

ESG & Economie

Economisch Bureau | 25 juni 2024

Helpen koolstofvastleggingstechnologieën om netto nul te bereiken?

Georgette Boele: Senior Economist Sustainability | georgette.boele@nl.abnamro.com

- Het doel is om netto nul te bereiken in 2050, binnen het koolstofbudget te blijven voor een traject om onder de 2°C te blijven en inspanningen te leveren om de temperatuurstijging te beperken tot 1,5°C.
- Er zijn verschillende manieren om dit doel te bereiken. Eén manier is om CO₂ op te vangen uit de atmosfeer en op te slaan.
- Er bestaan verschillende technologieën voor koolstofvastlegging. Elke technologie heeft voor- en nadelen.
- Over het algemeen zijn de meeste technologieën nog niet klaar om op grote schaal te worden toegepast en zelfs als ze klaar zijn, zijn ze nog relatief duur.
- De meest aantrekkelijke opties qua kosten zijn herbebossing en bebossing.

Inleiding

Het doel is om tegen 2050 netto nul te bereiken, binnen het koolstofbudget te blijven voor een traject om onder de 2°C te blijven en inspanningen te leveren om de temperatuurstijging te beperken tot 1,5°C boven het pre-industriële niveau. Er zijn verschillende manieren om dit doel te bereiken. Ten eerste het beperken en verminderen van de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen. Ten tweede het opvangen van emissies uit verbranding (CCS). Ten derde CO₂ en andere emissies uit de atmosfeer opvangen als er ondanks alle inspanningen nog steeds restemissies zijn. Ten vierde andere manieren om straling te beheersen en temperatuurstijging te beïnvloeden. Om het doel te bereiken is een combinatie van deze manieren nodig. Het verwijderen van CO₂ uit de atmosfeer en stralingsbeheer vallen in de categorie geo-engineering. In dit rapport leggen we uit wat geo-engineering is. Daarna richten we ons op koolstofvastleggingstechnologieën en wat deze kunnen doen om de temperatuurstijging te beperken. We eindigen met een conclusie. In ons volgende rapport zullen we ons richten op de andere categorie van geo-engineering, namelijk stralingsbeheer.

Wat is geo-engineering

Geo-engineering verwijst naar een reeks opkomende technologieën die het milieu kunnen manipuleren en een deel van de klimaatverandering kunnen compenseren. Geo-engineering is een term die veel technologieën omvat die over het algemeen in drie categorieën vallen: koolstofvastleggingstechnologieën, beheer van zonnestraling en beheer van aardstraling. In dit rapport richten we ons op koolstofvastleggingstechnologieën. Koolstofvastlegging is het proces van opvangen en opslaan van koolstofdioxide in de atmosfeer. Dit omvat een breed spectrum aan technologieën die koolstofdioxide uit de atmosfeer halen en vervolgens opslaan. Deze technologieën proberen het verband tussen emissies en concentraties te verbreken (zie [hier](#) voor meer informatie).

De koolstofcyclus

Voordat we verder gaan met koolstofvastleggingstechnologieën, introduceren we eerst de koolstofcyclus. De koolstofcyclus is het proces waarbij koolstof wordt verplaatst tussen planten, dieren en microben, mineralen in de aarde en de atmosfeer. Koolstof in de vorm van koolstofdioxide (CO₂) is een belangrijk onderdeel van onze atmosfeer, waar het helpt om de temperatuur van de aarde te regelen. Omdat slechts een heel klein aantal atomen de aarde

vanuit de ruimte bereikt, wordt onze planeet een gesloten systeem genoemd. Dit betekent dat de aarde geen koolstof wint of verliest. Maar koolstof beweegt wel constant (zie [hier](#) voor meer informatie).

De temperatuur is gestegen door een te hoge concentratie broeikasgassen (waaronder koolstofdioxide) in de atmosfeer. Om de opwarming van de aarde te beperken, moet de toename van CO₂ in de atmosfeer ook worden beperkt (zie [hier](#) voor meer informatie over het koolstofbudget). Aangezien de koolstofcyclus een gesloten cyclus is, moet deze koolstof idealiter uit de atmosfeer naar planten, microben en mineralen in de aarde worden gekatalyseerd. Koolstofvastleggingstechnologieën hebben dit doel. Verwijdering is één ding en opslag is iets anders (zie [hier](#) voor meer informatie).

