

ESG & Economie

Economisch Bureau | Financial Markets & Sustainability Research | 4 juli 2024

Geo-engineering stralingsbeheer: niet zo snel

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

- De stralingsbalans van de aarde is gestegen in lijn met de temperatuurstijging.
- Geo-engineering stralingsbeheer kan hiervoor een oplossing bieden.
- Technologieën kunnen worden gegroepeerd in twee categorieën: stralingsbeheer van de zon en stralingsbeheer van de aarde.
- In beide gevallen gaat het om technologieën die het stralingsbudget van de aarde proberen te verbeteren om de warmte die in de atmosfeer van de aarde wordt vastgehouden te verminderen.
- Maar deze vormen van geo-engineering zijn zeer omstreden en wetenschappers zijn verdeeld over de vraag of ze überhaupt moeten worden onderzocht als mogelijke oplossing...
- ...en deze technologieën lossen de kern van het probleem niet op, namelijk de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer.
- De nadruk moet blijven liggen op technologieën die de stijging van de concentraties broeikasgassen in de atmosfeer beperken of op technologieën die deze broeikasgassen uit de atmosfeer verwijderen.

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. Het verwijderen van CO₂ uit de atmosfeer en stralingsbeheer vallen in de categorie geo-engineering. Om het doel te bereiken is een combinatie van deze manieren nodig. In ons vorige rapport (zie [hier](#) voor meer informatie) hebben we uitgelegd wat geo-engineering is en hebben we ons gericht op technologieën voor koolstofvastlegging. Dit rapport richt zich op stralingsbeheer.

Wat is geo-engineering

Geo-engineering verwijst naar een reeks opkomende technologieën die het milieu kan 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 stralingsbeheer, inclusief technologieën voor het beheer van zonnestraling en aardstraling. Deze technologieën proberen het verband tussen emissies en concentraties te verbreken (zie [hier](#) voor meer informatie). De tabel hieronder geeft een overzicht van de geo-engineering stralingsbeheer-technologieën per categorie.

Radiatiebeheer technologieën

Stralingsbeheertechnologieën

Beheer van zonnestraling

Stratosferische aerosolinjectie
Aanpassing albedo aan het oppervlak
Mariene wolken verheldering
Microbellen

Technologieën vanuit de ruimte

Beheer van straling afkomstig van de aarde

Cirruswolken verdunnen

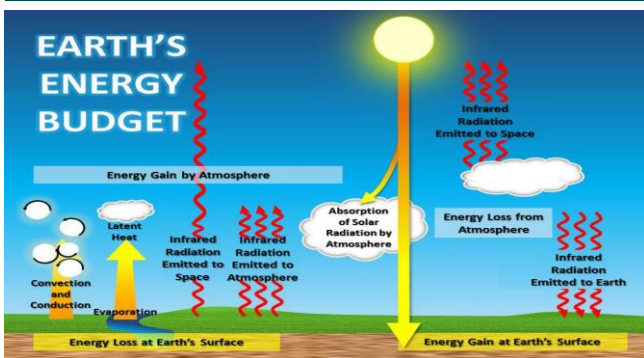
Bron: Geoengineering Monitor (voor meer informatie zie [hier](#))

Stralingsbudget aarde

Voordat we diep in de technologieën duiken, gaan we eerst in op het concept van het stralingsbudget van de aarde. Het aardsysteem bestaat een natuurlijk evenwicht tussen inkomende zonnestraling en uitgaande straling die wordt teruggestuurd naar de ruimte in de vorm van licht (directe weerkaatsing van zonlicht) of warmte (infrarood emissie van oppervlakten). Dit evenwicht, dat het stralingsbudget van de aarde (ERB) wordt genoemd, bepaalt het klimaat van de aarde en zorgt ervoor dat we op onze aarde kunnen leven (zie [hier](#) voor meer informatie). De grafiek links onder illustreert dit proces.

