

# SustainaWeekly

## Hoe effectief zijn Nederlandse subsidies voor de energietransitie?

- ▶ **Economie:** We analyseren de verschillende subsidies voor hernieuwbare energieproductie en klimaattransitie (SCE/SDE) die door de Nederlandse overheid worden aangeboden. We laten zien dat het grootste deel van de extra capaciteit die wordt opgewekt door gesubsidieerde projecten afkomstig is van biomassa, maar dat er de afgelopen jaren een verschuiving heeft plaatsgevonden naar zonne- en windenergie. We stellen dat ondanks het hoge subsidieniveau er nog steeds uitdagingen zijn, zoals de hoge financieringskosten, de krappe arbeidsmarkt en het overvolle elektriciteitsnet. Daarom benadrukken we de noodzaak van een dynamische, tijdige en proactieve subsidieregeling.
- ▶ **Sector:** Koolstofafvang en -opslag (CCS) is essentieel voor de energietransitie, maar heeft nog steeds een zeer klein aandeel in de CO<sub>2</sub>-reductietechnologieën. In dit stuk duiken we in de verschillende lagen van koolstofafvangtechnologieën en bespreken we hoe de verschillende technieken een cruciale rol spelen bij het verbeteren van de technologieën en het verlagen van de totale CCS-kosten. Op dit moment is CCS een van de duurdere technologieën om kooldioxide te decarboniseren.

Nederland is het tweede Europese land met de meeste subsidies voor duurzame energie. We beginnen de SustainaWeekly van deze week met een onderzoek naar de omvang van deze subsidies en een evaluatie van hun effectiviteit tot nu toe. We stellen dat er ondanks het grote aantal subsidies nog steeds uitdagingen zijn met betrekking tot het verhogen van de investeringen in hernieuwbare energie. Overheden spelen ook een belangrijke rol om ervoor te zorgen dat subsidies zo effectief mogelijk worden uitgerold. In onze volgende notitie kijken we naar het onlangs gepubliceerde stuk van de ECB over biodiversiteitsrisico's. Tot slot gaan we in op de technologie voor het afvangen en opslaan van CO<sub>2</sub>.

Veel leesplezier en, zoals altijd, laat het ons weten als u feedback heeft!

Nick Kounis, Head Financial Markets and Sustainability Research | [nick.kounis@nl.abnamro.com](mailto:nick.kounis@nl.abnamro.com)

## De rol en effectiviteit van Nederlandse transitie subsidies

Aggie van Huisseling – Economist & Data-Analist | [aggie.van.huisseling@nl.abnamro.com](mailto:aggie.van.huisseling@nl.abnamro.com)

Moutaz Altaghlibi – Energy Economist, Sustainability | [moutaz.altaghlibi@nl.abnamro.com](mailto:moutaz.altaghlibi@nl.abnamro.com)

Casper Burgering – Senior Economist, Sustainability | [casper.burgering@nl.abnamro.com](mailto:casper.burgering@nl.abnamro.com)

- ▶ **De energietransitie is essentieel om de emissiereducties en klimaatdoelen op tijd te halen**
- ▶ **In deze analyse bekijken we in de subsidies voor duurzame energieproductie en klimaattransitie (SCE/SDE) die de Nederlandse overheid biedt om schone projecten te versterken die passen bij de transitieagenda**
- ▶ **Vanwege uitdagingen rond financieringskosten, krapte op de arbeidsmarkt, stikstoflimieten en het elektriciteitsnet benadrukken we de noodzaak van een dynamische, tijdige en proactieve subsidieregeling**
- ▶ **Coördinatie van de verschillende onderdelen van het transitieproces is essentieel om de regeling actueel te houden, zodat deze de gevolgen van eventuele nieuwe belemmeringen weerspiegelt**
- ▶ **Subsidieregelingen voor schone technologieën moeten worden afgestemd op ander klimaatbeleid, zoals koolstofbeprijzing, om een tijdige, geordende en efficiënte overgang te bewerkstelligen**

Een transitie in de energiemix is essentieel om de emissiereducties en klimaatdoelstellingen op tijd te halen. Maar zelfs als de benodigde technologieën gereed zijn, is de invoering nog niet op snelheid. Een belangrijke uitdaging komt voort uit terughoudendheid, die wordt gedreven door de hoge kosten en het lagere concurrentievermogen van koolstofarme technologieën in vergelijking met de op fossiele brandstoffen gebaseerde alternatieven. Toegang tot financiering is een ander obstakel voor koolstofarme investeringen. Dit komt vaak doordat deze investeringen kapitaalintensief en langetermijninvesteringen zijn. Indien dit het geval is, dan gaat dat meestal gepaard met onzekerheden die het risicoprofiel ervan verhogen en bovendien niet aansluiten bij de risicobereidheid van de meeste particuliere investeerders. Daarnaast is voor sommige technologieën een verhoging van de koolstofprijs niet genoeg en zal het te veel tijd kosten om de overgang aan de marktdynamiek over te laten. Subsidies, zoals CAPEX- en OPEX-subsidies, zijn een manier om koolstofbeprijzing aan te vullen om de invoering van verschillende schone technologieën te bevorderen. In deze analyse bekijken we de subsidies voor hernieuwbare energieproductie en klimaattransitie (SCE/SDE) die de Nederlandse overheid aanbiedt om schone projecten te stimuleren die passen bij de transitieagenda. We beginnen met een overzicht van de achtergrond van deze subsidies en hun doelstellingen. Daarna gaan we in op de status, effectiviteit en praktische implicaties. Ten slotte sluiten we af met suggesties en aanbevelingen voor effectievere regelingen.

### Een overzicht van de Nederlandse subsidieregelingen voor koolstofarme technologie en transitie

In deze paragraaf geven we een overzicht van de meest prominente Nederlandse subsidieregelingen die gericht zijn op het stimuleren van investeringen in koolstofarme en noodzakelijke transitietechnologieën.

Geld dat door de overheid is gereserveerd voor transitie subsidies wordt voornamelijk gefinancierd uit de opbrengsten van de veiling van emissierechten in het kader van het EU-ETS (*European Union Emission Trading Scheme*). Een ander deel van de financiering voor deze projecten is afkomstig uit het Nederlandse kabinetsplan om meer geld uit te geven aan het behalen van klimaatdoelstellingen ([link](#)). Er zijn verschillende subsidieregelingen door de Nederlandse overheid. Voorbeelden hiervan zijn: (i) Subsidie Demonstratie Energie Innovatie (DEI+) – die gericht is op projecten in een pilot- of demonstratiefase met een focus op één van de zeven thema's<sup>1</sup>. (ii) de Subsidieregeling voor Coöperatieve Energieopwekking (SCE), die tot doel heeft de opwekking van hernieuwbare energie uit zonne-, wind- of waterkrachtbronnen door energiecoöperaties en verenigingen van huiseigenaren te stimuleren; en (iii) de Subsidieregeling voor Duurzame Energieopwekking en Klimaattransitie (SDE++), die gericht is op projecten voor de opwekking van hernieuwbare energie of de implementatie van CO<sub>2</sub>-reductietechnologieën (CO<sub>2</sub>-opslag/ CO<sub>2</sub>-arme productie ([link](#))). De SCE-regeling is in april 2021 van start gegaan met 92 miljoen euro beschikbaar voor de eerste ronde. Het is een OPEX-subsidie die de winstgevendheid van de installatie gedurende haar levensduur garandeert. De SDE++ is ook een OPEX-

<sup>1</sup> De thema's zijn: circulaire economie; energie-efficiëntie; flexibiliteit van energiesystemen; hernieuwbare energie; koolstofafvang, -benutting en -opslag (CCUS); lokale infrastructuur; elke andere maatregel die de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de gebouwde omgeving, industrieën of energieopwekking vermindert; huizen, gebouwen en blokken die geen gas gebruiken

