR zich explicieter en uitgebreider moet bezighouden met kwesties van epistemische pluraliteit en kennissystemen. Het kader van "verantwoord CDR" zou niet alleen moeten steunen op wetenschappelijke, technische en beleidsgerichte perspectieven; er is ruimte om verder in te gaan op lokale (inheemse), relationele en gesitueerde opvattingen over de relaties tussen mens en natuur, evenals op bredere vragen over epistemische rechtvaardigheid en wiens kennis meetelt bij het vormgeven van de klimaattoekomst. Aangezien afzwakking van mitigatie (de vermindering en/of vertraging van broeikasgas-emissiereductie) bovendien een van de belangrijkste (ethische) risico's van CDR vormt, is er meer onderzoek nodig om de voorwaarden of vereisten te vinden die het mogelijk maken het risico van afzwakking van mitigatie in CDR-beleid en projecten te vermijden of op zijn minst te beperken. Ten slotte is er meer conceptuele duidelijkheid nodig in wetenschappelijke, politieke en economische discussies over CDR, met name over termen als 'duurzaamheid' en 'restemissies'.

### **4. Onderzoek om verantwoord CDR-bestuur en regelgeving te faciliteren**

Verschillende belangrijke beleidskwesties zijn nog onvoldoende aan de orde gekomen en vragen om verder onderzoek. Ten eerste is er onderzoek nodig naar hoe restemissies moeten worden gedefinieerd, beoordeeld en gereguleerd, op een manier die transparant, wetenschappelijk degelijk en maatschappelijk legitiem is. Ten tweede heeft een belangrijke onderzoeksvraag betrekking op het bestuur van CDR buiten de koolstofmarkten om. Er is ook verder onderzoek nodig naar alternatieve beleidskaders ter ondersteuning van CDR die niet in de eerste plaats steunen op compensatie of koolstofkredietmarkten. Ten derde is meer onderzoek nodig om boekhoudkundige en beleidsmatige maatregelen te ontwikkelen die de verschillen tussen verwijdering, reductie en vermijding – evenals tussen verschillende soorten verwijdering en broeikasgasemissies – adequaat weergeven, en voorkomen dat koolstofverwijdering volledig gelijkgesteld wordt aan emissies die nooit zijn geproduceerd. De vierde onderzoeksvraag heeft betrekking op de geopolitiek, de politieke economie en de beleidsstabiliteit van koolstofverwijdering. Onderzoek is gewenst naar hoe deze dynamieken het bestuur van CDR beïnvloeden en hoe klimaatambitie in veranderende politieke contexten kan worden gehandhaafd. Ten slotte is er de vraag naar de macht en invloed van diverse actoren om rechtvaardige en effectieve klimaatmaatregelen te vertragen of te blokkeren. Er is meer onderzoek nodig naar de rol van gevestigde belangen, gevestigde industrieën en andere actoren die de ontwikkeling van het CDR-beleid en de toepassing ervan kunnen beïnvloeden. Dit omvat het onderzoeken hoe verschillende actoren het discours rond restemissies, compensaties, technologisch optimisme en

klimaatambitie vormgeven, evenals hoe machtsongelijkheden besluitvormingsprocessen beïnvloeden. Hierbij hoort ook hoe deze actoren de boekhoud- en monitoringregels beïnvloeden die de toepassing van CDR-technologieën bepalen, waardoor deze emissiereducties kunnen vervangen in plaats van aanvullen. Ten slotte moeten aansprakelijkheidsmechanismen worden ontworpen om ervoor te zorgen dat de langetermijnrisico's van koolstofomkering tot een minimum worden beperkt en dat eventuele omkeringen die zich voordoen, zowel in aanmerking worden genomen als worden gecorrigeerd door middel van aanvullende verwijderingen.

## **5. Onderzoek dat maatschappelijke behoeften en zorgen beter begrijpt**

Om de inclusieve en participatieve besluitvorming over CDR in Nederland te bevorderen en beter te begrijpen onder welke voorwaarden de uitvoering van CDR-projecten aanvaardbaar is, is het belangrijk inzicht te krijgen in hoe diverse doelgroepen, waaronder burgers, lokale gemeenschappen en andere betrokken groepen, CDR waarnemen, beoordelen en erop reageren. Dit houdt in dat inzicht moet worden verkregen in de standpunten van doelgroepen over CDR-opties in het algemeen, maar ook met betrekking tot specifiek CDR-beleid en -projecten. Het is met name belangrijk om te begrijpen wat ten grondslag ligt aan de behoeften en zorgen van het publiek en welke voorwaarden, indien van toepassing, tot acceptatie kunnen leiden. Meer participatieve methoden zijn nodig om burgers in staat te stellen actief invloed uit te oefenen op beslissingen die hun leven beïnvloeden. Media-analyses waarin wordt onderzocht hoe verschillende motieven en kaders voor het uitvoeren van CDR, evenals verschillende beleidsmaatregelen en technische opties (waaronder monitoringopties) worden weergegeven, kunnen inzicht verschaffen in de manier waarop het onderwerp in het publieke domein wordt besproken, wat van invloed is op hoe burgers CDR waarnemen en beoordelen. Het is ook van bijzonder belang om de zorgen van kwetsbaardere groepen te begrijpen en dit te adresseren.