Technologieën voor koolstofvastlegging

Er zijn drie soorten koolstofvastlegging: biologische koolstofvastlegging, geologische koolstofvastlegging en technologische koolstofvastlegging. Biologische koolstofopslag is de opslag van CO₂ in vegetatie zoals grasland of bossen, maar ook in de bodem en oceanen. Geologische koolstofopslag is het proces van opslag van CO₂ in ondergrondse formaties of rotsen. Technische koolstofvastlegging zijn verwijderingstechnologieën die CO₂ als grondstof gebruiken. De onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende technologieën.

Geo-engineering koolstofvastlegging technologieën

Technisch

Directe luchttopvang

Geologisch

Verbeterde mineralisatie/verhoogde verwerking

Biologisch

Koolstofvastlegging in de bodem

Oceaan bemesting

Kunstmatige opwelling

Biomassa koolstofverwijdering en -opslag, verbeterde fotosynthese

Bebossing en herbebossing

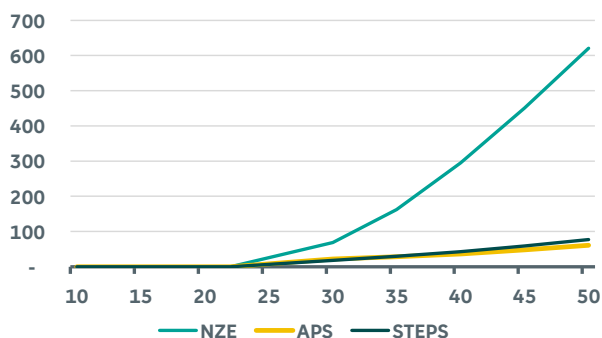
Bron: Diverse wetenschappelijke rapporten

Technische koolstofvastleggingstechnologieën

We beginnen met directe luchttopvang (ook wel *Direct Air Capture*). Dit is een technologie die CO₂ uit de atmosfeer haalt voor opslag (zie [hier](#) voor meer informatie) of gebruik (zie [hier](#) voor meer informatie). Volgens het IEA zijn er tot nu toe zevenentwintig installaties voor directe luchttopvang in gebruik genomen, die bijna 0,01 Mt CO₂ per jaar afvangen. Als alle installaties doorgaan (ook die in de conceptfase), zou de inzet van directe luchttopvang bijna het niveau bereiken dat in 2030 nodig is volgens het netto nul emissiescenario, of ongeveer 62 Mt CO₂/jaar. Maar dit is nog steeds te verwaarlozen vergeleken met de wereldwijde CO₂-uitstoot van 37,4 Gt CO₂ in 2023.

Capaciteit van Direct Air Capture in drie scenario's

In Mt



Bron: International Energy Agency (2023), World Energy Outlook 2023, IEA, Paris

De grafiek toont de directe afvang van CO₂ in drie scenario's. De groene lijn is Net Zero in 2050, de gele lijn is het Announced Pledges Scenario of APS en de donkere lijn Stated Policies Scenario of STEPS. In al deze scenario's tot 2030 is de *Direct Air Capture* capaciteit nog steeds onbeduidend in vergelijking met de totale CO₂-uitstoot wereldwijd. Na 2030 neemt de rol van directe luchtafvang toe in absolute en relatieve termen omdat de wereldwijde uitstoot afneemt in het Netto Nul Scenario. In de andere twee scenario's blijft het afvangen van CO₂ uit de atmosfeer via directe luchtafvang minder dan 1% van de totale jaarlijkse CO₂-uitstoot. De capaciteit is dus beperkt.

Naast het feit dat de capaciteit beperkt is, is er nog een ander nadeel van directe luchtafvang. Het is duurder dan CCS omdat het zeer energie-intensief is. Dit komt vooral door de lage concentratie CO₂ in de atmosfeer in vergelijking met de concentratie CO₂ in een rookgas voor CCS. Een groot voordeel is echter dat de directe luchtafvanginstallatie overal geplaatst kan worden, dus ook dicht bij hernieuwbare energiecapaciteit. De kosten van deze technologie variëren sterk en liggen tussen 200 en 1.600 US dollar per ton CO₂.

Geologische koolstofvastlegging

Naast directe afvang uit de lucht zijn er ook technologieën voor geologische koolstofvastlegging. Deze technologieën zijn gebaseerd op het natuurlijke proces waarbij bepaalde mineralen in rotsen reageren met atmosferische CO₂ om carbonaten te creëren. Carbonaten zijn vaste mineralen die CO₂ op een veilige manier verwijderen en opslaan. Dit proces wordt *weathering* genoemd. *Weathering* kan worden versneld. Er zijn specifieke mineralen die reageren met CO₂ om stabiele carbonaten te maken, zoals olivijn of basalt. Deze mineralen kunnen worden gedolven, tot poeder vermalen en over de bodem verspreid of in zee gedumpt zodat ze met CO₂ kunnen reageren. Een andere manier is om poedervormig gesteente bloot te stellen aan stromen pure CO₂ van installaties voor directe opvang in de lucht (zie [hier](#) voor meer informatie).