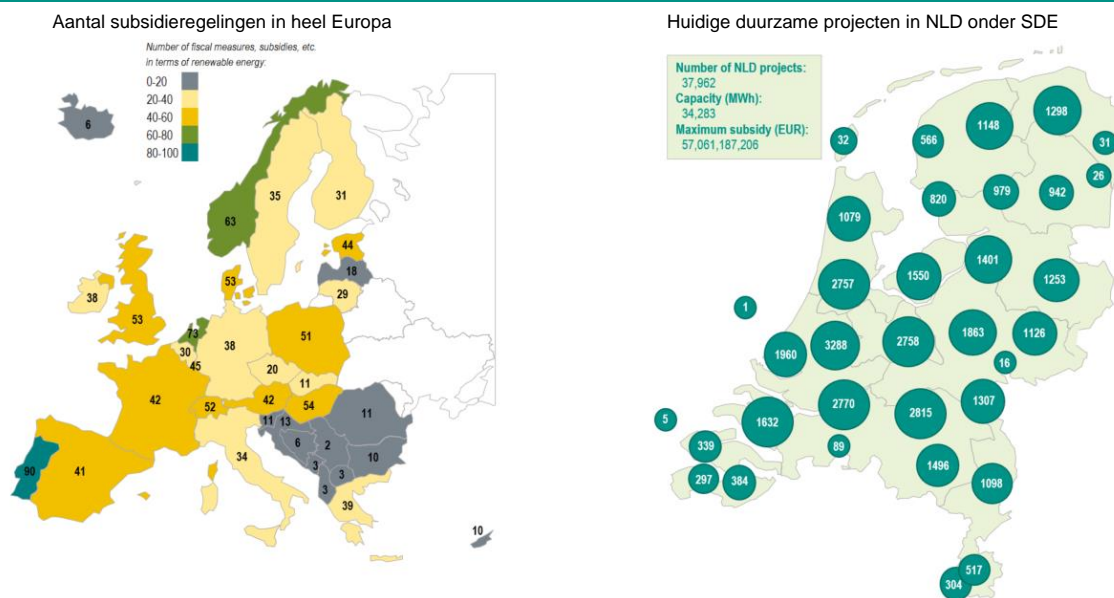
subsidie, maar is bedoeld om het verschil tussen de marktwaarde van de geproduceerde energie en de kosten van de productie van hernieuwbare energie te subsidiëren, zodat de winstgevendheid van een dergelijk project wordt gegarandeerd.

### Internationale subsidie regelingen

Volgens het Internationaal Agentschap voor hernieuwbare energie (IRENA) bedroegen de wereldwijde investeringen in energietransitie technologieën in 2022, inclusief energie-efficiëntie, USD 1,3 biljoen. Dit is een astronomisch bedrag en het bleek zelfs een nieuw record te zijn op het gebied van investeringen. Op het eerste gezicht is dit natuurlijk heel bemoedigend, maar helaas is er veel meer nodig dan dit. IRENA denkt dat de wereldwijde energietransitie tussen 2023 en 2050 nog eens USD 150 biljoen aan investeringen in verschillende koolstofarme technologieën zal vergen. Het komt neer op een jaarlijkse investering van EUR 6,8 biljoen wereldwijd vanaf nu. Dit betekent dat we nog een lange weg te gaan hebben.

Hieronder laten we zien hoeveel hernieuwbare subsidiemogelijkheden er momenteel zijn per land in Europa. Koploper met een aantal van 90 subsidieregelingen voor hernieuwbare energie in Europa is Portugal. Nederland is tweede in dit perspectief met 73 subsidieregelingen, op de voet gevolgd door Noorwegen. Uit de grafiek komt duidelijk naar voren dat er in Europa genoeg mogelijkheden zijn om de financiering van duurzame energie te stimuleren.

### Subsidiemaatregelen duurzame energie in EU en Nederland



Bron: IEA, RVO, ABN AMRO Economisch Bureau

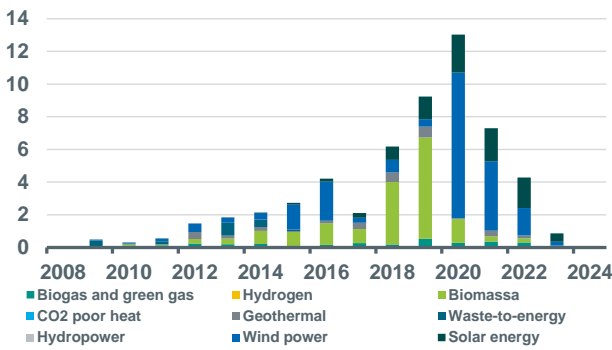
In Nederland is de subsidieregeling voor hernieuwbare energie (SDE++) erg populair. Dit blijkt niet alleen uit de sterke groei van het aantal projecten verspreid over Nederland, maar ook uit de sterke groei van het aantal aanvragen voor de SDE++ subsidie. Dit laat zien dat subsidieregelingen voor klimaatfinanciering vanuit de overheid de komende jaren een belangrijke rol zullen blijven spelen. Niet alleen om capaciteit en geïnstalleerd vermogen te stimuleren, maar ook om te dienen als overbrugging van het financieringsgat voor bedrijven met minder financiële draagkracht.

### Wat hebben de subsidies tot nu toe opgeleverd en wat zit er nog in de pijplijn?

Samen met zonne-energie is wind ook de grootste bron waaruit nog extra capaciteit zal worden gerealiseerd. Dit wordt gevisualiseerd in de twee volgende grafieken. Verschillende factoren kunnen een rol hebben gespeeld bij de omschakeling van biomassa naar zonne- en windenergie bij het toekennen van de subsidie. Dit zou aangewakkerd kunnen zijn door de Europese Green Deal en het 'Fit for 55' pakket, maar ook de hogere energieprijzen veroorzaakt door het Rusland-Oekraïne conflict, en het prioriteit geven aan energiezuikerheid meer in het algemeen. Daarnaast vond er een verschuiving plaats in de beleidsfocus, aangezien sinds de start van de SDE++ subsidie de aandacht is verschoven naar CO<sub>2</sub>-reductie in plaats van energieproductie ([link](#)).

### In het begin was de meeste capaciteit afkomstig van biomassa...

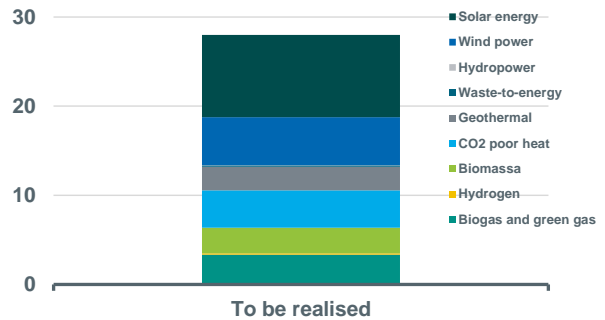
Extra opgewekte capaciteit per jaar, in TWh (miljoenen MWh)



Bron: RVO, ABN AMRO Economisch Bureau

### ...maar nu hebben zonne- en windkracht dit overgenomen

Te realiseren extra capaciteit in TWh, van 2023 tot 2038

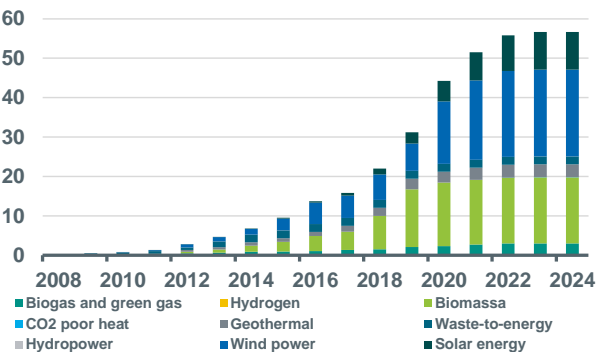


Bron: RVO, ABN AMRO Economisch Bureau

Er zijn nog steeds veel projecten die onlangs toegang hebben gekregen tot de subsidieregeling en die nog moeten worden opgestart. De maximale periode waarmee de projecten worden gerealiseerd is 15 jaar, wat betekent dat er nog ongeveer 28 TWh aan jaarlijks opgewekte capaciteit in de pijplijn zit tot 2038. De rechterfiguur hieronder toont de verwachte productie van gesubsidieerde projecten tot 2038.

