

The Great EsCape

Klimaatverandering blijft een hot topic in de wetenschappelijke wereld, maar bij de jeugd is de interesse sterk afgenomen. De tijd van wekelijkse klimaatdemonstraties ligt al ver achter ons. Jongeren hechten nu meer belang aan tastbare problemen: de stijgende kosten van levensonderhoud, de krapte op de huizenmarkt, ... De knipperlichtrelatie tussen de Verenigde Staten en de klimaattoppen, met Trump in een hoofdrol, draagt evenmin bij aan de geloofwaardigheid van deze internationale bijeenkomsten. Met het interactieve lespakket *The Great EsCape* probeert men leerlingen in het secundair onderwijs opnieuw warm te maken voor het thema klimaatverandering, minstens even warm als de aarde zelf op dit moment wordt.

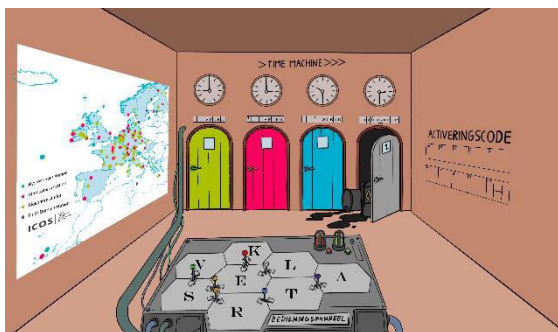


OP MAAT GEMAAKT

In samenwerking met de Universiteit Antwerpen en KlimaatLink schreef Glenn De Meuleneir een masterproef met als doel een interactief lespakket te ontwikkelen dat de geheimen en achterliggende systemen van klimaatverandering uitlegt. Daarbij ligt de focus op de verstoring van de koolstofcyclus, het broeikaseffect en de gevolgen hiervan voor klimaat en mens.

Een hardnekkige achilleshiel in het onderwijs blijft tijd, zowel tijdens de les als daarbuiten. Leerkrachten willen graag interactiever werken met leerstof, maar hebben zelden de tijd om zelf materiaal te ontwikkelen. Bestaande lespakketten sluiten vaak onvoldoende aan bij de leerplannen, waardoor ze te tijdsintensief zijn om te gebruiken. Dit lespakket vertrekt daarentegen vanuit de leerplandoelen van zowel het katholiek onderwijs als het gemeenschapsonderwijs, waardoor het vlot inzetbaar is.

Daarnaast werd modulariteit bewust ingebouwd. Het pakket bestaat uit zes afzonderlijke delen (Wat is klimaatverandering? – Koolstofcyclus – Broeikaseffect – Gevolgen van klimaatverandering – Escaperooms – Verandering begint bij jezelf) die los van elkaar gebruikt kunnen worden. Wil je als leerkracht slechts één onderdeel in de les inzetten, dan kan dat perfect. Wil je als school een volledige klimaatdag organiseren, dan staat het volledige materiaal eveneens klaar.



(Tijdreiziger)

ONTSNAPPEN AAN KLIMAATVERANDERING

De kers op de taart van dit lespakket zijn vier interactieve escaperooms. Elke ruimte stelt een klimaatramp centraal die alleen kan worden opgelost met de juiste kennis. Enkel zo slagen leerlingen erin om te ontsnappen en de wereld te redden van een grote klimaatramp.

Net als het lespakket zijn ook de escaperooms modulair opgebouwd. Je kan ze beschouwen als één groot avontuur dat twee volledige lesuren in beslag neemt, maar je kan ze evengoed afzonderlijk gebruiken. Ze kunnen dienen als vasthechtingsmoment van de leerstof of als een interactieve manier om nieuwe kennis te ontdekken. Via de *secret files* maken leerlingen stap voor stap kennis met de leerstof, die ze vervolgens inzetten om te ontsnappen uit de escaperooms.

In de escaperooms zijn ook tal van *Easter Eggs* verstopt, zelfs al in de naam. *The Great EsCape* bevat een hoofdletter C, een knipoog naar het chemische symbool voor koolstof en daarmee naar de koolstofcyclus.

Elke escaperoom wordt bovendien ondersteund door vier à vijf kompaskaarten: cryptische tips die, net zoals een echt kompas, de leerlingen helpen hun weg te vinden naar de uitgang.

1

Tijdreiziger

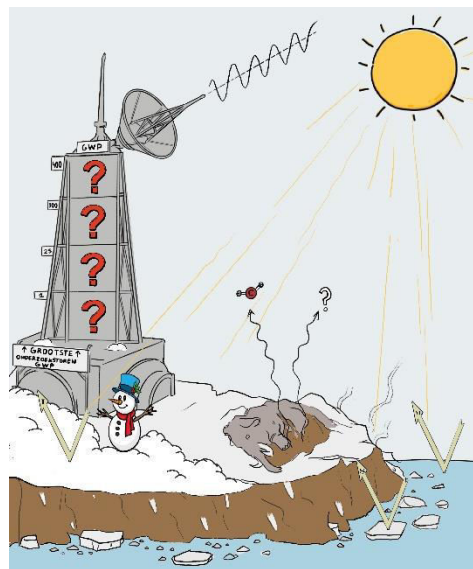
Het centrale hoofdkwartier van de vier escaperooms is de teletijdmachine. Het is het jaar 2100 en de aarde kreunt onder extreme klimaatverandering. Leerlingen kunnen de planeet redden door terug te reizen naar drie cruciale momenten in de geschiedenis.

Lukt het hen om de koolstofcyclus te reconstrueren met de koolstofpuzzel, dan hebben ze de geheimen van het bedieningsinstrument van de teletijdmachine ontrafeld, en kunnen ze daadwerkelijk terugreizen in de tijd.

2

Code rood: Het smeltend onderzoekscentrum

In het jaar 2030 bereiken we een kritiek punt voor het broeikaseffect. Als de opwarming van de aarde verder toeneemt, wordt deze onomkeerbaar. De *Geheime Wachters van de Planeet* (GWP) hebben de oplossingen om het tij te keren verstopt in een internationaal onderzoeksstation. Dat station bevindt zich echter op een smeltende gletsjer, waardoor alle hens aan dek zijn om de oplossingen veilig te stellen.



(Code rood)

3

Code blauw: Verloren onderzeeër

De gevolgen van klimaatverandering voor de oceanen zijn niet te onderschatten: stijgende zeespiegels, verzurende wateren, verloren koraalriffen ... In 2075 komen diepzeedieren in opstand en ontvoeren uit woede een jonge klimaatactivist.

Gelukkig heeft hij een reeks puzzels achtergelaten in zijn onderzeeër, die zijn locatie prijsgeven. Het is aan de leerlingen om deze aanwijzingen te volgen en de klimaatactivist te redden. Maar de tijd dringt: met slechts één zuurstoffles raakt de lucht voor onze jonge klimaatactivist langzaam op.

4

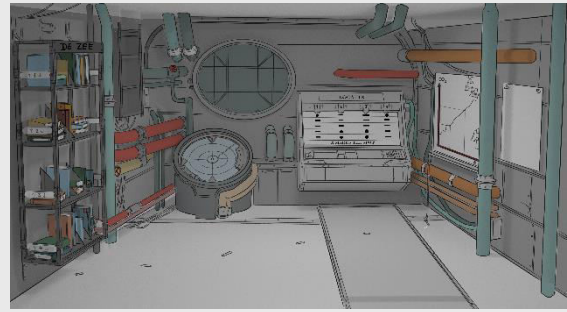
Code groen: Dead trees tell no tales

In 2050 worden de laatste stukken van het Amazoneregenwoud gekapt. De aarde verliest haar natuurlijke longen en de CO₂-concentratie stijgt gevaarlijk snel.

Als leerlingen erin slagen het verband tussen fotosynthese en koolstofopslag te ontrafelen, is er nog een kans om de aarde te redden. De ontbossing moet stoppen en de natuurlijke balans herstellen.



(Code groen)



(Code blauw)

*Vier interactieve escaperooms –
Elke ruimte stelt een
klimaatramp centraal die alleen
kan opgelost worden met de
juiste kennis.*

VERANDERING BEGINT BIJ JEZELF

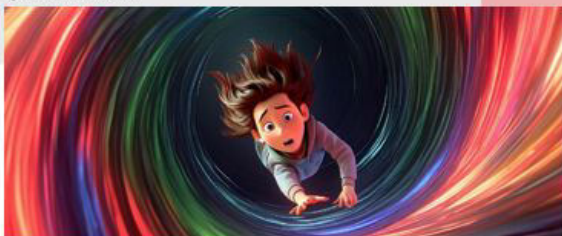
Elke escaperoom levert een cijfer op als oplossing. Wanneer de leerlingen deze in de juiste volgorde plaatsen, krijgen ze 1760, het begin van de industriële revolutie, maar ook de boodschap: “Verandering begint bij jezelf.”

Het laatste deel van het lespakket richt zich op kleinschalige oplossingen om het klimaat te helpen. Leerlingen hebben vaak het gevoel dat klimaatverandering hen te boven gaat en dat hun bijdrage weinig verschil maakt. Met dit onderdeel willen we scholen en leerlingen uitdagen om kleine, haalbare acties te ondernemen en laten zien dat ook kleine veranderingen een grote meerwaarde kunnen bieden.

Verandering begint immers bij de jeugd. Zij geven hun waarden en normen door aan de volgende generatie, waardoor een positief terugkoppelingsmechanisme ontstaat, net zoals in de natuur. Zo maken we de volgende generatie opnieuw warm voor de strijd tegen klimaatverandering.

The Great EsCape

Klimaatverandering blijft een hot topic in de wetenschappelijke wereld, maar bij de jeugd is de interesse sterk afgenomen. De tijd van wekelijkse klimaatdemonstraties ligt al ver achter ons. Jongeren hechten nu meer belang aan tastbare problemen: de stijgende kosten van levensonderhoud, de krapte op de huizenmarkt, ... De knipperluchtrelatie tussen de Verenigde Staten en de klimaatoppen, met Trump in een hoofdrol, draagt evenmin bij aan de geloofwaardigheid van deze internationale bijeenkomsten. Met het interactieve lespakket *The Great EsCape* probeert men leerlingen in het secundair onderwijs opnieuw warm te maken voor het thema klimaatverandering, minstens even warm als de aarde zelf op dit moment wordt.



OP MAAT GEMAAKT

In samenwerking met de Universiteit Antwerpen en KlimaatLink schreef Glenn De Meuleneir een masterproef met als doel een interactief lespakket te ontwikkelen dat de geheimen en achterliggende systemen van klimaatverandering uitlegt. Daarbij ligt de focus op de verstoring van de koolstofcyclus, het broeikas effect en de gevolgen hiervan voor klimaat en mens.

Een hardnekkige achilleshiel in het onderwijs blijft tijd, zowel tijdens de les als daarbuiten. Leerkrachten willen graag interactiever werken met leerstof, maar hebben zelden de tijd om zelf materiaal te ontwikkelen. Bestaande lespakketten sluiten vaak onvoldoende aan bij de leerplannen, waardoor ze te tijdsintensief zijn om te gebruiken. Dit lespakket vertrekt daarentegen vanuit de leerplandoelen van zowel het katholiek onderwijs als het gemeenschapsonderwijs, waardoor het vlot inzetbaar is.

Daarnaast werd modulariteit bewust ingebouwd. Het pakket bestaat uit zes afzonderlijke delen (Wat is klimaatverandering? – Koolstofcyclus – Broeikas effect – Gevolgen van klimaatverandering – Escaperooms – Verandering begint bij jezelf) die los van elkaar gebruikt kunnen worden. Wil je als leerkracht slechts één onderdeel in de les inzetten, dan kan dat perfect. Wil je als school een volledige klimaatdag organiseren, dan staat het volledige materiaal eveneens klaar.



(Tijdreiziger)

ONTSNAPPEN AAN KLIMAATVERANDERING

De kers op de taart van dit lespakket zijn vier interactieve escaperooms. Elke ruimte stelt een klimaatramp centraal die alleen kan worden opgelost met de juiste kennis. Enkel zo slagen leerlingen erin om te ontsnappen en de wereld te redden van een grote klimaatramp.

Net als het lespakket zijn ook de escaperooms modulaair opgebouwd. Je kan ze beschouwen als één groot avontuur dat twee volledige lessen in beslag neemt, maar je kan ze evengoed afzonderlijk gebruiken. Ze kunnen dienen als vasthechtingsmoment van de leerstof of als een interactieve manier om nieuwe kennis te ontdekken. Via de *secret files* maken leerlingen stap voor stap kennis met de leerstof, die ze vervolgens inzetten om te ontsnappen uit de escaperooms.

In de escaperooms zijn ook tal van *Easter Eggs* verstopt, zelfs al in de naam. *The Great EsCape* bevat een hoofdletter C, een knipoog naar het chemische symbool voor koolstof en daarmee naar de koolstofcyclus.

Elke escaperoom wordt bovendien ondersteund door vier à vijf kompaskaarten: cryptische tips die, net zoals een echt kompas, de leerlingen helpen hun weg te vinden naar de uitgang.

1 Tijdreiziger

Het centrale hoofdkwartier van de vier escaperooms is de teletijdmachine. Het is het jaar 2100 en de aarde kreunt onder extreme klimaatverandering. Leerlingen kunnen de planeet redden door terug te reizen naar drie cruciale momenten in de geschiedenis.

Lukt het hen om de koolstofcyclus te reconstrueren met de koolstofpuzzel, dan hebben ze de geheimen van het bedieningsinstrument van de teletijdmachine ontrafeld, en kunnen ze daadwerkelijk terugreizen in de tijd.

2 Code rood: Het smeltende onderzoekscentrum

In het jaar 2030 bereiken we een kritiek punt voor het broeikas effect. Als de opwarming van de aarde verder toeneemt, wordt deze onomkeerbaar. De *Geheime Wachters van de Planeet* (GWP) hebben de oplossingen om het tij te keren verstopt in een internationaal onderzoeksstation. Dat station bevindt zich echter op een smeltende gletsjer, waardoor alle ~~data~~ aan dek zijn om de oplossingen veilig te stellen.



(Code rood)

3 Code blauw: Verloren onderzeeër

De gevolgen van klimaatverandering voor de oceanen zijn niet te onderschatten: stijgende zeespiegels, verzurende wateren, verloren koraalriffen ... In 2075 komen diepzeedielen in opstand en ontvoeren uit woede een jonge klimaatactivist.

Gelukkig heeft hij een reeks puzzels achtergelaten in zijn onderzeeër, die zijn locatie prijsgeven. Het is aan de leerlingen om deze aanwijzingen te volgen en de klimaatactivist te redden. Maar de tijd dringt: met slechts één zuurstoffles raakt de lucht voor onze jonge klimaatactivist langzaam op.

4 Code groen: Dead trees tell no tales

In 2050 worden de laatste stukken van het Amazonegebied gekapt. De aarde verliest haar natuurlijke longen en de CO₂-concentratie stijgt gevaarlijk snel.

Als leerlingen erin slagen het verband tussen fotosynthese en koolstofopslag te ontrafelen, is er nog een kans om de aarde te redden. De ontbossing moet stoppen en de natuurlijke balans herstellen.



(Code groen)



(Code blauw)

Vier interactieve escaperooms –
Elke ruimte stelt een
klimaatramp centraal die alleen
kan opgelost worden met de
juiste kennis.

VERANDERING BEGINT BIJ JEZELF

Elke escaperoom levert een cijfer op als oplossing. Wanneer de leerlingen deze in de juiste volgorde plaatsen, krijgen ze 1760, het begin van de industriële revolutie, maar ook de boodschap: "Verandering begint bij jezelf."

Het laatste deel van het lespakket richt zich op kleinschalige oplossingen om het klimaat te helpen. Leerlingen hebben vaak het gevoel dat klimaatverandering hen te boven gaat en dat hun bijdrage weinig verschil maakt. Met dit onderdeel willen we scholen en leerlingen uitdagen om kleine, haalbare acties te ondernemen en laten zien dat ook kleine veranderingen een grote meerwaarde kunnen bieden.

Verandering begint immers bij de jeugd. Zij geven hun waarden en normen door aan de volgende generatie, waardoor een positief terugkoppingsmechanisme ontstaat, net zoals in de natuur. Zo maken we de volgende generatie opnieuw warm voor de strijd tegen klimaatverandering.



**Universiteit
Antwerpen**

Instituut voor Milieu & Duurzame Ontwikkeling

Master Milieuwetenschap

Academiejaar 2024 - 2025

Ontwikkelen van een lespakket of workshop voor educatie rond klimaatopwarming

-

Onderzoeksplan

Glenn De Meuleneir

Augustus 2025

Promotor: Fran Lauriks

Copromotor: Marilyn Roland

Woord vooraf

Graag wil ik Prof. Fran Lauriks en Marilyn Roland bedanken voor de kans die zij mij hebben geboden om dit lespakket te ontwikkelen en mij hierin bij te staan. Het introductiegesprek en de kennismaking in Brasschaat aan het begin van het academiejaar was zeer verrijkend en bood nieuwe perspectieven die essentieel waren voor de verdere uitwerking van dit werk. De warme en enthousiaste ontvangst gaf mij bovendien het vertrouwen en de motivatie om deze masterproef met overtuiging aan te vatten.

Alsof het combineren van een voltijdse baan als leerkracht met een voltijdse opleiding aan de Universiteit van Antwerpen nog niet druk genoeg was, besloot mijn moeder dit academiejaar ook nog eens te verhuizen en hadden mijn partner en ik het idee om eind juni te trouwen. Dit combineren bleek een grotere uitdaging dan ooit gedacht. Zonder de steun die ik uit diverse hoeken heb ontvangen, zou ik niet zover zijn gekomen als nu.

Allereerst wil ik mijn partner, Matthias, bedanken voor de steun en de peptalks tijdens moeilijke momenten, de overname van het volledige huishoudpakket en het organiseren van onze trouw.

Ik zou graag mijn mama en schoonouders bedanken voor de catering aan huis tijdens de examenperiode en het engelengeduld dat ze hadden bij taakjes waar ik beloofd had te helpen steeds maar uit te stellen.

Andrew mag ik zeker ook niet vergeten te bedanken voor de ongelooflijk vele uren die we samen hebben doorgebracht om de tekeningen voor de escaperooms op punt te stellen.

Ten slotte wil ik enkele collega's en vrienden bedanken: Ingeborg, Naomi, Briek, Delphine en Valerie. Zij stonden op het werk klaar om taken over te nemen, waardoor mijn werklust verlicht kon worden. Daarnaast zorgden zij af en toe voor aangename verrassingen, zoals een kaartje of iets zoets, die ze in mijn kastje achterlieten of zelf naar mij thuis opstuurden.

Aan iedereen duizendmaal dank.

Samenvatting en sleutelwoorden

Klimaatverandering is een probleem dat de laatste decennia steeds vaker het nieuws haalt. Zowel via klassieke media als via sociale media wordt de jeugd vandaag geconfronteerd met deze problematiek. Om het verschil tussen fake news en realiteit te onderscheiden en een kritische geest te ontwikkelen, is het noodzakelijk dat jongeren de basisbeginselen van klimaatverandering begrijpen.

Via een literatuuronderzoek wordt enerzijds de werking van de koolstofcyclus en anderzijds het broeikaseffect uitgelegd. Met deze informatie ging ik aan de slag om een lespakket met escaperooms uit te werken, vertrekkende vanuit deze literatuurstudie, reeds bestaande lespakketten van klimaatLINK en de leerplandoelen.

Door te starten bij de bestaande lespakketten van klimaatLINK wordt de integratie en continuïteit vergroot. De leerplandoelen als uitgangspunt nemen, zorgt bovendien voor een eenvoudige toepasbaarheid in de klas, zonder dat hiervoor extra lestijd moet worden vrijgemaakt. Dit vergroot de kans op effectief gebruik.

De escaperooms slagen erin om op een creatieve en interactieve manier een complex onderwerp om te zetten naar iets spannends en uitdagends. Op deze manier blijft de opgedane kennis beter hangen en worden leerlingen gestimuleerd om in de toekomst hun eigen handelen kritisch te evalueren en waar nodig bij te sturen.

Sleutelwoorden: Koolstofcyclus - Broeikasgassen – KlimaatLINK – Lespakket – Escaperoom

Summary and keywords

Climate change is an issue that has been making the news more and more often over the past decades. Both through traditional media and through social media, young people today are confronted with this issue. To distinguish the difference between fake news and reality and develop a critical mind, it is necessary for young people to understand the basics of climate change understanding.

Through a literature review, the operation of the carbon cycle and the greenhouse effect on the other. With this information, I set to work to develop a teaching package with escape rooms starting from this literature study, already existing teaching packages klimaatLINK and the curriculum objectives.

By starting with the existing klimaatLINK it increases integration and continuity. Taking the curriculum as a starting point also ensures easy applicability in the classroom, without the need for extra teaching time. This increases the likelihood of effective use.

The escape rooms succeed, in a creative and interactive way, to turn a complex subject into something exciting and challenging. This way, the knowledge gained is better retained and encourages students to critically evaluate and adjust their own actions in the future.

**Key words: Carbon cycle – Greenhouse gases – KlimaatLINK – Educational Package
– Escape room**

Inhoudstafel

1.	Inleiding.....	7
1.1	Situatieschets.....	7
1.2	Kaderen in het interdisciplinair	8
1.3	Onderzoeksvragen	9
1.4	Onderzoeksmethode.....	10
2.	Klimaatverandering en uniciteit van de temperatuurstijging	12
2.1	Evolutie mondiale temperatuur	14
3.	Antropoceen	16
4.	Koolstofcyclus en broeikaseffect.....	18
4.1	De koolstofcyclus	18
4.1.1	Koolstofreservoir en koolstofuitwisseling	21
4.2	Broeikaseffect	31
4.2.1	Natuurlijk broeikaseffect	31
4.2.2	Broeikasgassen	33
5.	Gevolgen van klimaatverandering	36
5.1	Extreme weersomstandigheden	36
5.2	Temperatuurstijging	38
6.	Huidige klimaatbeleid	42
6.1	Geschiedenis van mondiaal klimaatbeleid	42
6.1.1	Discussies in het klimaatbeleid.....	44
6.2	Huidig klimaatonderzoek.....	46
6.2.1	Het Intergovernmental Panel on Climate Change.....	46
6.2.2	ICOS	49
7.	Onderwijs	51

7.1	Eindtermen en leerplandoelen.....	51
7.2	Lesmateriaal.....	54
8.	Opbouw van een lespakket.....	58
8.1	Doelgroep.....	58
8.2	Opbouw escaperoom.....	58
8.3	Soorten codes.....	59
8.4	Gebruik van AI.....	61
9.	Voorstelling lespakket.....	63
9.1	Modulair	63
9.2	Opbouw lespakket	65
10.	Testen en evalueren.....	71
10.1	Test Klimaatlink	71
10.2	Test met vrienden en familie	73
10.3	Test met collega's	75
11.	Besluit.....	76
12.	Bijlagen	77
12.1	Syntheseverslag – Communicatie met promotor(en)	77
12.2	Lespakket.....	78
13.	Bronnen	79

1. Inleiding

1.1 Situatieschets

Klimaatopwarming is een van de meeste urgente problemen van deze tijd, educatie over dit probleem speelt een cruciale rol. Hoe vroeger leerlingen bewust worden van dit complexe probleem en begrip, hoe sneller ze hun eigen levensstandaard in vraag durven en kunnen stellen.

De koolstofcyclus is een fundamenteel concept om te begrijpen hoe de antropogene activiteiten bijdragen aan de verstoring van de cyclus en de klimaatverandering. Het thema is echter moeilijk verstaanbaar te maken voor niet-specialisten, in dit geval leerlingen van het secundair onderwijs.

Het doel van deze masterproef is het ontwikkelen van een educatief lespakket dat leerlingen inzicht geeft in de werking van de koolstofcyclus, de impact die wij als mens hierop hebben en manieren om de koolstofvoetafdruk te verminderen.

De literatuurstudie is geschreven in functie van wat leerlingen van de tweede graad secundair onderwijs nodig hebben om het begrip “klimaatverandering” te begrijpen en hun kritische ingesteldheid tegenover wat in het nieuws verschijnt bij te stellen. Daarbij wordt uitgegaan van de leerplandoelen die de overheid voor deze doelgroep vooropstelt.

Als sluitstuk van deze masterproef werd een modulaire escaperoom ontwikkelt waarin de werking van de koolstofcyclus en de gevolgen van klimaatverandering centraal staan. Deze interactieve en speelse aanpak stelt leerlingen in staat om de koolstofcyclus op een boeiende manier te verkennen en tegelijkertijd hun kennis te verankeren.

Het ultieme doel is dat leerlingen door dit lespakket hun eigen gedrag kritisch durven evalueren en stappen zullen zetten om hun koolstofvoetafdruk te verminderen.

1.2 Kaderen in het interdisciplinair

Deze masterproef is interdisciplinair omdat het inzichten en methoden combineert uit meerdere disciplines, waaronder:

- **Milieuwetenschappen:** de natuurlijke koolstofcyclus en de invloed die wij als mens hierop hebben zijn onderzoeksonderwerpen binnen de milieuwetenschap.
- **Pedagogische wetenschappen:** het ontwikkelen een educatief lespakket/workshop, zoals een escaperoom, steunt op didactische principes.
- **Communicatiewetenschappen:** het vertalen van complexe wetenschappelijke informatie naar een begrijpelijk en boeiend lespakket voor leerlingen van het secundair onderwijs, steunt op kennis uit de communicatiewetenschappen.
- **Maatschappijwetenschappen:** een beter begrip van de koolstofcyclus en de koolstofvoetafdruk kan bedragen aan een gedragsverandering bij adolescenten.

1.3 Onderzoeksvragen

Hoofdonderzoeksvraag: Hoe ontwikkel je een educatief lespakket of workshop voor het secundair onderwijs over klimaatopwarming, met de focus op de koolstofbalans: fluxen en stocks?

Deelvragen:

1. Hoe kan een lespakket bijdragen aan het begrijpen van de koolstofcyclus en de impact van de mens op klimaatverandering?
2. Welke leerplandoelen komen aan bod in het secundair onderwijs m.b.t. de koolstofcyclus?
 - Wat is de koolstofcyclus?
 - Wat is het broeikaseffect?
 - Welke kernconcepten en mechanismen van de koolstofcyclus moeten worden behandeld?
 - Welke doelgroep (eerste, tweede of derde graad) is het meest geschikt voor dit lespakket?
 - Welke begrippen moeten zeker aan bod komen in het lespakket en welke begrippen zijn reeds gekend bij leerlingen m.b.t. de koolstofcyclus?
3. Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering?
 - Wat zijn de gevolgen van extra antropogene uitstoot voor de koolstofcyclus en op welke manier kunnen deze worden behandeld?
4. Welke vorm neemt het huidige klimaatbeleid aan en welke stappen heeft deze reeds doorlopen?
5. Hoe zit in een escaperoom in elkaar?
 - Welke didactische werkvormen zijn geschikt om abstracte wetenschappelijke concepten toegankelijk te maken?
6. Waar kan de meerwaarde liggen voor het ontwikkelen van een lespakket over de koolstofcyclus voor leerlingen van het secundair onderwijs?

1.4 Onderzoeksmethode

DEEL 1: Literatuurstudie:

- a) Analyse van wetenschappelijke literatuur over de koolstofcyclus en klimaatverandering. Alsook verkenning van leerboeken en werkboeken van uitgeverijen die gebruikt worden in het secundair onderwijs m.b.t. tot dit onderwerp.
- b) Verkenning van bestaand lesmateriaal, waaronder de bestaande lespakketten die reeds ontwikkeld zijn door klimaatLink, en workshop met dit thema.
- c) Verkenning van de leerplandoelen van zowel het katholiek als het gemeenschapsonderwijs.

DEEL 2: Ontwikkeling lespakket:

- a) Oplijsten van de begrippen en concepten die minimaal aan bod moeten komen in het lespakket.
- b) Ontwerpen van een prototype van een lespakket, inclusief escaperoom.

DEEL3: Voorstellen van het lespakket:

- a) Voorstellen van het ontwikkeld lesmateriaal.

DEEL 4: Testen en evalueren:

- a) Testen van de escaperoom.
- b) Evalueren van de test via feedback en escaperoom indien nodig aanpassen.

DEEL 1: Literatuurstudie

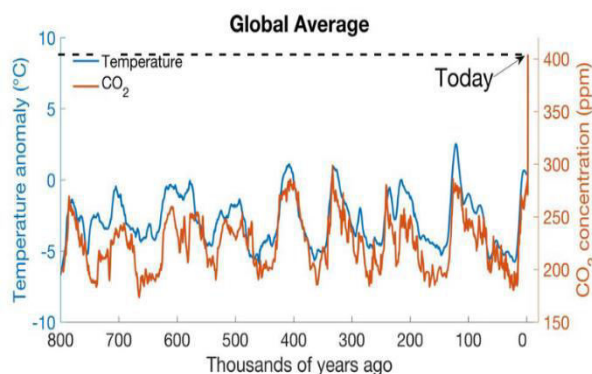
2. Klimaatverandering en uniciteit van de temperatuurstijging

Er lijkt geen maand voorbij te gaan zonder dat we worden geconfronteerd met berichten over extreem weer: verwoestende bosbranden in Californië, overstromingen in Spanje als gevolg van intense regenval, waterbommen in het zuiden van België, etc. Klimaatverandering wordt aangeduid als de onderliggende oorzaak van deze extreme weersomstandigheden.

Non-believers van klimaatverandering hebben lange tijd volgehouden dat de opwarming van de aarde een natuurlijk proces is dat in het verleden al meerdere keren heeft plaatsgevonden (Scott et al., 2025). Hoewel dit gedeeltelijk waar is, is er één cruciaal verschil: voorgaande klimaatcycli sterkten zich uit over duizenden jaren. De huidige veranderingen vinden echter plaats op een veel kortere tijdschaal.

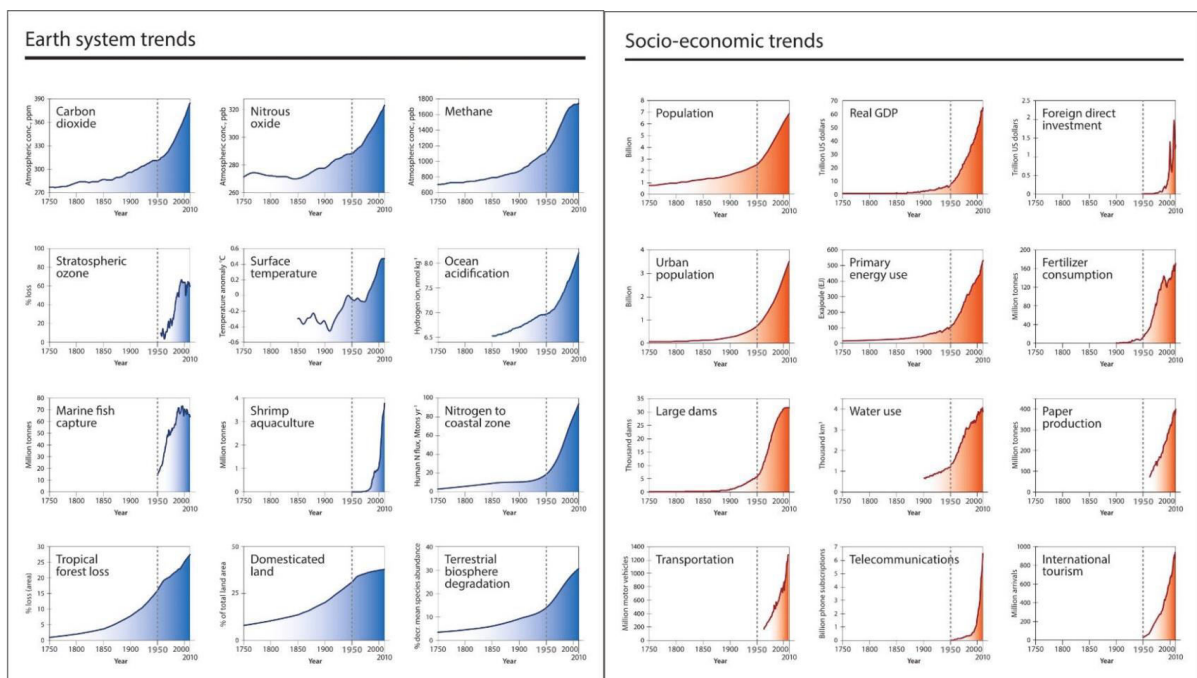
Deze kortere tijdschaal is herkenbaar in grafieken als de 'hockystick' curve (Figuur 1). Deze toont de uitzonderlijk snelle stijging van de wereldtemperatuur en de concentratie van koolstofdioxide (CO_2), het belangrijkste en meest gekende broeikasgas, in de atmosfeer. Gedurende duizenden jaren verlopen de evoluties van de CO_2 concentraties in de atmosfeer en variaties in luchttemperatuur eerder geleidelijk. Dit staat in sterke tegenstelling tot recente evoluties. De steile toename in CO_2 -concentraties (tot ongeveer 400 ppm) en temperatuur (anomalie van 10°C) die werd waargenomen laatste 100 jaar is uniek (Uemura et al., 2018).

Dit versterkt het bewijs dat de opwarming van de aarde voornamelijk het resultaat is van menselijke activiteiten, vooral de uitstoot van broeikasgassen door de verbranding van fossiele brandstoffen en veranderingen in landgebruik.



Figuur 1: Hockystick curve. Deze grafiek toont de evolutie van temperatuur anomalieën t.o.v. pre-industriële waarde (circa 1760) (blauwe lijn, linker y-as) en de CO_2 concentratie (rode lijn, rechter y-as) in de atmosfeer over de laatste 800.000 jaar (Uemura et al., 2018).

De hockeystick curve zien we ook terug in tal van andere indicatoren: zowel in aardssystemen als in socio-economische trends, die een gelijkaardig patroon volgen (Figuur 2). Dit parallelle verloop versterkt de correlatie dat de huidige klimaatveranderingen nauw verbonden zijn met antropogene invloeden. Deze zijn sinds de industriële revolutie (circa 1760) waarneembaar en zijn, in het bijzonder vanaf ongeveer 1950 met de Great Acceleration, aanzienlijk toegenomen (Steffen et al, 2015; Lewis et al., 2018).



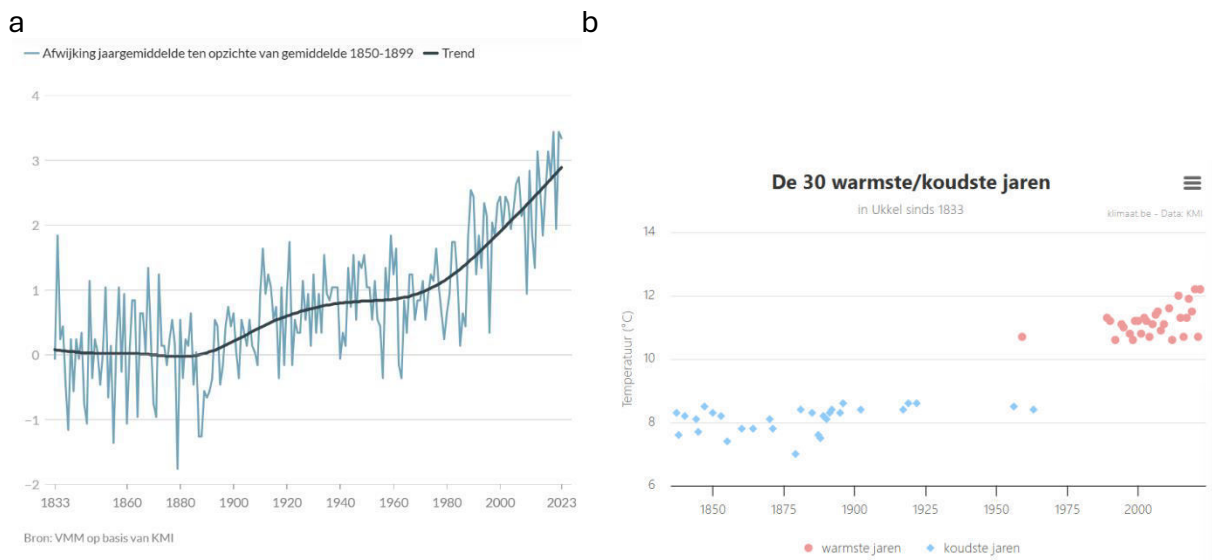
Figuur 2: Evolutie van verschillende aardstelsel- en socio-economische trends in de periode van 1750 tot 2000. De stippellijn markeert het jaar 1950 (Steffen et al., 2015).

2.1 Evolutie mondiale temperatuur

De afgelopen tien jaar behoren tot de warmste ooit geregistreerd op wereldschaal. In 2024 lag de gemiddelde mondiale temperatuur 1,6°C boven het pre-industriële niveau (Copernicus, 2025). De situatie in België is nog alarmerender. In Ukkel lag de gemiddelde temperatuur in 2023 2,3°C boven de pre-industriële referentiewaarde (Statistiek Vlaanderen, 2024). 2023 was daarmee geen uitzondering. De 26 warmste jaren sinds het begin van de temperatuurmetingen in Ukkel (1833) werden opgemeten de laatste 35 jaar (KNMI, 2025).

De top vier warmterecords werden allemaal opgemeten afgelopen vijf jaar. In 2022 en 2020 werd een jaargemiddelde van 12,2 °C genoteerd, gevolgd door 2023 (12,1 °C) en 2014 en 2018 (beiden 11,9 °C). Ter vergelijking: voor de industriële revolutie schommelde het jaargemiddelde rond de 8 °C (Statistiek Vlaanderen, 2024).