Sommige wetenschappers schatten dat tegen 2035 wereldwijd tot 1 gigaton CO₂ per jaar uit de atmosfeer kan worden verwijderd, en tegen 2050 10 gigaton CO₂ per jaar, als we vandaag voldoende investeren in onderzoek en testen om ons voor te bereiden op grootschaligere toepassing in de komende jaren (zie [hier](#) voor meer informatie). Andere wetenschappers schatten dat deze technologie kan worden opgeschaald om tegen 2050 2 tot 4 miljard ton CO₂ (GtCO₂) per jaar vast te leggen, en dat tegen 2100 theoretisch meer dan 20 GtCO₂ per jaar mogelijk is. In potentie kan deze technologie dus meer CO₂ vastleggen dan directe opvang en opslag in de lucht. Maar ze kunnen ook samen worden gebruikt.

Deze technologie heeft voor- en nadelen, die vaak met elkaar verbonden zijn. Om te beginnen is er goede kennis over de chemische basis van verrijkte mineralisatie en is de technologie om gesteente te ontginnen, te vermalen en te verspreiden algemeen beschikbaar. Maar het onderzoek naar mineralisatie als een vorm van koolstofvastlegging bevindt zich nog in een relatief beginstadium en er moet nog veel werk worden verricht om de doeltreffendheid en de sociale en ecologische duurzaamheid ervan te kunnen evalueren. Bovendien zou deze technologie de bodemkwaliteit kunnen verbeteren, maar de keerzijde van de medaille is dat de bodem ook vervuild kan raken, afhankelijk van de context en het type gesteente dat wordt gebruikt. Bovendien kleven er altijd sociale en milieunadelen aan mijnbouw.

De kostenramingen lopen sterk uiteen, van minder dan 50 US dollar per ton CO₂ die wordt vastgelegd tot meer dan 200 US dollar per ton.

Biologische koolstofvastleggingstechnologieën

Biologische koolstofvastleggingstechnologieën zijn technologieën die fotosynthese gebruiken om koolstof uit de atmosfeer op te vangen. Daarna wordt het verwerkt voor opslag op lange termijn. Fotosynthese is het proces waarbij planten zonlicht, water en koolstofdioxide gebruiken om zuurstof en energie te creëren in de vorm van suiker. Deze vastlegging kan gebeuren op bodemniveau, in de zee, door planten (en de verwerking hiervan) en door bomen. De meeste "technologieën" worden al door de natuur zelf gedaan en wij proberen deze processen te verbeteren en te optimaliseren. We beginnen met koolstofvastlegging door de bodem.

Koolstofopslag in de bodem

CO₂ kan worden verwijderd uit de atmosfeer en worden opgeslagen in de koolstofopslag van de bodem. Dit proces wordt koolstofvastlegging in de bodem genoemd. Dit proces wordt voornamelijk bemiddeld door planten via fotosynthese, waarbij koolstof wordt opgeslagen in de vorm van organische koolstof in de bodem. De

langetermijnomzetting van grasland en bos naar akkerland (en graasland) heeft wereldwijd geleid tot een historisch verlies aan bodemkoolstof. Er is echter een groot potentieel voor het verhogen van de bodemkoolstof door herstel van aangetaste bodems en wijdverspreide toepassing van bodembeschermingspraktijken. Verbeterde landbouwpraktijken kunnen de klimaatverandering helpen beperken door de uitstoot door de landbouw en andere bronnen te verminderen en door koolstof op te slaan in plantaardige biomassa en bodems (zie [hier](#) voor meer informatie).

Oceaanbemesting

Oceaanbemesting is een theoretische vastleggingstechnologie die probeert oceaangebieden te verbeteren die momenteel weinig CO₂ opnemen. Het houdt in dat voedingsstoffen worden toegevoegd aan de bovenste (zonbeschenen) lagen van de oceaan om de activiteit van fytoplankton (fotosynthese) te stimuleren en zo het CO₂-niveau in de atmosfeer te verlagen. Fytoplankton heeft belangrijke elementen nodig zoals ijzer, stikstof of fosfor. Dus worden er aanzienlijke hoeveelheden micro- of macronutriënten in deze gebieden gedumpt om de groei van fytoplankton te stimuleren. Dit plankton absorbeert vervolgens CO₂ uit de atmosfeer en slaat koolstof op. Na de bloei sterven ze en zinken ze naar de oceaانبodem, waarbij ze de CO₂ meenemen die ze hadden gefotosynthetiseerd tot nieuw weefsel (zie [hier](#) voor meer informatie).