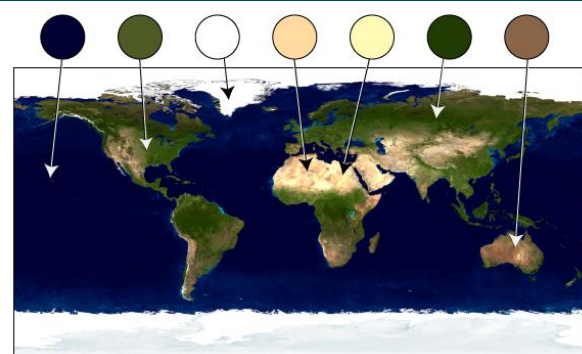
Toenames in broeikasgassen (CO₂ en methaan) hebben de samenstelling van de atmosfeer veranderd en het energiebudget van de planeet verstoord door warmte vast te houden die voorheen terug de ruimte in zou zijn ontsnapt. Kortom, inkomende zonnestraling verminderd met de gereflecteerde zonnestraling is gelijk aan de geabsorbeerde zonnestraling. Vervolgens is de geabsorbeerde zonnestraling minus de uitgaande langegolfstraling gelijk aan de netto straling. De stralingsbalans van de aarde is toegenomen. Dit betekent dat er meer warmte wordt vastgehouden. Dit heeft geresulteerd in een temperatuurstijging.

Energiebudget van de aarde



Bron: [Climate Science Investigations NASA](#)

Albedo van de aarde



Bron: UCAR SciEd with NASA image

De stralingsbalans van de aarde is gestegen in lijn met de temperatuurstijging. Zowel beheer van zonnestraling als beheer van straling van de aarde omvat technologieën die het stralingsbudget van de aarde proberen te verbeteren om de warmte die in de atmosfeer van de aarde wordt vastgehouden te verminderen.

Albedo van de aarde

Albedo is de fractie van het licht dat een oppervlak weerkaatst. Als alles wordt gereflecteerd, is het albedo gelijk aan 1. Dit is dus het maximum. De albedo van het aardoppervlak (atmosfeer, oceaan, landoppervlakken) bepaalt hoeveel van de inkomende zonne-energie, of licht, onmiddellijk wordt gereflecteerd terug naar de ruimte. Dit is cruciaal voor de energie- en stralingsbalans van de aarde (zie [hier](#) voor meer informatie). Wanneer zonlicht op lichtgekleurde oppervlakken valt, wordt een groot deel gereflecteerd en teruggekaatst naar de ruimte. Bijvoorbeeld heldere lichte wolken, sneeuw en ijskappen reflecteren het meeste zonlicht en hebben een hoog albedo. Wanneer zonlicht op

donkergekleurde oppervlakken valt, wordt er maar heel weinig gereflecteerd (zie [hier](#) voor meer informatie). Als er weinig wordt gereflecteerd dan wordt het meeste wordt geabsorbeerd, bijvoorbeeld oceanen hebben een laag albedo-effect. De grafiek rechtsboven toont een voorbeeld van de kleuren van de aarde. De lichte kleuren hebben een hoger albedo dan de donkere kleuren. Wanneer door de opwarming sneeuw en ijs smelten, komen donkerder gekleurde oppervlakken bloot te liggen en neemt de albedo af en warmt de aarde nog meer op.

Beheer van zonnestraling

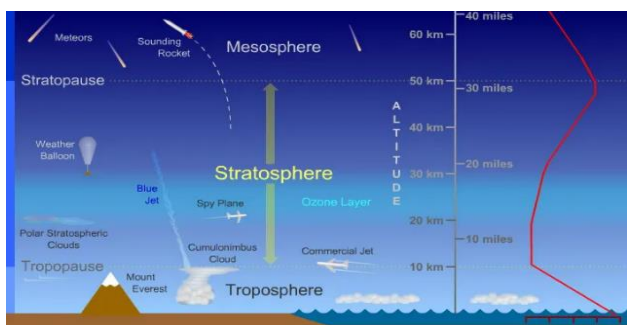
Beheer van zonnestraling verwijst naar technologieën die proberen een fractie van het zonlicht terug de ruimte in te reflecteren om de planeet af te koelen. Met andere woorden, dit zou de albedo van de aarde verbeteren zodat er minder warmte wordt geabsorbeerd. Zonnestralingbeheerstechniek is er niet op gericht om het probleem bij de kern aan te pakken, maar wel om het verband tussen concentraties en temperaturen te verbreken en zo bepaalde klimaatschade te beperken (zie [hier](#) voor meer informatie). Er zijn verschillende zonnestralingsbeheertechnologieën, namelijk: injectie van stratosferische aerosolen, aanpassing van de albedo aan het oppervlak, verheldering van wolken op zee, microbubbel en technologieën in de ruimte. Hieronder lichten we deze technologieën toe.