### De cumulatieve productie is enorm toegenomen

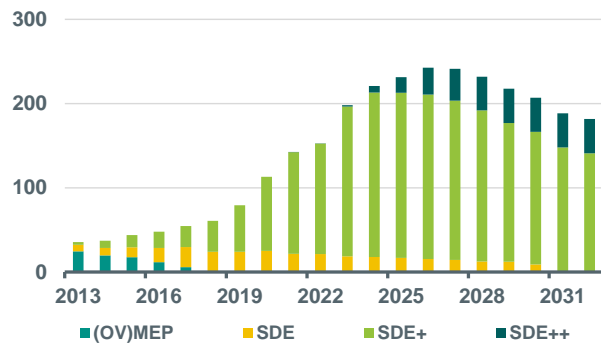
Cumulatieve beschikbare productie per jaar, in TWh



Bron: RVO, ABN AMRO Economisch Bureau

### Verwachte productie blijft hoog

Verwachte productie van de gesubsidieerde projecten, in Peta Joule (PJ)



Bron: RVO, ABN AMRO Economisch Bureau

### Uitdagingen voor effectieve subsidieregelingen

Zoals hierboven besproken, wordt het steeds moeilijker om grote investeringen te doen in projecten voor schone technologie, zelfs met de aanwezigheid van subsidieregelingen. Uit een recent onderzoek op bedrijfsniveau van de ECB ([link](#)) blijkt dat driekwart van de bedrijven plannen heeft om te investeren in projecten voor schone technologie. De financieringskosten vormen echter een probleem. De helft van de ondervraagde bedrijven noemt de te hoge financieringskosten - als gevolg van de aanscherping van het monetaire beleid door de centrale banken, wat leidt tot hoge rentetarieven en strengere financieringsvoorwaarden - een belangrijke belemmering om te investeren.

Het succes van de subsidieregelingen hangt grotendeels af van de afwezigheid van obstakels die het overgangproces belemmeren. Dat wil zeggen dat het probleem van onvoldoende koolstofarme investeringen ook kan worden veroorzaakt door knelpunten, zoals onduidelijkheid over toekomstige regelgeving, lange vergunningsperiodes en beperkingen van de infrastructurele capaciteit. Deze vormen beperkingen en uitdagingen voor de transitie en ondermijnen elke subsidieregeling. Voor Nederland zijn er twee beperkingen in het bijzonder: krapte op de arbeidsmarkt en stikstofbeperkingen. Bij de aanzienlijke verduurzamingsinspanningen die geleverd moeten worden, zijn vakmensen voor de energietransitie essentieel, maar helaas moeilijk te vinden. De tweede beperking komt van de stikstoflimieten, omdat deze de uitbreiding van elektriciteitskanalen vertraagt, maar essentieel is voor het leggen van de basis voor de transitie. Het plafond voor stikstofvervuiling heeft dus gevolgen voor de aanleg van elektriciteitsnetten, maar ook voor de bouw en infrastructuur in het algemeen ([link](#)).

Bovendien is een nadeel van de subsidieregelingen dat ze een grote administratieve last met zich meebrengen. De subsidie is afhankelijk van de energieprijzen en wordt achterwaarts bepaald. Dit vergroot de administratie die bij de projecten en financiën komt kijken ([link](#)), wat ook beperkingen oplegt aan mogelijke oplossingen of uitbreidingen.

### **Conclusies en aanbevelingen voor succesvolle subsidieregelingen**

We concluderen dat de huidige Nederlandse subsidieregelingen geschikt zijn om overeenkomstige schone investeringen te stimuleren. Ook blijken deze subsidieregelingen erg populair te zijn onder het MKB. Gezien de bovengenoemde uitdagingen benadrukken we echter de noodzaak van een dynamische, tijdige en proactieve subsidieregeling die rekening houdt met de ontwikkelingen in de marktomgeving om vertragingen of terugval in het overgangsproces te voorkomen. Vorige maand ontving de offshore veiling in het VK bijvoorbeeld geen biedingen, voornamelijk omdat de uitoefenprijs van de subsidie geen rekening hield met de stijging van de inflatoire druk op de productiekosten voor de hele sector. Daarnaast is de coördinatie van de verschillende onderdelen van het overgangsproces essentieel om de regeling up-to-date te houden en de gevolgen van eventuele nieuwe obstakels te weerspiegelen. Tot slot moeten subsidieregelingen voor schone technologieën worden afgestemd op ander klimaatbeleid, zoals koolstofbeprijzing, om een tijdige, geordende en efficiënte overgang te bewerkstelligen.

*Deze analyse is een samenvatting van een uitgebreidere publicatie die [hier](#) kan worden gevonden.*

## Toepassingen van koolstofafvang in de energietransitie

Georgette Boele – Senior Economist Sustainability | [georgette.boele@nl.abnamro.com](mailto:georgette.boele@nl.abnamro.com)

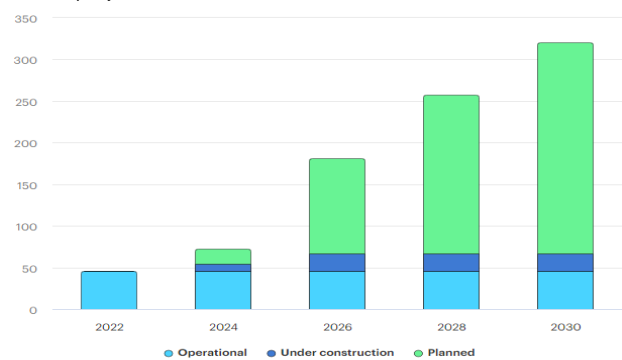
- ▶ **Koolstofafvang heeft een zeer klein aandeel onder de technologieën om CO<sub>2</sub>-emissies te verminderen, maar is wel een cruciale technologie in de energietransitie**
- ▶ **De meest gebruikte koolstofafvangtechnologieën zijn post-combustion, pre-combustion en oxyfuel**
- ▶ **De techniek die wordt gebruikt (binnen de technologie) om CO<sub>2</sub> te scheiden is net zo belangrijk**
- ▶ **De kosten van zowel de koolstofafvangtechnologieën als de gebruikte technieken daarin moeten omlaag om het gebruik van CCS op te schalen**

Het mondiale klimaatdoel is om tegen 2050 een netto-nulniveau te bereiken en binnen het koolstofbudget te blijven dat is afgestemd op een traject om onder de 2°C graad boven het pre-industriële niveau te blijven en de inspanningen voort te zetten 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 mitigeren van de uitstoot van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen. Ten tweede, de uitstoot CO<sub>2</sub> bij verbranding opvangen. Ten derde, CO<sub>2</sub> en andere emissies uit de atmosfeer opvangen. Om het doel te bereiken is een combinatie van deze drie manieren nodig.

Tot nu toe hebben onze artikelen over technologieën zich voornamelijk gericht op het eerste punt, het verminderen van emissies. Voorbeelden hiervan zijn het gebruik van duurzamere brandstoffen, batterijtechnologieën en zonne-energie technologieën. Op dit moment wordt het afvangen van koolstof slechts op relatief kleine schaal gedaan. In 2022 stootte de wereld 37 Gt CO<sub>2</sub> uit en werd slechts 46 Mt CO<sub>2</sub> afgevangen via CCUS. Dit is slechts 0,1%. Voor 2030 verwacht het Internationale Energieagentschap (IEA) in haar netto-nulscenario dat de uitstoot zal dalen tot 24 Gt CO<sub>2</sub> en dat de totale afvangcapaciteit (inclusief operationeel, in aanbouw en gepland) 321 Mt CO<sub>2</sub>. Dit is dan een capaciteit van 1,3% van de totale uitstoot (zie onderstaande grafieken). Hoewel dit een sterke toename is ten opzichte van 2022, is het nog steeds een zeer klein deel van de CO<sub>2</sub>-reductie in vergelijking met het totaal.

### Operationele en geplande capaciteit

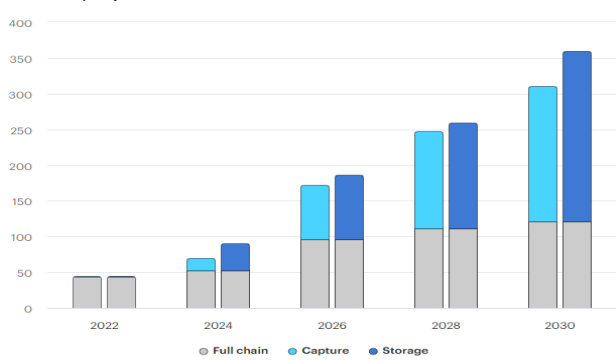
Mt CO<sub>2</sub> per jaar



Bron: IEA. Licence: CC BY4.0

### Operationele en geplande capaciteit

Mt CO<sub>2</sub> per jaar



Bron: IEA. Licence: CC BY4.0

In dit rapport richten we ons op technologieën die CO<sub>2</sub>-emissies bij verbranding afvangen. Dit is de CC (carbon capture) van CCUS (carbon capture, utilisation and storage). In toekomstige rapporten zullen we ons richten op technologieën die worden gebruikt om deze emissies op te slaan, om de afgevangen CO<sub>2</sub> te gebruiken en de technologieën die CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen uit de atmosfeer opvangen. We beginnen eerst met de verschillende koolstofafvangtechnologieën en daarna hebben we aandacht voor de technieken die bij deze technologieën worden gebruikt.