Deze technologie heeft verschillende nadelen. Ten eerste hebben sommige experimenten aangetoond dat de CO₂-opname door fytoplankton veel lager is dan voorspeld en dat een groot deel van de koolstof niet noodzakelijkerwijs naar de oceaانبodem zinkt (zie [hier](#) voor meer informatie). Ten tweede kan deze technologie het zuurstofgehalte verlagen, waardoor de fytoplanktonsoorten veranderen (ontwikkeling van ongewenste algenbloei) en de biologische diversiteit afneemt. Ten derde kan oceaanbemesting de wereldwijde verdeling van voedingsstoffen beïnvloeden, waarbij in sommige gebieden de toevoer van voedingsstoffen afneemt (zie [hier](#) voor meer informatie). Tot slot, maar daarom niet minder belangrijk, zal koolstof die door oceaanbemesting wordt geproduceerd uiteindelijk weer in de atmosfeer terechtkomen (zie [hier](#) voor meer informatie). Deze technologie heeft dus veel negatieve kanten. Daarom heeft het VN-verdrag ter voorkoming van vervuiling van de zee besloten om activiteiten op het gebied van oceaanbemesting strikt te reguleren en elke vorm van commerciële toepassing de facto te verbieden.

Kunstmatige opwelling

Kunstmatige opwelling is een theoretische koolstofvastleggingstechnologie. De technologie verbetert het opwaartse transport van voedselrijk diep water met behulp van pijpen of golfpompen (kunstmatige opwelling). Dit heeft een bemestend effect en kan de wateren van oceaanoewestijnen productiever maken. Door de gestimuleerde groei van fytoplankton kan er meer CO₂ worden vastgelegd in hun biomassa, waardoor de koolstofopname van de bovenste oceaan toeneemt. Wanneer het fytoplankton afsterft en hun biomassa in de diepe oceaan zinkt, kan de vastgelegde koolstof 100 jaar en meer op diepte worden opgeslagen (zie [hier](#) voor meer informatie). Maar er zijn verschillende technologieën getest zonder veel succes. Deze technologie lijkt een beperkt opslagpotentieel te hebben. Er zijn plastic pijpen voor nodig die honderden meters diep reiken, vaak in combinatie met platforms. De constructies zouden bij installatie op grotere schaal ernstige problemen kunnen veroorzaken voor het leven in zee, de scheepvaart en de visserij.

Bebossing en herbebossing

Een andere manier om koolstof vast te leggen is door bebossing en herbebossing. BEbossing is het omzetten van land dat lange tijd niet bebost is geweest in bos. Dit is dus de aanleg van bossen waar er voorheen geen waren, of waar bossen lange tijd hebben ontbroken (50 jaar volgens UNFCCC). Herbebossing is het proces waarbij specifiek inheemse bomen worden geplant in een bos waar het aantal bomen afneemt. De toename van het aantal bomen helpt om koolstofdioxide in de atmosfeer te verminderen.

Er zijn veel voordelen van bebossing en herbebossing. Meer bomen verbeteren de grondwaterkwaliteit, voorkomen overstromingen, verminderen bodemerosie en creëren nieuwe leefgebieden voor wilde dieren. Maar er zijn ook enkele nadelen. Het planten van bomen moet op zeer grote schaal gebeuren om een significant effect te hebben. Bovendien kunnen ze, als ze niet duurzaam worden beheerd, leiden tot de vernietiging van oorspronkelijke niet-bos ecosystemen (zie [hier](#) meer) en kan het gebruikte land niet voor andere doeleinden worden gebruikt.

De kosten voor herbebossing zijn relatief laag en variëren tussen 10 en 60 US dollar per ton afgevangen CO₂.

Biomassa koolstofverwijdering en -opslag, verbeterde fotosynthese

We hebben al verschillende biologische koolstofvastleggingstechnieken genoemd. De laatste waar we ons op richten kan een sleutelrol spelen in de toekomst. Het is de rol van planten en wat er met planten gedaan kan worden. Geoogste planten bevatten veel koolstof, maar het is niet duurzaam in die vorm. Eén manier om het voor de lange termijn op te slaan is begraven of laten zinken. De andere manier is om biomassa in een soort snelkookpan op hoge temperatuur te doen. Dit kan die biomassa meenemen en duurzame vaste stoffen maken zoals biochar, vloeistoffen zoals bio-olie en gassen (koolstofdioxide) voor opslag of gebruik.