Zonnegeo-engineering is een zeer omstreden onderwerp en wetenschappers zijn verdeeld over de vraag of het überhaupt onderzocht moet worden als mogelijke oplossing. Het hoofd van het VN-milieuagentschap heeft gewaarschuwd dat een stormloop op experimentele technieken om de atmosfeer af te koelen door de zon gedeeltelijk te blokkeren, schadelijk kan zijn voor dieren in het wild, oceanen, de ozonlaag en gewassen.

Stratosferische aerosolinjectie

Voordat we deze technologie uitleggen, leggen we eerst de stratosfeer uit. De stratosfeer is de tweede laag van de atmosfeer als je omhooggaat. Ongeveer 10% van de atmosferische massa bevindt zich in de stratosfeer. Maar de lucht in deze laag is nog zo ijl dat je er in een oogwenk zou bevriezen. De stratosfeer is zeer droge lucht, die weinig waterdamp bevat. Hierdoor zijn er weinig wolken in deze laag. Door het gebrek aan verticale convectie in de stratosfeer kunnen materialen die in de stratosfeer terechtkomen daar lange tijd blijven. Grote vulkaanuitbarstingen en grote meteorietinslagen kunnen aerosoldeeltjes de stratosfeer in slingeren, waar ze maanden of jaren kunnen blijven hangen en soms het mondiale klimaat op aarde kunnen veranderen (zie [hier](#) voor meer informatie). De stratosfeer is gevuld met ozon (O₃) en dit absorbeert schadelijke ultraviolette straling van de zon. De geabsorbeerde ultraviolette straling van ozon zorgt ervoor dat de temperatuur in de stratosfeer stijgt.

Stratosfeer van de aarde



Bron: UCAR/Randy Russell

Stratosferische aerosolinjectie (of SAI) is een relatief nieuw concept. Het is bedoeld om het afkoelingseffect van vulkaanuitbarstingen na te bootsen door zwaveldioxide (SO₂) direct in de stratosfeer te injecteren. Deze zwaveldioxide verandert in aerosolen, die een deel van de zonnewarmte weerkaatsen.

Hoewel het algemene doel van SAI eenvoudig is (meer zonlicht weerkaatsen), ontstaat er een ingewikkelde lappendeken van neveneffecten en afwegingen als we bedenken hoe een dergelijke interventie zou kunnen of moeten worden geïmplementeerd. Onderzoekers ontdekten een gecompliceerd beeld: een breed scala aan resultaten die verder gaan dan alleen lagere oppervlaktetemperaturen, waaronder gevolgen voor de stratosferische ozonlaag, grootschalige circulatiepatronen en regionaal weer en neerslag, die zowel plaats als seizoensgebonden variëren (zie

[hier](#) voor meer informatie). Zwavelhoudende verbindingen, aërosolen genaamd, in de atmosfeer die zwavelzuur kunnen produceren kunnen ook de ozonlaag aantasten.

Afhankelijk van het geanalyseerde scenario kunnen de totale kosten voor SAI gedurende de rest van de eeuw variëren van ongeveer USD 250 miljard tot bijna USD 2,5 biljoen, met een jaarlijks budget in het jaar 2100 van USD 7 tot 72 miljard (alles in 2020 USD). Wat echter opmerkelijk constant blijft, zijn de jaarlijkse kosten om 1 °C opwarming tegen te gaan. Dit is ongeveer USD 18 miljard per jaar per vermeden graad Celsius opwarming (zie [hier](#) voor meer informatie).