### Technologieën voor het afvangen van koolstof

Koolstofafvangtechnologieën hebben betrekking op het afvangen van CO<sub>2</sub> uit de verbranding van fossiele brandstoffen. Voor het afvangen van koolstof zijn er verschillende lagen van technologieën. De eerste laag omvat de technologieën van het afvangpunt. De tweede laag van technologieën of technieken omvat de materialen die worden gebruikt om CO<sub>2</sub> af te vangen. In deze laag zijn materiaalspecifieke eigenschappen de cruciale variabelen. We beginnen met de eerste laag van technologieën. Er zijn drie belangrijke technologieën die worden gebruikt om koolstof uit de verbranding van fossiele brandstoffen af te vangen: post-combustion, pre-combustion en oxy-combustion.

[Post-combustion technologieën](#)



Bij deze technologie wordt CO<sub>2</sub> uit de verbranding van fossiele brandstoffen of biomassa afgevangen voordat het in de atmosfeer terecht komt. Bij CCS na verbranding worden rookgassen met lage CO<sub>2</sub>-concentraties afgevangen. In het geval van vaste brandstoffen is de CO<sub>2</sub>-concentratie meestal lager dan 15% (IPCC, 2005; IEAGHG 2013) bij lage druk. Deze technologie voor het afvangen van koolstof is de optie die de voorkeur geniet bij het aanpassen van bestaande elektriciteitscentrales. CO<sub>2</sub> afvang na verbranding heeft hogere verbruiks- en compressiekosten vanwege de lage CO<sub>2</sub>-concentratie in het rookgas. Een belangrijk voordeel van de technologie voor koolstofafvang na verbranding is de maturiteit ervan in vergelijking met andere bestaande alternatieven voor koolstofafvang. Er zijn verschillende technieken (de tweede laag) die kunnen worden gebruikt bij het scheiden van CO<sub>2</sub> van het rookgas, waaronder adsorptie, membranen en andere technieken. In het tweede deel van dit rapport gaan we hier dieper op in. In de onderstaande tabel staan de verschillende CCS-technologieën met het technische gereedheidsniveau (TRL), de toepassingen, de voor- en nadelen en welke technieken deze technologieën gebruiken (tweede laag).

### Koolstofafvangtechnologieën

|                                    | CO <sub>2</sub> concentratie | Operationele kosten | TRL | Toepassingen                                  | Technieken   | Voordelen  | Nadelen  |
|------------------------------------|------------------------------|---------------------|-----|---|--|--|--|
| Direct Air Capture                 | Laag                         | \$\$\$              | 7   | Vermindert CO <sub>2</sub> in de atmosfeer    |  | Vangt CO <sub>2</sub> op uit de lucht<br>Kan overal geplaatst worden   | Energie-intensief door lage CO <sub>2</sub> -concentraties   |
| Post-combustion<br>NA verbranding  | 3-15%                        | \$\$                | 9   | Gebruikt voor bestaande energiecentrales      | Chemische absorptie<br>Physical absorptie<br>Adsorptie<br>Membraan<br>Andere | Volwassen technologie<br>Retrolit bestaande faciliteiten   | Naverbrandingsgassen met laag CO <sub>2</sub> -gehalte<br>Hoger energieverbruik, compressiekosten  |
| Pre-combustion<br>Voor verbranding | 15-50%                       | \$                  | 9   | Grotendeels gebruikt in industriële processen | Physical absorptie<br>Adsorptie<br>Membraan                                  | Hoge concentratie CO <sub>2</sub><br>Hogere efficiëntie en koolstofverwijdering uit fossiele brandstoffen<br>Vermindert energieverbruik en kosten<br>Commercialisering op grote schaal | Beperkt aantal typen installaties kunnen implementeren<br>Uitdagingen voor warmteoverdracht<br>Vervalproblemen bij gebruik van waterstofrijke brandstof                  |
| Oxyfuelverbranding                 | Hoog                         | \$\$                | 7   | Voor nieuwe infrastructuur                    |  | Meer geconcentreerde CO <sub>2</sub> -stroom<br>Lagere compressiekosten<br>Kansen voor nieuwe infrastructuur   | Duur om energiecentrales achteraf aan te passen<br>Veel energie nodig om zeer zuiver O <sub>2</sub> te produceren<br>Zeer hoge temperatuur geproduceerd door verbranding |
| Chemical looping                   | Hoger                        |                     | 5-6 | Energie opwekken                              | Geavanceerde vorm oxyfuel  | Minimaliseert vorming van NO <sub>x</sub><br>Minimaliseert de behoefte aan CO <sub>2</sub> -scheiding<br>Eliminatie van luchtscheidingsunit voor zuurstofproductie                     | Complexiteit van het proces<br>Gebrek aan enaring<br>Ontbreken van demonstraties op ware grootte   |

Bron: IEA, London School of Economics, Sumitomo, Aramco, NETL, Global CCS Institute en verschillende wetenschappelijke rapporten

### Mobiele koolstofafvang

Gewoonlijk worden CCS-technologieën gebruikt bij grote stationaire bronnen zoals elektriciteitscentrales en industriële installaties. Maar er wordt steeds meer onderzoek gedaan naar het gebruik van CCS voor mobiele bronnen. Dit wordt mobiele koolstofafvang genoemd. Het verwijst naar het proces waarbij CO<sub>2</sub> wordt afgevangen op het punt waar het wordt uitgestoten - namelijk door het voertuig terwijl het in beweging is - voordat het in de atmosfeer terecht komt. Er zijn onderzoeken en tests gedaan voor vrachtwagens en schepen. Als de toepassing van deze technologie zich verder ontwikkelt, zou het een oplossing kunnen zijn voor de moeilijk te verminderen sectoren van het vervoer, zoals vrachtovervoer, de zeevaart en de binnenvaart.

### Pre-combustion technologie

Afvang vóór verbranding verwijst naar het verwijderen van CO<sub>2</sub> uit fossiele brandstoffen voordat de verbranding is voltooid. Bij vergassingsprocessen wordt een grondstof (zoals steenkool) gedeeltelijk geoxideerd in stoom en zuurstof/lucht onder hoge temperatuur en druk om synthesegas te vormen. Het synthesegas wordt vervolgens verwerkt in een water-gas-shift (WGS) reactor, die de CO omzet in CO<sub>2</sub>. De CO<sub>2</sub>-concentratie in dit mengsel varieert van 15% tot 50%. De hoge CO<sub>2</sub>-concentratie in het syngas verhoogt de absorptie-efficiëntie aanzienlijk, wat leidt tot de vorming van een brandstof die minder schadelijk kan zijn voor het milieu.