De evolutie van de temperatuurstijging die in België wordt waargenomen (Figuur 3) is erg gelijkaardig aan de wereldwijde trends. Figuur 3a toont dat sinds 1960 de gemiddelde jaartemperatuur met ongeveer 0,4°C per decennium is gestegen. Dit komt overeen met een stijging van circa 1°C over een periode van 25 jaar. Figuur 3b bevestigt het omslagpunt rond 1960. De grafiek toont de 30 koudste en warmste jaren sinds de metingen in Ukkel (vanaf 1833). Alle koudste jaren werden opgemeten voor 1960, alle warmste jaren na 1960 (Statistiek Vlaanderen, 2024). Een duidelijk breuk is zichtbaar rond het jaar 1960, wat ongeveer samenvalt met het begin van de Great Acceleration.



Figuur 3: Evolutie van de luchttemperatuur in België met (a) de afwijking van de gemiddelde luchttemperatuur in Vlaanderen ten opzichte van pre-industriële periode (circa 1760) (Statistiek Vlaanderen, 2024) en (b) weergave van de gemiddelde jaartemperatuur gemeten in Ukkel sinds 1833. Met in het blauw de 30 koudste jaren en in het rood de 30 warmste jaren sinds de metingen in Ukkel vanaf 1833 (Klimaat.be, 2023).

3. Antropoceen

Het Antropoceen is een recente geologische tijdsperiode waarin de menselijke invloed op het klimaat en de ecosystemen zodanig groot is geworden dat deze de natuurlijke processen op aarde aanzienlijk beïnvloedt. De term is nog niet algemeen aanvaard, en ook de discussie over vanaf welk jaar deze nieuwe geologische periode begint, ligt niet vast. Vijf kantelmomenten, twee energierevoluties en drie globalisaties, sinds de aanwezigheid van de mens als soort op aarde kunnen worden aangeduid als mogelijke startpunten van het Antropoceen. Deze vijf kantelpunten worden hieronder kort besproken, zonder hier al te diep op in te gaan. (Steffen et al., 2015; Lewis et al., 2018; Meysman, 2024)

De migratie vanuit Afrika door de Homo sapiens ongeveer 50.000 jaar geleden wordt aangeduid als de eerste globalisatie. Deze migratie had twee belangrijke gevolgen: het uitsterven van alle andere hominini (bijvoorbeeld de Neanderthalers) door competitie en conflicten, en daarnaast ontstaat er een systematisch patroon van het uitsterven van megafauna kort na het aankomen van de mens op een nieuw continent. Het verdwijnen van deze megafauna had op zijn beurt weer gevolgen voor het aanwezige ecosysteem (Lewis et al., 2018; Meysman, 2024).

De overgang van jagen en verzamelen naar landbouw, ongeveer 10.000 jaar geleden, wordt gezien als de eerste belangrijke energietransitie in de menselijke geschiedenis. De overstap naar landbouw zorgde voor een overschot aan energie, waardoor meer mensen gevoed konden worden. Dit leidde tot bevolkingsgroei, grotere nederzettingen, complexere hiërarchische structuren, nieuwe technologieën en nieuwe beroepen. De landbouwrevolutie had ook invloed op de uitstoot van broeikasgassen, onder andere door ontbossing om landbouwgrond te creëren (Lewis et al., 2018; Meysman, 2024).

De tweede globalisatie wordt gekenmerkt door de impact van de Europese kolonisatie rond 1500 en de daaropvolgende afname van inheemse bevolkingen. Deze globalisatie leidde tot een wereldwijd verspreide landbouwcultuur. Boeren kregen plotseling meer keuze in gewassen en dieren, wat een grote transformatie van het voedingspatroon van mensen over de hele wereld teweegbracht. De toegang tot nieuw landbouwgebied zorgde bovendien voor een nieuwe golf van ontbossing en bevolkingsgroei. Deze globalisatie

zorgde voor een homogenisatie van ecosystemen, waarbij wereldwijd genetische diversiteit verloren ging (Lewis et al., 2018; Meysman, 2024).

De industriële revolutie rond 1760 wordt gezien als de tweede energietransitie. Door de ontwikkeling van nieuwe technologieën, zoals de stoommachine, en de introductie van steenkool ontstonden veel krachtigere machines. Deze nieuwe energiebronnen leidden tot een ongekennde economische groei en betekende het begin van de demografische transitie (Lewis et al., 2018; Meysman, 2024).

Het laatste kantelpunt vindt plaats in de periode na de Tweede Wereldoorlog en wordt de Great Acceleration of de Grote Versnelling genoemd. Deze periode wordt gekenmerkt door snelle economische groei en een grote bevolkingstoename, maar ook door ernstige milieuproblemen zoals klimaatverandering. Het jaar 1950 is duidelijk zichtbaar als het kantelpunt in de hockeystickcurves (figuur 2) (Lewis et al., 2018; Meysman, 2024).

4. Koolstofcyclus en broeikaseffect

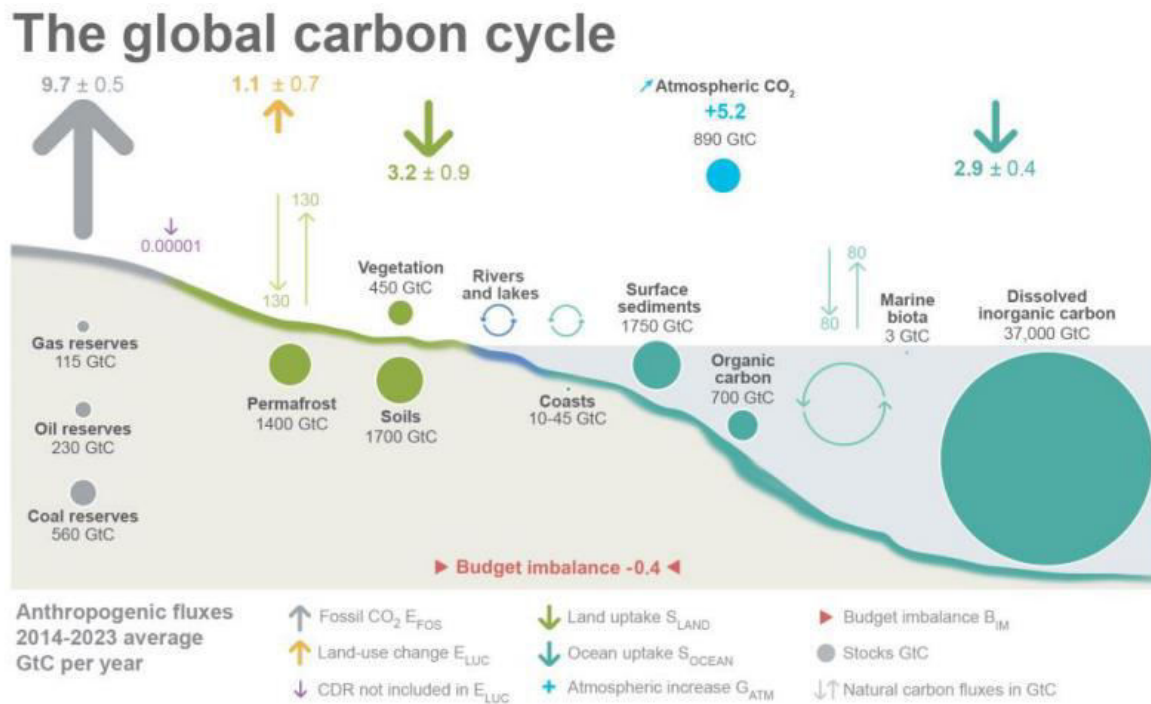
Om de oorzaak van klimaatverandering te begrijpen is het essentieel om eerst te focussen op twee natuurlijke processen: de koolstofcyclus en de werking van het broeikaseffect. Pas wanneer deze begrippen grondig worden beheerst, kan er begrip ontstaan over hoe de mens deze processen uit balans brengt. Dit begrijpen is cruciaal voor de ontwikkeling van een kritische ingesteldheid bij jongeren voor het evalueren van nieuwsberichten en het onderscheiden van fake nieuws, waarmee de leerlingen in contact komen via sociale media zoals TikTok en Instagram, ten opzichte van wetenschappelijk onderbouwde informatie.

4.1 De koolstofcyclus

De koolstofcyclus of koolstofkringloop is een complexe biochemische kringloop die beschrijft hoe het element koolstof (C) wordt uitgewisseld tussen en opgeslagen in de aarde en de atmosfeer (Climatechallenge.be, z.d.; Global Carbon Project, 2024).

De koolstofcyclus speelt een cruciale rol in de regulatie van de CO₂-concentratie in de atmosfeer en daarmee ook van de temperatuur op aarde. Echter worden door ingrijpende antropogene invloeden, zoals de grootschalige verbranding van fossiele brandstoffen en wereldwijde ontbossing, de natuurlijk evenwichten sterk verstoord (Figuur 4). Bovendien is de stijging van CO₂-uitstoot de laatste 100 jaar zo plots dat dit niet kan opgevangen worden door de relatief trage natuurlijke processen. Hierdoor raken natuurlijke evenwichten uit balans en stijgt de CO₂-concentratie in de atmosfeer (Climatechallenge.be, z.d.; Global Carbon Project, 2024; University of New Hampshire, 2009).

Een wereldwijde koolstofbalans geeft een overzicht van de belangrijke koolstofluxen en koolstofreservoirs op wereldschaal. Naast de beschrijving van de natuurlijke processen geeft een koolstofbalans ook weer wat de invloed is van de mens op dit natuurlijke evenwicht (Figuur 4).



Figuur 4: Schematische weergave van de koolstofcyclus met de belangrijkste koolstofluxen en stocks. Zowel de natuurlijke (groene en blauwe pijl) als de antropogene verstoringen door uitstoot van fossiele brandstoffen (grijze pijl) als de wijziging van landgebruik (oranje pijl) en de ontwikkelingen van technologieën om koolstof uit de lucht te capteren (paarse pijl) worden weergegeven (Global Carbon Project, 2024).

De uitwisseling van koolstof (C) tussen de verschillende reservoirs of stocks wordt ook wel een koolstofflux genoemd. Deze koolstofflux wordt uitgedrukt in $g_C \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en kan worden gedefinieerd als de netto-uitwisseling van koolstof gedurende een bepaalde periode en per oppervlakte eenheid. Een bepaald gebied kan gelijktijdig koolstof opnemen en uitstoten. In dat geval wordt de koolstofflux berekend als het verschil tussen de hoeveelheid C die wordt uitgestoten en de hoeveelheid die het opneemt. Een gebied dat consequent meer C opneemt dan uitstoot wordt een koolstofsink genoemd. Wanneer een gebied meer C uitstoot dan het opneemt, spreken we over een koolstofbron of C-source (Climatechallenge.be, z.d.; Global Carbon Project, 2024; University of New Hampshire, 2009).

In gebieden die jaar na jaar meer C opnemen dan uitstoten, neemt de totale hoeveelheid opgeslagen C geleidelijk toe. Dergelijke gebieden worden aangeduid als C-reservoir of -stocks. Het belang van een C-reservoir wordt uitgedrukt in de hoeveelheid C die het bevat (vaak in gigaton C of Gt C). De voornaamste C-reservoirs op aarde zijn:

1. de biosfeer (levende organismen)
2. de hydrosfeer (water)
3. de lithosfeer (gesteente)
4. de atmosfeer (lucht)

De hoeveelheid C die zich in elk van de verschillende reservoirs bevindt, varieert sterk tussen de reservoirs, maar blijft onder natuurlijke omstandigheden over een zeer lange tijdschaal relatief constant (Friedlingstein et al., 2023). Dit betekent dat de hoeveelheid C die een bepaald reservoir vrijgeeft steeds in evenwicht staat met de hoeveelheid die het opnieuw opneemt.

4.1.1 Koolstofreservoir en koolstofuitwisseling

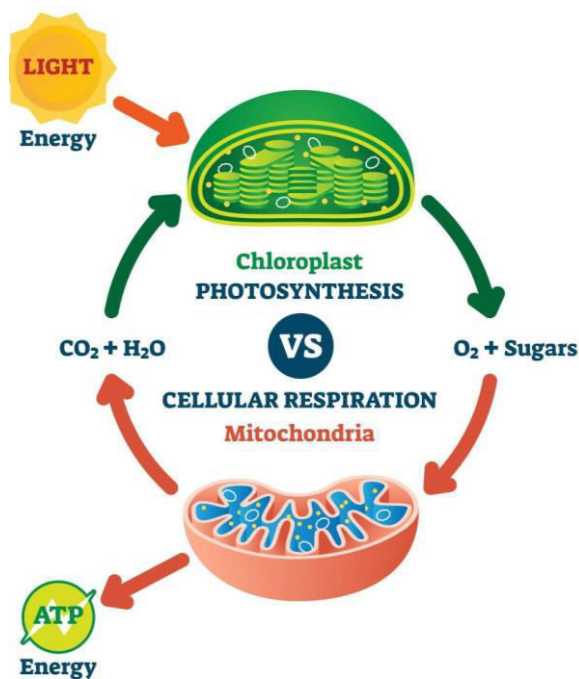
De biosfeer

Fotosynthese en respiratie

Fotosynthese is het proces waarbij planten CO_2 opnemen uit de lucht en omzetten in organische verbindingen zoals glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) (Figuur 5). De capaciteit van planten om CO_2 te capteren uit de lucht vormt de basis voor het belang van bosbescherming en het aanplanten van nieuwe bossen in strijd tegen klimaatverandering (Climatechallenge.be, z.d.; Global Carbon Project, 2024; Nature Scapes, 2025).

In planten vindt ook het omgekeerde proces plaats: de verbranding van de gevormde suikers en uitstoot van CO_2 . Dit proces heet respiratie. Deze suikers worden gebruikt voor aan de energiebehoefte van de plant te voorzien en hebben als doel het onderhouden van plantcellen en mogelijk maken van de groei (Nature Scapes, 2025; Klimaat.be, z.d.; University of New Hampshire, 2009).

Niet alleen planten, maar ook micro-organismen in de bodem spelen een rol in dit proces. Via respiratie breken zij organisch materiaal af in de bodem en stoten daarbij CO_2 uit naar de atmosfeer.



Figuur 5: Schematische voorstelling van het fotosynthese (groen) en respiratieproces (rood) in planten (Nature Scapes, 2025).

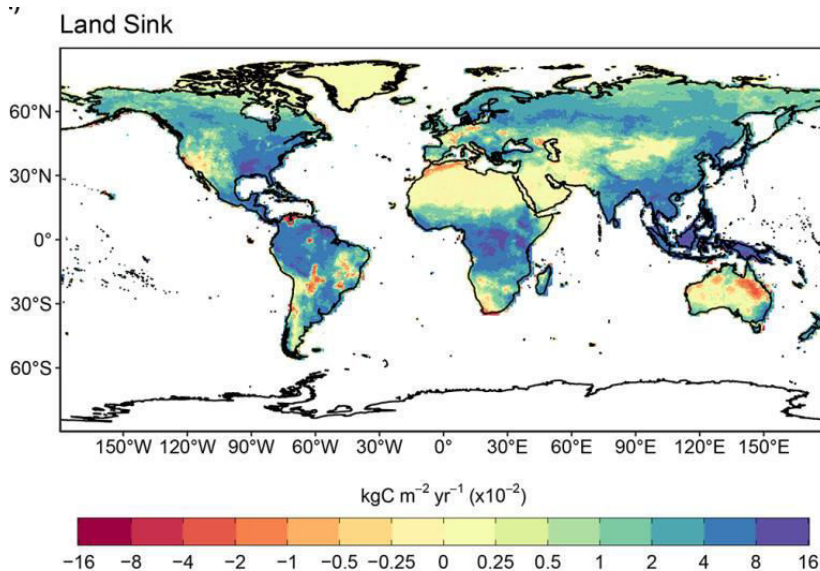
Naast respiratie kunnen planten ook CO₂ vrijgeven bij sterfte of wanneer hout wordt verbrand. Houtverbranding, door bosbranden of na houtkap, is steeds een plots proces waardoor een groot percentage van de opgeslagen C opnieuw wordt vrijgegeven aan de atmosfeer. Dit staat in contrast tot een boom die op natuurlijke wijze sterft en de tijd krijgt om te ontbinden in het bos. In dat geval heeft de opgeslagen C de kans om te worden vastgelegd in de bodem (Luyssaert et al., 2021).

Bij deze processen, fotosynthese en respiratie, waarbij de opname en uitstoot van CO₂ doorgaans plaatsvindt binnen de levensduur van planten, van één dag tot hoogstens honderd jaar (Nature Scapes, 2025; Klimaat.be, z.d.).

Koolstofsink en flux

Sinds 1850 capteerde de biosfeer ongeveer 225 ± 55 Gt C uit de atmosfeer. Dit komt overeenkomt met ongeveer 32% van de antropogene emissies sinds het begin van de industriële revolutie (Friedlingstein et al., 2023). Deze flux vertoont jaarlijkse schommelingen en een algemene stijging sinds de start van de industriële revolutie. Zo steeg deze van $1,3 \pm 0,5$ Gt C per jaar tot $3,3 \pm 0,8$ Gt C per jaar in de periode van 1960 tot 2022 (Friedlingstein et al., 2023). Deze flux vertoont belangrijke jaarlijkse schommelingen tot 2 Gt C per jaar.

De biosfeer is verantwoordelijk voor de grootste natuurlijke koolstoflux. De hoeveelheid CO₂ die per oppervlakte en tijdseenheid kan worden opgenomen is sterk afhankelijk van factoren zoals het type ecosysteem, het klimaat en het seizoen. Door de hoge fotosyntheseactiviteit van tropische regenwouden zijn dit de meest productieve ecosystemen. Zij kunnen worden herkend als grootste land-sink op de wereldkaart (Figuur 6) (Friedlingstein et al., 2023).



Figuur 6: Wereldkaart met aanduiding van de hoeveelheid koolstof die wordt uitgestoten of opgenomen per vierkante meter per jaar. Blauwe zones geven koolstofsinks aan, rode zones koolstofbronnen (Friedlingstein et al., 2023).

Biosfeer onder druk

Door de toenemende impact van klimaatverandering worden ecosystemen wereldwijd geconfronteerd met langere en intensere periodes van droogte en hittegolven. Tijdens dergelijke extreme omstandigheden remt of stopt het fotosyntheseprocess aanzienlijk, terwijl de respiratieprocessen blijven doorgaan. Hierdoor transformeren sommige ecosystementijdelijk van koolstofsink naar koolstofbron (Europese commissie, z.d.; University of New Hampshire, 2009).

De opeenstapeling van natuurrampen in 2023 hadden een alarmerend gevolg. De terrestrische koolstofopslag daalde in 2023 naar 2,3 Gt C, wat 1,6 Gt C lager is dan het voorgaande jaar. Het is ook de laagst geschatte koolstofopslag sinds 2015 (Friedlingstein et al., 2023). Deze sterkte terugval werd hoofdzakelijk veroorzaakt door aanhoudende droogte in het Amazonegebied en grootschalige bosbranden in Canada en Siberië. Deze gebeurtenissen illustreren hoe klimaatrampen de rol van de biosfeer als koolstofsink ernstig kunnen aantasten en de kwetsbaarheid van de koolstofcyclus als systeem (Garric, 2024).

LULUCF

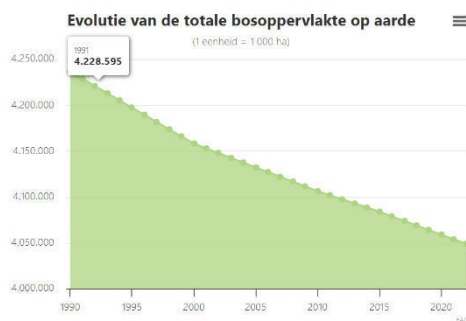
Volgens het Global Carbon Project (2024) bedraagt de jaarlijkse uitstoot als gevolg van landgebruiksverandering naar schatting $1,1 \pm 0,7$ Gt C, wat overeenkomt met $4,03 \pm 2,53$ gigaton CO₂ (Figuur 4).

Bodems en biomassa zijn een belangrijke koolstofstock. Alleen door deze natuurlijke systemen goed te beheren, kan de biosfeer C vasthouden en extra C opslaan. Slecht beheer van de biosfeer kan daarentegen leiden tot extra CO₂ uitstoot. Landgebruik en landbeheer kan dus zowel bijdragen aan extra koolstofopslag (bijv. door de aanplanting van een bos) als tot extra koolstofuitstoot (bijv. kappen van een bos).

Ontbossing, voornamelijk ten voordele van landbouw of verstedelijking, leidt ertoe dat de koolstof die eerder was opgeslagen in de bodem en de vegetatie wordt vrijgegeven aan de atmosfeer. In de afgelopen 30 jaar is wereldwijd ongeveer 18 miljoen hectare bos verloren gegaan (Klimaat.be, z.d.) (Figuur 7). Ontbossing is een belangrijke bron van koolstofemissies, aangezien bomen veel grotere hoeveelheden koolstof opslaan in hun biomassa en bodem dan landbouwgewassen (Figuur 8). Gewassen hebben een

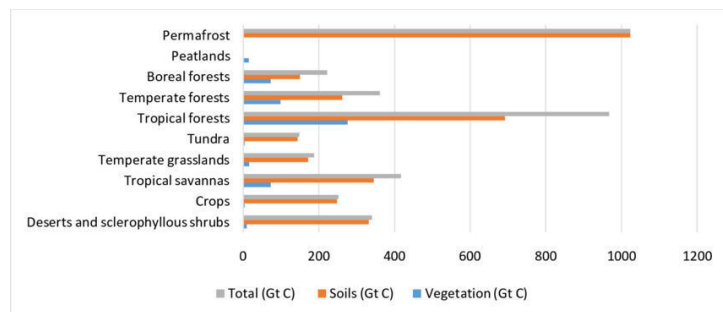
koolstofopslag van ongeveer $0,6 \text{ kg C m}^{-2}$ (totale biomassa: 10 Pg C), terwijl tropische bossen tussen $8,6$ en $11,3 \text{ kg C m}^{-2}$ opslaan (totale biomassa: 192–251 Pg C) en gematigde bossen $6,1$ – $6,4 \text{ kg C m}^{-2}$ (totale biomassa: 33–35 Pg C) (Erbet al al., 2017). Ook de koolstofvoorraden in permafrost zijn aanzienlijk, met in totaal ongeveer 1200 Pg C (IPCC, 2021) of 25 kg C m^{-2} (Khvorostyanov et al., 2007). Hoewel deze gronden minder vaak geschikt zijn voor landbouw, lijden ze wel onder de opwarming van de aarde, waardoor zowel CO_2 als CH_4 kan vrijkomen (Khvorostyanov et al., 2007).

Land Use, Land Use Change and Forestry, kortweg LULUCF, versterkt het bewustzijn rond het belang van doordacht landbeheer. Op die manier kan een bijdrage worden geleverd aan het beperken van klimaatverandering, door een deel van de atmosferische koolstofdioxide langdurig vast te leggen in bodems en vegetatie (omgeving.vlaanderen.be, z.d.).



Figuur 7: Evolutie van de totale bosoppervlakte op aarde waarbij 1 eenheid gelijkgesteld wordt aan 1000 ha bos.

(Klimaat.be, z.d.)



Figuur 8: Wereldwijde koolstofvoorraden in vegetatie en koolstofvoorraden in bodems tot op een diepte van 3 meter. (Gaudel, 2016)

Fotosynthese onder water

Fotosynthese wordt doorgaans geassocieerd met terrestrisch vegetatie. Echter zijn het niet planten maar wel fytoplankton (microscopische kleine algen in de oceaan) die verantwoordelijk zijn voor het grootste aandeel van CO₂ opname door fotosynthese in de hydrosfeer (Falkowski, 2012). In analogie van landplanten zet fytoplankton via fotosynthese C om in suikers, en zal een deel van de opgenomen CO₂ opnieuw vrijkomen via respiratie.

Wanneer algen afsterven, zinken zij naar de oceaانبodem die zich op duizenden meters diepte kan bevinden onder het zeeoppervlak. Organisch materiaal dat in deze diepzee terechtkomt, wordt vrijwel niet meer gerecirculeerd naar het zeeoppervlak (Meysman, 2024; Zauner, 2024).

Koolstofsink en flux

Sinds 1850 heeft de oceaan in totaal 180 ± 35 Gt C geabsorbeerd, waarvan meer dan twee derde (125 Gt C) sinds de aanvang van grote versnelling (1960). Vergelijkbaar met de biosfeer is de jaarlijkse koolstofflux door de hydrosfeer toegenomen sinds de industriële revolutie: $1,1 \pm 0,4$ Gt C jr⁻¹ ten tijde van de industriële revolutie tot $2,8 \pm 0,4$ Gt C jr⁻¹ in recente jaren (Friedlingstein et al., 2023). Daarmee neemt de oceaan momenteel ongeveer 25% van de jaarlijkse antropogene CO₂-emissies voor haar rekening.

Diepzee als grootste koolstofstock

De diepzee fungeert als een van de grootste koolstofreservoir op aarde. De oceanen bevatten ongeveer 38.000 Gt C. Dit komt overeen met circa 80% van de C in het mondiale koolstofsysteem (exclusief gesteenten), en is meer dan vijftig keer meer dan de hoeveelheid C opgeslagen in de atmosfeer (Zauner, 2024).

Een belangrijk deel van deze koolstofstock bevindt zich in de diepzee. Door beperkte verticale uitwisseling wordt C in de diepzee voor langere periode opgeslagen en draagt het bij aan de langdurige verwijdering van C uit de atmosfeer. Een aanzienlijk kleiner deel, ongeveer 1000 Gt C, bevindt zich in de bovenste lagen van de oceaan, nabij het zeeoppervlak (University of New Hampshire, 2009). In deze zone wordt C snel uitgewisseld tussen de atmosfeer en het water.

Oceanverzuring en koraalrif

Naarmate de concentratie van CO_2 in de atmosfeer toeneemt, stijgt ook de hoeveelheid CO_2 in het oceaanwater. Dit gebeurt via een passief fysisch proces genaamd diffusie, waarbij CO_2 moleculen zich verplaatsen van een gebied met een hogere concentratie (de atmosfeer) naar een gebied met een lagere concentratie (de oceaan), totdat een evenwichtssituatie wordt bereikt. Het proces kan omgekeerd verlopen wanneer er een hogere concentratie CO_2 in de oceaan is dan in de atmosfeer. De opname van CO_2 door de oceaan is afhankelijk van de watertemperatuur: kouder water kan meer CO_2 absorberen dan warm water (Ocean learning hub, z.d.).

Deze stijgende hoeveelheid opgeloste CO_2 in de oceaan heeft een direct gevolg voor de zuurtegraad van het oceaanwater. Wanneer CO_2 oplost in water, reageert het met water tot koolzuur (H_2CO_3). Dit valt vervolgens uiteen in bicarbonaat (HCO_3^-) en waterstofionen (H^+). Die extra waterstofionen zorgen ervoor dat de pH van het oceaanwater daalt en daardoor dus zuurder wordt. Deze verzuring van de oceaan vormt een bedreiging voor het leven in de zee (Robson, 2013; Copernicus, z.d.).

Sinds het begin van de industriële revolutie is de pH van de oppervlaktewater van de oceaan 0,1 pH gedaald: van 8,2 naar 8,1. Hoewel dit op het eerste zicht een beperkte verandering lijkt, is het belangrijk te benadrukken dat de pH-schaal logaritmisch werkt. Dit betekent dat een daling van 0,1 pH overeenkomt met een toename van circa 26% in de waterstofionenconcentratie. Modellen tonen aan dat de pH van de oceaan met 0,0016 units per jaar zal verder dalen als er geen stappen worden ondernomen om de uitstoot drastisch te verminderen (Ocean learning hub, z.d.; Copernicus, z.d.).

Gesteenten als grootste koolstofreservoir

De lithosfeer, bestaande uit de aardkorst en bovenste mantel, vormt het grootste koolstofreservoir. Naar schatting 1.200.000 tot 100.000.000 Gt C wordt in deze stock opgeslagen (University of New Hampshire, 2009; Meysman, 2024). Het merendeel wordt vastgehouden in sedimentair gesteente, zoals kalksteen en dolomiet, en geconcentreerd prehistorische organisch materiaal zoals kerogeen, een fijn verspreide organische stof in zwarte schalie, en uit fossiele brandstoffen (steenkool, aardolie en aardgas). Een belangrijke kanttekening is wel dat meer dan 99,5% van de koolstof in de lithosfeer niet bruikbaar is als fossiele brandstof, wat de beperkte maar invloedrijke rol van fossiele brandstoffen binnen dit immense reservoir benadrukt (Meysman, 2024).

Dit proces van de vorming van fossiele brandstoffen behoort tot de lange of trage koolstofkringloop. Bij de lange koolstofkringloop duurt de opname en vrijgave van koolstof miljoenen jaren. De uitwisseling van C tussen de verschillende reservoirs gebeurt onder invloed van chemische en tektonische processen.

Koolstofsink en flux

C die in de lithosfeer is opgeslagen, kan via natuurlijke geologische processen worden vrijgegeven aan de atmosfeer. Voorbeelden van deze processen zijn vulkanische activiteit en warmwaterbronnen. Tijdens deze processen vindt thermale decompositie van kerogeen plaats, waarbij organisch materiaal onder hoge temperaturen en druk afbreekt. De hierbij gevormde koolstofhoudende gassen, waaronder methaan (CH_4) en CO_2 , worden via magma en hydrothermale systemen naar het aardoppervlak getransporteerd (Meysman, 2024).

Daarnaast draagt ook de mens bij aan het uitputten van deze koolstofstock. Door de verbranding van fossiele brandstoffen komt op korte termijn grote hoeveelheden C, die gedurende miljoenen jaren werd opgeslagen ondergronds, vrij in de atmosfeer. Hierdoor verhuist C van de langzame koolstofcyclus naar de snelle koolstofcyclus en van de lithosfeer naar de atmosfeer (Friedlingstein et al., 2023).

Kleinste maar belangrijkste reservoir

De atmosfeer bevat ongeveer 905 Gt C of 425 ppm CO₂ (parts per million) (NOAA, 2025). Het merendeel van de C is aanwezig in de vorm van CO₂, aangevuld met kleinere hoeveelheden CH₄ en andere koolstofverbindingen. Hoewel deze koolstofstock kleiner is dan de andere stocks, is de atmosferische koolstofconcentratie van cruciaal belang vanwege haar directe invloed op het broeikaseffect (zie 4.2 Het Broeikaseffect). Bovendien maakt de relatief beperkte omvang van de atmosferische koolstofstock deze bijzonder gevoelig voor verstoringen in de fluxen vanuit andere reservoirs.

Antropogene invloed

De stijging van de atmosferische koolstofconcentratie gedurende de voorbije eeuwen is hoofdzakelijk toe te schrijven aan emissies vanuit de lithosfeer en door verstoring van terrestrische ecosystemen. Vanuit de lithosfeer is dit vooral het gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen. Ongeveer 85% van de antropogene uitstoot van broeikasgassen komt hieruit voort. Door fossiele brandstoffen in een snel tempo te ontginnen en te verbranden, stijgt de atmosferische koolstofconcentratie ongekend snel.

Daarnaast dragen veranderingen in terrestrische ecosystemen, zoals ontbossing en andere vormen van landgebruik, bij aan de toename van C in de atmosfeer. De huidige atmosferische koolstofstock is hierdoor de hoogste ooit gemeten (Figuur 1) en ongeveer 60% hoger dan het pre-industriële niveau van ongeveer 560 Gt (Friedlingstein et al., 2023).

4.2 Broeikaseffect

Het broeikaseffect is een essentiële voorwaarde voor het leven op aarde zoals we het vandaag kennen. Zonder de aanwezigheid van broeikasgassen zou de gemiddelde temperatuur op aarde slechts $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ bedragen. Dankzij het broeikaseffect ligt de gemiddelde temperatuur rond $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Voor de industriële revolutie bedroeg de gemiddelde temperatuur nog ongeveer $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, maar door de stijgende concentraties broeikasgassen is deze inmiddels al met $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ toegenomen (klimaat.be, z.d.; Semenov, 2023).

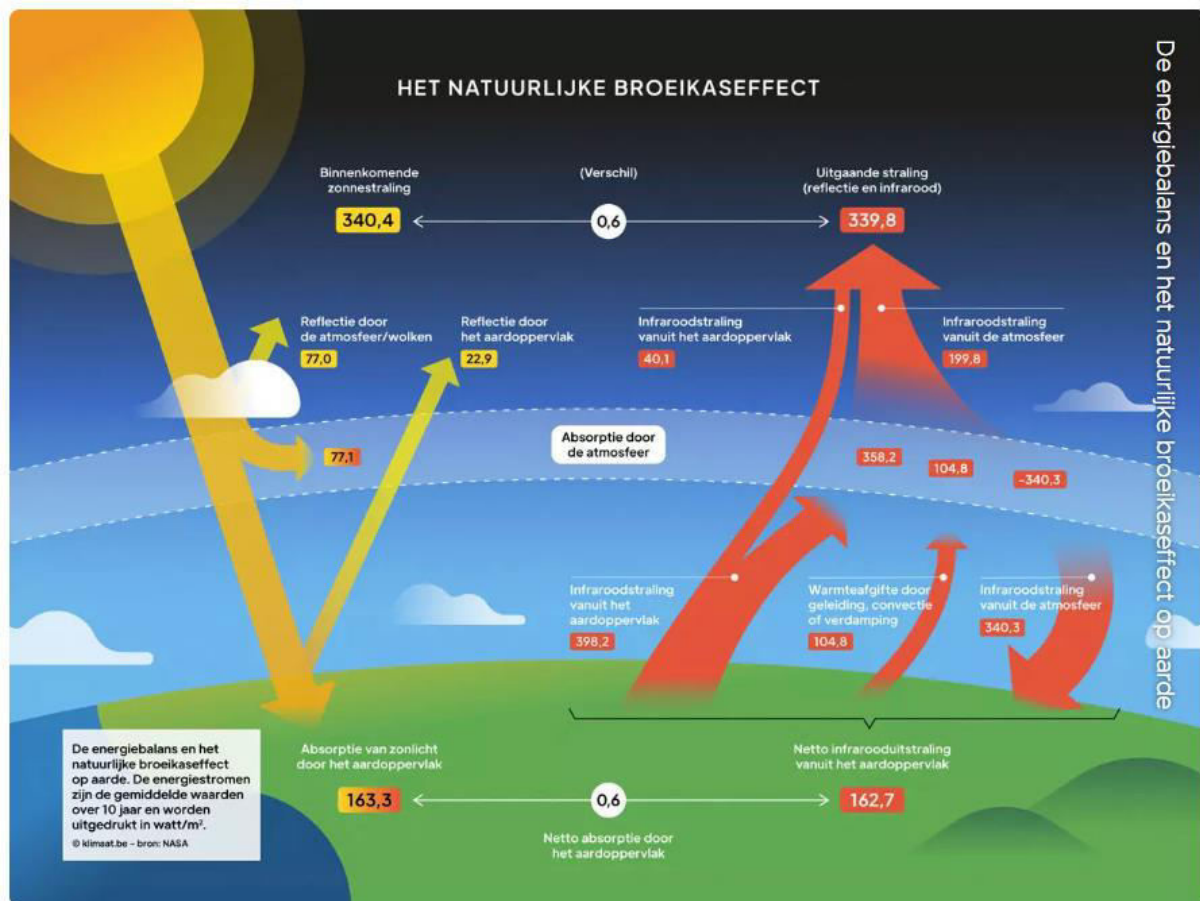
4.2.1 Natuurlijk broeikaseffect

De zon zendt energie uit onder de vorm van licht of stralingsenergie. Een deel van de uitgestuurde energie bereikt onze atmosfeer (Figuur 9, gele pijlen). Ongeveer de helft van die straling wordt weerkaatst door de atmosfeer of door het aardoppervlak. De hoeveelheid weerkaatst zonlicht is sterk afhankelijk van de lokale condities en kan variëren doorheen de tijd. Zo zorgen meer wolken voor meer reflectie en zal meer zonlicht worden gereflecteerd door een wit oppervlak zoals bijvoorbeeld sneeuwvlaktes of de witte huisjes op Santorini. Het percentage gereflecteerd zonlicht op een bepaalde plaats en tijd noemen we albedo. De resterende zonne-energie wordt geabsorbeerd door het aardoppervlak waardoor dit langzaam opwarmt (Climate science investigation, z.d.; klimaat.be, z.d.).

Elk voorwerp reflecteert, absorbeert of straalt energie uit in de vorm van elektromagnetische straling. De hoeveelheid energie die wordt uitgestraald is afhankelijk van de temperatuur van het voorwerp. Hoe hoger de temperatuur van het voorwerp, hoe sneller de elektronen trillen en hoe hoger de energiewaarde van de uitgestuurde energie. Dit vertaalt zich in straling met een kortere golflengte. Omgekeerd geldt dat bij lagere temperaturen de uitgestraalde golflengte toeneemt en de energiewaarde afneemt (Center for Science Education, z.d.).

De aarde zendt zelf ook straling uit, voornamelijk in de vorm van infrarode warmtestraling. Een deel van deze straling ontsnapt naar de ruimte. Het merendeel van de warmte wordt geabsorbeerd door de broeikasgassen in de atmosfeer. Dankzij de broeikasgassen wordt

deze warmte opgevangen waarna deze opnieuw wordt uitgestraald richting het aardoppervlak (Klimaat.be, z.d.).



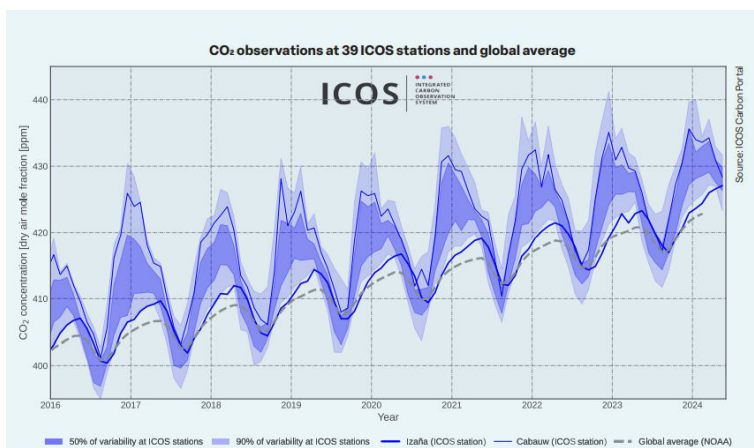
Figuur 9: Energiebalans van de aarde. De gele pijlen tonen de inkomende stralingsenergie van de zon, de oranje pijlen tonen de uitgaande warmte energie (grotendeels onder de vorm van infraroodstraling) (Klimaat.be, z.d.).