Biomassa wordt verhit in afwezigheid van zuurstof of onder zuurstofarme omstandigheden. Dit proces wordt pyrolyse genoemd. Omdat er geen zuurstof aanwezig is, vindt er geen verbranding plaats, maar valt de biomassa thermisch uiteen in brandbare gassen en biochar. De meeste van deze brandbare gassen kunnen worden gecondenseerd tot een brandbare vloeistof, pyrolyse-olie (bio-olie) genoemd, hoewel er enkele permanente gassen zijn (CO₂, CO, H₂, lichte koolwaterstoffen) waarvan sommige kunnen worden verbrand om de warmte voor het proces te leveren. Pyrolyse van biomassa levert dus drie producten op: een vloeistof (bio-olie), een vaste stof (biochar) en een gasvormig product (syngas) (zie [hier](#) voor meer informatie).

Biochar is een vaste en houtskoolachtige substantie. Biochar bevat 70% koolstof. Het wordt gebruikt als bodemverbeteraar om de vruchtbaarheid te verhogen, bodemafbraak te voorkomen en koolstof in de bodem vast te leggen. Bovendien zijn de meeste technologieën al behoorlijk geavanceerd. Maar op dit moment is het technische systeem voor de productie van biochar door middel van verkoling van biomassa nog niet perfect, en verder diepgaand onderzoek is nog steeds nodig. Er zijn nog andere nadelen. Om te beginnen verstoort biochar soms het fysische en chemische evenwicht van voedingsstoffen in de rizosfeer. De rizosfeer is de bodemzone rond een plantenwortel waar de biologie en chemie van de bodem worden beïnvloed door de wortel. Bovendien bevordert biochar over het algemeen de groei van ongewenst onkruid en is de productie van biochar relatief duur (zie [hier](#) voor meer informatie). Bovendien mag de biomassa niet afkomstig zijn van grondstoffen, omdat er anders concurrentie is met voedsel (zie [hier](#) voor meer informatie).

Conclusie

Er zijn verschillende technologieën voor koolstofvastlegging. Elke technologie heeft zijn voor- en nadelen. Over het algemeen zijn de meeste nog niet klaar om op grote schaal te worden toegepast en als dat wel het geval is, zijn ze nog steeds relatief duur. De meest aantrekkelijke opties qua kosten zijn herbebossing en bebossing. In ons volgende rapport zullen we zien of de andere opties voor geo-engineering veelbelovender zijn.

DISCLAIMER

Dit document is opgesteld door ABN AMRO. Het is uitsluitend bedoeld om financiële en algemene informatie over economie te verstrekken. De informatie in dit document is strikt vertrouwelijk en wordt u uitsluitend ter informatie verstrekt. Het mag niet (geheel of gedeeltelijk) worden gereproduceerd, gedistribueerd of doorgegeven aan derden of worden gebruikt voor andere doeleinden dan hierboven vermeld. Dit document is informatief van aard en vormt geen aanbod van effecten aan het publiek, noch een uitnodiging tot het doen van een dergelijk aanbod.

Er mag voor geen enkel doel worden vertrouwd op de informatie, meningen, voorspellingen en veronderstellingen in het document of op de volledigheid, nauwkeurigheid of billijkheid ervan. Er wordt door of namens ABN AMRO, haar directeuren, functionarissen, agenten, gelieerde ondernemingen, groepsmaatschappijen of werknemers geen verklaring of garantie, expliciet of impliciet, gegeven met betrekking tot de juistheid of volledigheid van de informatie in dit document en er wordt geen aansprakelijkheid aanvaard voor enig verlies dat direct of indirect voortvloeit uit het gebruik van dergelijke informatie. De opvattingen en meningen in dit document kunnen op enig moment wijzigen en ABN AMRO is niet verplicht om de informatie in dit document na de datum van dit document te actualiseren.

Voordat u in een product van ABN AMRO Bank N.V. belegt, dient u informatie in te winnen over de verschillende financiële en andere risico's en mogelijke beperkingen waarmee u en uw beleggingsactiviteiten te maken kunnen krijgen op grond van toepasselijke wet- en regelgeving. Als u na het lezen van dit document overweegt om in een product te beleggen, wordt u geadviseerd om een dergelijke belegging te bespreken met uw relatiebeheerder of persoonlijke adviseur en na te gaan of het betreffende product - gezien de risico's - past binnen uw beleggingsactiviteiten. De waarde van uw beleggingen kan fluctueren. In het verleden behaalde resultaten bieden geen garantie voor de toekomst. ABN AMRO behoudt zich het recht voor om wijzigingen aan te brengen in dit materiaal.

© Copyright 2024 ABN AMRO Bank N.V. en gelieerde bedrijven ("ABN AMRO")