### Oxy-fuel combustion technologie

Oxy-fuel met naverbranding (of oxy-fuel) verwijst naar de vervanging van lucht, in de ketel of de vergasser, door zuivere zuurstof (O<sub>2</sub>). Het gebruik van gezuiverde O<sub>2</sub> helpt bij het elimineren van ongewenste bijproducten die aanwezig zijn in de lucht, en verhoogt ook de CO<sub>2</sub>-zuiverheid van het resulterende syngas of de rookstroom, waardoor koolstofafvang effectiever wordt. Oxyfuelverbranding overwint de technische uitdaging van de lage partiële CO<sub>2</sub>-druk die normaal gesproken wordt aangetroffen in conventionele rookgassen van steenkoolverbranding door een zeer geconcentreerde CO<sub>2</sub>-stroom te produceren (~60 procent). Partiële druk verwijst naar de relatieve concentraties van verschillende stoffen in de gasfase. De partiële druk beïnvloedt de CO<sub>2</sub>-afvangkosten, omdat het de grootte van de procesapparatuur, de energievereisten van de afvanginstallatie en de toepasbare afvangtechnologieën beïnvloedt. Hoe hoger de druk, hoe

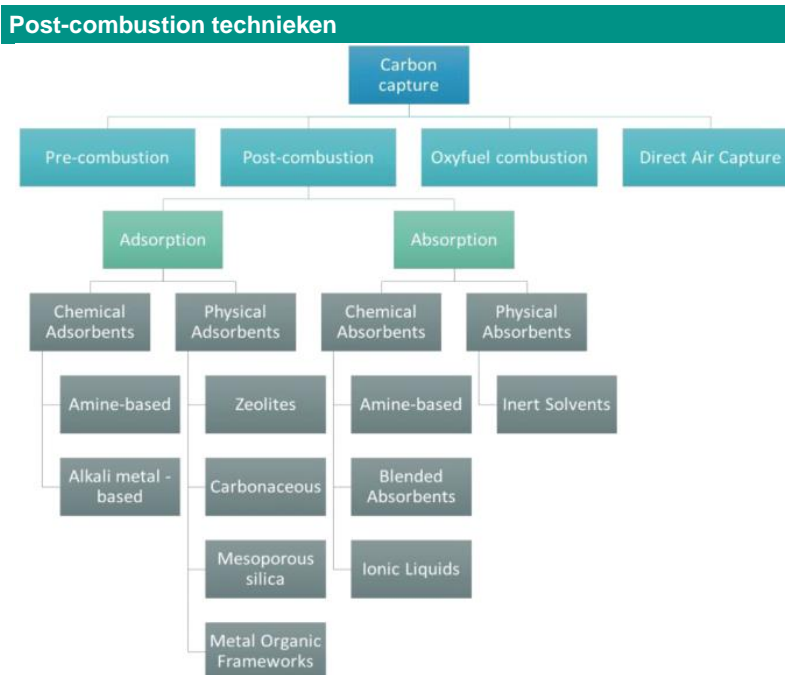
gemakkelijker CO<sub>2</sub> kan worden afgevangen en hoe goedkoper het proces zal zijn door minder energieverbruik en kleinere afvangapparatuur. De partiële druk is een belangrijke variabele voor het afvangen van CO<sub>2</sub>. Terwijl afvang na verbranding goed werkt met bestaande installaties, biedt oxyfuelverbranding een kans voor nieuwe infrastructuur.

### Chemical looping TRL 5-6

Chemical looping is een geavanceerde vorm van oxyfuelverbranding die een dure luchtseparatie-eenheid overbodig maakt. In plaats daarvan wordt een zuurstofdrager in vaste vorm gebruikt. Het is gebaseerd op verbranding of vergassing van steenkool in een stikstofvrije omgeving. In plaats van een luchtseparatie-eenheid te gebruiken, wordt bij chemische looping echter een metaaloxide of andere verbinding als zuurstofdrager gebruikt om O<sub>2</sub> van de lucht naar de brandstof over te brengen. Omdat dit geen *end-of-pipe*-technologie is, is het belangrijk dat de gebruikte zuurstofdrager in staat is om onzuiverheden in de brandstoftoevoer te verwerken en om te weten hoe de brandstofomzettingsprestaties en de levensduur van de zuurstofdragerdeeltjes worden beïnvloed. Chemical looping kan ook worden geclassificeerd als voorverbrandingstechnologie.

### **Hoe CO<sub>2</sub> te scheiden**

Zoals hierboven aangegeven zijn er verschillende technieken (de tweede laag) die bij post-combustion kunnen worden gebruikt om CO<sub>2</sub> van het rookgas te scheiden, waaronder adsorptie, membranen en andere technieken. Sommige van deze technieken worden ook gebruikt in andere CCS-technologieën zoals pre-combustion. Hieronder lichten we de verschillende technieken toe.



Bron: Journal of Carbon Research – Carbon Capture Materials in Post-Combustion: Adsorption and Absorption-Based processes (zie [hier](#))

### Absorptie (oplosmiddelen) technieken

Bij deze techniek wordt een vloeibaar oplosmiddel, oftewel het absorptiemiddel, gebruikt om CO<sub>2</sub> selectief op te lossen uit het gasmengsel. Conventionele oplosmiddelen vertrouwen op chemische absorptie om kooldioxide te verwijderen, maar er zijn ook fysische oplosmiddelen.

We beginnen met chemische oplosmiddelen. Chemische oplosmiddelen bevatten meestal een amine dat selectief reageert met kooldioxide. Het industriële gas wordt naar een *absorber* geleid, waar het oplosmiddel veilig en snel reageert met kooldioxide. Het CO<sub>2</sub>-rijke oplosmiddel wordt vervolgens overgebracht naar een regenerator, waar de temperatuur wordt verhoogd tot ongeveer 120 graden Celsius. Deze temperatuurverhoging keert de kooldioxide-absorptiereactie om, waardoor een zuiver CO<sub>2</sub>-gas en vers oplosmiddel ontstaan. De CO<sub>2</sub> wordt opgevangen voordat het wordt verzonden voor geologische opslag of verder gebruik. Het verse oplosmiddel kan worden teruggevoerd naar de *absorber* om de cyclus opnieuw te beginnen. Dit regeneratieproces is zeer energie-intensief. Er zijn twee generaties commercieel verkrijgbare amine oplosmiddelen. De eerste generatie oplosmiddelen zoals monoëthanolamine (MEA). MEA wordt het meest gebruikt



voor CO<sub>2</sub>-absorptie vanwege de hoge selectiviteit, snelle reactie en lage kosten. Het is echter ook gevoelig voor onzuiverheden en vereist ontzwareling en denitrificatie van het rookgas om effectief te kunnen werken. Oplosmiddelen van de tweede generatie zijn onder andere verbeterde mengsels van sterisch gehinderde alkaloamines en aminozuren die lagere regeneratietemperaturen vereisen en beter bestand zijn tegen afbraak. Ze kosten echter meer dan MEA en presteren minder goed dan MEA. Door aminetechnologie toe te passen kan 85-95% van de CO<sub>2</sub> uit rookgassen worden afgevangen (IPCC, 2005). Het is een volwassen technologie, maar de energie die nodig is voor het afvangen en comprimeren van CO<sub>2</sub> leidt tot een hoger brandstofverbruik, waardoor de netto CO<sub>2</sub>-reductie die wordt bereikt lager is dan het afvangpercentage. Traditionele amine oplosmiddelen hebben een technisch gereedheidsniveau (TRL) van 9. Andere chemische vloeibare oplosmiddelen zouden een TRL 2-7 kunnen hebben.

Bij het gebruik van *physical* oplosmiddelen voor CO<sub>2</sub>-afvang is er geen chemische reactie, dus de drijvende kracht voor CO<sub>2</sub>-absorptie is de oplosbaarheid van CO<sub>2</sub> in het oplosmiddel die over het algemeen toeneemt met de druk en afneemt met de temperatuur in overeenstemming met de wet van Henry. De wet van Henry is een gaswet die stelt dat de hoeveelheid opgelost gas in een vloeistof recht evenredig is met de partiële druk ervan. Moderne CO<sub>2</sub>-afvangsystemen vóór verbranding gebruiken oplosmiddelen om CO<sub>2</sub> selectief te absorberen uit gasmengsels met behulp van het dit absorptieproces. Dit komt door de relatief hoge partiële CO<sub>2</sub>-druk in syngas. Ze houden CO<sub>2</sub> in oplossing door middel van *physical* mechanismen in plaats van chemische reacties. Bij verhitting is het scheiden makkelijker, zodat er minder energie (of warmte) nodig is. Voorbeelden van deze oplosmiddelen zijn Selexol en Rectisol (TRL 9). Het meest gebruikte en rijpe proces is het Selexol-proces. Dit heeft een technisch gereedheidsniveau van 9 volgens het *Global CCS Institute*.