4.2.2 Broeikasgassen

De atmosfeer bestaat uit een mengsel van verschillende gassen waarvan de samenstelling tot een hoogte van 90 km bijna gelijk blijft. Stikstofgas (N_2) (78%) en zuurstofgas (O_2) (21%) vertegenwoordigen de grootste fracties van de atmosfeer. Daarnaast zijn er andere gassen in kleine hoeveelheden aanwezig, waaronder argon (Ar) (0,9%) en koolstofdioxide (CO_2) (0,03%) (KMI, z.d.) Een ander belangrijk broeikasgas is waterdamp (H_2O), de concentratie hiervan is sterk afhankelijk van de locatie en de temperatuur en kan variëren van 0,1% tot 5%. Sommige van deze gassen zijn in staat zijn om de infrarode warmtestraling die door de aarde wordt uitgestraald te absorberen. Deze gassen bepalen de energiebalans van de aarde en noemen we broeikasgassen. Tabel 1 geeft een overzicht van de belangrijkste broeikasgassen, hun oorsprong en effect (Europees parlement z.d.; Climate science investigation, z.d.; Klimaat.be, z.d.; Roka, 2019).

Het bekendste broeikasgas is CO_2 . De laatste ICOS data tonen een jaarlijkse groei van 2,7 ppm CO_2 in de atmosfeer tijdens het jaar 2023 (ICOS, 2024). De grootste stijging van CO_2 in de atmosfeer is te wijten aan het gebruik van fossiele brandstoffen. Figuur 10 combineert de resultaten van 39 atmosferische meetstations. Deze stations bevestigen een wereldwijde trend van een jaarlijkse toename van 2 tot 2,5 ppm CO_2 .

De schommelingen in de grafiek worden veroorzaakt door de seizoenen. Het noordelijk halfrond bevat de grootste hoeveelheid vegetatie. In de lente en zomer, wanneer planten en bomen actief groeien, is de CO_2 -concentratie lager doordat ze meer CO_2 opnemen tijdens fotosynthese. In de herfst en winter, wanneer de fotosynthese vertraagt, nemen de planten minder CO_2 op en stijgt de hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer. (ICOS, 2024).



Figuur 10: Evolutie van de gemiddelde atmosferische CO_2 concentratie gemeten door 39 atmosferische meetstations over de periode 2016 – 2024 (ICOS, 2024).

CO₂ is niet het enige gas dat bijdraagt aan het broeikaseffect. Van nature komen verschillende broeikasgassen voor in de atmosfeer, elk met een verschillend opwarmende vermogen of Global Warming Potential (GWP). De GWP geeft aan in welke mate een gas bijdraagt aan het broeikaseffect. CO₂ fungeert hierbij als referentiegas, met een GWP-waarde van 1 (Europees parlement, z.d.; Climate science investigation, z.d.; Klimaat.be, z.d.).

Methaan (CH₄) is een ander bekend broeikasgas, en is aanzienlijk krachtiger dan CO₂. CH₄ heeft een GWP van 25. Dit betekent dat het effect van een CH₄-molecule 25 maal groter is dan dat van CO₂-molecule en het dus 25 keer meer bijdraagt aan het broeikaseffect. Hoewel CH₄ slecht 0,00017% van de atmosfeer uitmaakt, houdt het een aanzienlijke hoeveelheid warmte vast (Europees parlement, z.d.; Climate science investigation, z.d.; Klimaat.be, z.d.; NASA, z.d.).

De concentratie aan broeikasgassen in de atmosfeer nam de laatste 100 jaar sterk toe met een stijging van de gemiddelde temperatuur tot gevolg.

Tabel 1: Overzicht van de belangrijkste broeikasgassen in de atmosfeer. Van ieder broeikasgas wordt de GWP (Global Warming Potential), residentietijd (verblijftijd van het broeikasgas in de atmosfeer voor het natuurlijk wordt afgebroken) en de natuurlijke en antropogene oorsprong vermeld (Europees parlement, z.d.; Climate science investigation z.d. ; Klimaat.be z.d.; Sherwoord, 2018).

Met N₂O* of distikstofmonoxide of lachgas; CFK's**of Chloorfluorkoolstofverbindingen

*** Het GWP van waterdamp is niet officieel vastgesteld, maar wordt geschat op een waarde tussen 10^{-3} en 5×10^{-4}

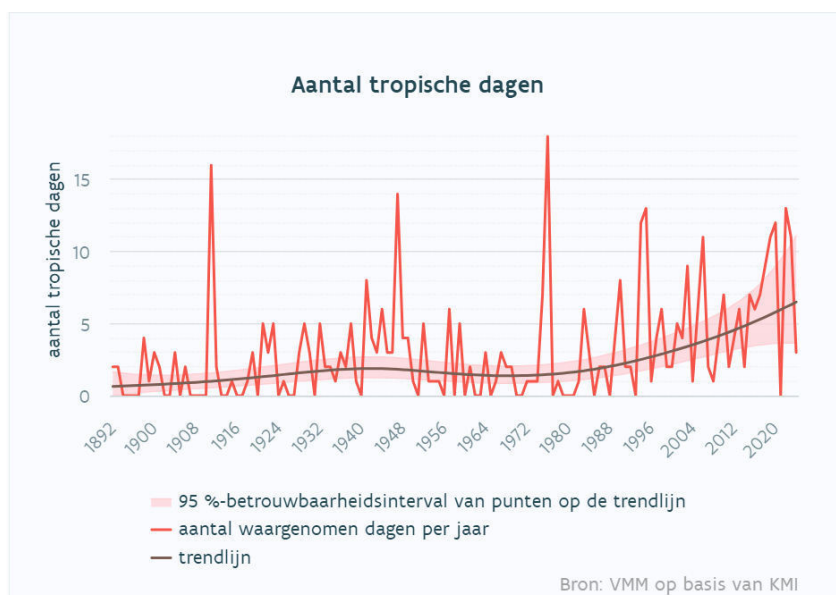
Broeikasgas	GWP (jaar)	Residentie- tijd (jaar)	Natuurlijke oorsprong	Antropogene oorsprong
CO ₂	1	100	- Celademhaling - Ontbinding dood organisch materiaal - Bosbranden - Vulkaanuitbarstingen	- Verbranding van fossiele brandstoffen - Ontbossing - Verandering van bodemgebruik
CH ₄	25 - 30	8 - 10	- Ontbinding organisch materiaal in anaerobe omstandigheden - Landbouw (vertering herkauwers), bosbouw en visserij - productie en vervoer fossiele brandstoffen	- Veeteelt en rijstvelden - Vrijkomen bij ontginning van fossiele brandstoffen - Smelten permafrost
N ₂ O*	300	100	- Bodembacteriën	- Gebruik kunstmest
CFK's**	124 - 22800	> 1000	- Geen	- Tot 1987 gebruikt als drijfgas voor spuitbussen, koelkasten en airco's (Uitstoot vandaag nog bij reparatie en afvalverwerking)
H ₂ O	***	Enkele dagen	- Verdamping van oppervlaktewater - Evapotranspiratie	- Geen

5. Gevolgen van klimaatverandering

5.1 Extreme weersomstandigheden

Hittegolven

Als gevolg van de stijging van de gemiddelde temperatuur op de aarde, wordt ook verwacht dat het aantal en de intensiteit van hittegolven (een periode van minstens vijf opeenvolgende dagen van tenminste 25 °C, waarbij op minstens drie dagen ten minste 30 °C wordt gehaald (KMI, z.d.)) en tropische dagen (met maximumtemperatuur 30 °C of meer) in de toekomst zal toenemen (Figuur 11) (VMM.VLAANDEREN.BE, z.d.). Vooral de meeste kwetsbaren onder de bevolking, zoals ouderen en zuigelingen, hebben te lijden onder de gevolgen van een hittegolf. Bij hittegolven sterven ongeveer 40 mensen per dag extra (Huizinga et al., 2019).



Figuur 11: Evolutie van het aantal tropische dagen in België over de periode 1892 – 2024 (VMM.VLAANDEREN.BE, z.d.).

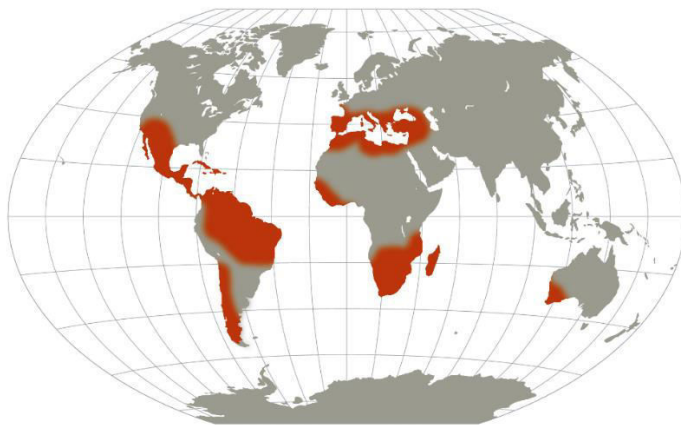
Naast het menselijk leed veroorzaken extreme temperaturen ook vaak schade aan infrastructuur. Bouwmaterialen zetten uit en zijn doorgaans niet ontworpen om dergelijke extreme temperaturen op te vangen. Dit kan onder meer leiden tot het opdrukken van wegdekken en de vervorming van spoorstaven (klimaat.be, z.d.).

Droogte en overstromingen

Klimaatmodellen voorspellen een toename van weersextremen en deze tendens wordt vandaag al wereldwijd waargenomen (Maks, 2024). Ook in Vlaanderen voelen we deze gevolgen: meer intense regenbuien met overstromingen tot gevolg, weken van warmte en droogte, afgewisseld met kletsnatte perioden (klimaat.be, z.d.).

Door de stijging van de gemiddelde temperatuur verdampt meer water. In combinatie met het gebrek aan neerslag leidt dit tot langere en intensere droge periodes (Europese commissie, z.d.). Droogte kenmerkt zich door een langdurige periode waarbij er aanzienlijk minder neerslag valt dan normaal voor een bepaald gebied en in combinatie met grote verdamping (KNMI, z.d.). Het IPCC en het KMI definiëren droogte als *‘een periode van abnormaal droog weer die lang genoeg duurt om een ernstig hydrologische onevenwicht te veroorzaken’* (IPCC, 2021; KMI, z.d.). Modellen voorspellen dat er meer droogte wordt verwacht in gebieden rond de Middellandse Zee, Zuid-Afrika en Zuid en West-Amerika (Figuur 12). Dit verhoogt het risico op natuurbranden, zeker wanneer droogte wordt gecombineerd met een periode van hittegolven (Menga, 2023).

Bosbranden hebben niet enkel ingrijpende ecologische gevolgen, waaronder het verlies van waardevolle ecosystemen en biodiversiteit, maar brengen eveneens aanzienlijke economische en maatschappelijke schade met zich mee (Europese commissie, z.d.).



Figuur 12: Geografische voorstelling waarbij in de bruine gebieden meer droogte wordt verwacht ten gevolge van klimaatverandering (IPCC, 2021).

In schril contrast hiermee verhoogt klimaatverandering ook de kans op een toename van het aantal wolkbreuken (Europese Commissie, z.d.). Dit komt doordat onweersbuien extra water opnemen wanneer zij over een gebied met warme, vochtige lucht trekken, nog voordat de waterdamp uit de oorspronkelijke luchtmassa is uitgeregend (Steensig, 2025). Omdat deze regenevents vaak plaatsvinden na lange periodes van droogte kan regen onvoldoende doordringen tot in de bodem. Dit verhoogt de kans op overstromingen door die hevige regenevents.

In Vlaanderen is het aantal regendagen afgenomen (VMM.VLAANDEREN.BE, z.d.), terwijl steeds meer en intensere zomeronweders worden geregistreerd. Sinds de jaren '50 is er een verdubbeling in het aantal dagen met zware neerslag (meer dan 20 mm per dag), van gemiddeld vier naar tien per jaar in de periode van 2005 naar 2025. Ook de intensiteit van deze wolkbreuken neemt toe, van 23 mm naar 35 mm in 2025. Dit vergroot het risico op overstromingen. De totale jaarlijkse hoeveelheid neerslag bleef achter stabiel (klimaat.vmm.be, z.d.).

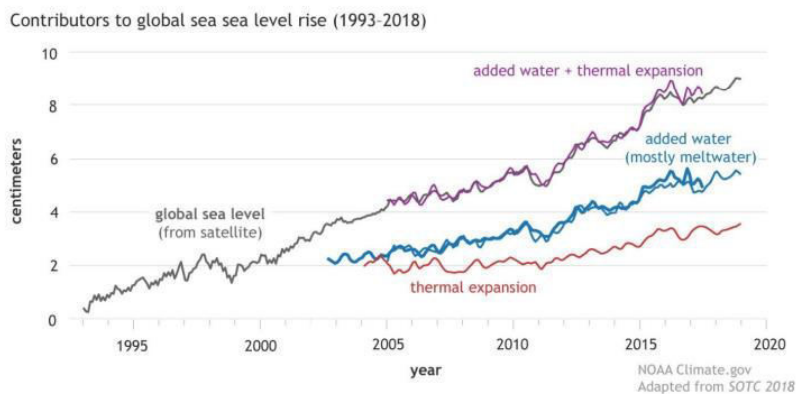
5.2 Temperatuurstijging

Permafrost

Permafrost zijn bodems die normaal permanent bevroren blijven. Als gevolg van de globale temperatuurstijging is dreigen deze bodems te ontdooien. Het smelten van deze bodems heeft gevolgen voor het broeikaseffect omdat deze grote hoeveelheden broeikasgassen, met name CH₄ en CO₂, vasthouden. Wanneer deze zouden vrijgekomen dragen deze op hun beurt bij aan een verdere versterking van het broeikaseffect. Dit proces vormt een positieve terugkoppelingsmechanisme binnen het klimaatsysteem (Europese commissie, z.d.).

Opwarming zeewater en stijging zeespiegel

De oceanen absorberen ongeveer 90% van de overtollige warmte in de atmosfeer als gevolg van de mondiale temperatuurstijging (NOAA, 2024). De stijging van de zeespiegel is reeds sinds het begin van de 20^{ste} eeuw waarneembaar maar heeft zich de afgelopen decennia versneld (Figuur 13). Deze stijging is enerzijds veroorzaakt door het smelten van gletsjers en de Antarctische en Groenlandse ijskappen (landijs). Daarnaast zet het oceaanwater ook uit als reactie op toenemende temperaturen (NOAA, 2024).



Figuur 13: Het gemeten zeespiegelniveau sinds het begin van de satellietmetingen in 1993 (NOAA, 2024).

Wereldwijd steeg het zeeniveau met 1,7 mm per jaar in de voorbije eeuw en sinds de jaren '90 met 3,0 mm per jaar (KLIMAAT.VMM.BE, z.d.). Modellen voorspellen dat deze trend zich zal voortzetten en de zeespiegel in Europa tegen het einde van deze eeuw gemiddeld 60 tot 80 cm hoger zal liggen dan het huidige niveau (Europese commissie, z.d.; Lindsey, 2023). Ongeveer de helft van de Europese bevolking woont binnen een straal van 50 km van de kustlijn, wat de stijging van de zeespiegel bijzonder verontrustend maakt (Eurostat 2009). De Belgische kustlijn is bovendien de meeste bebouwde in Europa: bijna 50% van de oppervlakte is bebouwd binnen een strook van 1 km landinwaarts vanaf de kust (KLIMAAT.VMM.BE,z.d.).

Het is daarnaast belangrijk om te benadrukken dat het smelten van zee-ijs niet bijdraagt aan de zeespiegelstijging. Dit ijs drijft al in het water, waardoor het volume smeltwater gelijk is aan het volume water dat eerder door het ijs werd verplaatst (VLIZ, 2021).

Golfstromingen in de oceaan

Het versneld smelten van gletsjers zorgt voor een aanzienlijke toevoer van zoet smeltwater in de Noord-Atlantische Oceaan. Dit proces vormt een bedreiging voor de stabiliteit van de Golfstroom, een onderzeese stroming. De golfstroom start in de Golf van Mexico en voert warm water naar het noordelijk deel van de Atlantische oceaan. Daar koelt het water af en omdat het water daar relatief zout is, zinkt het naar beneden en stroomt in zuidwaartse richting terug. Door de instroom van grote hoeveelheden zoet smeltwater van de polen daalt het zoutgehalte, waardoor het water na afkoeling minder goed zinkt. Hierdoor dringt de Golfstroom minder ver door in het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan. Een verzwakking of zelfs stilvallen van deze oceaanstrooming zou ingrijpende gevolgen hebben: de temperatuur in Europa kunnen dalen, terwijl het zeeniveau in bepaalde kustgebieden met circa 50 cm zou kunnen stijgen als gevolg van veranderende watermassaverdelingen (Europese commissie, z.d.; Zuaner, 2024; KNMI, z.d.).

Bovendien zou de verstoring van de golfstroom leiden tot een verzwakking van de moessonregens in onder andere Oost-Afrika en Zuid-Azië, met ernstige gevolgen voor de landbouwproductie en watervoorziening in deze regio's. Ook ecosystemen die afhankelijk zijn van de huidige oceaandynamiek zouden eveneens zwaar getroffen worden en zijn een bedreiging voor ontelbare organismen (Steffen et al., 2015)

Albedo effect

Het smelten van zowel zee-ijs als landijs heeft tevens een significante impact op het albedo-effect van de aarde (Copernicus, z.d.). Ijs- en sneeuwbedekte oppervlakken hebben een hoog reflecterend vermogen en weerkaatsen een groot deel van de inkomende zonnestralen. Wanneer deze ijsoppervlakken verdwijnen, worden zij vervangen door donkerdere ondergronden, zoals open oceaan of onbedekte bodem. Deze oppervlakken hebben een lager albedo en absorberen meer zonnestraling (Serreze, 2008; Uemura et al., 2018). Dit resulteert in extra opwarming van het aardoppervlak en versterkt het smeltproces van nabijgelegen ijsmassa's.

Soortenverschuiving en verlies

Door de stijgende gemiddelde temperaturen en de verandering van neerslagpatronen verschuiven klimaatzones wereldwijd. Dit heeft directe en indirecte gevolgen voor de geografische verspreiding van flora en fauna (Europese commissie, z.d.; Klimaat.be, z.d.) Talrijke dier- en plantensoorten reageren door hun leefgebied naar het noorden te verplaatsen, dit in een poging hun ideale leefomgeving te behouden. De snelheid waarmee klimaatzones verschuiven, overstijgt echter vaak de migratiecapaciteit van veel soorten, waardoor populaties niet tijdig geschikte habitats kunnen bereiken. Soorten die reeds aan de noordelijke limiet van hun verspreidingsgebied leven zullen zich niet verder kunnen verplaatsen en lopen daardoor een verhoogd risico op lokale of volledige uitsterving. Of dieren kunnen geconfronteerd worden met onoverkomelijke barrières zoals grote watermassa's, stedelijke gebieden of gefragmenteerde landschappen en lopen hierdoor ook een verhoogd risico. Planten en dieren die op hun buurt afhankelijk zijn van deze soorten lopen op hun buurt een verhoogd risico op uitsterving. De snelle verschuiving van klimaatzones vormt daarom een ernstige bedreiging voor de biodiversiteit (Europese Commissie, z.d.; Klimaat.be, z.d.).

Ook mariene soorten ondervinden de gevolgen van de temperatuurstijging en opwarming van het zeewater. Vastzittende organismen hebben niet veel keuze bij de veranderende omstandigheden en sterven vaak af. Soorten die zich wel kunnen verplaatsen zoeken frissere oorden op en verplaatsen zich richting de polen (VLIZ, 2021; Klimaat.be, z.d.).

Ook de economisch gevolgen zijn niet te onderschatten. Soorten die decennia lang rendabel waren binnen bepaalde klimaatzones zullen als gevolg van de stijgende temperatuur en droogte niet meer onder optimale omstandigheden kunnen geteeld worden. Dit dwingt landbouwbedrijven tot ingrijpende aanpassingen wat gepaard gaat met grote investeringskosten (Europese commissie, z.d.; Klimaat.be, z.d.).

6. Huidige klimaatbeleid

6.1 Geschiedenis van mondiaal klimaatbeleid

Het huidige klimaatbeleid kent zijn oorsprong in 1979, toen de eerste wereldklimaatconferentie in Geneve werd georganiseerd onder leiding van het WMO (World Meteorological Organization), een gespecialiseerde organisatie van de VN (Verenigde Naties). Op dit congres werd klimaatverandering voor het eerst als een ernstig mondiaal vraagstuk op tafel gelegd. De conferentie formuleerde een oproep aan overheden wereldwijd om proactieve maatregelen te nemen om ernstige klimaatveranderingen te voorkomen (Informatiepunt leefomgeving, z.d. ; klimaat.be, z.d.).

Tijdens de conferentie van Toronto (1988) stelden 48 landen, samen met de Verenigde Naties, de ambitie vast om de wereldwijde CO₂-uitstoot tegen 2005 met 20% te reduceren ten opzichte van het niveau van 1988. Datzelfde jaar werd ook het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) opgericht om wetenschappelijke kennis omtrent klimaatverandering op te volgen en mogelijke beleidsopties te formuleren (Zie 5.2.1 IPCC).

Twee jaar later, in 1990, werd de tweede Wereldklimaatconferentie georganiseerd in Genève onder leiding van het WMO. Hier waren delegaties van 137 landen en de Europese Unie aanwezig. Deze tweede wereldklimaatconferentie resulteerde in een oproep tot de noodzaak van een internationaal klimaatverdrag. Dit resulteerde uiteindelijk in de Aardetop van Rio de Janeiro in juni 1992, kortweg RIO92. Tijdens deze conferentie werd uiteindelijk het Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering (UNFCCC) aangenomen (Informatiepunt leefomgeving, z.d.; klimaat.be, z.d.).

Vijf jaar later werd in Kyoto (1997) het eerste bindende protocol overeengekomen: het Protocol van Kyoto. Dit voorzag een eerste verbintenisperiode van 2008 tot 2012, waarin industrielanden als doel stelde hun broeikasgasemissies met 5% te verminderen ten opzichte van het niveau van 1990. Het protocol introduceerde eveneens een handhavingsmechanisme en de oprichting van een mondiale emissierechtenmarkt (Informatiepunt leefomgeving, z.d.; klimaat.be, z.d.).

Eind 2012 werd een tweede akkoord bereikt onder het Protocol van Kyoto. De landen die zich engageerden, verbonden zich tot een collectieve emissiereductie van ten minste 18% ten opzichte van 1990. Toch moet worden opgemerkt dat de ondertekenende landen slechts verantwoordelijk waren voor circa 15% van de wereldwijde uitstoot. Dit aangezien enkele belangrijke industriële grootmachten, waaronder de Verenigde Staten, Canada, Japan en Rusland, weigerden nieuwe verbintenissen aan te gaan (Informatiepunt leefomgeving, z.d.; klimaat.be, z.d.).

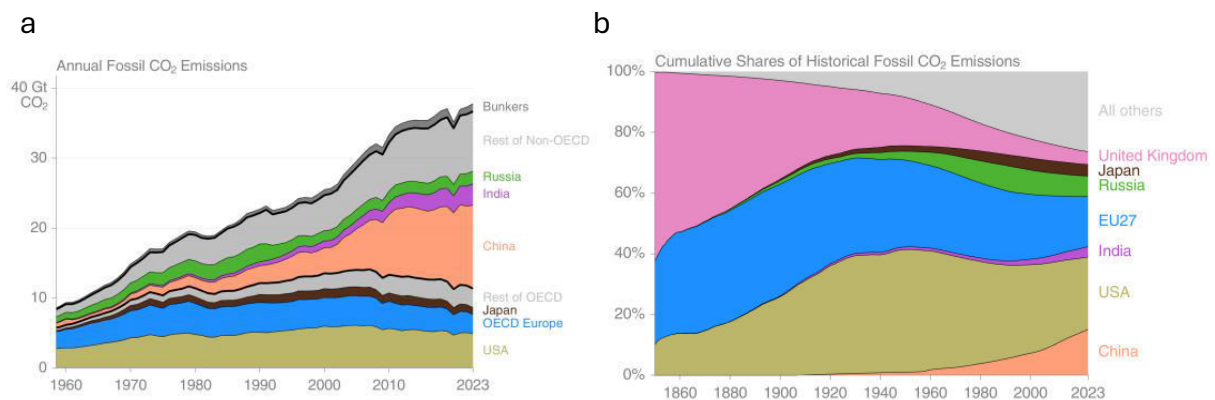
De laatste belangrijkste klimaatop was deze in Parijs in 2015. Dit ambitieuze en juridisch bindende akkoord werd ondertekend door 195 landen. Het akkoord beoogt de mondiale temperatuurstijging tot 2 °C ten opzichte van het pre-industriële niveau te beperken, met inspanningen tot 1,5 °C. De Overeenkomst van Parijs vormt sindsdien de hoeksteen van het mondiale en nationale klimaatbeleid voor de komende decennia (Informatiepunt leefomgeving z.d.; klimaat.be, z.d.).

Na de klimaatop van Parijs werden geen grote nieuwe overeenkomsten bereikt, maar tijdens de jaarlijkse klimaatconferenties die daarop volgden, werden wel belangrijke onderwerpen besproken. Zo werd tijdens de klimaatop in Dubai (2023) het Loss & Damage-fonds officieel operationeel, een fonds dat al sinds 2009 werd beloofd en voor het eerst werd genoemd tijdens de klimaatop in Sharm-el-Sheikh het jaar daarvoor. Het fonds heeft als doel jaarlijks 100 miljard dollar aan ontwikkelingslanden te doneren voor klimaatactie. Het verzamelt geld bij rijke, vervuilende landen om de klimaatschade in arme landen te compenseren, die de zwaarste gevolgen van klimaatverandering ondervinden. Volgens de OESO (Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling) werd het streefbedrag voor het eerst in 2022 bereikt. Dat China, als tweede grootste economie ter wereld en grootste vervuiler, nog steeds als ontwikkelingsland wordt beschouwd en dus niet hoeft bij te dragen aan de financiering, leidt echter tot onenigheid (Mitchell & Wickstead, 2024; Torfs, 2023; Biedenkopf & Debeuf, z.d.; OECD, z.d.).

6.1.1 Discussies in het klimaatbeleid

Huidige versus cumulatieve uitstoot

Een frequent terugkerend discussiepunt tijdens internationale klimaatonderhandelingen betreft de verdeling van verantwoordelijkheid voor klimaatverandering en de daaraan gekoppelde verplichtingen. Vandaag is China de grootste uitstoter van CO₂ (Figuur 14a). Wanneer echter wordt gekeken naar de cumulatieve emissies, blijkt dat Europa en de Verenigde Staten historisch gezien het grootste aandeel hebben in de totale mondiale uitstoot sinds het begin van de industriële revolutie(Figuur 14b) (Global Carbon Project, 2024).



Figuur 14: Evolutie van de (a) historische en (b) cumulatieve CO₂ uitstoot per land sinds de start respectievelijk sinds 1960 en van 1860 (Global Carbon Project, 2024).

Het free-riderprobleem

De gevolgen van klimaatverandering overschrijden de nationale grenzen. De maatregelen die noodzakelijk zijn om de klimaatverandering te beperken, ook wel klimaatmitigatie genoemd, brengen vaak hoge economische kosten met zich mee. Dit leidt tot terughoudend van landen om ambitieuze klimaatinspanningen te leveren. Hierdoor ontstaat het zogenaamde free-riderprobleem (Bachus, 2024). Landen die zelf geen inspanningen leveren, profiteren van de klimaatinspanningen van andere landen zonder zelf bij te dragen. Deze problematiek werd onlangs nogmaals duidelijk wanneer president Trump voor de tweede keer de USA uit het klimaatverdrag van Parijs haalde (NOW Nieuws, 2025).

Free-riders hebben op korte termijn een dubbel voordeel. Enerzijds dragen de collectieve inspanningen van andere landen bij aan de aanpak van het klimaatprobleem. Daarnaast behouden zij hun concurrentiele en economische voordelen door de lagere klimaatinvesteringen. Dit mechanisme vormt een aanzienlijke belemmering voor de totstandkoming van bindende en ambitieuze mondiale klimaatafspraken (Bachus, 2024).

6.2 Huidig klimaatonderzoek

6.2.1 Het Intergovernmental Panel on Climate Change

The Intergovernmental Panel on Climate Change

De Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is het wetenschappelijke orgaan van de Verenigde Naties dat zich toelegt op de evaluatie van de wetenschappelijke kennis met betrekking tot klimaatverandering. Het werd opgericht in 1988 door het United Nations Environment (UNEP) en de World Meteorological Organization (WMO) met als doel beleidsmakers regelmatig te voorzien van wetenschappelijke beoordelingen. Rapporten behandelen de gevolgen en potentiële toekomstige risico's van klimaatverandering en formuleren mogelijke adaptatie- en mitigatiestrategieën.

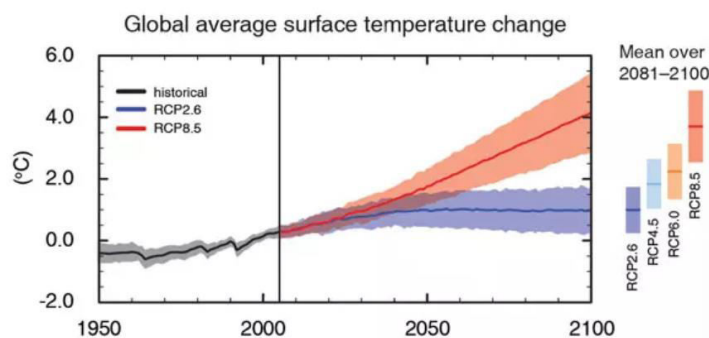
Het IPCC brengt de stand van zaken binnen de wetenschappelijke gemeenschap over klimaatverandering in kaart. Daarbij wordt ook geduid over welke thema's reeds een brede consensus bestaat en welke thema's verdere wetenschappelijke studie vereisen. De rapporten waarborgen zoveel mogelijk transparantie en objectiviteit en hebben een adviserende, neutrale en beleidsrelevant functie maar schrijven geen beleid uit. Ze vormen wel een essentieel document binnen de internationale onderhandelingen omtrent klimaatverandering (IPCC, 2021; klimaat.be, z.d.).

Projecties voor de toekomst

Het IPCC becijfert ook een reeks toekomstscenario's: de Representative Concentrations Pathways (RCP). Deze beschrijven de mondiale gevolgen afhankelijk van de evolutie in broeikasgasuitstoot. De scenario's variëren van een beleid met een sterke mitigatie aanpak (RCP 2.6) tot een scenario waarin de uitstoot van broeikasgassen blijft toenemen volgens een "status quo"-scenario (RCP 8.5) (klimaat.be; z.d.).

De voorspellingen omtrent de wereldwijde gemiddelde temperatuurstijging tegen 2100 zijn sterk afhankelijk van het gehanteerde emissiescenario. Zelfs onder het meest ambitieuze mitigatiescenario, RCP 2.6, verwacht IPCC een gemiddelde temperatuurstijging verwacht van 0,3 tot 1,7 °C ten opzichte van de referentieperiode 1986–2005. Dit scenario is momenteel het enige pad waarmee de wereldwijde temperatuurstijging tot onder de 2°C kan worden beperkt. Dit vereist echter een aanzienlijke en snelle reductie van de antropogene uitstoot van broeikasgassen: tegen 2030 zou een daling van circa 20% ten opzichte van 2010 gerealiseerd moeten zijn, tegen 2075 zou de netto-uitstoot tot nul herleid moeten worden. Indien men de temperatuurstijging tot maximaal 1,5 °C wil beperken, is een nog ambitieuzere reductie noodzakelijk, met een daling van ongeveer 45% tegen 2030 en klimaatneutraliteit tegen 2050 (IPCC,2013; Klimaat.be, z.d.).

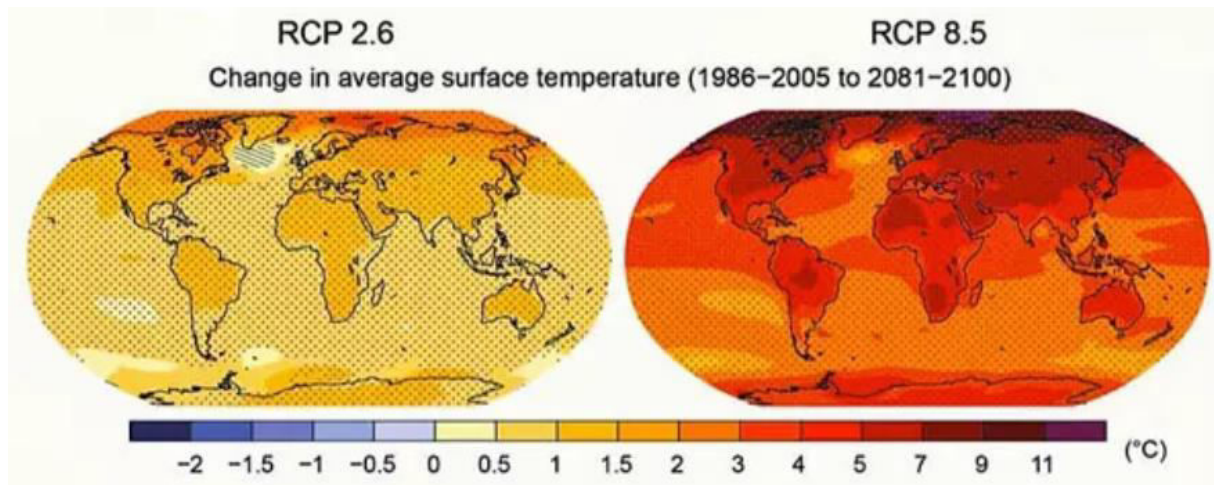
Deze temperatuurstijging kan oplopen tot 2,6 - 4,8 °C in geval van de minder ambitieuze scenario's (Figuur 15). Hoewel RCP 8.5 het meest pessimistische scenario betreft, beschrijft dit scenario de actuele emissietrends het meest accuraat (klimaat.be, z.d.).



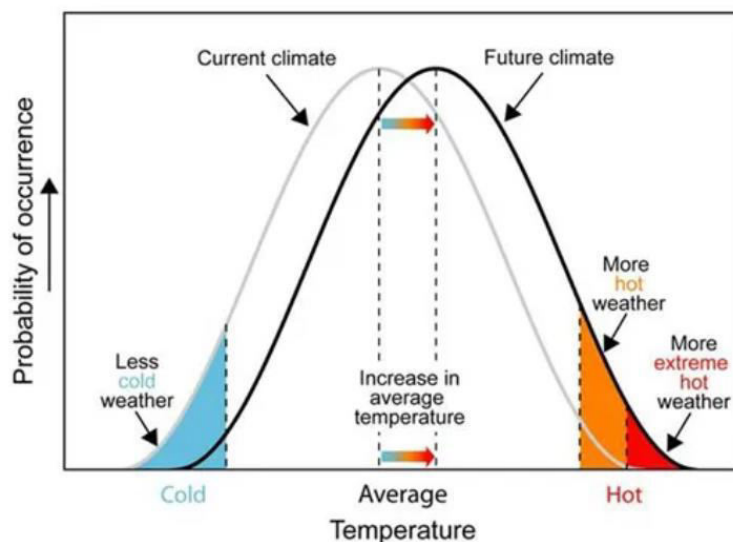
Figuur 15: Historische en voorspelde gemiddelde temperatuurverandering van het aardoppervlak. Grijs lijn geeft de gemeten temperatuurevolutie weer tot in 2012, gekleurde en

rode lijn de voorspelde temperatuurwijziging volgens IPCC scenario's RCP2.6 (blauwe lijn, maximale mitigatie) en RCP8.5 (rode lijn, status quo) van 2012 tot 2100 (IPCC, 2013).

Daarnaast is het vrijwel zeker dat extreem warme temperaturen frequenter en intensiever zullen voorkomen, terwijl extreem koude temperaturen zullen afnemen (Figuur 17). Ook het aantal en de duur van hittegolven zullen volgens de projecties toenemen, zonder dat daarmee occasionele uitzonderlijk koude periodes volledig uitgesloten worden (Figuur 16) (IPCC, 2013; klimaat.be, z.d.).



Figuur 16: Spatiale verdeling van de verandering in oppervlakte temperatuur in de periode 2081-2100 ten opzichte van 1986-2005 volgens scenario RCP2.6 (maximale mitigatie, links) en RCP8.5 (status quo, rechts) (IPCC, 2013).



Figuur 17: Schematische voorstelling van de gevolgen van een verschuiving van de gemiddelde mondiale temperatuur (David Hone, 2012).

De temperatuurstijging zal ruimtelijk heterogeen verlopen. In alle scenario's wordt verwacht dat het noordpoolgebied sneller zal opwarmen dan andere regio's. Bovendien zal de gemiddelde temperatuurstijging aan het aardoppervlak groter zal zijn dan boven de oceanen door het sterke warmte-bufferend vermogen van water (IPCC, 2013).

6.2.2 ICOS

Het Integrated Carbon Observation System, of kortweg ICOS, is een observatienetwerk in Europa dat gegevens verzamelt over broeikasgassen (zoals CO₂, CH₄ en N₂O) in de atmosfeer, in ecosystemen en in de oceaan.

Het doel van ICOS is om wetenschappers en beleidsmakers te ondersteunen bij het nemen van beslissingen rondom klimaatmitigatie en adaptatie, op basis van betrouwbare en gestandaardiseerde gegevens over de broeikasgasemissies en -opnames. Door een uitgebreid netwerk van meetstations geven ze een inzicht in hoe het klimaat verandert en hoe de koolstofcyclus werkt.