Albedomodificatie van oppervlakken

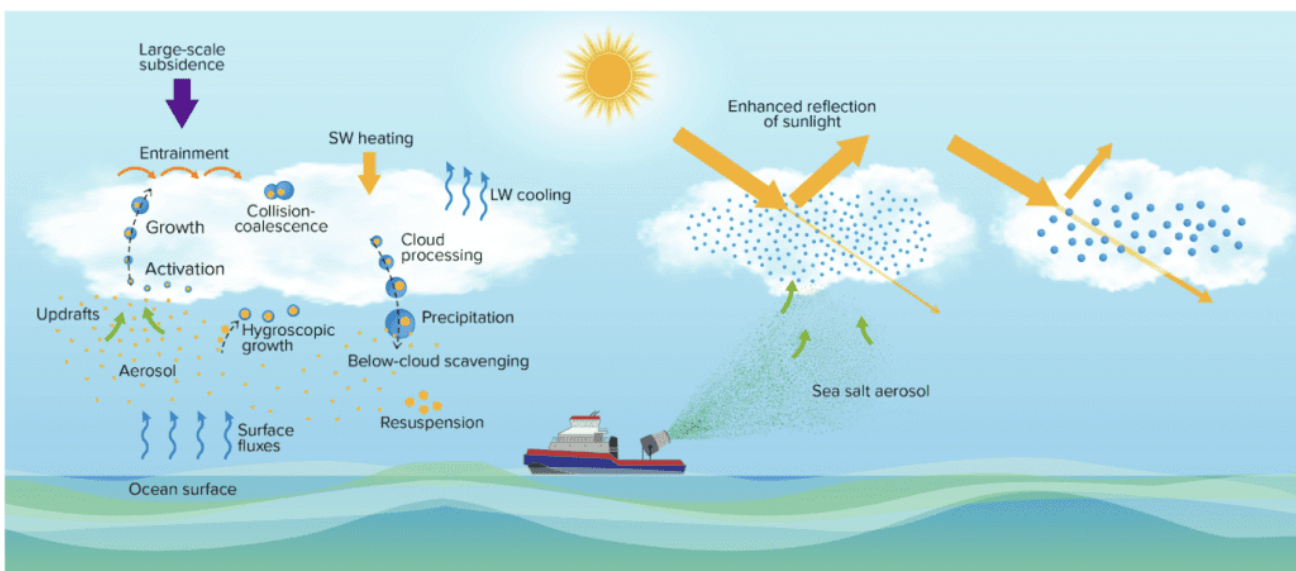
Albedomodificatie van oppervlakken is een technologie die tot doel heeft het albedo-effect te verhogen zodat meer zonlicht wordt teruggekaatst naar de ruimte. Dit is een theoretische technologie. Er zijn voorstellen die een breed scala bestrijken. We kunnen bijvoorbeeld gewassen kweken die meer licht weerkaatsen. Een ander voorbeeld is om een laag reflecterend materiaal aan te brengen op het ijs en de gletsjers. Dit werkt als een reflecterend verband om snel smeltende sneeuwpakketten te isoleren. Verder zouden bergtoppen en daken wit gemaakt kunnen worden met witte verf (zie [hier](#) voor meer informatie).

Helderder maken van wolken op zee

Het helderder maken van wolken op zee verwijst naar een techniek die tot doel heeft de mate van reflectie van bepaalde wolken te verhogen om zo meer zonlicht terug de ruimte in te reflecteren. Het meest gebruikelijke voorstel om dit doel te bereiken is het injecteren van natuurlijk zeezout in ondiepe wolken op zee om ze helderder te maken, waardoor ze meer zonlicht weerkaatsen en er minder warmte wordt geabsorbeerd door het water eronder (zie [hier](#) voor meer informatie).