#### Adsorptietechnieken (sorbentia) TRL 7-9

Bij adsorptie hechten moleculen in vloeistoffen en gassen zich aan vaste oppervlakken door zogenoemde zwakke van der Waals interacties. Van der Waals krachten worden aangedreven door geïnduceerde elektrische interacties tussen twee of meer atomen of moleculen die zich zeer dicht bij elkaar bevinden. Adsorptie is een andere scheidingstechniek die enigszins verschilt van absorptie omdat adsorptie een specifieke fysische en chemische verbinding tussen CO<sub>2</sub> en het oppervlak van het adsorbens inhoudt. Sorbentia en oplosmiddelen zijn vergelijkbaar, maar bij oplosmiddelen wordt de CO<sub>2</sub> geabsorbeerd in een vloeistof, terwijl bij sorbentia de CO<sub>2</sub> wordt geabsorbeerd aan vaste stoffen. Nadat het sorbent de CO<sub>2</sub> heeft opgevangen en weer heeft vrijgegeven, kan het sorbent opnieuw worden gebruikt. Selectiecriteria voor dit sorbent zijn onder andere een groot oppervlak, een hoog regeneratievermogen en een hoge selectiviteit. Het is mogelijk om CO<sub>2</sub> adsorptie te bereiken door de druk of temperatuur van een verzadigd sorbent te veranderen. Fysische vaste sorbentia die gebruikt worden bij het afvangen van koolstof zijn mesoporeus silica, metaal-organische raamwerken (MOF's), koolstofhoudende materialen (actieve kool, grafeen, koolstofnanobuisjes), polymeren, calciumoxide (CaO), kleimaterialen, alkalimetaalcarbonaten, magnesiumoxide (MgO), gelaagde dubbele hydroxiden, alkalischilicaten.

Deze techniek heeft het voordeel van lagere regeneratie-energie in vergelijking met solventen, maar deze sorbententechnologieën zijn over het algemeen minder ontwikkeld dan solventen. Vaste sorbentia kunnen worden gebruikt voor post- en pre-combustionstechnologieën. Vaste adsorbentia hebben een TRL van 5-9 afhankelijk van het sorbent. Metalen organische raamwerken (MOF) zijn een mogelijke oplossing voor de hierboven genoemde mobiele koolstofafvang.

*Calcium looping* (CaL) is een koolstofafvangstechnologie van de tweede generatie. *Calcium looping* is een CO<sub>2</sub>-afvangmethode waarbij vaste sorbentia op CaO-basis worden gebruikt om CO<sub>2</sub> uit rookgassen te verwijderen. Het is ook een nuttig bijproduct voor de cement- en kalkindustrie. Deze technologie heeft een technisch gereedheidsniveau van 6-7 (2020).

#### Membranen TRL 4-6

Membraanscheiding maakt gebruik van een semipermeabel membraan of barrière om CO<sub>2</sub> fysiek te scheiden van andere rookgassen. Het is een veelbelovende technologie van de volgende generatie voor CO<sub>2</sub>-afvang na verbranding. Het is het selectieve transport en de scheiding van CO<sub>2</sub> door een membraan uit rookgassen onder invloed van drukverschillen. Het energieverbruik en de chemische voetafdruk kunnen aanzienlijk worden verminderd in vergelijking met de aminewassing die momenteel op grote schaal wordt gebruikt. Ondanks vele studies worden commercieel levensvatbare membranen echter nog niet op grote schaal toegepast. Het is mogelijk om energie-efficiënter te zijn dan de bovengenoemde methodologieën bij de behandeling van CO<sub>2</sub>-toevoerinhoud >10%. Maar een directe vergelijking van het energieverbruik tussen amineabsorptie en membraanscheidingstechnologieën is moeilijk vanwege de verschillende energiebronnen die nodig zijn

(elektriciteit voor membranen en warmte voor absorptie). Membraanscheiding vereist geen gevaarlijke chemische opslag, behandeling of verwijdering, maar ze hebben een lagere scheidingsefficiëntie dan deze volwassen technologieën. Het hoogste TRL-niveau voor CO<sub>2</sub>-afvang uit rookgassen met membranen bevindt zich momenteel op pilotschaal. Het kan worden gebruikt voor afvang vóór en na verbranding.

#### Andere technieken om CO<sub>2</sub> af te scheiden

Cryogene koolstofafvang (CCC) is een zeer innovatieve CO<sub>2</sub>-afvangtechnologie. Het CCC-proces scheidt CO<sub>2</sub> van lichte gassen in vrijwel elk continu proces. Het koelt de gassen af tot het vorst- of desublimatiepunt van CO<sub>2</sub> (-100 tot -135 °C). Desublimeren is het direct veranderen van gas in een vaste stof. Het scheidt de vaste stoffen, zet ze onder druk en verwarmt alle stromen om een CO<sub>2</sub>-verarmde stroom te produceren bij omgevingsdruk en een zuivere (99+%) vloeibare CO<sub>2</sub>-stroom onder druk van meestal ongeveer 150 bar, beide bij omgevingstemperatuur. Het proces recupereert ook al het gasvocht en de meeste gasonzuiverheden die minder vluchtig zijn dan CO<sub>2</sub> (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, kwik enz.) in scheidbare stromen. Het proces heeft een aantal belangrijke extra voordelen. Om te beginnen is het een retrofit-technologie waarvoor geen stoom of aanpassing van bestaande apparatuur nodig is. Bovendien recupereert het water en bijna alle verontreinigende stoffen naast CO<sub>2</sub> uit het rookgas. Het maakt ook zeer efficiënte en kosteneffectieve energieopslag op netwerkschaal en op tijdschalen van minuten mogelijk. Een nadeel van CCC is echter dat de ophoping van CO<sub>2</sub> vorst de efficiëntie van het afvangproces vermindert. Het proces moet periodiek worden stilgelegd om het warmteoverdrachtsoppervlak te regenereren en CO<sub>2</sub> op te vangen dat uit de uitlaatgassen is bevroren. De TRL is 6.

Heet kaliumcarbonaat of HPC is een post-combustion technologie die de afbraakproblemen van amines omzeilt. Het begint met het koelen en comprimeren van de rookgassen om een verbeterde efficiëntie van CO<sub>2</sub>-absorptie in de *absorber* mogelijk te maken. Het HPC-solvent vangt de CO<sub>2</sub> op uit de rookgassen in de *absorber* en wordt vervolgens geregenereerd in de *desorber*. Het lijkt meer dan 90% van de CO<sub>2</sub> af te vangen en maakt een lager energieverbruik in het afvangproces mogelijk dan vergelijkbare technologieën.

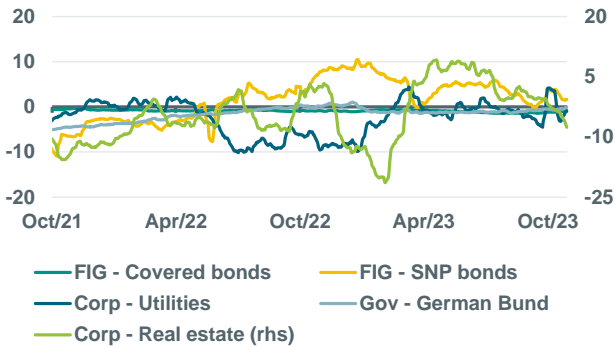
#### **Conclusie**

Er zijn verschillende manieren om de uitstoot te verminderen. Ten eerste het beperken en mitigeren van de uitstoot van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen. Ten tweede, emissies van verbranding opvangen. Ten derde, CO<sub>2</sub> en andere emissies uit de atmosfeer opvangen. Koolstofafvangtechnologieën hebben momenteel een klein aandeel in het terugdringen van CO<sub>2</sub>. Het aandeel zal waarschijnlijk aanzienlijk toenemen, maar zal relatief laag zijn in vergelijking met andere technologieën en de totale uitstoot in 2030. Koolstofafvangtechnologieën zijn echter cruciaal om de moeilijk te reduceren sectoren te compenseren. CO<sub>2</sub> kan worden afgevangen post-combustion, pre-combustion en oxyfuelverbranding. Bovendien spelen de verschillende technieken die in deze technologieën worden gebruikt ook een cruciale rol om de technologieën te verbeteren en de kosten te drukken zodat CCS op grotere schaal en/of in mobiele situaties kan worden toegepast. Momenteel is CCS één van de duurdere technologieën om CO<sub>2</sub> te verminderen.