ICOS beschikt over een uitgebreid netwerk van meer dan 180 meetstations voor atmosfeer, ecosystemen en oceanen verspreid over 16 landen in Europa (ICOS, 2024).

ICOS in België

België heeft in totaal 12 meetstations, verdeeld over de drie observatienetwerken (ICOS, 2024) :

- 3 oceaanstations
- 8 ecosysteemstations
- 1 atmosfeerstation

Het netwerk omvat twee overzeese stations, één in de Democratische Republiek Congo (ecosysteemstation) en één op het eiland Réunion (atmosfeer station).

De universiteit van Antwerpen speelt een belangrijk rol in het ICOS netwerk van België. Deze fungeert als nationaal coördinatiepunt en is medeorganisator samen met Frankrijk en Italië van het Ecosysteem Thematisch Centrum (ETC). De universiteit van Antwerpen is voornamelijk verantwoordelijk voor het verzamelen en verwerken van aanvullende data. Het thematisch centrum voor de atmosfeer is gelokaliseerd in Finland en Frankrijk en voor de oceaan in Finland.

Unicums voor België (ICOS, 2024) :

- Het ecosysteemstation van Brasschaat en Vielsalm behoren tot de langstlopende en meeste complete fluxstations ter wereld.
- In het nationaal park van Maasmechelen bevindt zich het eerste meetstation in Europees heidegebied waar broeikasgassen worden gemeten.
- Het meetstation in Congo is het eerste station in Centraal-Afrika die fluxmetingen uitvoert.
- Het oceaanstation, Thornton boei, is een van de weinig vaste oceaanstations met een betrouwbare Wi-Fi en mobiele verbinding, dit dankzij het nabijgelegen windmolenpark.

7. Onderwijs

Onderwijs kan een sleutelrol spelen bij het aanpakken van klimaatverandering. Door jongeren correct te informeren en te activeren, kan het draagvlak voor de politieke keuzes die nodig zijn om klimaatverandering tegen te gaan, worden vergroot. Een gebrek aan steun voor klimaatbeleid kan daarentegen leiden tot maatschappelijke onrust of weerstand.

In het volgende thema lichten we wat de overheid van onderwijsinstellingen verwacht met betrekking tot de onderwerpen rond klimaatverandering en hoe leerkrachten deze momenteel behandelen. Er wordt extra aandacht besteed aan KlimaatLink, aangezien het lespakket dat in het kader van deze thesis werd ontwikkeld in samenwerking met hen tot stand kwam.

7.1 Eindtermen en leerplandoelen

De eindtermen van de Vlaamse overheid vormen de basis voor zowel het katholieke als het gemeenschapsonderwijs bij het opstellen van hun eigen leerplannen. Voor de volledigheid worden ook deze leerplannen meegenomen in de analyse. Ze zijn gebaseerd op de eindtermen en zouden in principe geen nieuwe doelen mogen toevoegen.

Voor zowel het katholieke als het gemeenschapsonderwijs wordt in leerplannen verwacht dat leerlingen de koolstofcyclus en het broeikaseffect begrijpen. Ook klimaatverandering als gevolg van de toename van broeikasgassen (het versterkte broeikaseffect) wordt in beide leerplannen behandeld.

Tabel 2: Overzicht van de eindtermen van de Vlaamse overheid en leerplandoelen van het katholiek en het gemeenschapsonderwijs.

Memorie* = Extra info m.b.t. LPD – Vlaamse overheid. Wenk** = Extra info m.b.t. LPD – Katholiek onderwijs

Eindtermen Vlaamse overheid (Vlaamse overheid, 2024)

1. Wetenschappen:

LPD 6.31: Doorstroomfinaliteit: De leerlingen leggen het verband tussen materie- en energiestromen in een ecosysteem.

Memorie*

Materie- en energiestromen zoals fotosynthese, ademhaling, watercyclus, C-cyclus, N-cyclus.

2. Ruimtelijk bewustzijn:

LPD 09.06: Doorstroomfinaliteit of LPD 09.05 – Dubbele finaliteit: De leerlingen analyseren oorzaken en gevolgen van het versterkt broeikaseffect.

Memorie*

Oorzaken van het versterkt broeikaseffect zoals evolutie van de belangrijkste broeikasgassen in de atmosfeer en de herkomst ervan.

Gevolgen van het versterkt broeikaseffect zoals stijging van het zeepijl, verschuiven van klimaten en verspreidingsgebieden van planten en dieren, spreiding van tropische ziektes, extreme weerfenomenen.

Leerplannen Katholiek Onderwijs (Katholiek Onderwijs Vlaanderen, 2024)

1. Natuurwetenschappen

LPD 15 B: De leerlingen leggen het verband tussen materie- en energiestromen in een ecosysteem.

Wenk**: Energiestromen zoals fotosynthese en (cel)ademhaling en materiële stromen zoals watercyclus, C-cyclus, N-cyclus komen aan bod.

Je beperkt je best tot het principe van de biologische cyclus in plaats van die chemisch te benaderen.

2. Aardrijkskunde

LPD 12: De leerlingen analyseren de bijdrage van verschillende antropogene bronnen van broeikasgassen in verschillende regio's tot het versterkte broeikaseffect.

Wenk**: Je kan hier verwijzen naar het natuurlijke broeikaseffect van het systeem aarde. Het toenemende gebruik van fossiele brandstoffen brengt de opgeslagen fossiele C massaal terug in de lucht waardoor de koolstofcyclus uit evenwicht geraakt met het versterkte broeikaseffect als gevolg.

Wenk**: De verschillende antropogene bronnen van broeikasgassen dragen bij tot een versterkt broeikaseffect.

Wenk**: Via de global warming potential kan je verschillende broeikasgassen met elkaar vergelijken inzake hun bijdrage tot de opwarming. Wat is hun effect in ruimte en tijd (residentietijd)?

Leerplan GO! Onderwijs (GO!, 2024)

Basisvorming

BV2_09.06: De leerlingen analyseren oorzaken en gevolgen van het versterkt broeikaseffect.

- koolstofcyclus, stralingsbalans, albedo, andere broeikasgassen
- evolutie en herkomst van de broeikasgassen
- veranderingen in structuren en patronen in het landschap als gevolg van klimaatverandering

7.2 Lesmateriaal

Veel leerkrachten maken tijdens hun lessen gebruik van invulboeken. In 2021 bestond 90% van de gebruikte leermiddelen uit invulboeken die door uitgeverijen werden aangeleverd (Maenhout & Carpentier, 2021). De kritiek op deze methode neemt de laatste jaren echter toe. Invulboeken zouden de onderwijskwaliteit verlagen en niet altijd in overeenstemming zijn met de leerplandoelen. In veel gevallen wordt de verwerking van de leerstof door uitgeverijen gereduceerd tot het invullen van vragen op vooraf voorziene lijntjes (Van Droogenbroek, 2025; Beckers & Maenhout, 2024).

Het gebruik van meer interactieve en activerende werkvormen leidt daarentegen tot betere leerresultaten en een grotere interesse bij de leerlingen (Bhatia, 2014). Een recent onderzoek naar het gebruik van escaperooms in het onderwijs toont aan dat deze methode effectiever is dan traditioneel onderwijs voor het bevorderen van actief leren (He et al. 2024)

Klassieke leer- en invulboeken

Een korte studie van klassieke leer- en invulboeken van de tweede graad leidt tot de volgende vaststellingen. Voor biologie werden de handboeken Van In (GENIE+), Pelckmans (Focus) en Plantyn (WACO) onderzocht. Voor aardrijkskunde werden de handboeken Van In (Telescoop), Pelckmans (Zone), Plantyn (Polaris) en de digitale methode bekeken. (Meyers et al., 2024; Neijts et al., 2024; Bongaert et al., 2024; Foubert et al., 2024; Vandenhoute et al., 2024; De Smet et al., 2024)

Biologie (vierde middelbaar, doorstroomrichting):

- De koolstofcyclus komt slechts kort aan bod.
- Celademhaling en fotosynthese worden gekoppeld aan de atmosfeer.
- Andere koolstofreservoirs worden niet behandeld.

Aardrijkskunde:

- Zowel de koolstofcyclus als het broeikaseffect komen uitgebreid aan bod.
- Doorstroomfinaliteit: derde middelbaar; dubbele finaliteit: vierde middelbaar.
- Uitleg van de verschillende reservoirs (sommige boeken gebruiken de geosfeer in plaats van de lithosfeer).

- Koolstofcyclus en interacties tussen reservoirs worden volledig uitgelegd.
- Het elektromagnetisch spectrum en verschillende soorten straling komen aan bod.
- Natuurlijk en versterkt broeikaseffect, inclusief de verschillende broeikasgassen, wordt behandeld.
- Gevolgen van een verstoorde koolstofcyclus en versterkt broeikaseffect worden besproken.

Tekortkomingen:

- Niet alle handboeken leggen het begrip GWP uit.
- Het verschil tussen verschillende biotopen en koolstofopslag wordt niet altijd uitgelegd; de nadruk ligt vooral op de overgang van tropisch regenwoud naar landbouw.
- Het ontbreekt de handboeken aan interactieve aanpak van de leerstof.

Klimaatbrigade en Climate challenge

Verschillende organisaties hebben interactieve platformen ontwikkeld rond klimaatverandering. Zo werkten WWF-België en de FOD Volksgezondheid samen aan klimaatopschool.be, dat bestaat uit twee interactieve websites. Enerzijds is er de Klimaatbrigade, bedoeld voor leerlingen van de derde graad van het basisonderwijs en het eerste jaar van het secundair onderwijs. Anderzijds is er de Climate Challenge, gericht op leerlingen van de tweede en derde graad van het secundair onderwijs. Beide websites behandelen dezelfde onderwerpen, maar met een verschillende aanpak en diepgang. Ze maken gebruik van artikelen, fiches met proefopstellingen en video's om de leerstof uit te leggen, en korte meerkeuzequizzes om de kennis te toetsen en te verankeren. Zowel de koolstofcyclus, het broeikaseffect als de verschillende broeikasgassen komen aan bod. Ook de gevolgen van klimaatverandering voor zowel de natuur als de mens worden uitgebreid behandeld (Klimaat.be, z.d.).

PlaneetZee - VLIZ

Waar de eerder genoemde sites nog sterk aansluiten bij het klassieke onderwijs, pakt VLIZ (Vlaams Instituut voor de Zee) het creatiever en interactiever aan. Vanuit hun lesmodules PlaneetZee ontwikkelden ze een escaperoom voor leerlingen van de tweede en derde graad van het secundair onderwijs. De focus ligt hierbij op het belang van de oceaan in de klimaatproblematiek, met speciale aandacht voor de invloed van ontwrichting van de koolstofcyclus op het zeeleven en de oceaan als geheel (D'Haese, 2024: PlaneetZee, 2022).

KlimaatLink

KlimaatLINK is een non-profit initiatief van de Universiteit Antwerpen dat tot doel heeft klimaatonderwijs te ondersteunen en de kloof tussen wetenschappelijk klimaatonderzoek en het secundair onderwijs te overbruggen. De kernactiviteit van dit project bestaat uit het ontwikkelen van gratis educatief materiaal rond klimaatverandering. Op die manier wil KlimaatLINK het maatschappelijk bewustzijn over klimaatopwarming en de gevolgen ervan rechtstreeks bij jongeren verhogen aangezien zij de burgers, werknemers en beleidsmakers van de toekomst vormen (Universiteit Antwerpen, z.d.).

Momenteel biedt KlimaatLINK vier lespakketten aan voor het secundair onderwijs:

1. Het klimaatprobleem
2. Oplossing voor het klimaatprobleem
3. Knappe K(n)oppen
4. Klimaat op school – Op onderzoek in de bodem

DEEL 2: Ontwikkeling van het lespakket

8. Opbouw van een lespakket

In het kader van deze masterproef werd een vijfde lespakket ontwikkeld voor KlimaatLink: Lespakket The great esCape. Dit pakket focust op klimaatopwarming en de samenhang tussen de koolstofcyclus en het broeikaseffect.

Dit lespakket laat leerlingen op een interactieve en speelse manier kennismaken met de koolstofcyclus, broeikaseffect en de klimaatproblematiek. In de eerste plaats is het doel om de vooropgestelde leerplandoelen te bereiken op een creatieve en activerende manier. De bruikbaarheid van dit lespakket wordt gegarandeerd aangezien de leerplandoelen worden afgevinkt.

Door de leerstof te verwerken in escaperooms worden leerlingen gestimuleerd om actief bezig te zijn met de leerstof en zal dit zich vertalen in het beter blijven onthouden van de kennis in vergelijking met het klassiek lesgeven (He et al. 2024).

Het streefdoel van dit lespakket is om de intrinsieke motivatie van leerlingen en hun betrokkenheid bij de klimaatproblematiek te vergroten. Door hen op een speelse en uitdagende manier met dit thema te confronteren, zullen leerlingen hun eigen handelen in vraag durven stellen en deze waar nodig bij sturen.

8.1 Doelgroep

Voor de inhoud van de escaperoom is uitgegaan van de leerplandoelen van de Vlaamse overheid. Op die manier richt het lespakket zich voornamelijk op leerlingen in de doorstroomrichtingen van de tweede graad, met name op leerlingen uit het vierde middelbaar. In mindere mate is het ook relevant voor leerlingen in de dubbele finaliteit en arbeidsfinaliteit (Vlaamse overheid, 2024).

8.2 Opbouw escaperoom

Story telling

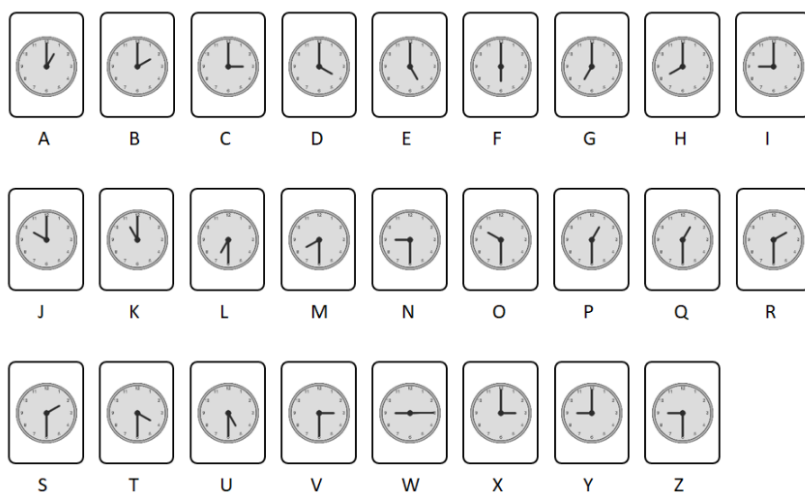
Een belangrijk element van een geslaagde escaperoom is een boeiend en spannend verhaal. Een verhaal dat leerlingen prikkelt en enthousiasmeert om aan het spel te beginnen. In de escaperoom kunnen ook tips en aanwijzingen verwerkt zitten die helpen om de puzzels op te lossen, maar dit is geen verplichting.

8.3 Soorten codes

Een groot deel van de codes die in deze escaperooms wordt gebruikt, zijn bestaande codes die vaak voorkomen in klassieke escaperooms. Daarnaast werden er voor dit lespakket ook enkele unieke codes ontwikkeld, zoals het golflengte-alfabet en enkele puzzels.

Klokkenalfabet

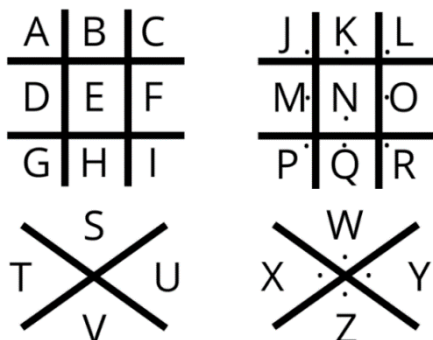
Bij het klokkenalfabet kan je via de stand van de wijzers een letter afleiden. Deze techniek wordt toegepast in 'The Great EscCape' (Geocachen.be).



Figuur 18: Klokkenalfabet (Geocachen.be).

Rozenkruisersgeheimschrift

Het Rozenkruisersgeheimschrift is een vaak gebruikte code in escaperooms en vindt zijn oorsprong bij de vrijmetselaars. In 'Code Rood' wordt deze code toegepast (Geocachen.be).



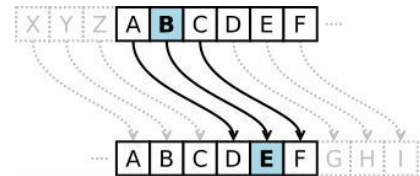
Figuur 19:

Rozenkruisersgeheimschrift, elk symbool stelt een letter voor. Voorbeeld: '[] < >' vertaalt zich naar 'hut' (Geocachen.be).

Caesarcijfer

Het Caesarcijfer is, zoals de naam al doet vermoeden, een versleuteling die teruggaat tot de tijd van Julius Caesar. Dit coderingssysteem staat ook bekend als de Caesarrotatie. De code werkt met behulp van twee draaischijven met daarop de letters van het alfabet. In een boodschap worden de letters een vast aantal plaatsen in het alfabet te verschuiven. Bijvoorbeeld, met een verschuiving van 3 wordt A → D, B → E, enzovoort.

Met behulp van de draaischijven kan men een versleutelde boodschap eenvoudig ontcijferen. In deze escaperoom wordt deze code toegepast in 'Code Groen' (Wikipedia, z.d.).



Figuur 20: Caesarschijf (Wiki, z.d.).

Morse

Ook morsecode is een veelgebruikte code in escaperooms. In 'Code Blauw' bevinden de leerlingen zich in een onderzeeër waardoor de link met morsecode snel gelegd is. In morsecode worden letters voorgesteld door een combinatie van puntjes en streepjes. De volgorde en het aantal van deze tekens bepalen de betekenis van de boodschap (Wikipedia z.d.).

Golflengte alfabet

Het golflengtealfabet is een zelf ontwikkelde code speciaal voor deze escaperoom. In deze code komt elke letter overeen met een specifieke golflengte binnen het zichtbare lichtspectrum én een bijhorende kleur. Deze code kan op verschillende manieren ingezet worden. Je kan bijvoorbeeld een kleur linken aan de bijhorende letter, of aan de golflengte die op zijn beurt weer naar een ander element in de escaperoom verwijst.

In 'Code Groen' duikt dit alfabet op in de vorm van een regenboog met een ongewoon kleurpatroon.

Figuur 21: Golflengte alfabet

LETTER	GOLFLENGTE (NM)	KLEUR
A	380	
B	396	
C	412	
D	428	
E	444	
F	460	
G	476	
H	492	
I	508	
J	524	
K	540	
L	556	
M	572	
N	588	
O	604	
P	620	
Q	636	
R	652	
S	668	
T	684	
U	700	
V	716	
W	732	
X	748	
Y	764	
Z	780	

8.4 Gebruik van AI

Reve Create en Canva AI werden gebruikt voor het genereren van afbeeldingen die in de escaperooms worden toegepast. Voor eenvoudige tekeningen, zoals de kompaskaarten en voorbladen werd Reve Create gebruikt.

Een voorbeeld van een prompt voor het genereren van het voorblad van ‘Code Groen’:

“ A 3D animated scene shows a person with vibrant green shoulder-length hair and tears streaming down their face, standing next to a tall deciduous green tree in a forest. The tree is the only tree still standing upright, surrounded by numerous fallen tree trunks lying scattered on the ground. The person wears a simple brown jacket and blue pants while reaching out to touch the remaining tree's smooth bark. Stumps of cut trees dot the bare dirt ground throughout the clearing, with the single standing tree's broad green leaves contrasting against a cloudy grey sky. 3D computer animation with Pixar-style rendering featuring smooth textures and realistic lighting effects. “

Voor het maken van de tekening van de escaperooms, waarin heel wat details en puzzels werden verwerkt, ging dit minder eenvoudig. Deze tekeningen werden stukje per stukje gegenereerd via schetsen en achteraf nog bijgewerkt via Canva AI en Photoshop. Op het einde van dit proces werden alle verschillende afbeeldingen bij elkaar gepuzzeld tot één grote afbeelding.

DEEL 3: Voorstellen van het lespakket

9. Voorstelling lespakket

Tijd blijft de achilleshiel van veel leerkrachten op twee manieren. Ten eerste ontbreekt het leerkrachten vaak aan tijd om een nieuwe les uit te werken. Ten tweede is er vaak te weinig tijd om iets extra te behandelen of uit te proberen naast het handboek. Om te zorgen dat dit lespakket effectief in scholen wordt gebruikt, moet het aansluiten bij de leerplandoelen rond klimaat en een deel van de cursus kunnen vervangen.

Het lespakket is op zijn buurt modulair opgebouwd, waardoor leerkrachten zelf kunnen kiezen welke onderdelen ze willen gebruiken en hoeveel tijd ze eraan willen besteden.

9.1 Modulair

Het lespakket is zo modulair mogelijk opgebouwd. Concreet betekent dit dat de ontwikkelde escaperoom ook afzonderlijk kan worden ingezet, zonder dat men de theorielessen uit dit pakket bespreekt. De inhoudelijke thema's en begrippen die in de escaperooms aan bod komen, sluiten aan bij de algemene leerplandoelen en daarom ook de bestaande handboeken van het secundair onderwijs.

Bovendien is het mogelijk om de volledige escaperoom op te splitsen in drie afzonderlijke, kortere modules. Deze kunnen flexibel worden geïntegreerd in de lessen, bijvoorbeeld als activerende startopdracht (entry ticket) of als verwerkingsopdracht bij het lesafsluit (exit ticket).

De verschillende mogelijkheden op een rijtje:

1. Het organiseren van een klimaatdag op school waarbij alle delen worden behandeld.
2. De theorielessen worden vooraf behandeld en de leerstof wordt verwerkt door de leerlingen. Op een later moment (bijv. einde trimester) wordt de escaperoom gespeeld als herhalingsmoment.
3. De escaperoom wordt gesplitst en gebruikt als entry of exit ticket.
4. De grote escaperoom kan op twee verschillende manieren worden georganiseerd. Enerzijds kan ervoor gekozen worden om de volledige escaperoom sequentieel of in serie te laten doorlopen door de groepjes, waarbij alle leerlingen samen alle drie de codes (rood, blauw en groen) oplossen. Voor deze werkvorm zijn twee lesuren nodig.
Anderzijds bestaat de mogelijkheid om de groepjes tijdens de escaperoom te splitsen, zodat de verschillende codes parallel, of gelijktijdig, worden gespeeld. Op deze manier kan de volledige escaperoom binnen één lesuur worden afgerond.
5. De escaperoom kan gebruikt worden als activerend en zelfstandig leermiddel zonder voorafgaand theorielessen te geven. Op deze manier gaan leerlingen zelf op zoek naar de antwoorden in de bijgeleverde Top secret-bundeltjes.

9.2 Opbouw lespakket

DEEL 1 t.e.m. 4: Theorie over klimaatverandering

De eerste vier delen behandelen de theorie die nodig is om de escaperooms tot een goed eind te kunnen brengen. Tussen haakjes vind je de leerplandoelen die hiermee behaalt worden.

DEEL 1: klimaatverandering (KOV: LPD12 – GO!: BV2_09.06)

In dit deel wordt via krantenartikelen ontdekt hoe klimaatverandering - of beter de gevolgen ervan - in het nieuws worden vermeld. Het begrip klimaatverandering wordt verduidelijkt. Via een stellingenspel wordt de voorkennis van de leerlingen onderzocht en desnoods bijgestuurd of verbeterd.

DEEL 2: broeikaseffect (KOV: LPD12 – GO!: BV2_09.06)

In deel 2 wordt het verschil tussen natuurlijk en versterkt broeikaseffect uitgelegd via een aantal videofragmenten. In deze onderzoeksoopdracht worden de verschillende broeikasgassen en hun eigenschappen behandeld, waarbij leerlingen voor elk gas een ID-kaart opstellen.

DEEL 3: koolstofcyclus (KOV: LPD15 – GO!: BV2_09.06)

Deel 3 behandelt de koolstofcyclus, die via een puzzel aan bod komt. Leerlingen krijgen puzzelstukken met de belangrijkste componenten van de koolstofcyclus en proberen deze in de juiste volgorde te plaatsen. Dit deel werd overgenomen uit een reeds bestaande lespakket van KlimaatLink (Lespakket klimaatLINK 2 – Oplossingen voor het klimaatprobleem) (KlimaatLink, 2022).

DEEL 4: gevolgen van klimaatverandering (KOV: LPD12 – GO!: BV2_09.06)

Via een hoekenwerk (doorschuifstelsel) behandelen leerlingen de belangrijkste gevolgen van klimaatverandering (smelten van de permafrost, extreem weer, smelten van land en zee-ijs en verzuring) en maken ze kennis met ICOS.

Deze lessen dragen bij aan het vormen van een theoretische kader over klimaatverandering. Via verschillende werkvormen maken leerlingen kennis met begrippen zoals de koolstofcyclus, de broeikasgassen, het broeikaseffect, het albedo, etc.

De theorielessen sluiten sterk aan bij de bestaande lespakketten 'Klimaatprobleem' en 'Oplossingen voor de klimaatproblematiek'. Deze kennis is essentieel om de escaperooms succesvol te doorlopen. Men kan er dus ook voor kiezen om de escaperooms uit het lespakket The great esCape te gebruiken als aanvulling op de twee reeds bestaande lespakketten.

DEEL 5 : Van theorie naar oefeningen in interactieve escaperooms

Voor DEEL 5 werd een escaperoom ontwikkeld waarbij de leerlingen worden uitgedaagd om de verwerkte leerstof uit de voorgaande theorielessen te gebruiken om het spel tot een goed eind te brengen. Deze leerlingen gaan op een interactieve en speelse manier aan de slag met leerstof over de koolstofcyclus en broeikaseffect en worden uitgedaagd om deze leerstof op een andere manier toe te passen dan bij klassieke oefeningen het geval is.

De grote escaperoom bestaat uit vier kamers. Eén daarvan is de tijdcapsulekamer, het vertrekpunt van waaruit je naar de andere ruimtes kunt reizen. In deze kamer vinden de leerlingen vier deuren, elk verwijzend naar een reservoir uit de koolstofcyclus. Naar drie van de vier kamers kan effectief gereisd worden: de atmosfeer, biosfeer en hydrosfeer.

Elke deur leidt naar een kamer die volledig in het teken staat van dat specifieke reservoir:

Escape room code Blauw - Oceaan (Hydrosfeer)

In de hydrosfeer bevinden de leerlingen zich in een onderzeeër en moeten ze een jonge klimaatactivist redden die is ontvoerd door diepzeedieren.

Escape room code Groen - Land (Biosfeer)

In de biosfeer proberen ze de laatste overlevende boom op aarde in leven te houden.

Escape room code Rood – Atmosfeer

In de atmosfeer stijgt het aantal broeikasgassen zodanig dat een onderzoekscentrum dreigt verloren te gaan en is het aan de leerlingen om dit te voorkomen.

In de escaperooms wordt gebruik gemaakt van easter eggs, kompaskaarten en Top secret-bundeltjes:

Easter eggs

Tijdens het uitdenken en uittekenen van de escaperooms werden ook enkele easter eggs verwerkt. Het vinden van deze verborgen details is geen vereiste om de escaperoom tot een goed einde te brengen, maar vormt een leuk extraatje voor de oplettende leerling (of leerkracht).

Kompaskaarten

Elke escaperoom wordt begeleid door vier kompaskaarten. Deze kaarten zijn bedoeld om leerlingen te oriënteren en te ondersteunen tijdens het spel. Op een cryptische manier geven de kaarten de richting aan waarin de leerlingen moeten zoeken naar een antwoord. Zo kunnen ook spelers met minder ervaring in het oplossen van escaperooms het spel afronden binnen een haalbare tijd.

Hoe en wanneer deze kompaskaarten worden ingezet, hangt grotendeels af van de doelgroep en hun ervaring met escaperooms en wordt mede bepaald door de leerkracht. Men kan ervoor kiezen om de leerlingen de kaarten tijdens de escaperoom te laten gebruiken, of juist helemaal niet. Ook kan ervoor worden gekozen om de leerlingen zelf te laten beslissen of ze de kaarten willen gebruiken en op welk tempo ze dit doen.

Top secret-bundeltjes

Je kunt de escaperoom gebruiken als een manier om de leerstof te toetsen, maar ook als een leermiddel waarmee leerlingen zelfstandig de lesstof kunnen ontdekken. Elke escaperoom kan worden aangevuld met een bundeltje, de zogenaamde Top secret-files, waarin krantenartikelen, grafieken en teksten zitten die alle benodigde informatie en leerstof bevatten om de escaperoom succesvol te doorlopen.

DEEL 6: Beleidsmakers

In het laatste deel worden de leerlingen gestimuleerd om zelfstandig na te denken over mogelijke maatregelen om de klimaatverandering tegen te gaan. De nadruk ligt hierbij expliciet op kleinschalige en haalbare acties die leerlingen op individueel niveau kunnen ondernemen. Dit zonder dat hiervoor ingrijpende beleidsmaatregelen of overheidsinterventies vereist worden.

DEEL 4: Testen en evalueren

10. Testen en evalueren

Het testen van de escaperoom gebeurde in drie fasen. Allereerst werd de escaperoom getest door het team van KlimaatLink bij het indienen van de masterproef in eerste zittijd. Bij het herwerken van de escaperoom in tweede zittijd werd deze nog tweemaal getest: enerzijds door familie en vrienden met achtergrondkennis in de wetenschap, en anderzijds door collega's met een pedagogische achtergrond.

10.1 Test Klimaatlink

Na het indienen van mijn lespakket in eerste zittijd ontving ik feedback door het team van KlimaatLink met mogelijke verbeterpunten. Het volgende werd aangepast in de escaperooms.

The great esCape

- Kompaskaarten in plaats van jokerkaarten: deze kaarten dienen niet als directe tips, maar als begeleiding of opdrachten om het juiste oplossingstraject te volgen.
- Onder het klokkenalfabet staan namen van steden in plaats van landen.
- De kleuren van de deuren komen overeen met de legende van ICOS.
- Het koolstofpuzzelspel wordt meegegeven in correcte vorm, zonder fouten.
- De hendels van het bedieningspaneel worden daarentegen op sommige plaatsen in een verkeerde stand gezet; het doel is nu om deze correct te plaatsen.
- Een andere activeringscode werd gekozen: 'Habitat'.

Met kleurtjes op het antwoordenblad werd duidelijk waar welke letter gebruikt moest (H van hydrosfeer in blauw, A van atmosfeer in rood en de B van biosfeer in blauw). Zo kregen ze de eerste drie letters.

De andere letters verkregen ze door de foutieve hendels naar de juiste richting te wijzen. Van links naar rechts komt dan '-itat' tevoorschijn op het bedieningspaneel.

- Het jaartal voor de eindcode werd veranderd van 1960 naar 1760.

Code rood

- Het puzzelstukjes CH₂ werd aangepast naar CH₄.
- De kleur van de puzzelstukjes werd aangepast, zodat het contrast tussen de kabels en de achtergrond groter is. Hierdoor is de boodschap makkelijker leesbaar.
- Een voorbeeld van hoe het rozenkruisers geheimschrift moet worden vertaald, werd toegevoegd aan het verhaal.
- Er werd bodem en verse sneeuw toegevoegd aan de tekening.
- Er werd bodem zichtbaar gemaakt aan de mammoet.
- Er werd een zon toegevoegd aan de tekening om het smelten duidelijker weer te geven.
- De tips werden aangepast.
- Op de tekening staan drie albedopijlen: sneeuw, ijs en water, elk met een verschillende letter in de pijl.
- Het antwoordblad werd aangepast om het eindwoord eenvoudiger te vinden.

Code blauw

- Op de boekenkast werden, ter verduidelijking, pijltjes naar boven en naar beneden geplaatst. Deze pijltjes zijn ook zichtbaar op de grafiek en het locatie-instrument.
- Bovenaan de boekenkast werd een naambordje met 'DE ZEE' geplaatst.
- De morsecode voor Ierland werd aangepast van EI naar IE.
- Het antwoord in het Google Form werd gewijzigd van D2 naar B4.
- Er werd een tip toegevoegd om duidelijk te maken dat enkel naar de oceaanstations gekeken moet worden.

Code groen

- Het antwoordblad werd verduidelijkt door een duidelijke link naar fotosynthese toe te voegen en een uitleg te geven voor het optellen van de coëfficiënten.
- Het golvenalfabet werd aangepast om het onderscheid tussen de verschillende kleuren duidelijker te maken.
- De kleuren van de regenboog werden afgestemd op het nieuwe golvenalfabet en de volgorde werd omgekeerd.
- Er werden extra miertjes getekend om de link tussen de regenboog en de boom te verduidelijken.
- In de boom werd een pijl toegevoegd om het ontcijferen van de boodschap duidelijker te maken.
- Het bordje bij de boom werd verwijderd en vervangen door vier puzzelstukjes met daarop vier verschillende biotopen. Bij elke biotoop staat een locatie in coördinaten. Deze coördinaten kunnen met behulp van het golvenalfabet worden vertaald naar het woord 'recycle'.

10.2 Test met vrienden en familie

De eerste test vond plaats samen met mijn man, schoonbroer en buurman. Alle drie hebben zij een ruime kennis van de wetenschappen, en zowel mijn man als mijn schoonbroer hebben mijn masterthesis nagelezen. Hun kennis van wetenschap is dus relatief hoog, terwijl hun kennis van pedagogiek en escaperooms eerder beperkt is. Na de test werden volgende dingen gewijzigd.

Algemeen

Er werden Top secret-bundeltjes gemaakt met daarin teksten, nieuwsberichten, grafieken, ..., die de minimale kennis bevatten die nodig is om de escaperoom tot een goed einde te brengen.

The great esCape

- Het logo van ICOS werd toegevoegd aan de legende.
- Een andere activeringscode werd gekozen: Reset Earth. Er werd gebruikgemaakt van een woordpuzzelopmaak, zodat de letters eenvoudiger op de juiste plaats in de activeringscode konden worden ingevuld. Het bedieningspaneel met foutieve hendels werd aangepast naar hendels die allemaal in de middenpositie staan. Door omgekeerd te denken kon men nu ook tot het antwoord komen: je gaat ervan uit dat alle hendels fout staan en kiest deze letters. De eerste drie letters zijn al bekend dankzij de deuren, en via de streepjes is het aantal benodigde letters te achterhalen. Zo kon het woord ook worden gevonden zonder de koolstofpuzzel op te lossen. De hendels kregen nu allemaal een kleur die overeenkomt met de pijlen van de koolstofpuzzel, en een nummer dat overeenkomt met hun positie in de activeringscode.

Code Blauw

- Het opschrift 'X marks the spot' werd toegevoegd op het locatie instrument
- Er werd overgestapt naar een kaart met enkel de locatie van de oceaanstations. Elk meetstation word weergegeven d.m.v. een blauwe stip met hierin een nummer.
- Er word geen gebruik meer gemaakt van vier landen maar van vier cijfers om de juiste locatie te vinden.

Code Groen

- De vertaling van de coördinaten naar 'recycle' bleek foutief: recycle telt zeven letters, terwijl er acht letters nodig waren. Het codewoord is daarom gewijzigd in 'reforest'.
- Aan de tekening werd een blauwe pijl toegevoegd die verwijst naar water.
- Op het antwoordblad verschijnen de drie verschillend gekleurde pijlen om de koppeling duidelijker te maken. Bovendien wordt het cijfer '1' op het antwoordblad als hint meegegeven.

10.3 Test met collega's

De laatste test vond plaats met enkele collega's van school. Hun kennis van pedagogiek is zeer hoog, evenals hun ervaring met het oplossen van escaperooms. Eén van de drie collega's werkt bovendien mee aan het ontwikkelen van wiskunde-escaperooms. Hun kennis van wetenschap is daarentegen eerder beperkt. Eén collega had ter voorbereiding wel mijn masterthesis gelezen.

Tijdens het oplossen van de escaperooms kregen zij steeds het mapje, top-secret bundeltjes, met alle benodigde kennis mee om elke escaperoom tot een goed eind te brengen. Na de test werden volgende dingen gewijzigd:

The great esCape

- Een extra kompaskaart werd toegevoegd om de eindcode te kunnen vinden.

Code rood

- De afbeelding werd in portretmodus gezet in plaats van landschapsmodus. Hierdoor zijn de puzzelstukjes groter en beter leesbaar.
- Er werden vraagtekens toegevoegd in de toren, om duidelijk te maken dat hier de puzzelstukjes moeten komen.

Code blauw

- Een pijlpunt werd toegevoegd aan de tekening om de weg van de grafiek naar de boekenkast duidelijker te maken.

11. Besluit

Klimaatverandering is een probleem van gisteren, vandaag en morgen. Als de overheid deze problematiek wil aanpakken en daarvoor draagvlak bij de bevolking wil creëren, is het noodzakelijk dat die bevolking ook de kernconcepten van deze problematiek begrijpt. Een onwetend persoon is immers het moeilijkst te overtuigen. Inzetten op de jeugd is dan ook essentieel om oplossingen te bieden voor deze problematiek. Dat de gedrevenheid bij jongeren groot is, werd duidelijk tijdens de klimaatmarsen onder leiding van Greta Thunberg en Anuna De Wever. Toch is de onwetendheid bij een groot deel van de jeugd en hun gevoeligheid voor fake news even groot. Het is daarom belangrijk om de kernconcepten van deze klimaatcrisis op een educatieve en toegankelijke manier te vertalen, zodat ze begrijpelijk en relevant zijn voor jongeren.

Met dit lespakket wordt ingezet op het op een interactieve manier uitleggen van het klimaatprobleem, met de focus op de koolstofcyclus en het broeikaseffect. Het begrijpen van de koolstofcyclus, met de verschillende reservoirs en de verbindingen daartussen, en van het broeikaseffect is essentieel om te begrijpen waarom de gemiddelde mondiale temperatuur stijgt en wat klimaatverandering veroorzaakt.