De grafiek hieronder toont de belangrijkste aerosol-, wolk-, dynamica- en stralingsprocessen in de mariene grenslaag (links) en de aanpak om wolken op zee helderder te maken met behulp van scheepsgeneratoren om fijne zeezout aerosoldruppels te produceren (rechts). De huidige voorstellen vertrouwen op zoutwaternevel, die zwavelrijke uitstoten van scheepstanken of vulkanen nabootst, om de aerosolconcentratie in de lagere mariene atmosfeer te verhogen. In het ideale geval verdampen de druppels in de zoutwaterspray tot fijne deeltjes die door turbulente en convectieve luchtbewegingen naar de wolkenlaag worden gedragen (zie [hier](#) voor meer informatie).

Helderder maken van wolken op zee



Bron: [NOAA research](#). Credit: After Sorooshian et al. 2019.

Wetenschappelijke studies tonen aan dat aërosolen in de atmosfeer van de juiste grootte en concentratie de mate van reflectie van specifieke wolkentypen aanzienlijk kunnen verhogen. Meer kleinere druppels hebben namelijk een hogere

reflectiviteit dan grotere druppels minder in aantal. Het idee is om zoutdeeltjes uit zeewater, een natuurlijke bron van wolkvormende aerosoldeeltjes, te gebruiken om wolken boven delen van de oceaan helderder te maken en zo de opwarming van het klimaat tegen te gaan. Bij deze aanpak zouden zeezoutdeeltjes uit de oceaan vanaf schepen in gebieden met laaghangende wolken worden gesproeid. Eenmaal uitgestoten zouden de deeltjes slechts een paar dagen in de atmosfeer blijven, binnen gelokaliseerde gebieden (zie [hier](#) voor meer informatie).

Onderzoekers moeten er echter voldoende vertrouwen in hebben dat deeltjes van de juiste grootte kunnen worden gegenereerd en naar de wolken kunnen worden gebracht, om daar vervolgens wolkendruppels te vormen die zonlicht efficiënt verstrooien. Ze zouden moeten aantonen dat wolken consistent en over een gebied dat groot genoeg is helderder kunnen worden gemaakt om de oceaan eronder zinvol af te koelen. Pogingen om wolken te manipuleren moeten er niet toe leiden dat wolken dunner worden of dat druppels uitregenen, waardoor de opwarming zou kunnen toenemen (zie [hier](#) voor meer informatie).

Maar er zijn ook nadelen. Deze techniek kan de zonnestraling die het aardoppervlak bereikt verminderen, maar het zou de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer niet verminderen. Daarnaast zou deze techniek invloed kunnen hebben op weerpatronen met mogelijk minder gunstige gevolgen. Bovendien voorspellen de modelresultaten dat deze techniek de gemiddelde temperatuur op aarde zou kunnen verlagen, maar ze laten ook zien dat de gevolgen in verschillende delen van de wereld aanzienlijk kunnen variëren en mogelijk nadelig zouden zijn. De gemiddelde neerslag in de wereld zou samen met de temperaturen kunnen dalen. De modellen laten verder zien dat als de aarde eenmaal begint af te koelen met deze technologie, er een bijna continue inzet van deze technologie moet zijn om hetzelfde effect te blijven bereiken (zie [hier](#) voor meer informatie).

Microbubbel

De basis van deze technieken is hetzelfde als bij mariene wolkenmodificaties, alleen wordt het niet gedaan om de wolken witter te maken maar om het oppervlak van watermassa's en/of ijs witter te maken. Het doel is om meer zonlicht terug te reflecteren naar de ruimte. Om dit te kunnen doen, moeten schepen worden uitgerust met technologie om grote hoeveelheden microbubbel te produceren. Bovendien worden de microbubbel gestabiliseerd door toevoeging van chemicaliën. Afhankelijk van het gebruikte materiaal kan dit chemisch vervuilende effecten hebben op de zee en deze microbubbel zouden negatieve effecten kunnen hebben op de voedselketens in de oceaan en het zuurstofniveau kunnen verlagen (zie [hier](#) voor meer informatie).