# ESG in figures

## ABN AMRO Secondary Greenium Indicator

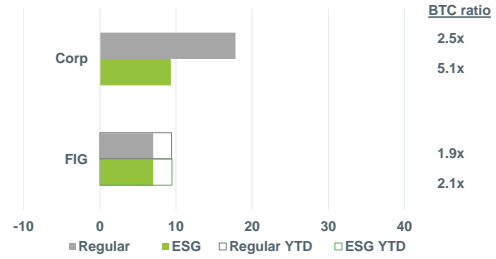
Delta (green I-spread – regular I-spread)



Note: Secondary Greenium indicator for Corp and FIG considers at least five pairs of bonds from the same issuer and same maturity year (except for Corp real estate, where only 3 pairs were identified). German Bund takes into account the 2030s and 2031s green and regular bonds. Delta refers to the 5-day moving average between green and regular I-spread. Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

## ABN AMRO Weekly Primary Greenium Indicator

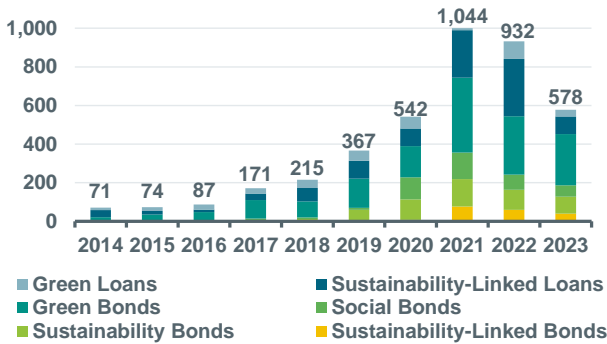
NIP in bps



Note: Data until 11-10-23. BTC = Bid-to-cover orderbook ratio. Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

## Sustainable debt market overview

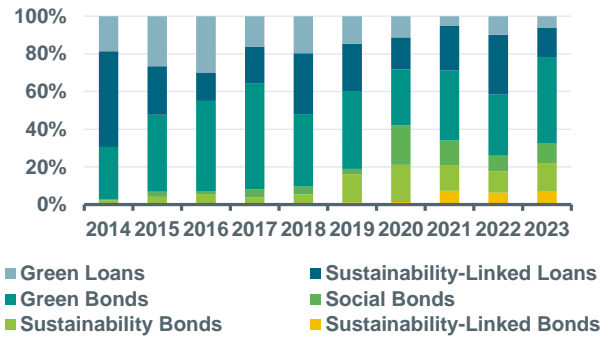
EUR bn



Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

## Breakdown of sustainable debt by type

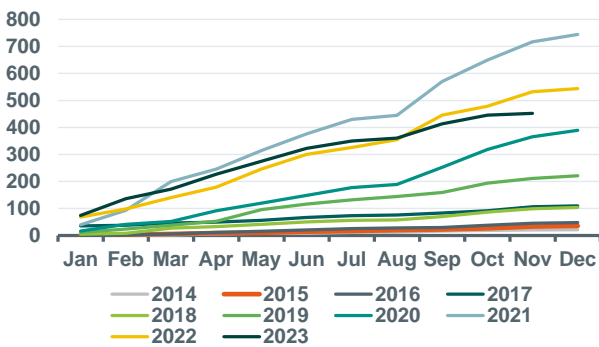
% of total



Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

## YTD ESG bond issuance

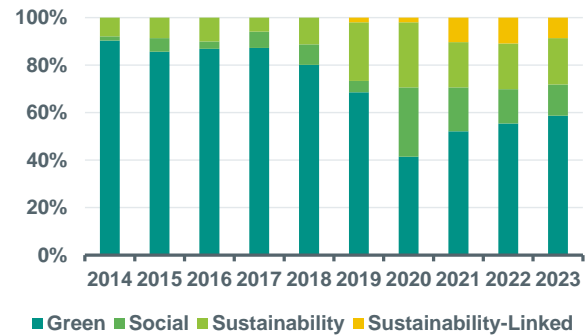
EUR bn (cumulative)



Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

## Breakdown of ESG bond issuance by type

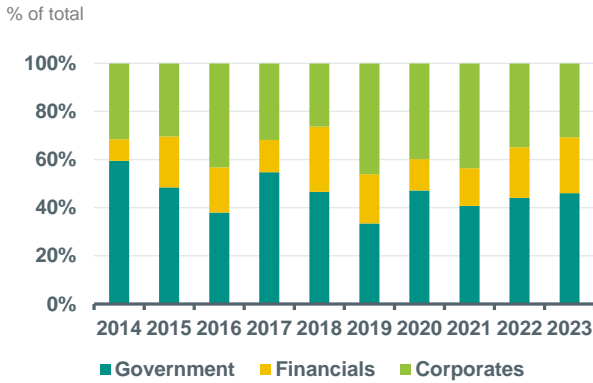
% of total



Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

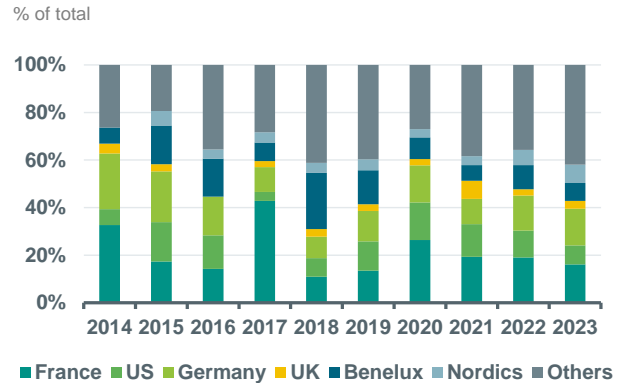
Figures hereby presented take into account only issuances larger than EUR 250m and in the following currencies: EUR, USD and GBP.

### Breakdown of ESG bond issuance by sector



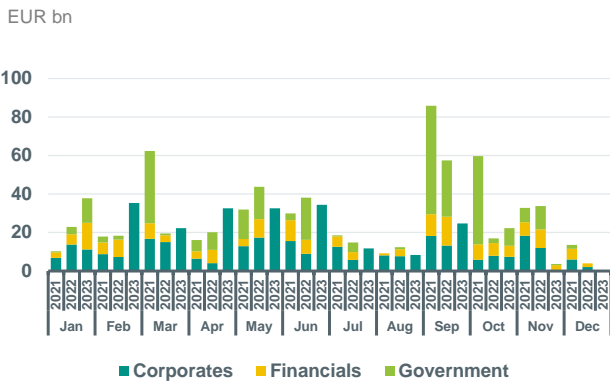
Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

### Breakdown of ESG bond issuance by country



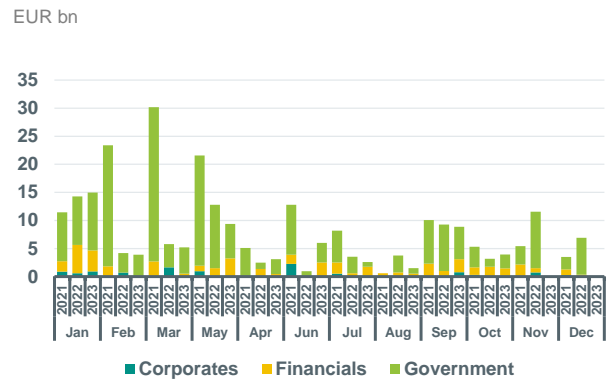
Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

### Monthly Green Bonds issuance by sector



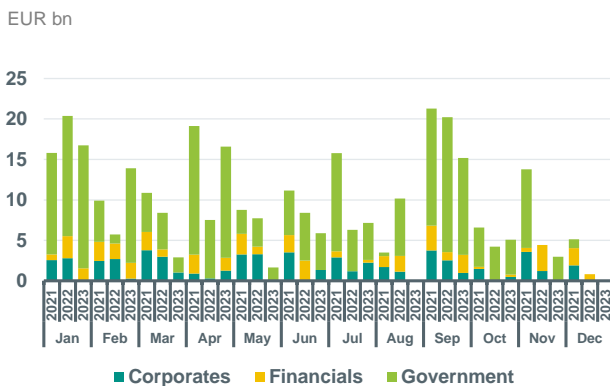
Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

### Monthly Social Bonds issuance by sector



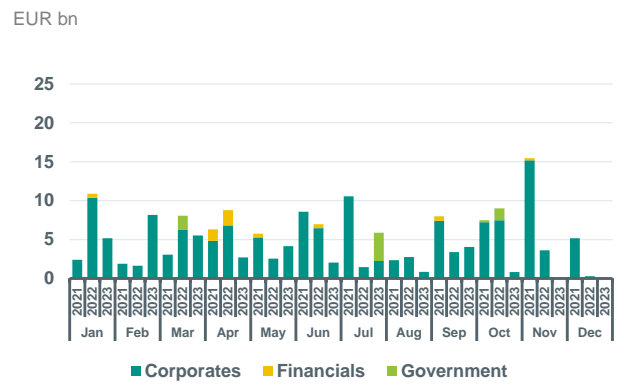
Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

### Monthly Sustainability Bonds issuance by sector



Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

### Monthly Sust.-Linked Bonds issuance by sector



Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

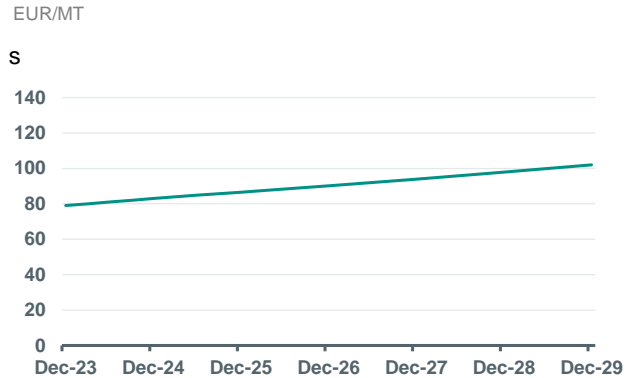
Figures hereby presented take into account only issuances larger than EUR 250m and in the following currencies: EUR, USD and GBP.