Daarnaast wordt stilgestaan bij de gevolgen van de verstoring van deze systemen en de impact hiervan op mens en dier. De directe gevolgen zijn voor jongeren zichtbaar via nieuwsberichten, maar de indirecte gevolgen, zoals de verzuring van de oceanen, zijn vaak minder bekend.

Hoe jongeren zelf kunnen bijdragen en hun eigen gedrag in vraag kunnen stellen en eventueel bijsturen, vormt een essentieel sluitstuk van dit lessenpakket. Verandering begint immers bij de jeugd. Zij geven hun waarden en normen door aan de volgende generatie, waardoor een positieve terugkoppelingsmechanisme ontstaat, net zoals we er al enkele in de natuur en deze masterproef zijn tegengekomen.

De verdere uitrol en ontwikkeling van dergelijke lessenpakketten is van groot belang om bij jongeren een kritische geest te vormen, zodat ze onderbouwd kunnen meedenken over beslissingen van bovenaf of deze net durven in vraag te stellen.

12. Bijlagen

12.1 Syntheseverslag – Communicatie met promotor(en)

Datum	Omschrijving
8/nov	Afspraak met de promotor(en) voor een eerste toetsing van het onderwerp en het aftoetsen van de verwachtingen bij beide partijen, via een Teams-vergadering.
2/dec	Afspraak in Brasschaat aan het meetstation van ICOS met de promotoren. Meer duiding over ICOS, verwachtingen en mogelijkheden. Tijdens dit bezoek werd er meer duiding gegeven over ICOS, de verwachtingen en de mogelijkheden binnen dit project. Er werden ideeën uitgewisseld over welke onderwerpen aan bod konden komen. De promotoren gaven daarnaast ook enkele tips en verwezen naar interessante websites om me verder op weg te helpen bij het uitwerken van deze masterproef.
11/dec	Uitwerken van een eerste onderzoeksplan ter gelegenheid van seminarie 1.
19/apr	Communicatie over de voorlopige versie en stand van zaken. De literatuurstudie werd door de promotor bijgestuurd door middel van een aanzet en aangepaste opbouw.
20/mei	Sturen van de voorlopige versie van de masterproef. De ontvangen feedback werd verwerkt en geïntegreerd in het finale product.
4/ juli	Na het indienen van de masterproef in eerste zit werd een feedback document opgesteld door zowel de promotor als het team van KlimaatLink. Deze feedback werd gebruikt om de masterproef te herwerken.

12.2 Lespakket

In bijlage vindt u het volledig ontwikkeld lespakket terug:

- I. Handleiding voor de leerkracht
- II. Deel 1: Powerpoint – The Great EsCape
- III. Deel 1: Uitleg bij figuren Klimaatprobleem
- IV. Deel 2: ID's – Broeikasgassen
- V. Deel 3: Powerpoint – The Great EsCape
- VI. Deel 3: Koolstofpuzzelspel
- VII. Deel 4: Hoekenspel
- VIII. Deel 4: Hoekenspel – Eilandblaadjes
- IX. Deel 4: Hoekenspel – Verbetering
- X. Deel 5: Tekeningen escaperooms (The Great Escape – Code Groen – Code Rood – Code Blauw)
- XI. Deel 5: Verhaallijnen
- XII. Deel 5: Antwoordbladen
- XIII. Deel 5: Voorbladen
- XIV. Deel 5: Geheimschriften
- XV. Deel 5: Kompaskaarten
- XVI. Deel 5: Top secret bundels
- XVII. Deel 5: Koolstofvoorraden Code groen
- XVIII. Deel 5: Caeser Cipher

Als je interesse hebt in het gebruik van dit lespakket, raad ik je sterk aan om te surfen naar de site van klimaatLINK waar je de bijlages op een overzichtelijke manier kunt terugvinden en in de juiste bestand types.

13. Bronnen

A. Bongaerts, I. D. (2024). *Waco Biologie*. Berchem: Plantyn.

Bachus, K. (2024). *Blackboard - Milieubeleid*. Opgehaald van Uantwerpen: https://lms.uantwerpen.be/ultra/courses/_109290_1/outline

Beckers, K., & Maenhout, K. (2024, Maart 5). *Invulboeken zijn vaak het geld niet waard: “Sommige zijn zelfs nefast voor de onderwijskwaliteit”*. Opgehaald van De Standaard: <https://www.standaard.be/binnenland/invulboeken-zijn-vaak-het-geld-niet-waard-sommige-zijn-zelfs-nefast-voor-de-onderwijskwaliteit/40742013.html>

Bhatia, A. (2014, Mei 12). *Active Learning Leads to Higher Grades and Fewer Failing Students in Science, Math, and Engineering*. Opgehaald van <https://www.wired.com/2014/05/empzeal-active-learning/>

Biodivers zorggroen. (2022, april 24). *Biodivers zorggroen*. Opgehaald van Oorzaken van klimaatverandering: <https://biodiverszorggroen.be/bibliotheek-item/oorzaken-van-klimaatverandering/>

Boele, G. (2025, april 4). *Het begrijpen van de koolstofkringloop*. Opgehaald van ABN AMRO: https://assets.ctfassets.net/1u811bvgvthc/1LXAjoxiyNXnPlb3eD8sxD/26bd3243c14aa2cd32f2ec7ef6790dff/250404_-_Koolstofkringloop.pdf

Broom, D. (2023, juli 2023). *What are the world's biggest natural carbon sinks?* Opgehaald van World Economic Forum: <https://www.weforum.org/stories/2023/07/carbon-sinks-fight-climate-crisis/>

Center for science education. (sd). *Electromagnetic (EM) Spectrum*. Opgehaald van UCAR - Center for science education: <https://scied.ucar.edu/learning-zone/earth-system/electromagnetic-spectrum>

Climate science investigation . (sd). *Energy the drive of climate - The greenhouse effect* .
Opgehaald van Climate Science investigations:
<https://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/how-greenhouse-effect-works.php>

ClimateChallenge.be. (sd). *Klimaatverandering*. Opgehaald van Climatechallenge.be:
<https://climatechallenge.be/nl/themas/het-klimaat-verandert>

Copernicus. (sd). *Koolstofopslag*. Opgehaald van Copernicus:
<https://marine.copernicus.eu/nl/explainers/why-ocean-important/carbon-storage>

Copernicus. (sd). *Ocean Acidification*. Opgehaald van Copernicus:
<https://marine.copernicus.eu/explainers/phenomena-threats/ocean-acidification>

Copernicus. (sd). *Waarom is de oceaan belangrijk? Zee-ijs*. Opgehaald van Marine Copernicus:
<https://marine.copernicus.eu/nl/explainers/why-ocean-important/sea-ice>

Debeuf, K. B. (sd). *Schadevergoedingsfonds: slechts één stap in een lang proces*.
Opgehaald van KU LEUVEN:
<https://soc.kuleuven.be/sway/verhalen/schadevergoedingsfonds-is-slechts-%C3%A9%C3%A9n-stap-in-een-lang-proces-we-moeten-lessen-trekken-uit-bestaande-klimaatfondsen>

D'Haese, B. (2024). *Kan jij ontsnappen?* Opgehaald van VLIZ:
<https://www.vliz.be/nl/imis?module=ref&refid=392372>

Droogenbroeck, K. V. (2025, april 3). *Lesgeven volgens het boekje is niet genoeg, blijkt uit studie van Katholiek Onderwijs Vlaanderen*. Opgehaald van De Morgen:
<https://www.demorgen.be/snelnieuws/lesgeven-volgens-het-boekje-is-niet-genough-blijkt-uit-studie-van-katholiek-onderwijs-vlaanderen~b2820898/>

Europees parlement . (2023, maart 23). *Klimaatverandering: de broeikasgassen die de opwarming van de aarde veroorzaken*. Opgehaald van Europees parlement:
<https://www.europarl.europa.eu/topics/nl/article/20230316STO77629/klimaatverandering-de-broeikasgassen-die-de-opwarming-van-de-aarde-veroorzaken>

- Europese commissie. (sd). *Gevolgen van de klimaatverandering*. Opgehaald van Climate action Europe: https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_nl
- Eurostat. (2009). *Nearly half of the population of EU countries with a*. Opgehaald van Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3433488/5281405/KS-SF-09-047-EN.PDF/121dae7c-a53c-464a-baca-a314e652f4e7>
- Falkowski, P. (2012, Februari 29). *Ocean Science: The power of plankton*. Opgehaald van Nature: <https://www.nature.com/articles/483S17a#:~:text=Although%20they%20account%20for%20less,world's%20land%20plants%20combined2>.
- Foubert, R., Herreman, M., Rondoux, B., Sloomans, T., & Smets, E. (2024). *Telescoop*. Wommelgem: VAN IN.
- Garric, A. (2024, juli 30). *Le monde*. Opgehaald van Land carbon sinks collapsed in 2023, a stark warning of climate changes to come: https://www.lemonde.fr/en/environment/article/2024/07/30/terrestrial-carbon-sinks-collapsed-in-2023_6704503_114.html?
- Geheimschrift*. (sd). Opgehaald van Juf karines speurneuzen: <https://detectieve-speurneus.webnode.nl/geheimschrift/>
- Global Carbon Project. (2022). *Supplemental data of Global Carbon Budget 2022 (Version 1.0) [Data set]*. Opgehaald van Global Carbon Project: <https://doi.org/10.18160/gcp-2022>
- GO! (2024, Januari 1). *Leerplan tweede graad - secundair onderwijs - doorstroom*. Opgehaald van GO! pro: <https://pro.g-o.be/themas/leerplannen/tweede-graad-sekundair-onderwijs/doorstroomfinaliteit/>
- Gokul Gaudel. (2016, Januari). *The Global Terrestrial Carbon Stocks, Status of Carbon in Forest and Shrub Land of Nepal, and Relationship between Carbon Stock and Diversity*. Opgehaald van ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/331087537_The_Global_Terrestrial_C

arbon_Stocks_Status_of_Carbon_in_Forest_and_Shrub_Land_of_Nepal_and_Rel
ationship_between_Carbon_Stock_and_Diversity

Guanqin Wang, Y. P. (2024, april 30). *Enhanced response of soil respiration to experimental warming upon thermokarst formation*. Opgehaald van Nature geoscience: <https://www.nature.com/articles/s41561-024-01440-2>

He, Y., Chen, X., Huijuan, Zhao, R., Zhou, H., & Yang, Y. (2024, Augustus 2). *Effectiveness of Escape Room in Medical Education: A Systematic Review and Meta-Analysis*. Opgehaald van PubMed: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39093839/>

Heylen, K. (2019, Januari 25). *Sterke stijging van CO2-gehalte in de lucht voorspeld dit jaar, "net geen record"*. Opgehaald van vrt news: <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2019/01/25/met-office-verwacht-opnieuw-grote-toename-co2-in-2019/>

Hone, D. (2012, april 5). *Starting to understand extreme weather*. Opgehaald van Blogs Shell: <https://blogs.shell.com/2012/04/05/extreme/>

ICOS. (2024). Opgehaald van STANDARDISED GREENHOUSE GAS MEASUREMENTS THROUGHOUT EUROPE: <https://www.icos-cp.eu/>

ICOS. (2024). *2024 ICOS Handboek - Knowledge through observations*. Helsinki: ICOS ERIC.

ICOS. (2024). *Fluxes - The European Greenhouse Gas Bulletin, Volume 3*. Opgehaald van <https://doi.org/10.18160/FZ5X-FA8T>

Informatiepunt leefomgeving. (sd). *Internationale klimaatakkoorden en generieke wetgeving*. Opgehaald van informatiepunt leefomgeving: <https://iplo.nl/thema/klimaatverandering/klimaatwetgeving/internationale-klimaatakkoorden-generieke/>

IPCC. (2013). *CLIMATE CHANGE 2013*. Opgehaald van IPCC: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf

IPCC. (sd). *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Opgehaald van IPCC:
<https://www.ipcc.ch/>

Jan Huizinga, B. K. (2019, december). *Data analyse sterfte bij hitte*. Opgehaald van HKV
Lijn in water:
https://klimaatadaptatienederland.nl/publish/pages/172678/pr4012_20_hitte_events_en_oversterfte_of_overmortaliteit.pdf

Katholiek Onderwijs Vlaanderen. (2024, Januari). *Katholiek onderwijs Vlaanderen*.
Opgehaald van Aardrijkskunde B - 2de graad - D-finaliteit:
<https://pro.katholiekonderwijs.vlaanderen/leerplan-ii-aar-d>

Katholiek Onderwijs Vlaanderen. (2024, Januari). *Katholiek Onderwijs Vlaanderen*.
Opgehaald van Natuurwetenschappen B+S - 2de graad - D-finaliteit:
<https://pro.katholiekonderwijs.vlaanderen/ii-nats-d>

Klimaat.be. (2023, januari 24). *De laatste 8 jaar waren de warmste ooit gemeten voor de wereld*. Opgehaald van Klimaat.be: <https://klimaat.be/news/2023/de-laatste-8-jaar-waren-de-warmste-ooit-gemeten-voor-de-wereld>

Klimaat.be. (2023, januari 2023). *Een onverbidde stijging*. Opgehaald van Klimaat.be:
<https://klimaat.be/news/2023/de-laatste-8-jaar-waren-de-warmste-ooit-gemeten-voor-de-wereld>

Klimaat.be. (sd). *De impact van menselijke activiteiten op CO₂ en klimaatverandering*.
Opgehaald van Klimaat.be:
<https://klimaat.be/klimaatverandering/oorzaken/invloed-van-de-mens>

Klimaat.be. (sd). *De opwarming van de aarde*. Opgehaald van Klimaat.be:
<https://klimaat.be/klimaatverandering/waargenomen-veranderingen/opwarming-van-de-aarde>

Klimaat.be. (sd). *Een jarenlang proces met belangrijke mijlpalen*. Opgehaald van
Klimaat.be: <https://klimaat.be/klimaatbeleid/internationaal/een-jarenlang-proces>

Klimaat.be. (sd). *Het broeikaseffect... een natuurlijk verschijnsel*. Opgehaald van Klimaat.be: <https://klimaat.be/klimaatverandering/oorzaken/broeikaseffect>

Klimaat.be. (sd). *Impact op de biodiversiteit*. Opgehaald van Klimaat.be: <https://klimaat.be/klimaatverandering/gevolgen/biodiversiteit>

Klimaat.be. (sd). *Impact op het vervoer*. Opgehaald van Klimaat.be: <https://klimaat.be/klimaatverandering/gevolgen/transport>

Klimaat.be. (sd). *IPCC-rapporten*. Opgehaald van Klimaat.be: <https://klimaat.be/klimaatverandering/waargenomen-veranderingen/ipcc-rapporten>

Klimaat.be. (sd). *Nieuw educatief platform: 'Klimaat op school!'* Opgehaald van Klimaat.be: <https://klimaat.be/in-belgie/communicatie-en-educatie/educatief-aanbod/klimaatopschool>

Klimaat.be. (sd). *Sociaal-economische impact*. Opgehaald van Klimaat.be: <https://klimaat.be/klimaatverandering/gevolgen/economie>

Klimaat.be. (sd). *Waargenomen veranderingen in België*. Opgehaald van Klimaat.be: <https://klimaat.be/in-belgie/klimaat-en-uitstoot/waarmeningen>

klimaat.vmm.be. (sd). *Wateroverlast*. Opgehaald van Vlaanderen is milieu: <https://klimaat.vmm.be/themas/wateroverlast#section-0>

KLIMAAT.VMM.BE. (sd). *Zeespiegelstijging*. Opgehaald van Vlaanderen is milieu: <https://klimaat.vmm.be/themas/zeespiegelstijging>

klimaatlink. (2022, oktober 14). *Lespakket het Klimaatprobleem*. Opgehaald van Klimaatlink: <https://hosting.uantwerpen.be/klimaatlink/lespakket-1/>

Klimaatlink. (2022, oktober 18). *Lespakket Oplossingen voor de klimaatproblematiek*. Opgehaald van Klimaatlink: <https://hosting.uantwerpen.be/klimaatlink/lespakket-2/>

KMI. (sd). *Atmosfeer*. Opgehaald van KMI: <https://www.meteo.be/nl/info/weerwoorden/atmosfeer#:~:text=De%20samenst>

elling%20van%20de%20atmosfeer,deeltjes%20en%20druppelvorming%20wordt%20bevorderd.

KMI. (sd). *Droogte*. Opgehaald van KMI:
<https://www.meteo.be/nl/info/weerwoorden/droogte>

KMI. (sd). *Klimaattrend in België*. Opgehaald van KMI:
<https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimaatverandering-in-belgie/klimaattrends-in-belgie>

KMI. (sd). *Weerwoorden*. Opgehaald van meteo.be:
<https://www.meteo.be/nl/info/weerwoorden/hittegolf>

KNMI. (2025, januari 10). *2024 warmste jaar ooit gemeten*. Opgehaald van KNMI.nl:
<https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/2024-warmste-jaar-ooit-gemeten#:~:text=Waar%20de%20warmte%20in%202023,warmste%20jaren%20uit%20de%20meetreeks>.

KNMI. (sd). *Uitleg over Droogte*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte>

KNMI. (sd). *Warme golfstroom*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/warme-golfstroom>

L, V., L., S., J., V. D., & E., V. H. (2024). *Zone 4*. Kalmthout: Pelckmans.

Lewis, S. L., & Maslin, M. A. (2018). *The Human Planet - How we created the Anthropocene*. UK: Penguin Random House.

Lindsey, R. (2023, augustus 22). *Climate Change: Global Sea Level*. Opgehaald van NOAA: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level>

Maenhout, K., & Carpentier, N. (2021, juni 11). *De zin en de onzin van een invulblad*. Opgehaald van De Standaard: <https://www.standaard.be/nieuws/de-zin-en-de-onzin-van-een-invulblad/47703092.html>

Maks, S. (2024, november 1). *20 jaar klimaatverandering en weersextremen: dit zijn 5 glasheldere conclusies*. Opgehaald van Changeinc.:

<https://www.change.inc/future-leadership/twintig-jaar-klimaatverandering-en-extreme-weersomstandigheden-dit-zijn-de-vijf-belangrijkste-conclusies-41314>

Mann, M. E. (2023, oktober 25). *Beyond The Hockey Stick: What We're Missing When We Talk About Climate Change*. Opgehaald van TIME: <https://time.com/6328017/climate-change-hockey-stick/>

Menga, M. (2013, juni 12). *The future of droughts: living on a drier planet*. Opgehaald van Foresight: <https://www.climateforesight.eu/articles/the-ipcc-focus-on-drought/>

Mertens, A. D. (2022). *Wat zijn oorzaken van klimaatverandering*. Opgehaald van Biodivers Zorggroen HOGENT : <https://biodiverszorggroen.be/bibliotheek-item/oorzaken-van-klimaatverandering/>

Meyers, K., Debode, E., D'hert, D., Holemans, K., & Vaonopré, B. (2024). *Genie Biologie 4*. Wommelgem: Van in.

Meysman, F. (2024). *Blackboard - Global Change*. Opgehaald van Uantwerpen: https://lms.uantwerpen.be/ultra/courses/_109551_1/outline

NASA. (sd). *Atmosferisch methaan*. Opgehaald van Earth Observatory: https://earthobservatory-nasa-gov.translate.goog/images/5270/atmospheric-methane?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=nl&_x_tr_hl=nl&_x_tr_pto=sge

Nature Scapes. (2025, april 9). *Fotosynthese*. Opgehaald van Nature Scapes: <https://www.nature-scapes.com/fotosynthese/>

Neijts, T. (2024). *Focus biologie*. Gent: Pelckmans.

news.belgium. (2015, november 20). *Europa lanceert een nieuw onderzoeksnetwerk voor het meten van broeikasgassen over het Europese continent*. Opgehaald van news.belgium: <https://news.belgium.be/nl/europa-lanceert-een-nieuw-onderzoeksnetwerk-voor-het-meten-van-broeikasgassen-over-het-europese>

NOAA. (2024, Augustus). *State of the Climate 2023*. Opgehaald van American Meteorological Society: https://ametsoc.net/sotc2023/SoCin2023_FullReport.pdf

- NOAA. (2025, April 27). *Trends in CO₂, CH₄, N₂O, SF₆*. Opgehaald van Global Monitoring Laboratory: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/weekly.html>
- NOAA. (sd). *Global Temperature Anomalies - Graphing Tool*. Opgehaald van climate.gov: <https://www.climate.gov/maps-data/dataset/global-temperature-anomalies-graphing-tool>
- NOAA. (sd). *Ocean acidification*. Opgehaald van NOAA: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>
- NOS Nieuws. (2025, januari 21). *NOS*. Opgehaald van Trump haalt VS opnieuw uit klimaatverdrag Parijs: <https://nos.nl/collectie/13983/artikel/2552635-trump-haalt-vs-opnieuw-uit-klimaatverdrag-parijs>
- Ocean Learning Hub. (sd). *Carbon Cycle*. Opgehaald van Ocean Learning hub: <https://www.whoi.edu/ocean-learning-hub/ocean-topics/how-the-ocean-works/cycles/carbon-cycle/#:~:text=This%20movement%20of%20carbon%20from,dioxide%20back%20into%20the%20atmosphere.>
- Ocean Learning Hub. (sd). *The pH scale*. Opgehaald van Ocean Learning Hub: <https://www.whoi.edu/ocean-learning-hub/ocean-topics/how-the-ocean-works/ocean-chemistry/ocean-acidification/the-ph-scale/#:~:text=Ocean%20water%20is%20normally%20slightly,a%20tenfold%20change%20in%20acidity.>
- OECD. (sd). *Climate Finance and the USD 100 billion goal*. Opgehaald van OECD: <https://www.oecd.org/en/topics/climate-finance-and-the-usd-100-billion-goal.html>
- Omgeving.vlaanderen.be. (sd). *Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF)*. Opgehaald van Omgeving.vlaanderen.be: <https://omgeving.vlaanderen.be/nl/klimaat-en-milieu/land-use-land-use-change-and-forestry-lulucf>

- Pierre Friedlingstein, M. O. (2023, december 5). *Global Carbon Budget 2023*. Opgehaald van Copernicus Publications: <https://essd.copernicus.org/articles/15/5301/2023/essd-15-5301-2023.pdf>
- PlaneetZEE. (2022, Mei 4). *PlaneetZee-scholenwedstrijd brengt het klimaat en de oceaan in de klas*. Opgehaald van PlaneetZEE: <https://www.planeetzee.be/planeetzee-scholenwedstrijd-brengt-het-klimaat-en-de-oceaan-de-klas>
- Reg Morisson. (2015). *Reg Morrison - A fresh perspective on life*. Opgehaald van Reg Morrison: <https://regmorrison.edublogs.org/articles/>
- Robson, C. (2013, oktober 1). *Diffusion of Atmospheric Carbon Dioxide of our Oceans*. Opgehaald van Futurism: <https://futurism.com/diffusion-of-atmospheric-carbon-dioxide-of-our-oceans-2>
- Roka, K. (2019, januari 19). *Anthropocene and Climate Change*. Opgehaald van Springer Nature link: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-71063-1_26-1
- Rozenkruisersgeheimschrift*. (sd). Opgehaald van Geocachen.be: <https://geocachen.be/geocaching/geocache-puzzels-oplossen/rozenkruisersgeheimschrift/>
- Ryu Uemura, H. M.-D.-A.-O. (2018, Maart 6). *Asynchrony between Antarctic temperature and CO₂ associated with obliquity over the past 720,000 years*. Opgehaald van Nationale Library of Medicine: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5840396/>
- Scott, M., & Lindsey, R. (2025, februari 26). *What's the hottest Earth's ever been?* Opgehaald van climate.gov: <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/whats-hottest-earths-ever-been>
- Sebastiaan Luyssaert, E. -Detlef Schulze, Annett Börner, Alexander Knohl, Dominik Hessenmöller, Beverly E. Law, Philippe Ciais & John Grace . (2021, oktober 24). *Old-growth forests as global carbon sinks*. Opgehaald van Nature: <https://www.nature.com/articles/nature07276>

- Serreze, M. (2008, augustus 8). *Why is the Arctic So Sensitive to Climate Change and Why Do We Care?* Opgehaald van NOAA: https://www.pmel.noaa.gov/arctic-zone/essay_serreze.html
- Sherwood, S. (2018, Oktober). *The global warming potential of near-surface emitted water vapour.* Opgehaald van ReaserchGate: https://www.researchgate.net/publication/327565344_The_global_warming_potential_of_near-surface_emitted_water_vapour
- Smet, J. D., Goemans, A., Micheiels, O., & Tuybens, J. (2024). *Polaris*. Berchem: Plantyn.
- Statistiek Vlaanderen. (2024, september 20). *Jaargemiddelde temperatuur*. Opgehaald van Statistiek Vlaanderen: <https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/milieu-en-natuur/jaargemiddelde-temperatuur>
- Steensig, S. (2025, mei 1). *Wolkbreuken – onvoorspelbaar en verwoestend*. Opgehaald van Wetenschap in beeld: <https://wibnet.nl/natuur/weer/wolkbreuken-onvoorspelbaar-en-verwoestend>
- Steffen, e. a. (2015). *Researchgate*. Opgehaald van Global Socio-economic Trends: https://www.researchgate.net/figure/Global-Socio-economic-Trends-Source-Steffen-et-al-2015_fig3_340945674
- steffen, W., Boradgate, W., Deutsch, L., & Ludwig, O. G. (2015, januari 16). *The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration*. Opgehaald van Sage Journals: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2053019614564785>
- Torfs, M. (2023, november 30). *"Belangrijkste klimaatop sinds Parijs 2015": waarom is COP28 in Dubai van belang en wat mogen we verwachten?* Opgehaald van vrt nws: <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2023/11/28/28e-klimaatconferentie-cop28-gaat-van-start-in-dubai-waarover/>
- Torfs, M. (2023, november 30). *Staan de ovatie voor fonds voor klimaatschade op COP28: "Historisch en fenomeneaal snel operationeel"*. Opgehaald van vrt nws: <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2023/11/30/fonds-voor-klimaatschade-is-officieel-in-werking-gesteld-op-de-k/>

Universiteit Antwerpen. (sd). *KlimaatLINK - De link tussen klimaatwetenschap en -onderwijs*. Opgehaald van Universiteit Antwerpen: <https://www.uantwerpen.be/nl/projecten/global-change-ecology/burgerwetenschap/klimaatlink/>

University of New Hampshire . (2009, mei 19). *AN INTRODUCTION TO THE GLOBAL CARBON CYCLE*. Opgehaald van University of New Hampshire : <https://www.alcsny.org/cms/lib/NY01001789/Centricity/Domain/374/Global%20Carbon%20Cycle.pdf>

Vlaamse overheid. (2024). *Onderwijsdoelen*. Opgehaald van Secundair onderwijs - 2de graad - na modernisering: https://onderwijsdoelen.be/resultaten?onderwijsstructuur=SO_2DE_GRAAD&version=V2_1&filters=onderwijsniveau%25B0%25D%25Bid%25D%3D0767c5a44ffdc8a05697bbe5b2021167fb49cf6e%26onderwijsniveau%25B0%25D%25Btitel%25D%3DSecundair%2520onderwijs%26onderwijsn

Vlaamse Overheid. (2024). *Secundair onderwijs - 3de graad - na modernisering*. Opgehaald van Onderwijsdoelen: https://onderwijsdoelen.be/resultaten?onderwijsstructuur=SO_3DE_GRAAD&version=V2_1&filters=onderwijsniveau%25B0%25D%25Bid%25D%3D0767c5a44ffdc8a05697bbe5b2021167fb49cf6e%26onderwijsniveau%25B0%25D%25Btitel%25D%3DSecundair%2520onderwijs%26onderwijsn

VLIZ. (2021). *Klimaat en de oceaan: zeespiegelstijging*. Opgehaald van Klimaat en de oceaan: https://planeetzee.be/sites/planeetzee.be/files/public/Zeespiegelstijging/Zeespiegelstijging_achtergrondinformatie-v4.pdf

VMM.VLAANDEREN.BE. (sd). *Hittegolven en andere temperatuurextremen*. Opgehaald van Vlaamse milieumaatschappij: <https://vmm.vlaanderen.be/feiten-cijfers/klimaat/klimaatthemas/hittestress/indicator-hittegolven-en-andere-temperatuurextremen?activeAccordion=fe2fe8ab-4f85-48e1-8fde-145fff987175>

VMM.VLAANDEREN.BE. (sd). *Klimaatverandering in Vlaanderen*. Opgehaald van Vlaamse milieumaatschappij: <https://vmm.vlaanderen.be/feiten->

cijfers/klimaat/klimaatverandering-in-vlaanderen?activeAccordion=eeb28b9a-2fee-4a1b-9346-e4f19206c693%2Ce670ac5c-eab1-4d3e-af9f-3f78672a419c

Wickstead, I. M. (2024, Mei 23). *\$100 Billion of Climate Finance Provided: Fact or Fiction?* Opgehaald van Center for Global Development: <https://www.cgdev.org/blog/100-billion-climate-finance-provided-fact-or-fiction?>

Wikikids. (sd). Opgehaald van Caesarcijfer: <https://wikikids.nl/Bestand:Caesar-cipher-template.svg>

Wikipedia. (sd). *Caesarcijfer*. Opgehaald van Wikipedia de vrije encyclopedie: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Caesarcijfer>

Wikipedia. (sd). *Morsecode*. Opgehaald van Wikipedia : https://en.wikipedia.org/wiki/Morse_code

Zauner, T. (2024, oktober 23). *Deep Sea Carbon and The Climate*. Opgehaald van Environment and Climate Research Hub - Universität Wien: <https://ech.univie.ac.at/story/deep-sea-carbon-and-the-climate/>

I. Handleiding voor de leerkracht



Lespakket

The Great EsCape

LESPAKKET ONTWERPEN VOOR DE TWEEDE GRAAD VAN
HET SECUNDAIR ONDERWIJS



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

KLIMAATLINK

Inleiding

Klimaatverandering is vandaag niet meer weg te denken uit onze samenleving. Overstromingen, bosbranden, hittegolven en hevige regenbuien halen bijna wekelijks het nieuws. Helaas duiken onder deze berichten ook steeds vaker zelfverklaarde ‘internetexperts’ en hardnekkige complottheorieën op. Het is dan ook belangrijk dat jongeren, en bij uitbreiding iedereen, de basismechanismen achter klimaatverandering goed begrijpen, zodat ze realiteit van ‘fake news’ kunnen onderscheiden.

Dit lespakket focust op twee cruciale systemen die de kern vormen van de klimaatproblematiek: het **broeikaseffect** en de **koolstofcyclus**.

Beide zijn nauw met elkaar verbonden en essentieel om het volledige verhaal te begrijpen. Daarnaast staan we stil bij de impact van klimaatverandering op natuur en mens.

Het pakket is opgebouwd met maximale **flexibiliteit** en volledig **modulair** naar jouw wensen. Je kiest zelf welke onderdelen je inzet, afhankelijk van je planning en de noden van je klas. Werk vakoverschrijdend, organiseer een klimaatdag of gebruik enkel de escaperooms als activerend herhalingsmoment, de keuze is aan jou.

We wensen je alvast veel plezier en succes... en hopelijk ontsnap je samen met je leerlingen op tijd uit de klimaatuitdaging!

Doelgroep, doelstellingen en eindtermen

Dit lespakket richt zich in de eerste plaats tot leerlingen van de **tweede graad** binnen de **doorstroomfinaliteit** en de **dubbele finaliteit**. Het werd opgebouwd op basis van de meest recente eindtermen, zowel voor het katholiek als het gemeentelijk onderwijs. Hierdoor kan het pakket dienstdoen als vervangend lesmateriaal voor bepaalde onderdelen van de cursus, zonder extra tijdsdruk te veroorzaken.

De bedoeling is om zowel leerlingen als leerkrachten bewust te maken van de

klimaatproblematiek en hen aan te moedigen om **kritisch** na te denken over klimaatverandering. Het pakket stimuleert leerlingen bovendien ook om een **eigen mening** te vormen en na te denken over mogelijke oplossingen, hoe klein ook, binnen hun eigen leefwereld. Want echte **verandering begint bij jezelf**.

Materiaal voor de leraar

- ✓ Dit lespakket ondersteunt en begeleidt leerkrachten bij het geven van lessen rond 'The Great esCape'. Het bundelt heldere informatie over de werking van de koolstofcyclus en het broeikaseffect. Wat dit pakket uniek maakt, is de manier waarop de leerstof wordt verwerkt: via een interactieve escaperoom. Leerlingen worden op een speelse en activerende manier uitgedaagd om de leerinhoud toe te passen en puzzels op te lossen, waardoor ze de thema's op een leerrijke én boeiende manier verkennen.
- ✓ Voor dit lespakket zijn connectie met het internet, beschikbaarheid van computers, tablets of smartphones bij opzoekwerk en escaperoom nodig.
- ✓ De escaperooms vind je terug in de map van Klimaatlink. Het is aan te raden om deze tijdig af te drukken, aangezien er nog wat knip- en voorbereidingswerk nodig is om de escaperooms speelklaar te maken voor de leerlingen.

Materiaal voor de leerlingen

- ✓ Voor sommige opdrachten van dit lespakket zijn werkbladen of invulbladen voor de leerlingen voorzien. Dit wordt telkens duidelijk vermeld in deze handleiding.

Inhoud

Dit lespakket is opgedeeld in zes onderdelen, goed voor een totaal van 6 tot 7 lesuren. Het kan volledig worden doorlopen tijdens een themadag, maar de leerkracht heeft ook de vrijheid om afzonderlijke delen te selecteren en in te passen binnen de eigen planning. De verschillende thema's zijn zo opgebouwd dat ze onafhankelijk van elkaar kunnen worden behandeld.

Sommige delen van dit lespakket zijn gerecycleerd uit voorgaande lespakketten van klimaatlink.

In het onderdeel rond de escaperooms wordt extra uitleg voorzien over de verschillende manieren waarop deze gespeeld en ingezet kunnen worden in de klaspraktijk.

DEEL 1

Wat is klimaatverandering? – 1 lesuur

1.1 Wat nieuws?

1.2 Wat is klimaatverandering?

DEEL 2

Wat is het broeikaseffect? – 1 lesuur

2.1 Broeikaseffect

2.2 Broeikasgassen

DEEL 3

Wat is de koolstofcyclus? – 1 lesuur

3.1 Koolstofpuzzelspel

3.2 Stellingenspel

DEEL 4

Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering? – 1 lesuur

4.1 Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering?

DEEL 5

Escaperoom – 1 tot 2 lesuren

5.1 The Great EsCape

5.2 Code Groen

5.3 Code Rood

5.4 Code Blauw

DEEL 6

Verandering begint bij jezelf! – 1 lesuur

6.1 Op onderzoek

6.2 Elevator pitch

Dankbetuiging

Dit lespakket kwam tot stand in het kader van mijn masterproef, opgesteld door Glenn De Meuleneir, onder begeleiding van Fran Lauriks en Marilyn Roland. Dit werk vormt het sluitstuk van mijn opleiding Master in de Milieuwetenschappen aan de Universiteit Antwerpen.

Het is aangeraden om de masterproef, waarop dit lespakket gebaseerd is, door te nemen. Zo fris je als leerkracht alle inhoudelijke kennis op die nodig is om dit lespakket te begeleiden. Je vindt de masterproef, samen met al het andere materiaal, terug op de website van klimaatLINK.

Voor de ontwikkeling van dit lespakket werd inspiratie gehaald uit bestaande pakketten van Klimaatlink en werden hier en daar elementen herwerkt of hergebruikt. Daarnaast werd er ook gebruikgemaakt van gegevens en materialen van ICOS (Integrated Carbon Observation System).



Lespakket

The Great EsCape

Deel 1

Wat is klimaatverandering?

LESPAKKET ONTWORPEN VOOR DE TWEEDE GRAAD VAN
HET SECUNDAIR ONDERWIJS



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

KLIMAATLINK

Korte inhoud

DEEL 1 van dit lespakket begint bij recente nieuwsbericht en legt het begrip klimaatverandering uit . De leerlingen

komen te weten wat de evolutie is in de CO₂-uittoot.

Tijdsduur

Een lesuur

1.1 Wat nieuws? – 10 min

1.2 Wat is klimaatverandering?– 25 min

1.3 Stellingenspel– 10 min

Werkvormen

Onderwijsleergesprek

Stellingenspel

Materiaal en voorbereiding

- ✓ PowerPoint – The great esCape – Deel 1
- ✓ Extra info vind je via Word document: Uitleg-bij-figuren-klimaatprobleem

Wat is nieuws?

OLG: - Leerkracht
- Leerling

PowerPoint:
The great esCape – Deel 3

OLG

Slide 2 – Wat zien we?

Waar gaan de nieuwsberichten over?

Nieuwsberichten over klimaatrampen.
Overstromingen, hittegolven,
bosbranden.

Wat is de oorzaak van deze
klimaatrampen?

Klimaatverandering, stijgende
temperatuur.

Hoe komt het dat te maken hebben met
klimaatverandering?

Vervuilende fabrieken, uitstoot auto's,
reizen, ...

Slide 3 – Welke oorzaken hebben we al
besproken? Welke herken je? Welke
hebben we nog niet over verteld? Ken je
nog andere oorzaken?

Vervuiling van de industrie
Productie van beton
Maken van elektriciteit
Ontbossing
Landbouw
Vliegtuigreizen
Omploegen van land
Methaanuitstoot bij veeteelt
Productie van rijst

Meer uitleg:
Uitleg bij figuren klimaatprobleem

Wat is klimaatverandering?

OLG

Slide 4 – Wat zien we op deze grafiek?

Wat vertelt de x-as, wat vertelt de y-as?

Op de x-as zien we de tijd in duizenden
jaren teug van nu. Op de y-as zien we
gemiddelde temperatuur en de
hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer. Zowel
de temperatuur als de hoeveelheid
koolstofdioxide kent een schommelend
verloop over de tijd, met pieken en
dalen. Maar heel recent merken we dat
zowel de temperatuur als de
hoeveelheid koolstofdioxide naar boven
schiet.