Technologieën vanuit de ruimte

Deze technologieën proberen de effecten van klimaatverandering te verlichten door de hoeveelheid zonlicht die op de aarde valt te verminderen (zie [hier](#) voor meer informatie). De technologieën zijn technisch uitdagend en duur van aard. De benaderingen omvatten zonneschermen, reflectoren, spiegels en wolken van zomblokkerende deeltjes.

Beheer van straling afkomstig van de aarde

Hierboven bespraken we technologieën voor het beheer van zonnestraling. In dit gedeelte richten we ons op het beheer van stralen die van de aarde komen. Dit beheer suggereert dat de negatieve effecten van klimaatverandering kunnen worden gecompenseerd door warmte de ruimte in te laten ontsnappen (zie [hier](#) voor meer informatie). Beheer van zonnestraling en beheer van stralen die van de aarde komen, lijken op elkaar, maar ze verschillen. De zon zendt zonnestraling uit in de vorm van ultraviolette straling of kortgolvlige straling. De aarde zendt infrarood- of langgolvlige straling uit. Omdat dit twee verschillende soorten straling zijn, moeten ze ook anders worden beheerd. Maar beide vormen van straling maken deel uit van het stralingsbudget van de aarde of ERB.

Dunner maken van cirruswolken

Cirruswolken zijn hoge koude ijswolken die zowel zonlicht reflecteren als verwarmende infrarode straling absorberen. Vergeleken met wolken op lagere hoogten zijn ze minder effectief in het weerkaatsen van inkomend zonlicht en effectiever in het blokkeren van uitgaande langgolvlige straling die door de aarde wordt uitgezonden. Ze absorberen dus gemiddeld meer infrarood dan ze zonlicht weerkaatsen, wat resulteert in een netto opwarmend effect op het klimaat. Het uitdunnen van deze wolken zou hun vermogen om warmte vast te houden verminderen. Dit is omdat meer langgolvlige straling aan het aardsysteem kan ontsnappen en de ruimte in kan gaan, waardoor de planeet afkoelt.

Deze technologie heeft belangrijke nadelen. Ten eerste zou deze technologie een aanzienlijke impact kunnen hebben op regionale klimaten. De injectie van "te veel" ijsklompdeeltjes in cirruswolken kan het tegenovergestelde effect hebben - er kunnen meer en dikkere wolken worden geproduceerd, zodat er nog meer warmte wordt vastgehouden, wat tot een grotere opwarming van de aarde kan leiden. Het niveau waarop overzaaien optreedt is niet bekend en voegt aanzienlijke onzekerheid toe aan de huidige modellen (zie [hier](#) voor meer informatie).

Conclusie

De stralingsbalans van de aarde is gestegen in lijn met de temperatuurstijging. In dit rapport hebben we ons gericht op technologieën voor stralingsbeheer: stralingsbeheer van de zon en stralingsbeheer van de aarde. Beide omvatten technologieën die het stralingsbudget van de aarde proberen te verbeteren om de warmte die wordt vastgehouden in de atmosfeer van de aarde te verminderen. Zonnestralingsbeheer verwijst naar technologieën die proberen een fractie van het zonlicht terug de ruimte in te reflecteren om de planeet af te koelen. Maar zonnegeo-engineering is een zeer omstreden onderwerp en wetenschappers zijn verdeeld over de vraag of het überhaupt onderzocht moet worden als mogelijke oplossing. Beheer van straling afkomstig van de aarde suggereert dat de negatieve effecten van klimaatverandering kunnen worden verzacht door warmte de ruimte in te laten ontsnappen. Maar deze vorm van stralingsbeheer heeft ook veel nadelen. Over het algemeen zijn deze technologieën nog niet klaar om op grote schaal te worden toegepast en zelfs als dat wel het geval zou zijn, is het de vraag of dat wenselijk zou zijn. Bovendien lossen deze technologieën de kern van het probleem niet op, namelijk de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer. Het zou beter zijn om ons te richten op technologieën die de stijging van de concentraties broeikasgassen in de atmosfeer beperken of technologieën die deze broeikasgassen uit de atmosfeer verwijderen.

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")