**Carbon contract current prices (EU Allowance)**



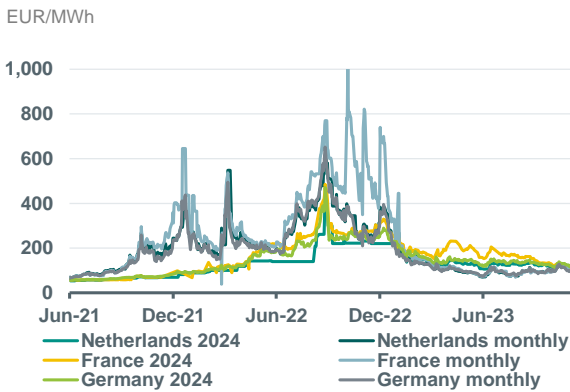
Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

**Carbon contract futures curve (EU Allowance)**



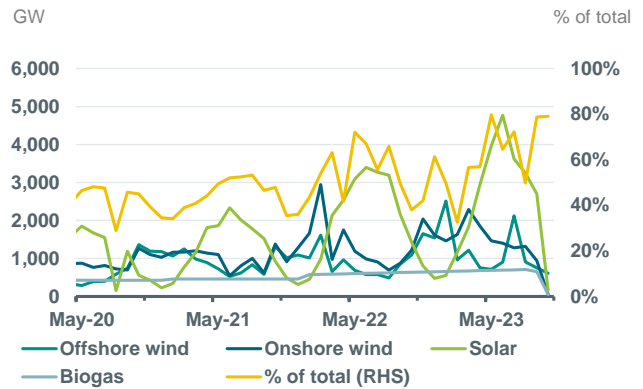
Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

**Electricity power prices (monthly & cal+1 contracts)**



Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics. Note: 2024 contracts refer to cal+1

**Electricity generation from renewable sources (NL)**



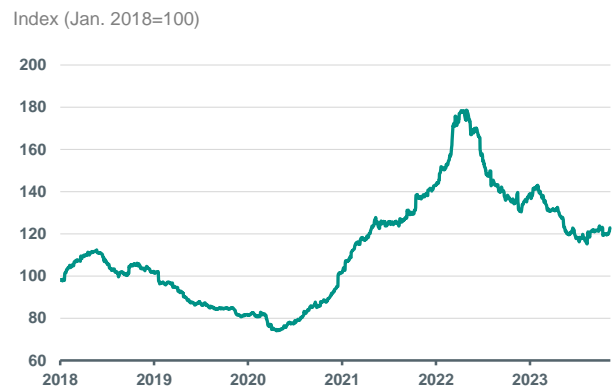
Source: Energieopwek (Klimaat-akkoord), ABN AMRO Group Economics

**TTF Natgas prices**



Source: Bloomberg, ABN AMRO Group Economics

**Transition Commodities Price Index**



Note: Average price trend of 'transition' commodities, such as: corn, sugar, aluminium, copper, nickel, zinc, cobalt, lead, lithium, manganese, gallium, indium, tellurium, steel, steel scrap, chromium, vanadium, molybdenum, silver and titanium. Source: Refinitiv, ABN AMRO Group Economics

## DISCLAIMER

ABN AMRO Bank  
Gustav Mahlerlaan 10 (visiting address)  
P.O. Box 283  
1000 EA Amsterdam  
The Netherlands

This material has been generated and produced by a Fixed Income Strategist ("Strategists"). Strategists prepare and produce trade commentary, trade ideas, and other analysis to support the Fixed Income sales and trading desks. The information in these reports has been obtained or derived from public available sources; ABN AMRO Bank NV makes no representations as to its accuracy or completeness. The analysis of the Strategists is subject to change and subsequent analysis may be inconsistent with information previously provided to you. Strategists are not part of any department conducting 'Investment Research' and do not have a direct reporting line to the Head of Fixed Income Trading or the Head of Fixed Income Sales. The view of the Strategists may differ (materially) from the views of the Fixed Income Trading and sales desks or from the view of the Departments conducting 'Investment Research' or other divisions

This marketing communication has been prepared by ABN AMRO Bank N.V. or an affiliated company ('ABN AMRO') and for the purposes of Directive 2004/39/EC has not been prepared in accordance with the legal and regulatory requirements designed to promote the independence of research. As such regulatory restrictions on ABN AMRO dealing in any financial instruments mentioned in this marketing communication at any time before it is distributed to you do not apply.

This marketing communication is for your private information only and does not constitute an analysis of all potentially material issues nor does it constitute an offer to buy or sell any investment. Prior to entering into any transaction with ABN AMRO, you should consider the relevance of the information contained herein to your decision given your own investment objectives, experience, financial and operational resources and any other relevant circumstances. Views expressed herein are not intended to be and should not be viewed as advice or as a recommendation. You should take independent advice on issues that are of concern to you.

Neither ABN AMRO nor other persons shall be liable for any direct, indirect, special, incidental, consequential, punitive or exemplary damages, including lost profits arising in any way from the information contained in this communication.

Any views or opinions expressed herein might conflict with investment research produced by ABN AMRO.

ABN AMRO and its affiliated companies may from time to time have long or short positions in, buy or sell (on a principal basis or otherwise), make markets in the securities or derivatives of, and provide or have provided, investment banking, commercial banking or other services to any company or issuer named herein.

Any price(s) or value(s) are provided as of the date or time indicated and no representation is made that any trade can be executed at these prices or values. In addition, ABN AMRO has no obligation to update any information contained herein.

This marketing communication is not intended for distribution to retail clients under any circumstances.

This presentation is not intended for distribution to, or use by any person or entity in any jurisdiction where such distribution or use would be contrary to local law or regulation. In particular, this presentation must not be distributed to any person in the United States or to or for the account of any "US persons" as defined in Regulation S of the United States Securities Act of 1933, as amended.

## CONFLICTS OF INTEREST/ DISCLOSURES

This report contains the views, opinions and recommendations of ABN AMRO (AA) strategists. Strategists routinely consult with AA sales and trading desk personnel regarding market information including, but not limited to, pricing, spread levels and trading activity of a specific fixed income security or financial instrument, sector or other asset class. AA is a primary dealer for the Dutch state and is a recognized dealer for the German state. To the extent that this report contains trade ideas based on macro views of economic market conditions or relative value, it may differ from the fundamental credit opinions and recommendations contained in credit sector or company research reports and from the views and opinions of other departments of AA and its affiliates. Trading desks may trade, or have traded, as principal on the basis of the research analyst(s) views and reports. In addition, strategists receive compensation based, in part, on the quality and accuracy of their analysis, client feedback, trading desk and firm revenues and competitive factors. As a general matter, AA and/or its affiliates normally make a market and trade as principal in securities discussed in marketing communications.

ABN AMRO is authorised by De Nederlandsche Bank and regulated by the Financial Services Authority; regulated by the AFM for the conduct of business in the Netherlands and the Financial Services Authority for the conduct of UK business.

Copyright 2023 ABN AMRO. All rights reserved. This communication is for the use of intended recipients only and the contents may not be reproduced, redistributed, or copied in whole or in part for any purpose without ABN AMRO's prior express consent.