Waarom zou dit gebeuren? En vanaf
wanneer?

Sinds het begin van de industriële
revolutie (1760) is de mens meer
gebruik beginnen maken van fossiele
brandstoffen als energiebron. Door het
gebruik van fossiele brandstoffen is de
koolstof die jaren opgeslagen was in de
bodem plots vrijgekomen in de
atmosfeer met een gigantische stijging
tot gevolg.

Als het antwoord niet onmiddellijk
gevonden wordt kan je de leerlingen
helpen met behulp van **Slide 5**.

Slide 6 – Als we inzoomen op het verloop van de hoeveelheid CO₂ in de laatste jaren, ziet dat verloop er als volgt uit. Wat valt jullie op?

De hoeveelheid CO₂ blijft stijgen. Er zijn dalen en pieken in het verloop.

Hoe komt het dat de grafiek op en neer gaat? Denk na over wat in het tweede middelbaar hebt gezien tijdens de lessen natuurwetenschappen.

Het noordelijk halfrond van de aarde bevat de grootste hoeveelheid vegetatie,

in de lente en zomer zijn de CO₂-gehalten lager in het noordelijk halfrond omdat de bomen en planten dan meer CO₂ opnemen tijdens het fotosyntheseproces terwijl ze groeien. In de herfst en winter, nemen ze minder CO₂ op en stijgt de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer.

Slide 7 – Om het volledig verhaal van het klimaatprobleem te begrijpen, moeten we twee systemen goed kennen: de koolstofcyclus het broeikaseffect.

Stellingenspel

Slide 8 – Maak het midden van de klas vrij en teken een denkbeeldig lijn in het midden van de klas. Je kan ook een met tape een lijn in de klas tekenen. De leerlingen starten bij elke vraag op de lijn. De leerlingen kunnen naar rechts gaan als ze akkoord zijn met de stelling of ze kunnen naar links gaan als ze niet akkoord zijn met de stelling. Probeer te vermijden dat leerlingen in het midden blijft te staan.

Elke stelling kan leiden tot een interessant klasgesprek of discussie. Dit stellingenspel is ook uitermate interessant om de beginkennis van je leerlingen met af te toetsen.

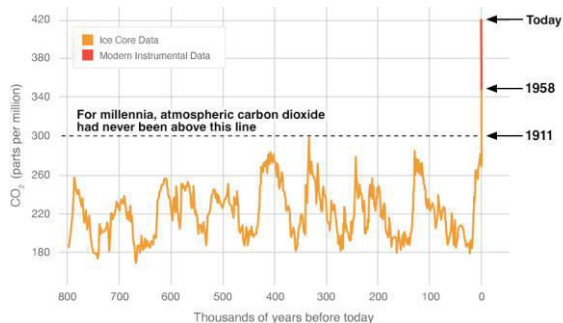
Volgende stellingen komen aan bod:
Elke stelling staat op de **volgende slide**.

- Het klimaat is altijd veranderd, dus dit is normaal.
- Eén graad warmer, dat voel je toch niet.
- CO₂ is natuurlijk en dus niet schadelijk.
- We stoten als klein landje toch bijna niks uit, dus wat maakt het uit?
- Elektrische auto's zijn slechter voor het klimaat dan fossiele brandstoffen.
- Windmolens zijn slecht voor de natuur.
- Wetenschappers zijn het oneens over klimaatverandering.
- Het is koud vandaag, dus klimaatopwarming bestaat niet.
- Er is nu meer koolstof op aarde dan een miljoen jaar geleden.

Het **doel** van het stellingenspel is om een klasdiscussie op te starten, te luisteren naar elkaars meningen en de beginsituatie bij de leerlingen af te toetsen. Als leerkracht kan je hier een sturende rol in spelen, maar laat vooral de leerlingen aan het woord.

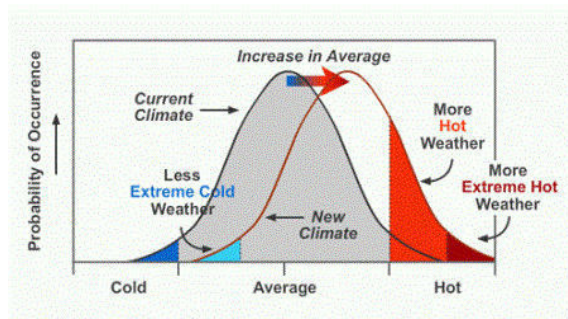
Het klimaat is altijd veranderd, dus dit is normaal. Het klimaat veranderde vroeger door natuurlijke oorzaken, maar de huidige snelle opwarming wordt vooral veroorzaakt door antropogene uitstoot van broeikasgassen. De snelheid en omvang zijn ongekend in de afgelopen miljoenen jaren. (Figuur 1)	NW
Eén graad warmer, dat voel je toch niet. Een gemiddelde stijging van 1 °C wereldwijd betekent veel extremere hittegolven, droogtes en stormen. Lokaal kunnen pieken veel hoger liggen. (Figuur 2)	NW
CO₂ is natuurlijk en dus niet schadelijk. CO₂ komt natuurlijk voor, maar een te hoge concentratie in de atmosfeer versterkt het broeikaseffect, waardoor de aarde gevaarlijk snel opwarmt. (Figuur 1)	NW
We stoten als klein landje toch bijna niks uit, dus wat maakt het uit? België behoort per inwoner tot de hogere uitstoters. Bovendien draagt elke ton CO₂ bij aan het probleem; mondiale actie vereist dat alle landen meedoen. (Figuur 3)	NW
Elektrische auto's of windmolens zijn slechter voor het klimaat dan fossiele brandstoffen. De productie kost energie, maar over hun levensduur stoten ze veel minder CO₂ uit dan benzine- of dieselalternatieven. (Figuur 4)	NW
Windmolens zijn slecht voor de natuur. Windmolens hebben enige impact op natuur (bv. vogelslachtoffers, verstoring), maar die is veel kleiner dan de schade door klimaatverandering veroorzaakt door fossiele brandstoffen. Bovendien kan locatiekeuze en ontwerp de negatieve effecten sterk verminderen. Het grootste deel van windmolens (85 – 90%) is eenvoudige te recyclen maar de wieken blijven wel nog een probleem. Deze worden gemaakt van composieten die moeilijk te recyclen zijn. Creatieve oplossingen zijn er ondertussen wel, zo worden afgedankte wieken gebruikt als fietsstalling of geluidsmuur. (Figuur 5, 6, 7 en 8)	NW W
Wetenschappers zijn het oneens over klimaatverandering. Ongeveer 97% van de klimaatwetenschappers is het eens dat de huidige opwarming door mensen wordt veroorzaakt.	NW
Het is koud vandaag, dus klimaatopwarming bestaat niet. Klimaat is het gemiddelde weer over lange periodes. Koude dagen kunnen nog steeds voorkomen, ook bij een opwarmend klimaat. Leg de nadruk op het verschil tussen de begrippen weer en klimaat.	NW
Er is nu meer koolstof op aarde dan een miljoen jaar geleden De totale hoeveelheid koolstof op aarde verandert nauwelijks; wél zit er nu veel meer koolstof in de atmosfeer als CO₂, in plaats van opgeslagen in oceanen en bodem.	NW

Het klimaatprobleem is niet ons probleem. Klimaatverandering heeft wereldwijde gevolgen: extreem weer, voedselzekerheid, migratie en economie. Iedereen ondervindt direct of indirect de impact. Denk terug aan de nieuwsberichten van ‘Wat is nieuws?’.	NW
---	------------------



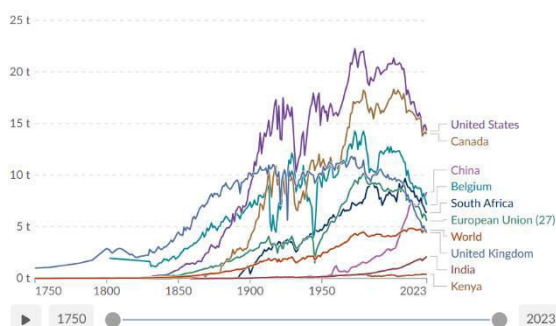
Figuur 1: Grafiek van het atmosferische CO₂-gehalte sinds 800.000 jaar geleden. De waarden bleven steeds onder de 300 ppm, maar sinds 1911 is deze grens overschreden en stijgt de curve sneller dan ooit.

Figuur uit: <https://earth.gov/sealevel/vital-signs/carbon-dioxide/>



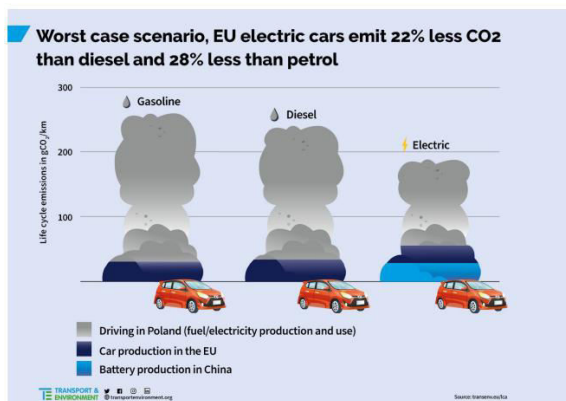
Figuur 2: Grafiek met een klokcurve die de waarschijnlijkheid van extreem weer weergeeft. Een kleine verschuiving naar rechts, richting warmer weer, vergroot de kans op extreem weer aanzienlijk.

Figuur uit: https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-change-science/understanding-link-between-climate-change-and-extreme-weather_.html



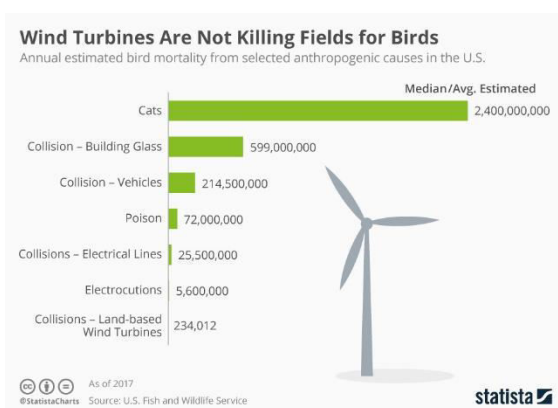
Figuur 3: Grafiek van de CO₂-uitstoot per persoon vanaf het begin van de industriële revolutie tot nu. België ligt gemiddeld boven het Europese gemiddelde qua uitstoot per persoon.

Figuur uit: https://ourworldindata.org/grapher/co-emissions-per-capita?country=OWID_WRL~USA~GBR~OWID_EU27~IND~CHN~ZAF~CAN~KEN~BEL



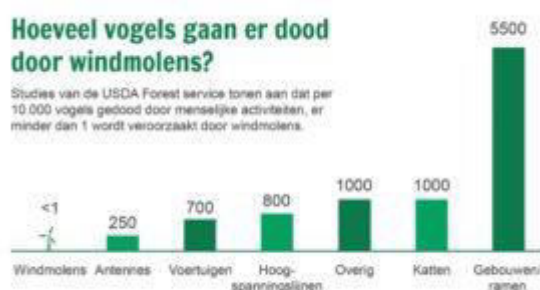
Figuur 4: Zelfs in het slechtst denkbare scenario – waarbij de batterijen in China worden geproduceerd en de wagen wordt opgeladen via het meest vervuilende energienetwerk van Europa in Polen – stoten elektrische wagens nog steeds 22% minder uit dan hun dieselvariant en 28% minder dan hun benzinevariant.

Figuur uit: <https://www.transportenvironment.org/uploads/files/TEs-EV-life-cycle-analysis-LCA.pdf>



Figuur 5: Jaarlijkse schattingen van door mensen veroorzaakte vogelsterfte tonen dat huiskatten met grote voorsprong op nummer één staan, terwijl windmolens pas op de zevende plaats komen.

Figuur uit: <https://www.statista.com/chart/15195/wind-turbines-are-not-killing-fields-for-birds/>



Figuur 6: Botsingen met gebouwen, vooral tegen ramen, vormen eveneens een belangrijke door mensen veroorzaakte doodsoorzaak bij vogels.

Figuur uit: <https://vlaardingsenergiecollectief.nl/2021/07/10/zwarte-wiek/>



Figuur 7: Windmolens gebruik als fietsstalling in Nederland en Denemarken

Figuur uit: <https://www.santafixie.nl/blognl/van-windturbine-tot-fietsenstalling/>



Figuur 8: Windmolens gebruik als geluidsmuur

Figuur uit: <https://www.omroepbrabant.nl/nieuws/4714403/afgedankte-wieken-van-windmolens-worden-geluidswal>

TIP

Kijk zeker verder op de website <https://ourworldindata.org/> voor meer interessante statistieken. Aan de rechterzijde kun je de grafieken aanpassen door andere landen toe te voegen.



Lespakket

The Great EsCape

Deel 2

Wat is het broeikaseffect?

LESPAKKET ONTWORPEN VOOR DE TWEEDE GRAAD VAN
HET SECUNDAIR ONDERWIJS



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

KLIMAATLiNK

Korte inhoud

In DEEL 2 leren de leerlingen wat het natuurlijk en versterkt broeikaseffect is. Leerlingen leren wat de invloed is van de massale verbranding van fossiele brandstoffen op het natuurlijk broeikaseffect.

De verschillende broeikasgassen komen ook aan bod en de belangrijkste kenmerken worden onderzocht.

Tijdsduur

Een lesuur

2.1 Broeikaseffect – 25 min

2.2 Broeikasgassen – 25 min

Werkvormen

Onderwijsleergesprek

Expertgroepen

Onderzoekend leren

Materiaal en voorbereiding

- ✓ Werkblaadjes ID's-Broeikasgassen
- ✓ Aangeraden computers of tablets voor de leerlingen

Broeikaseffect

OLG: - Leerkracht
- Leerling

Natuurlijk broeikaseffect

Bekijk onderstaande filmfragment over het **natuurlijk broeikaseffect**:

YouTube: Climate challenge: Het natuurlijk broeikaseffect

OLG

Over wat ging het filmfragment?

Het natuurlijk broeikaseffect

Wat is het natuurlijk broeikaseffect en hoe werkt het?

Zonder de atmosfeer zou het kouder zijn op aarde. De atmosfeer bevat broeikasgassen die de warmte vasthoudt.

Vanwaar komt die warmte?

De zon zendt kortgolvlige zonnestraling uit onder de vorm van licht en warmte.

Bereikt alle straling die de zon uitstraalt het aardoppervlak?

De helft van deze straling wordt terug weerkaatst naar de ruimte of geabsorbeerd door de atmosfeer. De andere helft bereikt wel het aardoppervlak. Door reflectie zal een deel van deze straling terug naar de ruimte worden weerkaatst, dit noemen we het albedo-effect van de aarde.

Wat gebeurt er met de zonnestraling die het aardoppervlak bereikt?

Deze zullen het aardoppervlak opwarmen. Door deze opwarming zal de aarde op zijn buurt warmte beginnen

uitstralen. Dit gebeurt onder de vorm van langgolvlige infrarode warmtestraling. Een deel van deze straling ontsnapt en wordt de ruimte ingestuurd, het andere deel wordt gevangen door de broeikasgassen in de atmosfeer. Deze stralingen worden vervolgens alle richtingen uitgestuurd en bereiken opnieuw de aarde. Dit zorgt voor een opwarming.

Is deze opwarming slecht voor de planeet?

Neen, dit zorgt voor een gemiddelde temperatuur op aarde van 15 °C. Zonder dit natuurlijk broeikaseffect zou het op aarde 33 °C kouder zijn of – 18 °C.

Met wat kan je dit proces vergelijken? Het antwoord zit al een beetje in de naam broeikas.

De werking van een serre of op zijn Hollands broeikas. Deze laat ook het zonlicht door, maar houdt de warmte vast binnenin.

Wat is een probleem dat zich nu voordoet bij dit broeikaseffect?

Deze wordt versterkt door de uitstoot van broeikasgassen.

Gebruik deze **laatst vraag** als opstap naar de uitleg over het versterkt broeikaseffect.

Versterkt broeikaseffect

Bekijk onderstaande filmfragment over het **natuurlijk broeikaseffect**:

YouTube: Climate challenge: Het versterkt broeikaseffect

OLG

Over wat ging het filmfragment?

De mens verstoort het natuurlijk broeikaseffect door massaal veel fossiele brandstoffen te verbranden.

Wanneer gebruiken we fossiele brandstoffen? Gebruik voorbeelden uit het filmfragment, maar bedenk ook zelf voorbeelden.

Huis verwarmen, rondrijden met auto's, fabrieken, ...

Wat zijn fossiele brandstoffen?

Aardgas, aardolie, steenkool, ...

Aandachtspunt: Benadruk dat kernenergie geen fossiele brandstof is. Hier is bij de leerlingen vaak verwarring over.

OLG: - Leerkracht
- Leerling

Vanwaar komen deze fossiele brandstoffen? Hoe werden deze gevormd?

Fossiele brandstoffen werden gevormd uit planten en dierlijke resten die miljoenen jaren geleden bedolven geraakten onder slib. Als deze resten snel werden bedolven door slib, kunnen deze resten niet helemaal rotten. Hierbij komen gassen vrij die niet meer kunnen ontsnappen. Onder bijzondere omstandigheden zullen deze resten na miljoenen jaren en onder hevige druk omgezet worden naar fossiele brandstoffen.

Wat is het probleem met deze fossiele brandstoffen? Welke rol speelt de mens hierin?

Nu halen de mensen deze fossiele brandstoffen in grote hoeveelheden boven sinds de industriële revolutie (1960) om ze te verbranden.

Wat is het gevolg van deze fossiele brandstoffen te verbranden?

Bij het verbranden van deze fossiele brandstoffen komen grote hoeveelheden van het broeikasgas koolstofdioxide (CO₂) vrij in de atmosfeer.

Wat doet de natuur met deze extra hoeveelheid CO₂?

De natuur kan deze extra hoeveelheid CO₂ opslaan in oceanen en planten maar omdat de mens zo een grote hoeveelheden CO₂ in de atmosfeer vrij laat, kan de natuur niet meer volgen.

Voor welke cyclus heeft dit een gevolg?

De koolstofcyclus raakt verstoord en de hoeveelheid koolstofdioxide in de atmosfeer blijft toenemen.

Wat is een gevolg van deze extra broeikasgassen in de atmosfeer?

Deze broeikasgassen houden steeds meer warmte vast en versterken zo het natuurlijk broeikaseffect. Daardoor stijgt de temperatuur op het aardoppervlak. Dit noemen we het versterkt broeikaseffect.

Wat is het advies van wetenschappers? Hoeveel mag de temperatuur maximum stijgen t.o.v. het natuurlijke broeikaseffect?

Een stijging van de temperatuur met 2 °C is de kritische grens waar we best onder blijven. Met een temperatuurstijging van meer dan 2 °C zal de klimaatverandering enorme nadelige gevolgen hebben voor al het leven op aarde.

Is enkel CO₂ het probleem? Zijn er andere broeikasgassen die de mens uitstoot?

Het is niet enkel CO₂, ook methaangas (CH₄) is een krachtig broeikasgas dat door de intensieve veeteelt in grote hoeveelheden wordt uitgestoten naar de atmosfeer.

Broeikasgassen

Werkblaadje:
ID's – Broeikasgassen

Expertgroepen – Onderzoekend leren

Bij expertgroepen verdeel je de klas in vier gelijke groepen. Elke groep werkt aan één van de vier broeikasgassen. (10 minuten)

Je kan de leerlingen gerichte websites meegeven, of hen zelf online op onderzoek laten gaan.

Links:

Klimaat.be – De verschillende broeikasgassen

Milieucentraal – Wat is het broeikaseffect?

Daarna verdeel je de groepjes op zo een manier dat in elke groep een expert aanwezig is van elk broeikasgas. Elke expert komt achtereenvolgens aan het woord en helpt de klasgenoten om de ID voor zijn broeikasgas correct in te vullen. (4 x 2,5 minuten)

Broeikasgas	GWP (jaar)	Residentie-tijd (jaar)	Natuurlijke oorsprong	Antropogene oorsprong
CO ₂	1	100	- Celademhaling - Ontbinding dood organisch materiaal - Bosbranden - Vulkaanuitbarstingen	- Verbranding van fossiele brandstoffen - Ontbossing - Verandering van bodemgebruik
CH ₄	25 - 30	8 - 10	- Ontbinding organisch materiaal in anaerobe omstandigheden - Landbouw (vertering herkauwers), bosbouw en visserij - productie en vervoer fossiele brandstoffen	- Veeteelt en rijstvelden - Vrijkomen bij ontginning van fossiele brandstoffen - Smelten permafrost
N ₂ O*	300	100	- Bodembacteriën	- Gebruik kunstmest
CFK's**	124 - 22800	> 1000	- Geen	- Tot 1987 gebruikt als drijfgas voor spuitbussen, koelkasten en airco's (Uitstoot vandaag nog bij reparatie en afvalverwerking)
H ₂ O		Enkele dagen	- Verdamping van oppervlaktewater - Evapotranspiratie	- Geen

Nabespreking

Tijdens de nabespreking staan we stil bij de belangrijkste begrippen en de meer speciale zaken.

OLG: - Leerkracht
- Leerling

OLG – Klasdiscussie

Wat betekent GWP?

GWP staat voor Global Warming Potential en geeft aan hoeveel warmte een broeikasgas vasthoudt in de atmosfeer in vergelijking met CO₂. CO₂ wordt gelijkgesteld aan 1.

Wat bedoelen ze met residentietijd?

De residentietijd is de gemiddelde tijd dat een broeikasgas in de atmosfeer blijft vóór het wordt afgebroken of opgenomen.

Wat zijn CFK's?

Werden gebruikt tot 1987 als drijfgas voor spuitbussen, koelkasten en airco's.

Kan je nog CFK's terugvinden in de atmosfeer?

Deze gassen hebben een lange residentietijd van meer dan 1000 jaar en zullen daardoor nog lang in de atmosfeer aanwezig blijven. Bovendien kunnen bij de herstelling of verwerking van oude toestellen opnieuw CFK's vrijkomen.

Welk broeikasgas komt het meest voor in de atmosfeer?

CO₂ is het meest voorkomende broeikasgas in de atmosfeer na H₂O, gevolgd door CH₄.



Lespakket

The Great EsCape

Deel 3

Wat is de koolstofkringloop?

LESPAKKET ONTWERPEN VOOR DE TWEEDE GRAAD VAN
HET SECUNDAIR ONDERWIJS



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

KLIMAATLiNK

Korte inhoud

In DEEL 3 ontdekken de leerlingen hoe de koolstofcyclus werkt. Ze maken kennis met de verschillende vormen van (natuurlijke) koolstofopslag en leren hoe koolstof zich verplaatst van het ene reservoir naar het andere.

Daarnaast wordt er stilgestaan bij de invloed van menselijke activiteiten op dit natuurlijke systeem. Dit deel is zo goed als overgenomen uit DEEL 3 van het lespakket 'Oplossingen voor de klimaatproblematiek' om de inhoudelijke samenhang en continuïteit tussen beide lespakketten te bewaren.

Tijdsduur

Een lesuur

3.1 Koolstofpuzzelspel – 30 min

3.2 Koolstofopslag – 15 min

Werkvormen

Groepswerk – Puzzelspel

Onderwijsleergesprek

Materiaal en voorbereiding

- ✓ Druk vooraf een aantal (afhankelijk in hoeveel groepjes de klasgroep verdeeld wordt) koolstofpuzzelspelbladen af (zie bijlage Koolstofpuzzelspel). De eerste pagina is de verbeter sleutel en hoeft dus niet voor elke groep afgedrukt te worden. Knip de andere pagina's zodat het zeshoeken worden. Elke zeshoek is een belangrijk onderdeel van de koolstofkringloop.
- ✓ Voor het stellingenspel gebruik je PowerPoint The great esCape – Deel 3
- ✓ Aangeraden computers of tablets voor de leerlingen.

Het koolstofpuzzelspel

Vooraf

Bekijk onderstaande filmfragment over de **koolstofcyclus**:

YouTube: Climate challenge: Wat is de koolstofcyclus?

OLG

Wat kwam allemaal in het bod in het filmpje?

Koolstof vind je overal terug op aarde
De biosfeer, de atmosfeer en de oceanen.

Natuurlijke processen:
vulkaanuitbarstingen, afsterven
organische materiaal, in- en uitademen.
Koolstofevenwicht

Koolstof bevindt zich als CO_2 in de atmosfeer.

Bij fotosynthese wordt CO_2 ingeademd
door groene planten en omgezet naar O_2 .

Vorming van fossiele brandstoffen.
Verstoord evenwicht door de mens
vanaf de industriële revolutie door
gebruik van fossiele brandstoffen en
enorme ontbossingen.

Aandachtspunten:

Vul zelf aan met de lithosfeer en de hydrosfeer.

Herhaal de fotosynthesereactie (LPD 1^{ste} graad)

OLG: - Leerkracht
- Leerling

De koolstofkringloop wordt soms eenvoudig weergegeven, maar is in werkelijkheid ingewikkelder dan enkel 'lucht, bodem, oceaan en fossiele lagen'. Koolstof vormt op verschillende manieren een link tussen verschillende onderdelen van onze planeet. Door de invloed van de mens is de koolstofkringloop echter uit zijn evenwicht. De kennis van de leerlingen over de koolstofkringloop wordt opgefrist via een **koolstofpuzzelspel**.

Druk vooraf een aantal (afhankelijk in hoeveel groepjes de klasgroep verdeeld wordt) koolstofpuzzelspelbladen af (zie bijlage Koolstofpuzzelspel). De eerste pagina is de verbeter sleutel en hoeft dus niet voor elke groep apart afgedrukt te worden. Knip de andere pagina's zodat het zeshoeken worden. Elke zeshoek is een belangrijk onderdeel van de koolstofkringloop.

Het spelverloop

PowerPoint:
The great esCape – Deel 3

De klas verdeelt zich in groepjes – **slide 1**. Elk groepje krijgt dezelfde verzameling zeshoeken die telkens een onderdeel van de koolstofkringloop voorstellen. De leerlingen stellen per groep de koolstofkringloop samen door de zeshoeken op de juiste manier naast, boven of onder elkaar te plaatsen. Twee aaneengrenzende zeshoeken hebben niet noodzakelijk invloed op elkaar: enkel de pijlen geven aan wanneer koolstof van de ene naar de andere

zeshoek kan overgaan. De leerlingen bekomen zo een complexe (maar Het spelverloop in vergelijking met de werkelijkheid nog steeds vereenvoudigde) versie van de koolstofkringloop, met daarop verschillende cijfers die de koolstoffluxen en de huidige koolstofopslag (in gekleurde kaders) aangeven (Gt C / jaar = gigaton koolstof per jaar). De mens heeft een invloed op deze onderdelen en de fluxen tussen de onderdelen. Dit heeft gevolgen voor het klimaat.

Als het de leerlingen niet direct lukt om de zeshoeken in de correcte volgorde te plaatsen, kan de centrale zeshoek (atmosfeer) vrijgegeven worden, of **slide 2** met (oudere, toen er nog maar 750 in plaats van 860 Gt C in de atmosfeer zat) koolstofcyclusdiagram tonen.

Zeg duidelijk dat het een verouderde versie van de koolstofcyclusdiagram is.

Nabespreking

Vorm het juiste schema door klassikaal overleg tussen de groepjes. Bespreek vervolgens elk onderdeel van het schema. Zie bijlage Onderdelen koolstofpuzzelspel voor meer informatie over elk onderdeel van deze koolstofkringloop.

OLG + bespreking en evaluatie van de schema's. Een eerste groep stelt zijn bodemschema voor.

Wat denken de andere groepen hiervan?
Wat hebben zij anders gedaan?
Welk schema is het correcte? Waarom?

Ga naar **slide 4** en overloop de koolstofkringloop. Telkens er op 'enter' geklikt wordt, verschijnt een volgende vraag voor de leerlingen: "Waar gaat het koolstof naartoe?"

Op welke fluxpijlen uit de zeshoeken hebben wij invloed?

Wij verbranden fossiele brandstoffen voor het produceren van energie. Daardoor komen tonnen CO₂ in de lucht. Wij verbouwen onze gronden soms op een manier waarbij veel CO₂ in de lucht komt, zoals bijvoorbeeld via ploegen en het gebruik van pesticiden. Dat verhindert plantengroei op de velden. Het evenwicht wordt daardoor verbroken en er komt te veel koolstof in de lucht en in de oceanen dat zonder invloed van de mens in de bodem was gebleven.

Waar is het evenwicht van de kringloop verbroken? Welke onderdelen nemen toe?"

a. Vegetatie neemt toe in koolstof (influx 123 Gt C per jaar vs. uitflux 120,9 Gt C per jaar). De aarde is nog nooit zo groen geweest. De toename van CO₂ in de atmosfeer, deels door menselijk uitstoot, stimuleer de groei van planten. (Daartegenover staat wel dat er jaarlijks nog steeds miljoenen hectaren bos, voornamelijk door landbouw verdwijnt.) Hier zit echter een 'stop' op, aangezien vegetatie naast koolstof ook voedingsstoffen en water nodig heeft, die niet overal toenemen (extra info; niet te zien op het schema).

b. Atmosfeer neemt netto toe in koolstof (influx 220,1 Gt C per jaar vs. uitflux 215 Gt C per jaar).

c. Oceaanoppervlak neemt toe in koolstof (influx 192,4 Gt C per jaar vs. uitflux 190 Gt C per jaar).

NOTA: de koolstofuitstoot van vulkanen is verwaarloosbaar tegenover de grote hoeveelheid koolstof beschikbaar in de mantel van de aarde.

Hoe lossen we dit op?

Dit kan onder andere door het gebruik van fossiele brandstoffen te stoppen

(grijze pijl van 'fossiele koolstofreserves' naar 'atmosfeer' kan verdwijnen), door bomen te planten (vergroten cijfer boven groene pijl van 'atmosfeer' naar 'vegetatie'), door een alternatieve vorm van landbouw en dieet (verkleinen cijfers boven bruine pijl van 'bodem' en gele pijl van 'vegetatie' naar 'atmosfeer'). We moeten opnieuw meer koolstof in de bodem krijgen, waar het oorspronkelijk vandaan komt (vergroten cijfer boven gele pijl van 'vegetatie' naar 'bodem' en creëren nieuwe pijl van 'atmosfeer' naar 'bodem').

Koolstofopslag

Algemeen

Het allereerste wat we moeten doen om klimaatverandering te stoppen, is het verminderen van onze broeikasgasuitstoot. Toch is er nog een tweede belangrijke opdracht die noodzakelijk is om klimaatverandering tegen te houden: het ondersteunen van natuurlijke koolstofopslag. Bossen en oceanen nemen ongeveer 41% van de jaarlijkse uitstoot van broeikasgassen opnieuw op uit de atmosfeer. Ze absorberen als het ware een deel van onze uitstoot. Zo leveren ze een belangrijke bijdrage in de strijd tegen klimaatverandering. Het overgrote deel van de opname gebeurt in de vorm van versterken.

CO₂-opname. Het land en de oceanen nemen 56% van onze jaarlijks uitgestoten CO₂ op. Door deze opname en opslag te onderhouden en te ondersteunen, hebben we een grote impact op toekomstige klimaatverandering. Het is daarom belangrijk te weten

- a) wat op het land en in de oceanen het vermogen om koolstof op te nemen bepaalt,
- b) hoe we het kunnen ondersteunen en herstellen, en
- c) hoe we het mogelijk in de toekomst kunnen versterken.

OLG

Welke vormen van koolstofopslag kennen jullie? (Denk aan het koolstofpuzzelspel.)

Het land bevat koolstof in al het planten- en dierenmateriaal. Via fotosynthese nemen planten CO₂ op uit de lucht. Er zit bovendien ook heel veel koolstof in de bovenste bodemlaag (vooral organisch bodemmateriaal). Het land bevat drie keer meer koolstof dan de atmosfeer. De bovenste bodemlaag, planten en de atmosfeer bevatten respectievelijk ongeveer 2000 miljard, 600 miljard en 800 miljard ton koolstof. De oceanen nemen koolstof op doordat: a CO₂ oplost in water (de fysische pomp); b waterplanten en algen aan fotosynthese doen, en sommige dieren

CO₂ en calcium uit het zeewater halen voor de aangroei van hun schelpen en koraalgroei (de biologische pomp); De oceanen bevatten heel veel koolstof: ongeveer 36 000 miljard ton.

Diep in de aarde wordt koolstof vastgelegd via sedimentatie en andere geologische formaties. Dit is een proces dat vele millennia lang duurt. Deze koolstof komt echter snel in de atmosfeer vrij door de winning en verbranding van fossiele brandstoffen. Het koolstof dat niet in de aarde, in landecosystemen of in oceanen opgeslagen zit, bevindt zich in de atmosfeer als onderdeel van broeikasgassen.

De fractie van menselijke CO₂-uitstoot die in de atmosfeer blijft, is al enkele decennia redelijk stabiel (ongeveer 45%), ondanks een toename van uitstoot. Dat betekent dat hoe meer koolstof in de atmosfeer komt, hoe meer er ook door oceanen en het land opgenomen wordt. Zonder de natuurlijke ecosystemen was klimaatverandering al veel erger geweest. Echter heeft dit voor oceanen ook een invloed op de zuurtegraad van het zeewater (zie verder, Grenzen van koolstofopslag in oceanen).

Ook zal het percentage dat door het land en de oceanen opgenomen wordt niet eendeloos stabiel blijven wanneer de CO₂-uitstoot blijft stijgen: er zitten grenzen aan hoeveel koolstof door deze ecosystemen opgenomen wordt. Bovendien worden deze ecosystemen op hun beurt beïnvloed door klimaatverandering ('terugkoppelingseffecten'), maar ook door andere menselijke impact zoals ontbossing, toenemende droogte, oceaanzuuriging en overbevissing



Lespakket

The Great EsCape

Deel 4

Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering?

**LESPAKKET ONTWERPEN VOOR DE TWEDE GRAAD VAN
HET SECUNDAIR ONDERWIJS**

Korte inhoud

We hebben in de voorgaande delen het reeds uitgebreid gehad over wat de klimaatverandering is en welke twee systemen hiervoor aan de basis liggen. We zijn DEEL 1 begonnen met enkele nieuwsberichten van mogelijke gevolgen van deze klimaatverandering.

In DEEL 4 kijken we nog naar andere gevolgen van klimaatverandering voor mens en dier. We staan ook stil bij welke rol ICOS speelt in het verhaal van klimaatverandering.

Tijdsduur

Een lesuur

4.1 Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering? – 50 min

Werkvormen

Hoekenspel

Videofragmenten

Nieuwsberichten

Experiment

Materiaal en voorbereiding

- ✓ Werkblaadjes voor de leerlingen: Hoekenwerk
- ✓ Eilandblaadjes: Hoekenspel - Eilandblaadjes
- ✓ Aangeraden computers of tablets voor de leerlingen

Wat zijn de gevolgen voor mens en dier?

Organisatie

Werkblaadje:

Hoekenwerk

Hoekenspel - Eilandblaadjes

Verdeel de klas in vijf groepen of een veelvoud daarvan. In de klas voorzie je evenveel eilanden als er groepen zijn. Op elk eiland ligt info over een welbepaald thema.

De leerlingen gaan op elk eiland een bepaalde categorie van gevolgen onderzoeken. Als leerkracht ben je de time-manager, de leerlingen schuiven om de 10 minuten door naar het volgende eiland. (5 x 10 minuten)

Thema's

- Smelten van permafrost
- Extreem weer:
- Smelten van land en zee-ijs
- Verzuring van de oceaan
- ICOS



Lespakket

The Great EsCape

Deel 5

Escaperoom

**LESPAKKET ONTWERPEN VOOR DE TWEEDE GRAAD VAN
HET SECUNDAIR ONDERWIJS**



Korte inhoud

In DEEL 5 gaan we aan de slag met de leerstof die de leerlingen hebben vergaard in de vorige 4 delen.

Tijdens deze interactieve **escaperoom** verwerken de leerlingen op een speelse en uitdagende manier de leerstof uit de vier voorgaande delen. Ze passen hun opgedane kennis toe om samen puzzels en opdrachten op te lossen, en zo stap voor stap tot de ontsnapping te komen en de wereld te redden.

Tijdsduur

3 x 20 minuten tot twee lesuren.

Afhankelijk van organisatie

5.1 The Great EsCape

5.2 Code Groen

5.3 Code Rood

5.4 Code Blauw

Werkvormen

Escaperoom

Puzzels

Groepswork

Materiaal en voorbereiding

Voor elke escaperoom heb je nodig

- ✓ Escaperooms: Voorbladen, verhaallijn, kompaskaarten, antwoordbladen, geheime codes en Top secret-bundeltjes.
- ✓ Je hergebruikt het koolstofpuzzelspel uit DEEL 3 voor The Great esCape.
- ✓ Druk vooraf alles af van de escaperooms en lamineer voor een langere levensduur (met uitzondering van de antwoordbladen). Knip de kompaskaarten, Caesarcijfer en toren van escape room code rood uit.
- ✓ Steek alles per escaperoom in een aparte grote envelop met daarin een kleinere envelop met de kompaskaarten.
- ✓ Google form link

Voor elk groepje heb je nodig

- ✓ Een computer, tablet of smartphone per groepje

Organisatie

Er zijn drie verschillende mogelijkheden om deze escaperooms te integreren in jouw lessen:

1) In serie

De klas wordt verdeeld in groepjes van 3 tot 4 leerlingen. Elk groepje start samen met de escaperoom *The Great esCape*. Zodra ze de juiste code gevonden hebben, kunnen ze verder met *Code Groen*, *Code Rood* en *Code Blauw*.

Het groepje blijft gedurende het hele spel bij elkaar en werkt alle codes samen af. Na het oplossen van de drie codes keren ze terug naar *The Great esCape* om de volledige escaperoom tot een goed einde te brengen.