## **Aanbevelingen: zes principes voor verantwoord CDR-beleid en -onderzoek**

Twee van de belangrijkste bevindingen van het rapport zijn dat (a) het vasthouden aan, en de mogelijke opschaling van, koolstofdioxideverwijdering aanzienlijke ecologische en politieke neveneffecten met zich meebrengt en dat (b) de huidige regelgevingskaders en kaders voor verantwoord onderzoek en innovatie onvoldoende zijn om deze negatieve neveneffecten op betrouwbare wijze te voorkomen. Veel van deze tekortkomingen hangen samen met het feit dat bij de beleidsvorming op het gebied van klimaatverandering politieke en economische overwegingen op korte termijn vaak zwaarder wegen dan wetenschappelijk bewijs en ethische overwegingen. Om deze tekortkomingen aan te pakken, stellen wij voor dat beleidsmakers, onderzoekers, en financiers van wetenschappelijk onderzoek de volgende zes principes voor verantwoord CDR-bestuur en verantwoord CDR-onderzoek onderschrijven.

## Verantwoord CDR-bestuur en regelgeving

In ons rapport hebben we de huidige onzekerheden van CDR-systemen en de risico's van ecologische schade en afzwakking van mitigatie in de publieke en private sector beoordeeld. Wij stellen dat de Nederlandse overheid dergelijke risico's expliciet moet beperken door de volgende principes te onderschrijven:

1. **Toon maximale mitigatieambitie.** Dit houdt onder meer in dat er eerlijk wordt nagedacht over – en serieus wordt geëxperimenteerd met – ondervertegenwoordigde beleidsmaatregelen, zoals het afschalen van economische sectoren met hoge uitstoot, evenals maatregelen voor vraagvermindering en consumptie beperking ("sufficiency").
2. **Beperk de rol van CO<sub>2</sub>-verwijdering in mitigatie-ambities tot een minimum.** Al met al dreigt de huidige regelgeving een ongebreidelde uitbreiding van de vraag naar CDR door particuliere actoren mogelijk te maken. Het vooruitlopen op technologische oplossingen, waarvan de toekomstige beschikbaarheid en effecten nog onzeker zijn, brengt een groot risico met zich mee dat de huidige maatregelen om de uitstoot te verminderen worden verzwakt.
3. **Handel vanuit sociale en ecologische verantwoordelijkheid.** Veel van de in dit rapport besproken CDR- technieken hebben aanzienlijke gevolgen voor het landgebruik en lokale gemeenschappen. Zowel ecologische als sociale rechtvaardigheidsoverwegingen vereisen een grondige afweging van deze gevolgen in Nederland en, via export of vraag naar grondstoffen, in andere delen van de wereld.
4. **Respecteer procedurele rechtvaardigheid.** Een verantwoorde aanpak van het bestuur van CDR houdt in dat er wordt gekozen voor een inclusieve en rechtvaardige besluitvorming. Dit vereist onderzoek naar de acceptatie, percepties en zorgen van het bredere publiek, evenals methoden voor publieke betrokkenheid en co-creatie met lokale gemeenschappen en getroffen groepen vanaf het begin van het besluitvormingsproces, wat idealiter leidt tot besluitvormingsprocessen die zowel alle betrokken belanghebbenden, met name kwetsbare bevolkingsgroepen, betrekken als hun zinvolle deelname op eerlijke voorwaarden mogelijk maken.

## Verantwoord onderzoek en innovatie

De ethiek van CDR – en klimaatrechtvaardigheid in het algemeen – heeft niet alleen betrekking op verantwoord bestuur en regelgeving, maar heeft ook duidelijke implicaties voor de financiering van onderzoek en publiek-private partnerschappen die via dergelijke financiering kunnen worden ondersteund. Op basis van de bevindingen van ons rapport stellen wij dat transparantie in de financiering – bijvoorbeeld het openbaar maken van welke actoren bijdragen aan CDR-onderzoek – een noodzakelijke maar onvoldoende maatregel is om verantwoord onderzoek en innovatie te waarborgen. We pleiten voor twee aanvullende principes:

5. **Verantwoorde onderzoeksfinanciering.** Plannen om onderzoek en innovatie op het gebied van CDR te financieren mogen niet concurreren met bestaande financiering voor mitigatie. Gezien de huidige technische en systemische onzekerheden rond

CDR, moet financiering voor CDR-onderzoek bovendien gebaseerd zijn op transparante en openbare rapportage van alle bevindingen en onderliggende gegevens, die moeten worden ingepast in de bredere context van ecologische en sociale effecten.

6. **Verantwoorde onderzoekssamenwerking.** Om het risico op afremming van mitigatiemaatregelen te beperken, mogen particuliere partners die in het verleden (1) aanzienlijk hebben bijgedragen aan de uitstoot van broeikasgassen en (2) het klimaatbeleid hebben ondermijnd, geen overheidsfinanciering ontvangen om CDR uit te voeren of betrokken zijn bij door de overheid (mede)gefinancierde CDR-onderzoeks- en innovatieconsortia. Dienovereenkomstig zouden bedrijven die fossiele brandstoffen winnen en een reputatie hebben op het gebied van het dwarsbomen van het klimaatbeleid, niet in aanmerking komen voor overheidsfinanciering. Daarentegen zouden bedrijven met beperkte broeikasgasemissies in het verleden en het heden, bedrijven die snel afstappen van investeringen in fossiele brandstoffen, en/of bedrijven zonder reputatie op het gebied van het dwarsbomen van het klimaatbeleid, kunnen deelnemen aan publiek-private CDR-initiatieven.