Tijdsduur: 80–90 minuten

2) Parallel

De klas wordt verdeeld in grotere groepjes van 6 tot 8 leerlingen. Samen starten ze met *The Great esCape*. Wanneer de startcode gevonden is, splitsen ze op in duo's. Elk duo werkt een andere code (*Groen*, *Rood* of *Blauw*) uit.

Op het einde van het spel verzamelen alle duo's terug bij hun groep om gezamenlijk *The Great esCape* tot een goed einde te brengen.

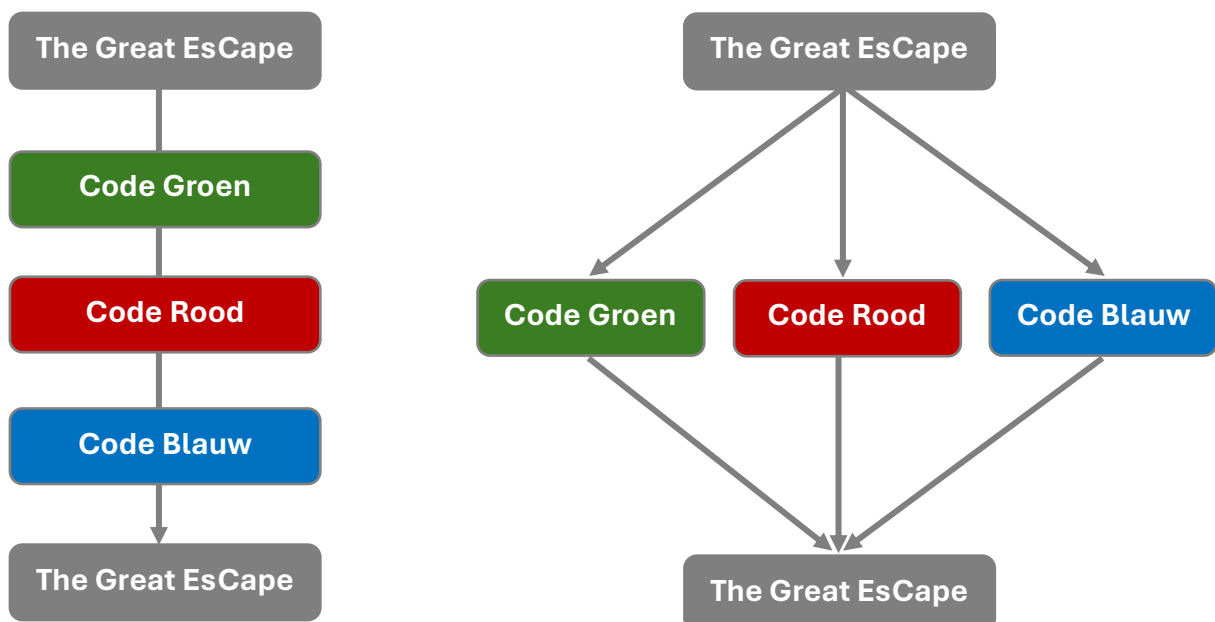
Tijdsduur: 40–50 minuten

3) Entree- en exittickets

De afzonderlijke codes kunnen ook apart ingezet worden als korte instap- of afsluutoefening bij je lessen. Ideaal om voorkennis te activeren of om de leerstof op een leuke manier af te sluiten.

Tijdsduur: 15–20 minuten per code

Visuele voorstelling verschil tussen serie en parallel



Top secret- bundeltjes

Je kunt de escaperoom gebruiken als een manier om de leerstof te toetsen, maar ook als een leermiddel waarmee leerlingen zelfstandig de lesstof kunnen ontdekken. Elke escaperoom kan worden aangevuld met een bundeltje, de zogenaamde Top secret-files, waarin krantenartikelen, grafieken en teksten zitten die alle benodigde informatie en leerstof bevatten om de escaperoom succesvol te doorlopen. Wanneer je de escaperooms op deze manier inzet, is het verstandig om de geschatte werktijd te vermenigvuldigen met 1,5.

Elke escaperoom duurt normaal rond de 20 minuten, dus op deze manier moet je rekenen op ongeveer een halfuur. Dit zorgt ervoor dat nadat de leerlingen de escaperoom zelfstandig hebben doorlopen, je nog ongeveer een kwartier overhoudt om de geziene leerstof te bespreken en vast te zetten in de cursus.

The Great EsCape

Verhaallijn

Het is het jaar 2100. De aarde kreunt onder extreme klimaatverandering. Oceanen zijn zuur, bossen zijn verdwenen, permafrost smelt, en de CO₂-uitstoot is volledig ontspoord. De mensheid heeft gefaald. Maar... niet iedereen heeft stilgezeten.

Een geheime club wetenschappers heeft eeuwenlang cruciale kennis over de koolstofcyclus bewaard. In het geheim verzamelden ze data, symbolen en codes, en bouwden ze tijdcapsules waarmee je tot 100 jaar terug in de tijd kan reizen.

Nu, in een laatste wanhoopspoging, stuurt de orde jullie via een tijdcapsule terug naar drie cruciale momenten in het verleden. De missie: herstel de verstoring van de koolstofcyclus voordat het onomkeerbare gebeurt. Ontrefel de activeringscode en zet de machine aan door de hendels in de juiste positie te plaatsen.

Maar wees gewaarschuwd: fouten worden genadeloos afgestraft. De tijd tikt. De planeet hangt aan een zijden draadje. En slechts één pad leidt terug naar een leefbare wereld.

Kerninhoud

- Koolstofcyclus
- ICOS
- Vier reservoirs
- Fluxs en stocks
- Sources en sinks



Oplossingsstrategie

1) Klokkenalfabet

Boven elke deur hangen klokken. Elke klok komt overeen met een land (volgens het internationale klokkenalfabet). De eerste letter van de stedenamen vormen samen het woord 'ICOS'. Dit verwijst naar het internationaal meetnetwerk van broeikasgassen en helpt leerlingen richting de kaart van ICOS en zijn legende.

2) Deurkleur en sferen

De kleuren van de deuren komen overeen met de kleuren van de ICOS-meetstationslegende. Op de deuren staat telkens '...sfeer'. Door de kleur van deur en de kleur van de meetstations te combineren, komen leerlingen tot de juiste sferen (of reservoirs) van links naar rechts: Biosfeer, Atmosfeer en Hydrosfeer.

De eerste drie letters voor de activeringscode zijn gevonden.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R						A			H

3) Koolstofpuzzelspel & bedieningspaneel

Tijdens het maken van de koolstofpuzzelspel merken leerlingen op dat de kleuren van de pijlen corresponderen met de kleuren van de hendels op het bedieningspaneel van de

tijdscapsule. De leerlingen moeten de hendels in de richting van de pijlen duwen (overeenkomstig met het kleur). Deze wijzen op hun buurt naar de juiste letters. De cijfers in de hendels geven de juiste plaats aan in de activeringscode.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	E	S	E	T	E	A	R	T	H

4) Code ingeven & doorgaan

Deze code voeren de leerlingen in op het Google Form. Wanneer correct, krijgen ze toegang tot de drie volgende codes/ruimtes om hun missie voort te zetten.

! INTERMEZZO – EERST CODE GROEN, ROOD EN BLAUW – INTERMEZZO !

5) Eindcode

Tijdens het oplossen van de drie codes/ruimtes krijg je steeds een cijfer cadeau:

Biosfeer = 6

Atmosfeer = 0

Hydrosfeer = 7

Op de deur van de lithosfeer staat reeds nummer 1.

Naast 'Time Machine' staan een aantal groter-dan tekens. Wie de deuren/sferen ordent van groot naar klein volgens koolstofvoorraad, ontdekt de eindcode 1760.

Ontknoping

Bij de ontknoping verschijnt in de Google Form onderstaande tekst voor de leerlingen. Deze tekst verwijst naar deel 6 van dit lespakket: Verandering begint bij jezelf!

Proficiat, helden! Jullie hebben de aarde op het nippertje van de ondergang gered.

Helaas kunnen we niet terug naar het prille begin van het probleem. De aantasting van de lithosfeer begon al rond 1760, in volle industriële revolutie. Onze tijdmachine kan nu eenmaal maar 100 jaar terug.

De industriële revolutie was de periode waarin men begon over te stappen van handwerk en ambachtelijke productie naar machines aangedreven door water- en later stoomkracht.

Maar onthoud: échte verandering begint bij jezelf.

Jullie hebben vandaag drie sferen hersteld, maar de missie stopt hier niet. Ook in onze eigen wereld kunnen kleine ingrepen een groot verschil maken. Laat dit avontuur een startpunt zijn om elke dag bewuster om te gaan met onze planeet.”

TIP

Voorzie een kleine beloning of verrassing voor de leerlingen als ze volledige escaperoom tot een goed einde hebben gebracht.

Kompaskaarten

Tijdens het spel zijn **kompaskaarten** beschikbaar die leerlingen kunnen gebruiken tijdens het doorlopen van de escaperoom.

Je kan ervoor kiezen om:

- 1) **De verantwoordelijkheid bij de leerlingen te leggen:** zij beslissen zelf wanneer ze een kompaskaart inzetten.
- 2) **Zelf als leerkracht te bepalen** wanneer een kompaskaart mag worden gebruikt.

Veel hangt af van de ervaring van leerlingen met escaperooms, hoe vlot ze

deze kunnen oplossen en nood hebben aan deze kompaskaarten.

Volgende kompaskaarten zijn voorzien:

- 1) Wie klok kan lezen, zet de eerste stap in de goede richting.
- 2) De eerste letter van elke stad is een stap in de goeie kant.
- 3) De legende van de ICOS kaart brengt je in de juiste sferen.
- 4) De pijlen in de puzzel zetten de hendels in de juiste richting.
- 5) Orden de deuren van klein naar groot en het is een jaartal dat je hoort.

Easter eggs

In de verschillende escaperooms zitten subtiele **easter eggs** verstopt. Kleine knipoogjes, grapjes of verwijzingen die niet noodzakelijk zijn om de opdracht te voltooien, maar wel zorgen voor een extra leuke ontdekking.

Je hebt nu **twee keuzes**:

- Ofwel stop je hier met lezen en ga je straks zelf op zoek tijdens het begeleiden van het spel.
- Ofwel lees je hieronder waar je ze allemaal kan vinden.

Benieuwd of de leerlingen deze verborgen hints en grapjes weten te spotten tijdens hun zoektocht!

- 1) In de afbeelding, meer bepaald de **draaikolk**, zitten de vier kleuren verwerkt van de vier verschillende deuren.
- 2) De **haarkleuren** van de personages in elke code komen overeen met de codenaam.
- 3) De **lithosfeerdeur** staat al **open**. De tijdmachine kan maar 100 jaar terug in de tijd, tot het jaar 2000. In 2000 was de industriële revolutie volop bezig en werd koolstof uit de lithosfeer uitgeput en verbrand (fossiele brandstoffen).
- 4) De eindencode **1760** slaat natuurlijk op de beginperiode van de industriële revolutie en het begin van de gigantische stijging in CO₂ als broeikasgas in de atmosfeer.

Code Groen

Verhaallijn

Het jaar is 2050. De laatste stukken van het Amazonewoud worden massaal gekapt. Overal ter wereld verwelken planten, bossen verdwijnen en satellieten detecteren een drastische daling in fotosynthese-activiteit. De aarde verliest haar natuurlijke longen en de CO₂-concentratie stijgt gevaarlijk snel.

De Koolstofwachters, een geheime wereldwijde alliantie van ecologen, slaan alarm. Ze vermoeden opzettelijke sabotage van de wereldwijde koolstofcyclus. Jullie zijn net gerekruteerd als nieuwe leden. In hun

verborgen commandocentrum ligt een reeks puzzels en opdrachten klaar.

Alleen als jullie het verband tussen vegetatie, fotosynthese en koolstofopslag ontrafelen en het gesaboteerde systeem opnieuw activeren, kunnen jullie verdere ontbossing stoppen en de natuurlijke balans herstellen.

De tijd dringt: binnen 20 minuten dreigen de laatste regenwouden voorgoed te verdwijnen... en daarmee de buffer van onze planeet. Red de natuur en achterhaal de juiste code. De tijd TELT!

Kerninhoud

- LULUCF
- Ontbossing
- Fotosynthese



Oplossingsstrategie

1) Fotosynthese

Er loopt een pijl van de schoorsteenrook naar de boom en een pijl uit de boom. Dit verwijst naar de fotosynthesereactie.

Wie de correcte en gebalanceerde vergelijking noteert:



In combinatie met de zin op het antwoordenblad: 'Adem IN en UIT, vind het gezonde evenwicht en tel de cijfers samen. Je zal SLAGEN in het leven. Draai het wiel en ontgrendel de code.' Kom je te weten dat je de coëfficiënten moet optellen. Het resultaat is 19.

2) Regenboog

De regenboogkleuren wijken af van de normale volgorde. In combinatie met het golflengte-alfabet vertaal je de kleuren naar het woord 'orden'.

3) Mieren

De mieren lopen van de pot met goud aan het einde van de regenboog naar de dode boom. Hierbij staat een mysterieuze tekst. De mieren lopen verder tot aan de Caesarcodes.

Wie de tekst

*DHHELMHYOHHKTTW OTG DEXBG
GTTK ZKHMM* met een

Caesarverschuiving van 19 plaatsen decodeert, krijgt: 'koolstofvoorraad van klein naar groot'.

4) Koolstofvoorraden en eindcode

Als je de vier foto's ordent van klein naar groot wat betreft de koolstofvoorraad, krijg je de onderstaande volgorde. De bijbehorende coördinaten kun je vertalen met behulp van het golvenalfabet.

- Landbouw/akker
6.52° N = 652 = R
44.4° W = 444 = E
- Gematigd bos
46.0° N = 460 = F
6.04° W = 604 = O
- Tropisch regenwoud
6.52° Z = 652 = R
44.4° O = 444 = E
- Permafrost
66.8° N = 668 = S
68.4° O = 684 = T

Zo krijg je de eindcode: REFOREST

Ontknoping

Proficiat, Koolstofwachters!

Jullie hebben het gesaboteerde systeem hersteld en de natuurlijke balans opnieuw geactiveerd. Dankzij jullie inzet is er weer hoop voor onze planeet.

Jullie code is: 6.

WEETJE:

Was jij ook verrast om te ontdekken dat er heel veel koolstof opgeslagen ligt in de permafrost? Hoe warmer het wordt, hoe meer permafrost er smelt, waardoor er steeds meer koolstof in de atmosfeer terechtkomt. Dit versterkt het broeikaseffect, wat op zijn beurt weer zorgt voor een snellere smelting van de permafrost.

Heb je alle codes doorlopen, keer dan terug naar de startruimte, The Great EsCape, en probeer je de eindcode te achterhalen: <https://forms.gle/Vs3AnjvhZjjUjiXE9>

Kompaskaarten

Volgende kompaskaarten zijn voorzien:

- 1) Je bent enkel in evenwicht als de juiste coëfficiënten vind en bij elkaar optelt.
- 2) De regenboog vertelt het met letters en kleuren.
- 3) Volg het pad van de mieren en de tekst vertaalt zich moeiteloos.
- 4) De coördinaten correct lezen, is de sleutel tot de code.

Easter eggs

Benieuwd of de leerlingen deze verborgen hints en grapjes weten te spotten tijdens hun zoektocht!

- 1) **‘De tijd telt!’** op het einde van de verhaallijn, slaat op de coëfficiënten die je moet tellen om de code te kunnen kraken.
- 2) De nummerplaat **‘COWS’** lees je ook als ‘Cows’, Engels voor koeien. Een subtiele knipoog naar de landbouwsector.
- 3) De fabrieksnaam **‘OPBASK’** is een anagram voor ‘BOSKAP’.

Code Rood

Verhaallijn

Het is 2030. Wetenschappers slaan wereldwijd alarm: binnen 20 minuten bereiken we een kritiek kantelpunt. Als het broeikaseffect nog verder toeneemt, treedt een onomkeerbare opwarming van de aarde op.

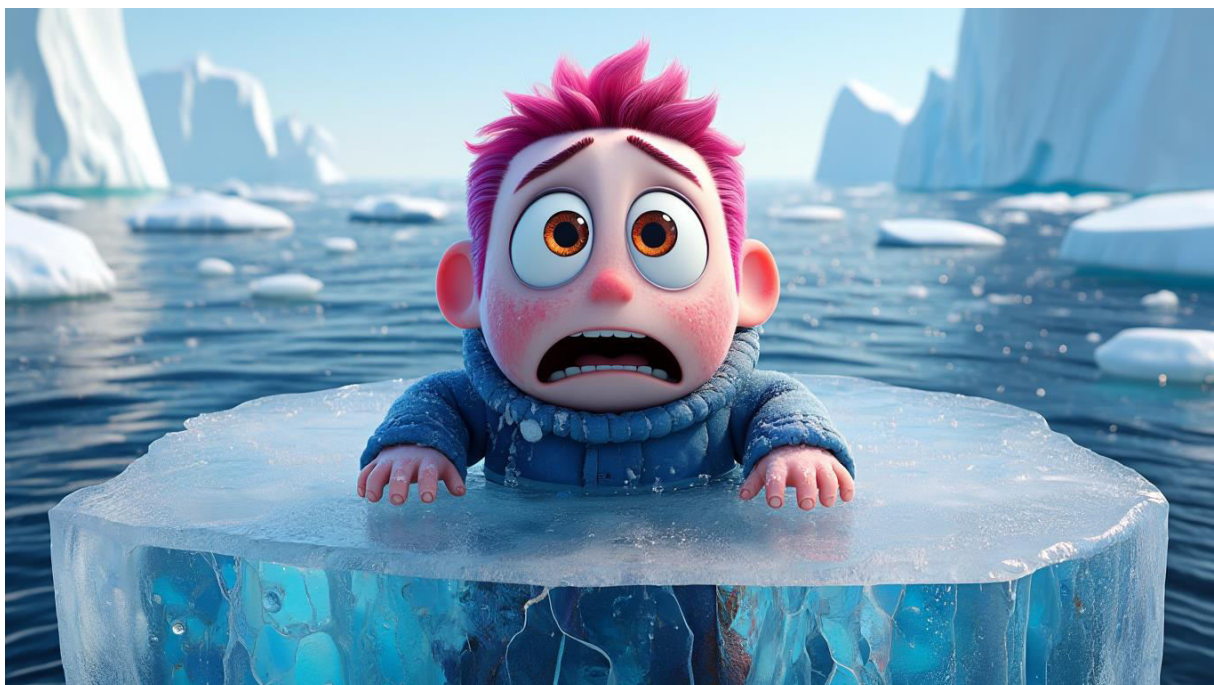
Jullie maken deel uit van De GWP, Geheime Wachters van de Planeet, een vrijmetselaarsorde van ecologen en klimaatwetenschappers, die al eeuwenlang waakt over het evenwicht van de natuur. Aan boord van het drijvende Internationaal Onderzoeksstation, gestationeerd op een smeltende ijsschots, is het alle hens aan dek.

Enkel door snel te handelen kunnen jullie het tij keren: herstel de kritieke systemen, analyseer de klimaatdata en zend de juiste noodboodschap uit om wereldleiders te alarmeren en de broeikasgassen te laten dalen.

Wees alert: elke fout verhoogt de temperatuur en laat het ijs sneller smelten. Kunnen jullie het evenwicht herstellen vóór het te laat is?

Kerninhoud

- Broeikasgassen
- Natuurlijk en versterkt broeikaseffect
- Smelten ijskappen
- Albedo



Oplossingsstrategie

1) Broeikasgassen en GWP

De puzzelstukken van de toren met meettoestellen plaats je correct door ze te linken aan het juiste verdiepingsnummer. Het verdiepingsnummer komt overeen met de GWP-waarde van elk broeikasgas.

$$\text{CO}_2 = 1$$

$$\text{CH}_4 = 25$$

$$\text{N}_2\text{O} = 300$$

$$\text{CFK} = 400$$

2) Rozenkruisersgeheimschrift

Plaats je de puzzelstukjes van de toren in de juiste volgorde, dan zie je een bijzonder kabelpatroon. Vertaal de dikke kabels met het Rozenkruisersgeheimschrift en lees van onder naar boven het woord 'Albedo'. Samen met het opschrift op de toren (Als je leest van onder naar boven, aangeduid met een pijl.) vormt dit de boodschap: 'Grootste albedo'.

3) Albedo

Er staan drie albedo-pijlen: één op de oceaan, één op het ijs en één op de

sneeuw. Verse sneeuw heeft het hoogste albedo van de drie. In deze pijl staat de eerste letter van de noodboodschap: 'I'.

4) Permafrost

Wanneer de permafrost smelt, ontsnappen er twee gassen. Eén molecule is zichtbaar (CO_2), de andere wordt aangeduid met een vraagteken en verwijst naar CH_4 . Dat 5 atomen bevat.

Met de letter-cijfercode: 5 = E.

5) Boodschap

De eerste en laatste letter hebben we reeds gevonden.

1) Letter 'I'

2) $| t^\circ \text{ zonder broeikaseffect} + t^\circ \text{ met natuurlijk broeikaseffect} | = \dots$

En vertaal.

$$= |-18^\circ\text{C} + 15^\circ\text{C}| = |-3| \rightarrow 3$$

Met de letter-cijfercode: 3 = C

3) Letter 'E'

Samen vormt dit het woord: ICE.

Ontknoping

Proficiat, Geheime Wachters van de Planeet!

Jullie hebben het kritieke kantelpunt vermeden en de het herstelproces in gang gezet. Dankzij jullie inzet is er weer hoop voor onze planeet.

Jullie code is: 0.

WEETJE:

Hoe warmer het op aarde wordt, hoe meer sneeuw er smelt. Hoe meer sneeuw er smelt, hoe minder zonlicht er wordt teruggekaatst naar de ruimte, oftewel hoe kleiner het albedo-effect. Daardoor warmt de aarde sneller op, en smelt er op zijn beurt weer meer sneeuw.

Er bestaat ook letterlijk zwarte sneeuw: sneeuw die vervuild is geraakt door stof, roet en andere vervuiling. Van deze zwarte sneeuw is het reflectievermogen veel kleiner, waardoor ze nog minder zonlicht terugkaatst.

Heb je alle codes doorlopen, keer dan terug naar de startruimte, The Great EsCape, en probeer je de eindcode te achterhalen: <https://forms.gle/Vs3AnjvhZjjUjiXE9>

Kompaskaarten

Volgende kompaskaarten zijn voorzien:

- 1) Een rare verdiepingnummering voor een rare toren.
- 2) De ene kabel is de andere niet. 🌀
- 3) De grootste toren lees je van onder naar boven.
- 4) Waar het eeuwige ijs smelt komen gassen vrij.

Easter eggs

Benieuwd of de leerlingen deze verborgen hints en grapjes weten te spotten tijdens hun zoektocht!

- 1) De **schotelantenne** zendt een herkenbare golfvorm uit. Deze heeft namelijk de zelfde vorm als de grafiek van de stijgende CO₂-waarde (in ppm) in de atmosfeer t.o.v. de tijd.
- 2) **GWP** heeft in dit spel een dubbele betekenis: Geheime Wachters van de Planeet en Global Warming Potential.
- 3) De **mammoet** piept tevoorschijn vanonder de smeltende permafrost.
- 4) **ICE** betekent niet alleen ijs in het Engels, maar ook 'In Case of Emergency', en dat past perfect als alarmboodschap.

TIP

Je kan deze escaperoom aanvullen met onderstaand materiaal om de leerlingen te helpen bij het oplossen:

- GWP tabel of ID's van de broeikasgassen uit DEEL 2
- YouTube: Climate challenge: Het natuurlijk broeikaseffect

Code Blauw

Verhaallijn

Het jaar 2075, een jonge klimaatactivist duikt met zijn onderzeeër de diepte in om de verzuring van de oceaan te onderzoeken. Plots klinkt er een noodsignaal. Hij is spoorloos. Al snel wordt duidelijk: Hij is ontvoerd... door de diepzeedieren zelf. Uit woede over de schade die de mensheid hun leefwereld heeft aangedaan, hebben ze hem meegenomen naar een onbekende locatie.

Net voor zijn verdwijning slaagde hij erin een reeks puzzels achter te laten in zijn onderzeeër én een zuurstoffles mee te nemen. Jullie opdracht: kraak de codes, ontdek de waarheid achter de verzuring én zijn locatie... voor zijn zuurstof op is. Jullie hebben 20 minuten. De klok tikt.

Kerninhoud

- Verzuring van de oceaan
- Verdwijnen koraalrif
- Opwarming zeewater
- Stijging zeespiegel
- Temperatuurstijging van oceanen
- ICOS



Oplossingsstrategie

1) Krijtbord en krijtjes

Op het krijtbord herken je de stijgende CO₂ waarden in functie van de tijd. De gevallen krijtjes wijzen richting de boekenkast.

2) Boekenkast

De boeken in de kast staan een vreemde manier geordend. Wie de rechtopstaande boeken vervangt door een puntje en de liggende boeken door een lijntje, kan de volgende morsecode lezen en vertalen:

- 1) . - = pH
- 2) - - - . . - - = O₂
- 3) - - . - - . - . = TEMP
- 4) - - = ZEE

3) Spiegel

Op de vierde plank in de boekenkast ligt een spiegel, zo vorm je het woord zeespiegel.

4) Stijgen of dalen

De krijtjes vertrekken van een stijgende CO₂-waarde, dit vertaalt zich als:

- 1) pH: daalt
- 2) O₂: daalt
- 3) Temperatuur: stijgt
- 4) Zeespiegel: stijgt

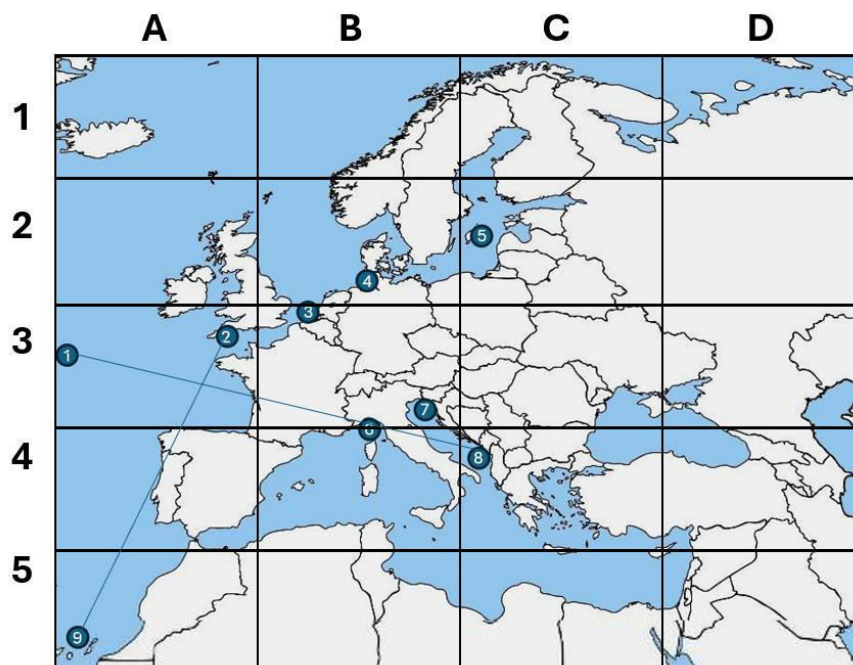
5) Location-station

Wie de morsecodes op het locatiestation ontcijfert (de eerste twee van boven naar beneden en de laatste twee van onder naar boven) krijgt:

- 1) . - - - = 1
- 2) - - - . = 8
- 3) . . - - = 2
- 4) - - - . = 9

6) X marks the spot

Verbind deze vier oceaanstations op de kaart. Wie dit correct doet, tekent een kruis ('X') en ontdekt zo de juiste locatie: vak A3



Ontknoping

Proficiat!

Jullie hebben het de jonge klimaatactivist op tijd gered, net voor zijn zuurstof op was. Zo hebben jullie een vreselijke afloop vermeden. Dankzij jullie inzet is er opnieuw hoop voor een wereldwijde vredesalliantie en een gezamenlijke zoektocht naar concrete oplossing voor de oceaanproblematiek.

Jullie code is: 7.

WEETJE:

Hoeveel zee-ijs er ook smelt, hierdoor zal de zeespiegel niet stijgen. Probeer het maar eens thuis met een glas water gevuld met ijsblokjes: als de ijsblokjes smelten, blijft het waterniveau hetzelfde. Het smelten van landijs zorgt daarentegen wél voor een stijging van de zeespiegel. Daarnaast draagt ook het opwarmen van het zeewater, door thermische expansie, bij aan de stijging van de zeespiegel.

Heb je alle codes doorlopen, keer dan terug naar de starttruimte, The Great EsCape, en probeer je de eindcode te achterhalen: <https://forms.gle/Vs3AnjvhZjjUjiXE9>

Kompaskaarten

Volgende kompaskaarten zijn voorzien:

- 1) Soms vertellen boeken meer door de manier waarop ze staan dan wat erin staat.
- 2) Up or down that's the question.
- 3) De sleutel ligt in de richting van hoe je leest.
- 4) Wanneer vier locaties kruisen is de plek gevonden.

Easter eggs

Benieuwd of de leerlingen deze verborgen hints en grapjes weten te spotten tijdens hun zoektocht!

- 1) De **morsecode** verwijst naar het klassieke communicatiemiddel dat duikboten gebruiken om berichten te versturen.



Lespakket

The Great EsCape

Deel 6

Verandering begint bij jezelf!

**LESPAKKET ONTWERPEN VOOR DE TWEEDE GRAAD VAN
HET SECUNDAIR ONDERWIJS**



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

KLIMAATLiNK

Korte inhoud

Wanneer de leerlingen de escaperooms succesvol hebben afgerond krijgen ze aan het einde de boodschap *‘Verandering begint bij jezelf’* mee.

Omdat klimaatbeleid voor veel jongeren vaak een ver-van-hun-bedshow blijft en ze het gevoel hebben hier zelf weinig aan te kunnen veranderen, worden ze uitgedaagd om na te denken over

kleinschalige oplossingen binnen een specifiek thema. In echte Europese Commissie-stijl krijgen de leerlingen vervolgens enkele minuten de tijd om hun idee kort en krachtig te pitchen aan de rest van de klas. Zo leren ze niet alleen de leerstof toepassen, maar ook actief nadenken over hun eigen rol in de klimaatproblematiek.

Tijdsduur

Één lesuur.

6.1 Op onderzoek – 30 min

6.2 Elevator pitch – 15 min

Werkvormen

Groepswerk

Placemat

Elevator pitch

Materiaal en voorbereiding

- ✓ Placemats met thema's
- ✓ Aangeraden computers of tablets voor de leerlingen

Op onderzoek

Placemat

Verdeel de klas in maximum zes groepjes van telkens vier leerlingen. Elk groepje krijgt een thema toegewezen dat nauw aansluit bij hun eigen leefwereld.

De bedoeling is dat de leerlingen nadenken over de **oorzaken en gevolgen** van klimaatverandering binnen hun **thema**. Ze moeten ook op zoek gaan naar hoe zij hierin een rol kunnen spelen. Ze zoeken naar haalbare, **kleinschalige oplossingen** die ieder individu of de school kan toepassen in het dagelijkse leven. Zo stimuleren we niet alleen inzicht, maar ook engagement.

De thema's zijn:

- Kleding en fashion
- Reizen
- Vervoer en transport
- Voeding en drank
- Energieverbruik
- Afval en recycling

Opdracht:

- De leerlingen denken eerst individueel gedurende vijf minuten over hun thema. Ze noteren hun ideeën in hun eigen vakje van de placemat.
- Vervolgens bespreken ze hun ideeën binnen het groepje. Wat ze gemeenschappelijk belangrijk vinden of waarover consensus is, noteren ze samen in de middelste cirkel van het blad. Zo ontstaat een gedeelde visie binnen de groep.

Inspiratie per thema

Kleding en fashion	Reizen	Vervoer en transport
- Kledingruilbeurs organiseren - Kledingatelier organiseren, waar kleding herteld kan worden - Minder wassen - Minder fast-fashion - ...	- Minder vliegreizen - Minder handdoeken laten vervangen tijdens reizen - Voorkeur voor duurzame activiteiten (vb. wel bungeejump maar geen parachutesprong, wel stand-up paddleboarding maar niet jetskiën. - Organiseren klimaatvriendelijke schoolreis - ...	- Meer transport met fiets of te voet - Meer gebruik van openbaar vervoer - Carpoolen naar school - Veilige fietsroutes uitstippelen naar school - ...

Voeding en drank	Energieverbruik	Afval en recyclage
- Minder vlees eten - Veggiesdag op school - Vleesvrije lunchdag - To Good To Go op school - Klassieke To Good To Go thuis - Creatief met restjes - Seizoensgebonden en lokaal eten - Kiezen voor product met minst verpakking - ...	- Verlichting uit - Opteren voor led verlichting - Bij verwarming vensters sluiten - Organiseren dikke truien dag - Energiemanager / lichtverantwoordelijke op school - ...	- Beter afval scheiden en recyclen - Recyclagewedstrijd op school - Upcycling challenge - Leren composteren - Winkelen met als doel zo weinig mogelijk verpakking - ...

Elevator pitch

De leerlingen werken een korte (2 à 3 minuten per groepje) **elevator pitch** uit: een krachtige, overtuigende presentatie van hun ideeën om binnen hun thema bij te dragen aan een positieve impact op de klimaatverandering.

Het doel is om hun klasgenoten te **overtuigen** van de waarde en haalbaarheid van hun voorstel, en hen

aan te zetten om het idee zelf toe te passen in het dagelijks leven.

De vorm van de pitch kiezen de leerlingen zelf. Ze mogen gebruik maken van een presentatie, beeldmateriaal, filmpjes of gewoon het gesproken woord. Het belangrijkste is dat hun boodschap maar duidelijk en inspirerend overkomt.

TIP

Hoe fijn zou het zijn voor de leerlingen als enkele van deze ideeën ook écht gerealiseerd worden op school?

Daag jezelf, je collega's en de leerlingen uit om een aantal van deze elevator pitches om te zetten in concrete acties binnen de schoolomgeving. Op die manier groeit het project verder dan het klaslokaal en voelen leerlingen dat hun stem en inzet écht verschil kunnen maken.

II. Deel 1: Powerpoint – The Great EsCape



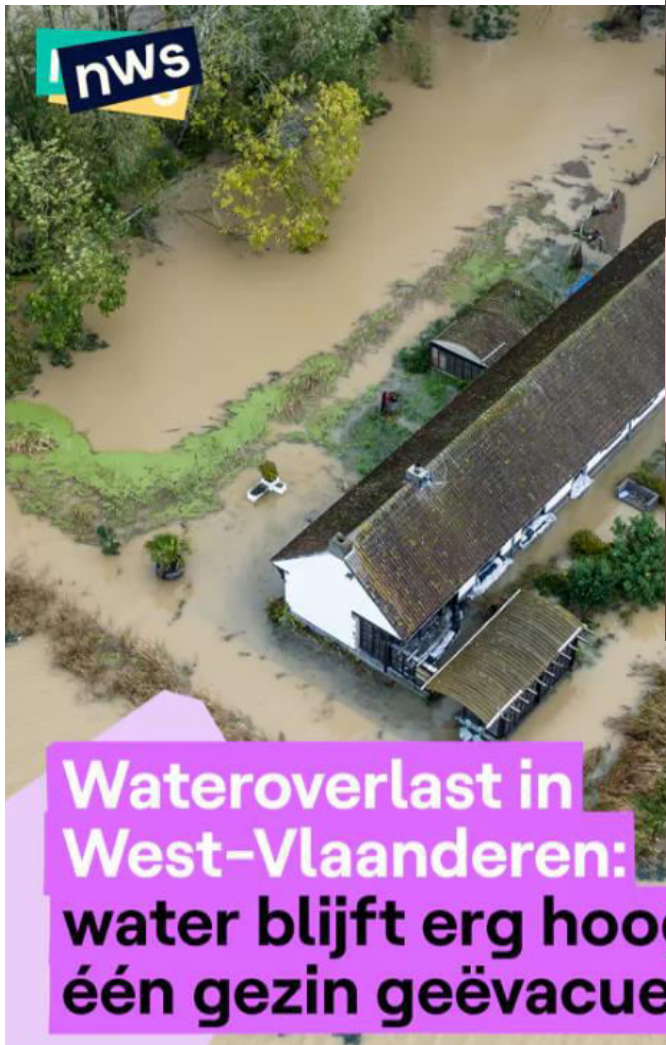
University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

KLIMAATLINK



The Great EsCape

Deel 1 – Wat is klimaatverandering?



Wateroverlast in West-Vlaanderen: water blijft erg hoog staan, één gezin geëvacueerd »



Minstens 50 doden en meerdere vermisten na plotse overstromingen in Spanje »



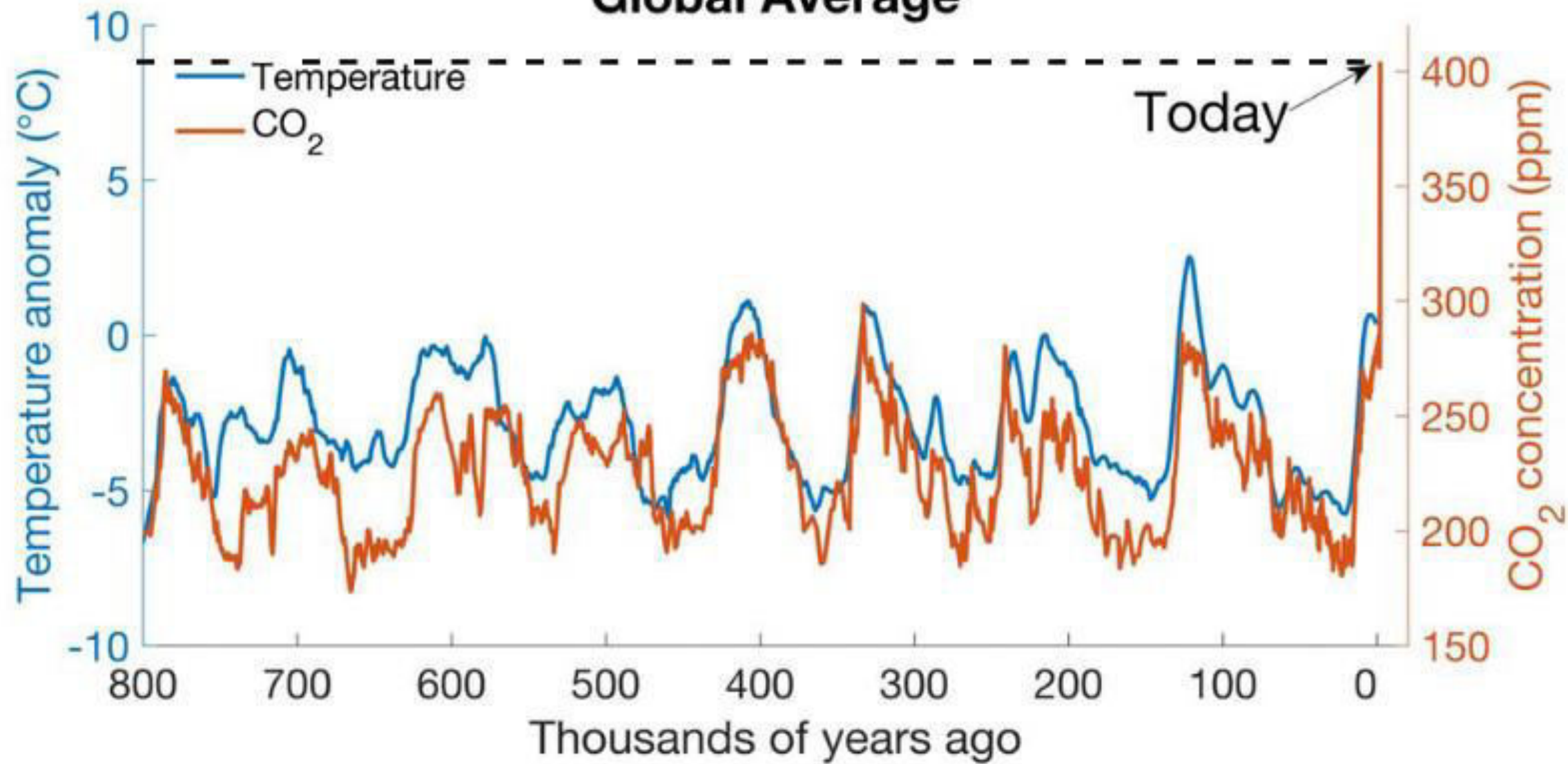
Hittegolf in Marokko met temperaturen tot 50°C: al 21 doden



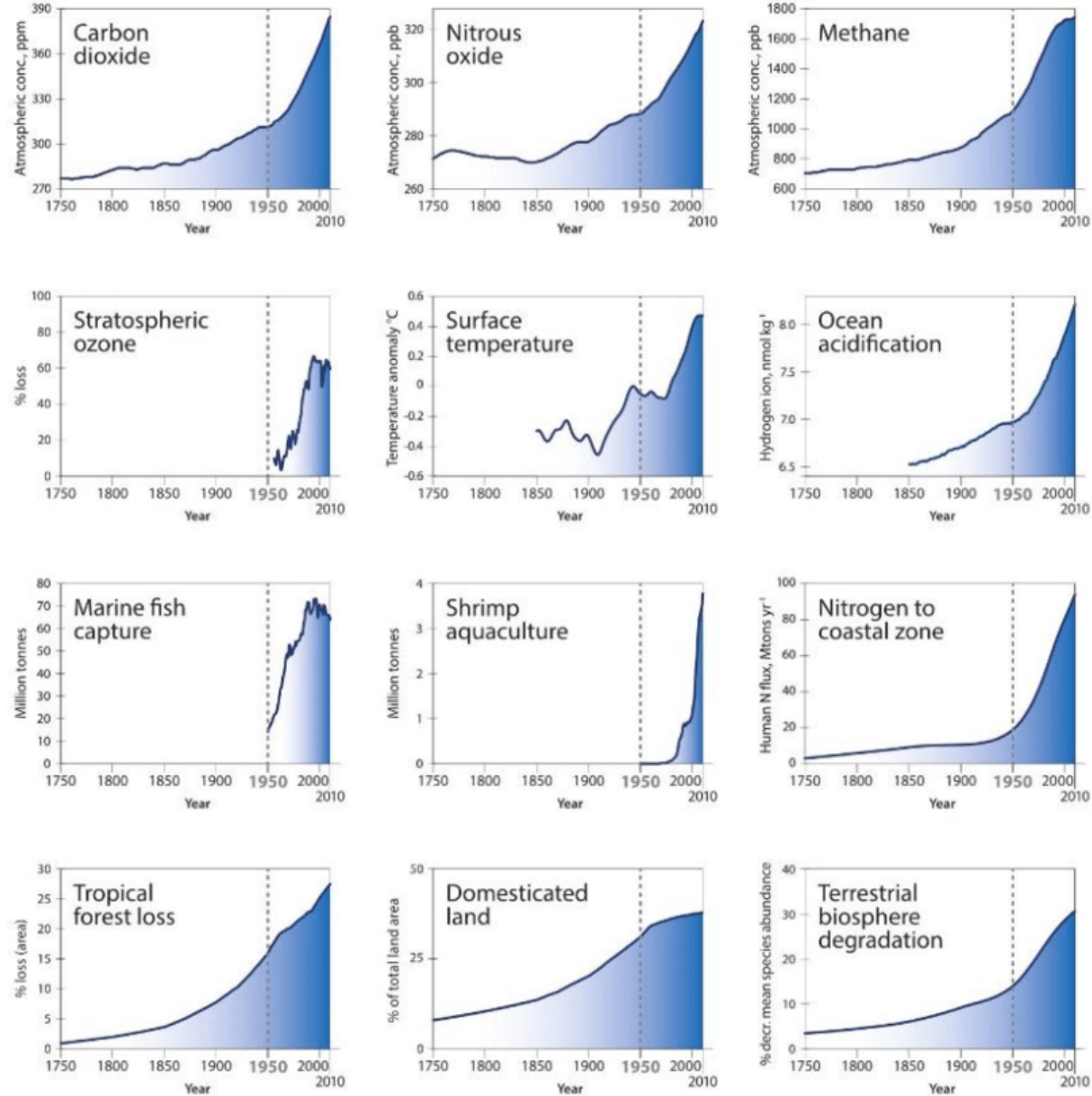
Gebied zo groot als Brussel verwoest: zware bosbranden in Los Angeles woeden verder »



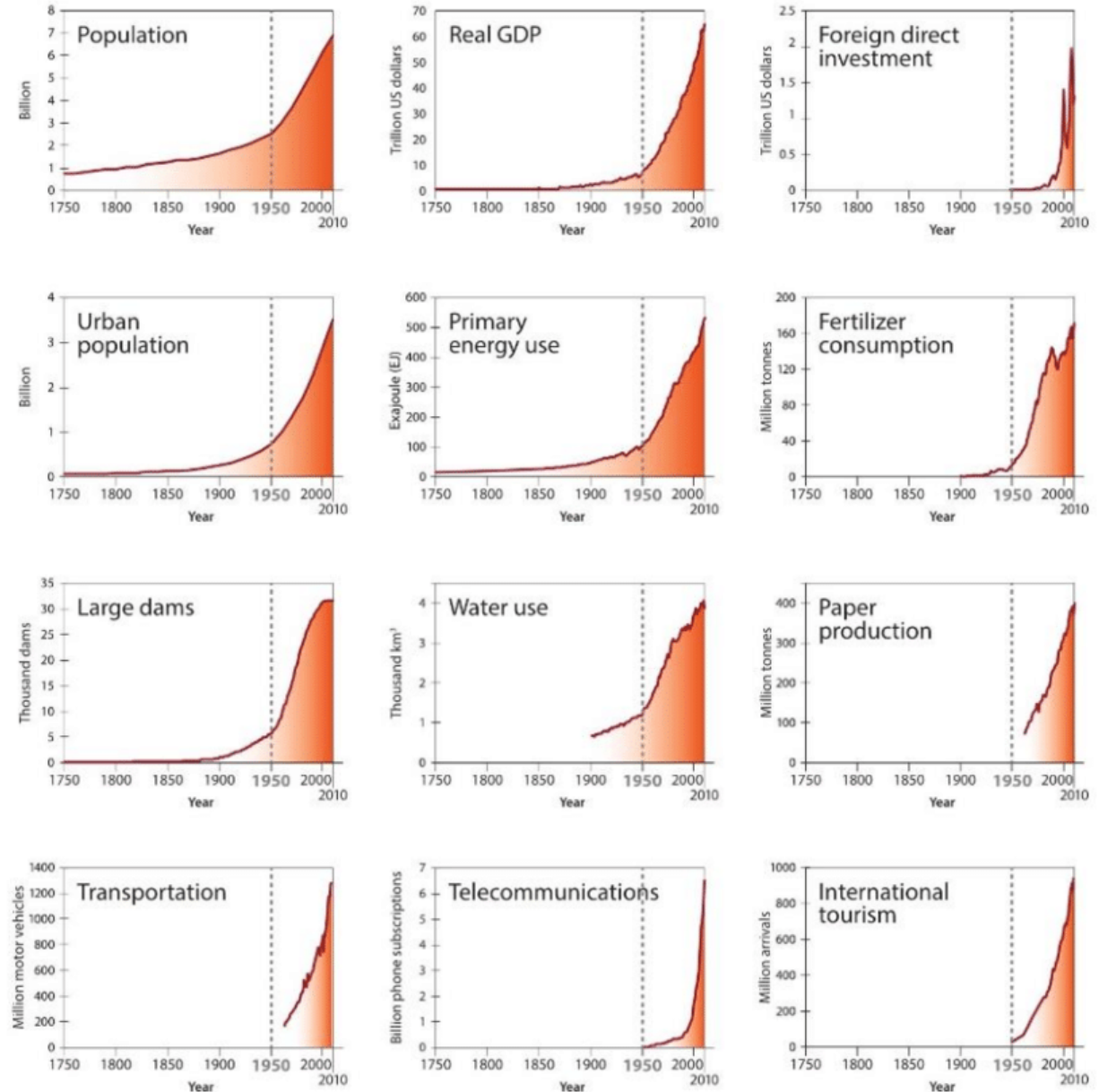
Global Average



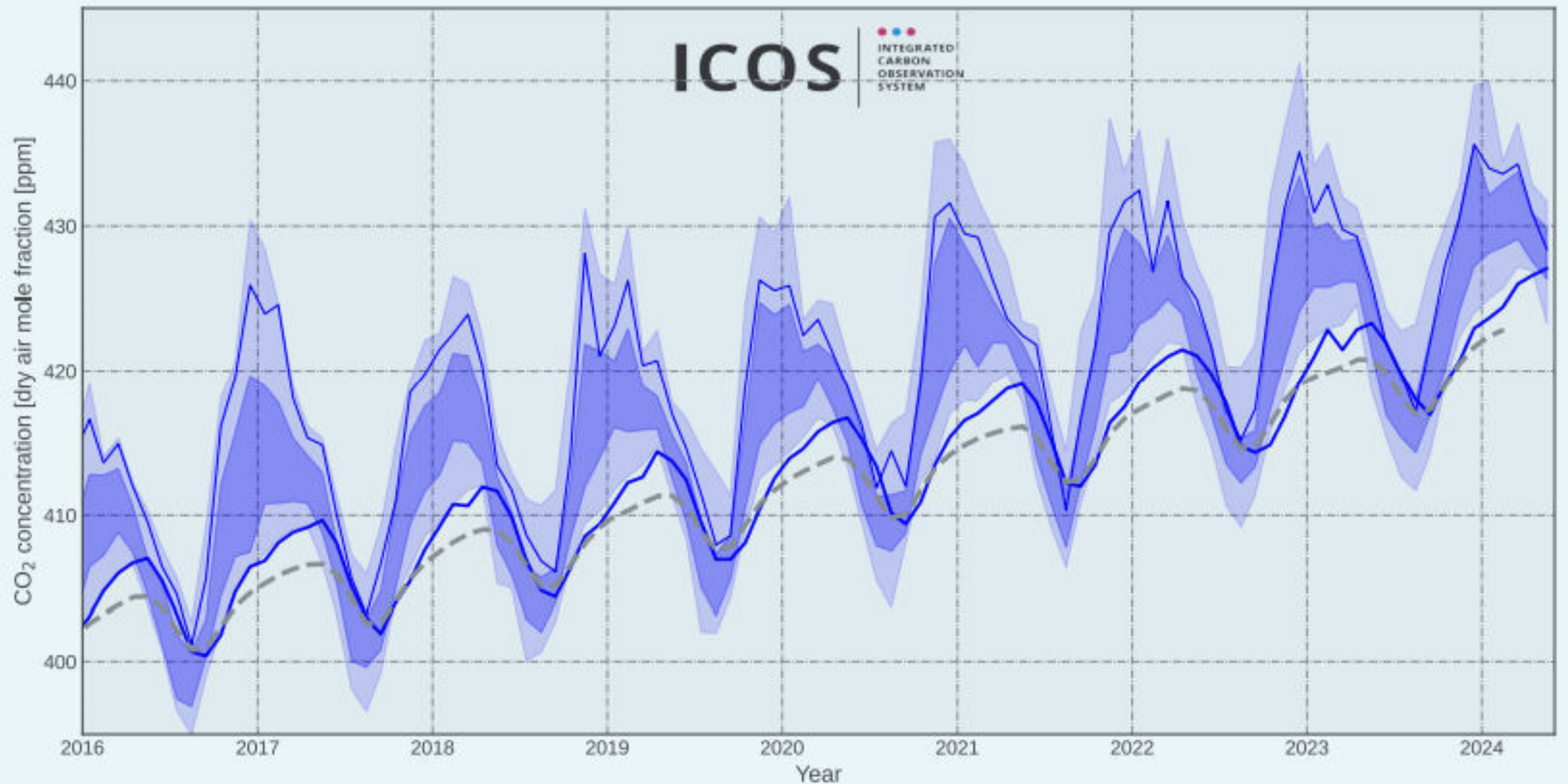
Earth system trends



Socio-economic trends

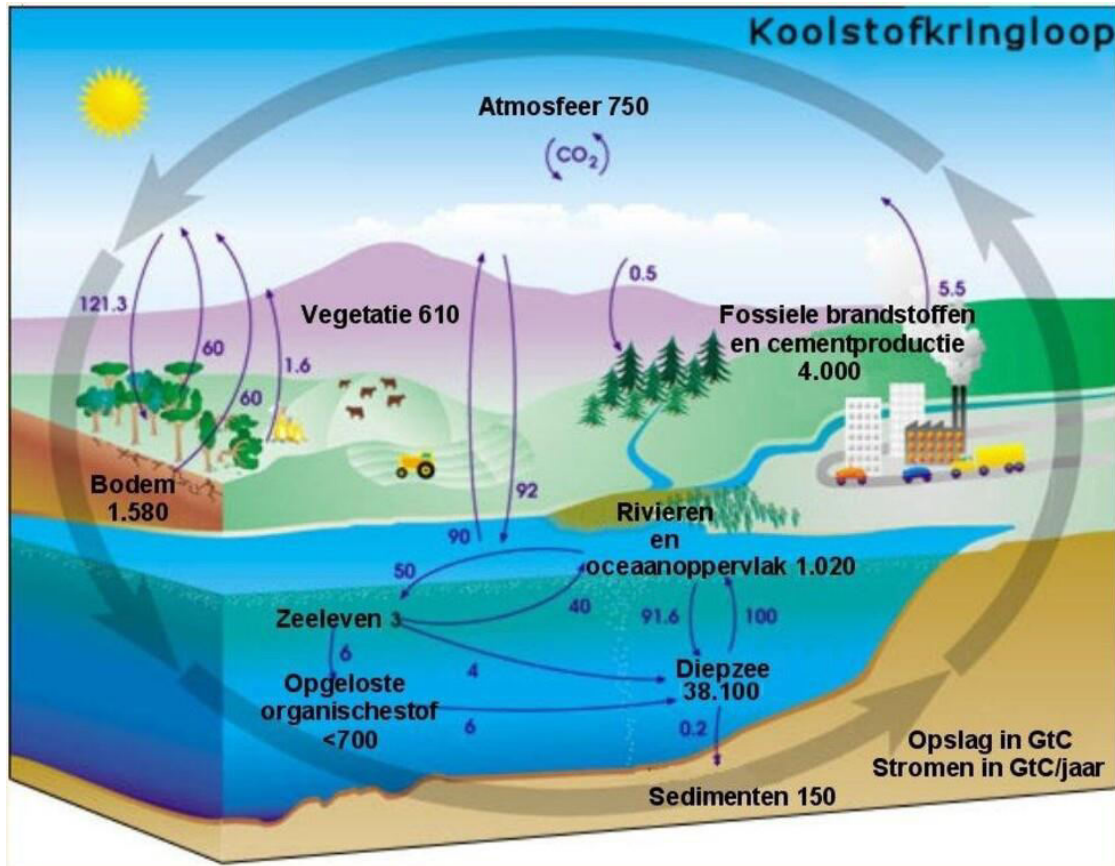


CO₂ observations at 39 ICOS stations and global average

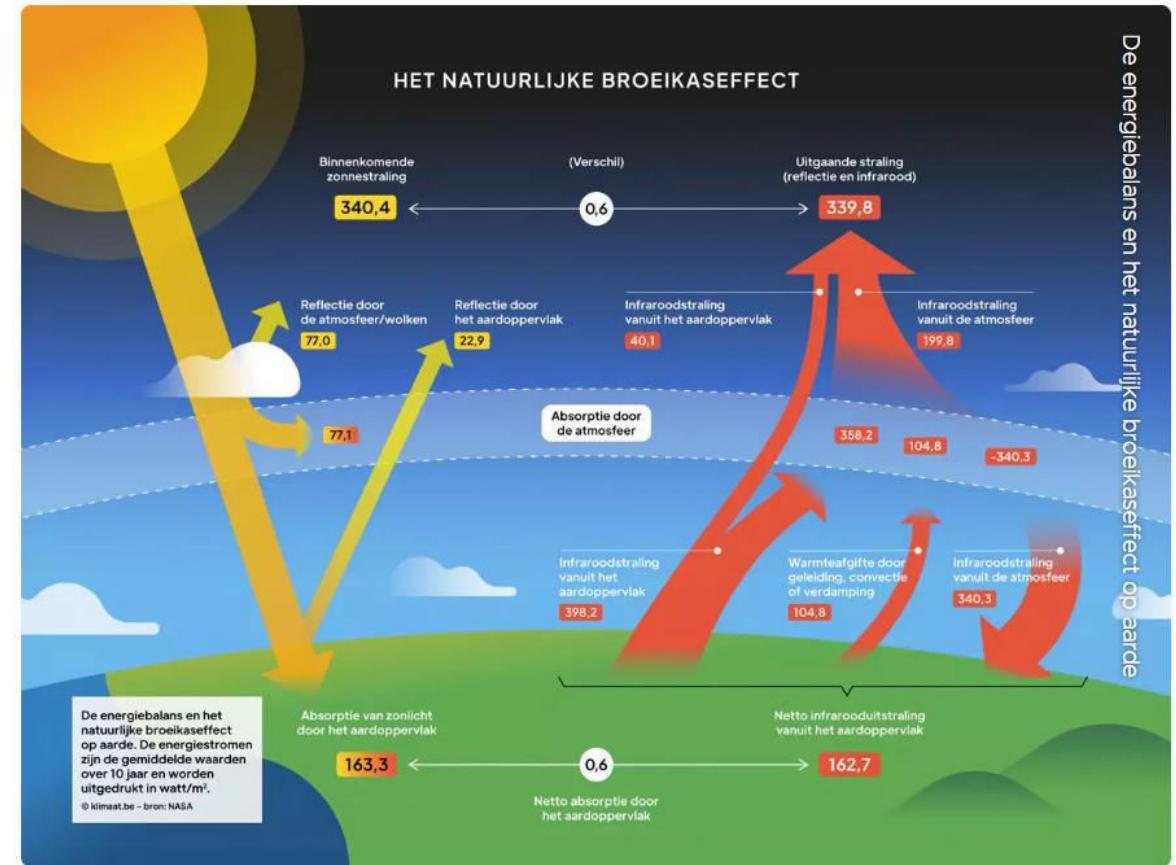


50% of variability at ICOS stations 90% of variability at ICOS stations Izaña (ICOS station) Cabauw (ICOS station) Global average (NOAA)

Koolstofcyclus



Broeikaseffect



Stellingenspel

Niet akkoord

Akkoord

Het klimaat is altijd veranderd, dus dit is
normaal.

Niet akkoord

Akkoord

Eén graad warmer, dat voel je toch niet.

Niet akkoord

Akkoord

CO₂ is natuurlijk en dus niet schadelijk.

Niet akkoord

Akkoord

We stoten als klein landje toch bijna niks uit,
dus wat maakt het uit?

Niet akkoord

Akkoord

Elektrische auto's zijn slechter voor het milieu dan fossiele brandstoffen.

Niet akkoord

Akkoord

Windmolens zijn slecht voor de natuur

Niet akkoord

Akkoord

Wetenschappers zijn het oneens over
klimaatverandering.

Niet akkoord

Akkoord

Het is koud vandaag, dus klimaatopwarming
bestaat niet.

Niet akkoord

Akkoord

Er is nu meer koolstof op aarde dan een miljoen jaar geleden.

Niet akkoord

Akkoord

Het klimaatprobleem is niet ons probleem

Niet akkoord

Akkoord

III. Deel 1: Uitleg bij figuren

Klimaatprobleem

Uitleg bij figuren klimaatprobleem



Een petrochemische fabriek. De industrie is verantwoordelijk voor 21% van de uitstoot van broeikasgassen door de mens. Voor de chemische industrie is dit 3%.



Een tractor met aanhangwagen verplaatst boomstronken. Ontbossing draagt bij aan klimaatverandering. Als het hout verbrand wordt, komt er CO₂ in de lucht. Zeker het kappen van natuurlijke bossen is niet goed voor het klimaat. Het duurt heel lang vooraleer een natuurlijk bos hersteld is en het CO₂ opnieuw opgenomen is. Maar indien het om duurzaam bosbeheer gaat, en de omgehakte bomen vervangen wordt door nieuwe bomen, is er op lange termijn geen netto CO₂-toename in de lucht. Zeker niet als de omgehakte bomen intact blijven zoals voor het maken van meubels, huizen ...



Een uitgestrekt landschap vol met landbouwgronden. Landbouw is verantwoordelijk voor 24% van de broeikasgasuitstoot door de mens. Dit komt door de uitstoot van a) methaan door veeteelt of rijstbouw, b) lachgas door veeteelt en overbemesting van landbouwgronden, en c) CO₂ door ontbossing, uitputting van de bodem ...



Koeien. Het eten van dieren heeft een grotere impact op het klimaat dan het eten van plantaardig voedsel. Dieren zorgen namelijk voor mest, nemen meer plaats in dan planten ... Vooral runderen hebben een grote impact op het klimaat: ze produceren bij hun vertering methaan (5% van de broeikasgasuitstoot).



blijven.

Een tractor ploegt het veld om. Dit proces haalt koolstof uit de bodem. De bodemdeeltjes in de stofwolk verspreiden zich en kunnen via erosie door wind en water weggevoerd worden. Op die manier verdwijnt ook de koolstof die in de bodem zat. Als op een duurzamere manier aan landbouw gedaan wordt, kan dit vermeden worden en kunnen grote hoeveelheden koolstof (en CO₂) in de bodem opgeslagen



Rijstvelden. Bij de productie van rijst wordt in het zuurstofarme water methaan geproduceerd. Deze methaanuitstoot is verantwoordelijk voor 1% van de broeikasgasuitstoot door de mens.



Gletsjers. Wereldwijd zijn het aantal gletsjers en ijsvlaktes in gebergtes aan het afnemen. Ze smelten sneller dan dat er jaarlijks winterse neerslag valt. Dit komt door klimaatverandering en veroorzaakt een stijgende zeespiegel en minder (drinkbaar) zoet water. Het verlaagt bovendien de albedo (reflectie van zonlicht) met bijgevolg snellere opwarming ...



Drijvende ijsbergen. Het Noordpoolgebied is een van de snelst opwarmende gebieden op Aarde. Het ijs rond de noordpool smelt daardoor snel. Mogelijk hebben we hier binnen 10 jaar al een ijsvrije zomer! Dit is een ramp voor het plaatselijke ecosysteem en heeft ongekende gevolgen voor zeestromingen over de hele planeet.



Windmolens. Hernieuwbare energie zoals windenergie is belangrijk om klimaatverandering tegen te gaan. Elektriciteitsproductie is momenteel de grootste oorzaak van broeikasgasuitstoot door de mens (25%).



Een grote stad. Gebouwen zijn verantwoordelijk voor 6% van de broeikasgasuitstoot door de mens. Het is belangrijk goed te isoleren, energiezuinig te leven, te kiezen voor hernieuwbare energiebronnen voor koeling en verwarming, en voldoende groene ruimtes in steden te voorzien.



Afval wordt opgeruimd. Afval is een groot milieuprobleem en slechts een klein klimaatprobleem. Wanneer afval in de natuur ligt, kan het die vervuilen en planten en dieren hinderen. Wanneer het afval opgeruimd wordt, is het belangrijk dat het gerecycleerd wordt. Indien het toch verbrand wordt, komt er CO_2 vrij. En op een vuilnisbelt zorgen sommige producten voor methaanproductie. Afval is verantwoordelijk voor 3% van de totale broeikasgasuitstoot.



De zon. De zon heeft een enorme invloed op ons klimaat. Het is de basis van het leven. Het zorgt ervoor dat de aarde en alles op de aarde energie krijgt en uitstraalt. De zon kan ons van veel hernieuwbare energie voorzien. Op een uur tijd ontvangt de aarde meer zonne-energie dan de globale jaarlijkse energieconsumptie.



Brand. Bij bos- en veenbranden komt veel CO₂ vrij. Koolstof was lange tijd in organische vaste vorm opgeslagen maar gaat bij verbranding in de vorm van CO₂ in de atmosfeer. Indien het vervangen wordt, dan is er netto geen broeikasgastoename en dus geen klimaatverandering. Echter kan deze compensatie decennia (bossen) en millennia (veen- en turfgronden) lang duren. Ondertussen zorgt het CO₂ voor klimaatverandering.



Overstroomde gebieden. Overstromingen zijn vaak het gevolg van extreem weer, wat vaker voorkomt door klimaatverandering. Het is de combinatie van het verharden van grond (door aanleggen van straten, dichtgooien van waterlopen ...) en het toenemen van de hoeveelheid neerslag per minuut dat zorgt dat het water niet in de bodem kan en het gebied zal overstromen. Overstromingen in kustgebieden kunnen ook het gevolg zijn van extreem weer op zee en zeespiegelstijging.



Cement. De cementindustrie is verantwoordelijk voor 3% van de broeikasgasuitstoot door de mens. Bij de productie van cement komt CO₂ vrij.



Zonnepanelen. Hernieuwbare energie zoals zonne-energie is belangrijk om klimaatverandering tegen te gaan. Elektriciteitsproductie is momenteel de grootste oorzaak van broeikasgasuitstoot door de mens (25%).



Een metaalfabriek. Bij het smelten van erts voor de productie van metaal is enorm veel hitte nodig. Bij deze hitteproductie worden fossiele brandstoffen verbrand. De metaalindustrie is verantwoordelijk voor 5% van de broeikasgasuitstoot door de mens.



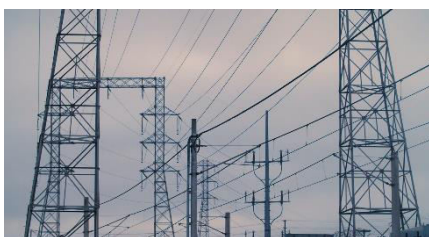
Een vuilnisbelt. Afval is een groot milieuprobleem en in mindere mate een klimaatprobleem. Wanneer afval in de natuur ligt, kan het die vervuilen en planten en dieren hinderen. Wanneer het afval opgeruimd wordt, is het belangrijk dat het gerecycleerd wordt. Indien het toch verbrand wordt, komt er CO₂ vrij. En op een vuilnisbelt zorgen afbraakprocessen voor methaanproductie. Afval is verantwoordelijk voor 3% van de totale broeikasgasuitstoot.



Een vliegtuig. Transport is verantwoordelijk voor 14% van de broeikasgasuitstoot door de mens. Hoewel het aandeel van vliegtuigen hierin wereldwijd 'slechts' 2% is, zorgt een vlucht voor een grote hap uit je persoonlijke ecologische voetafdruk. Vliegtuigen verbranden fossiele brandstoffen, waarbij CO₂ vrijkomt.



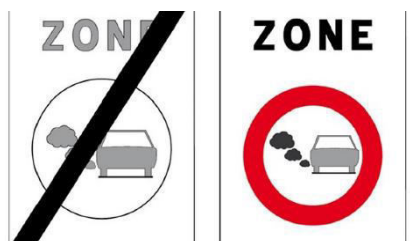
Een elektrische auto. Transport is verantwoordelijk voor 14% van de broeikasgasuitstoot door de mens. Voor transport op de weg (auto's, vrachtwagens ...) is dit 10%. De meeste auto's verbruiken nog steeds fossiele brandstoffen (voornamelijk diesel, benzine of aardgas). Wanneer elektrische auto's op elektriciteit rijden die volledig door hernieuwbare energie opgewekt is, hebben ze geen invloed meer op het klimaat.



Elektriciteitsmasten. Elektriciteitsproductie is wereldwijd momenteel de grootste oorzaak van broeikasgasuitstoot door de mens (25%).



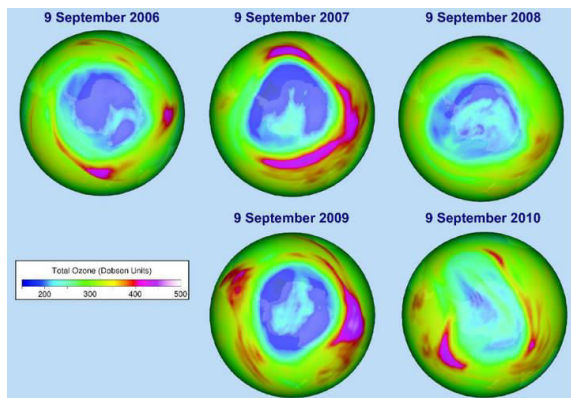
Smog. In steden met te weinig groen, te weinig verluchting door het uitsluiten van wind, en uitstoot van stof en roet door auto's, industrie ... ontstaat er soms smog. Hierdoor is de luchtkwaliteit erg slecht. Dit is voornamelijk een milieuprobleem (gezondheid en leefomgeving).



Lage-emissiezone. Sommige steden hebben een lage-emissiezone. Dit betekent dat er geen (oude) dieselwagens mogen rijden. Dit heeft te maken met de luchtkwaliteit: oude dieselwagens stoten meer fijn stof uit. Dit heeft niets te maken met klimaatverandering. Meer zelfs: algemeen stoten benzine wagens meer CO₂ uit dan de dieselwagens.



Corona en andere ziektes. Rechtstreeks heeft corona niets met klimaatverandering te maken, ook al zijn er studies die aantonen dat epidemieën vaker kunnen voorkomen wanneer het klimaat opwarmt. Vooral tropische ziektes zoals malaria zullen zich steeds meer in noordelijke regio's gaan voordoen.



Het gat in de ozonlaag. Dit gat is eigenlijk een vermindering van concentratie aan ozon in de hoge atmosfeer (stratosfeer, ~10 km hoogte), doordat het ozon er reageert met door de mens gemaakte chloor-, broom- en stikstofverbindingen zoals CFK's, halonen, HCFK's en methylbormide. Dit is een ernstig gezondheidsprobleem aangezien de ozonlaag de aarde beschermt tegen schadelijke UV-straling. Het gat in de ozonlaag is echter geen klimaatgerelateerd probleem.



Overbevissing. Steeds meer en efficiëntere vissersboten vangen wereldwijd erg veel vis. Sommige soorten worden overbevist, waarbij hun populatie enorm snel afneemt. Enkele soorten stierven al uit. Hierdoor komen ook andere dieren, die het vis als voedsel hebben, in de problemen. Bij visvangst is er bovendien een bijvangst van zeedieren die niet door de mens geconsumeerd worden. Zij kunnen hierbij verwond of gedood worden. Dit is een biodiversiteitsprobleem, en geen

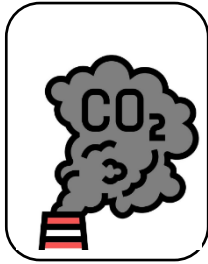
klimaatprobleem.



De plasticsoep. Er zweeft enorm veel plasticafval in de zee. Ook microplastic komt tegenwoordig overal voor. Dit is een ernstig milieu- en gezondheidsprobleem, maar geen klimaatprobleem.

IV. Deel 2: ID's – Broeikasgassen

ID's – Broeikasgassen



Naam: _____

GWP: _____ Residentietijd: _____

Natuurlijke oorsprong: _____

Antropogene oorsprong: _____



Naam: _____

GWP: _____ Residentietijd: _____

Natuurlijke oorsprong: _____

Antropogene oorsprong: _____

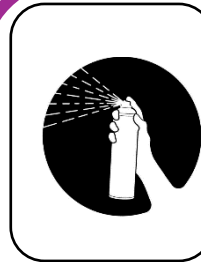


Naam: _____

GWP: _____ Residentietijd: _____

Natuurlijke oorsprong: _____

Antropogene oorsprong: _____



Naam: _____

GWP: _____ Residentietijd: _____

Natuurlijke oorsprong: _____

Antropogene oorsprong: _____

V. Deel 3: Powerpoint – The Great EsCape



Het koolstofpuzzelspel

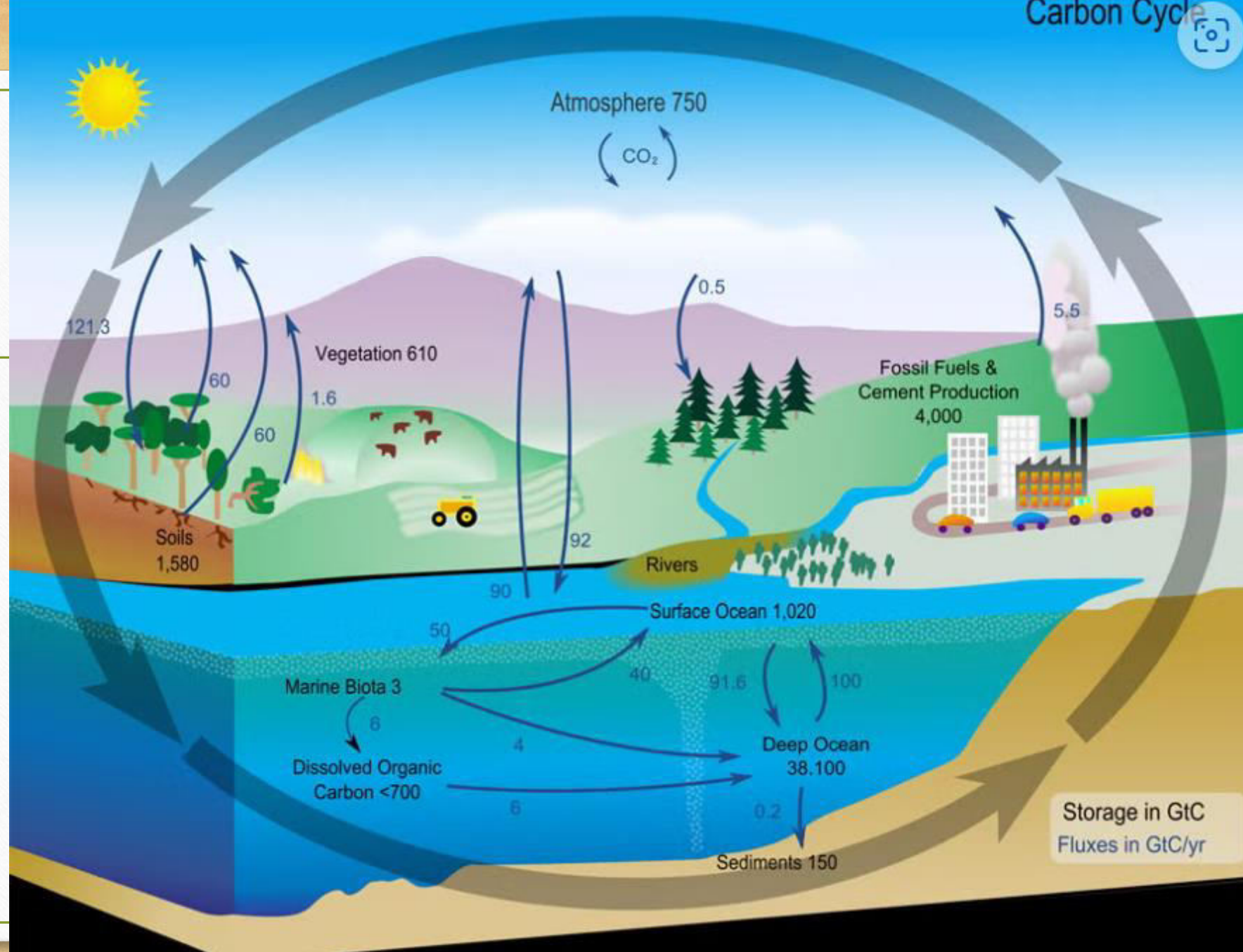
- **Spelverloop:**

1. Verdeel de klas in groepjes
2. Elk groepje krijgt dezelfde verzameling zeshoeken: onderdelen van de koolstofkringloop.
3. Stel de koolstofkringloop samen: zet de zeshoeken op de juiste plek naast/boven/onder elkaar.
4. Bestudeer de cijfers in de zeshoeken: dit zijn koolstoffluxen.

(Gt C / jaar = gigaton koolstof per jaar)

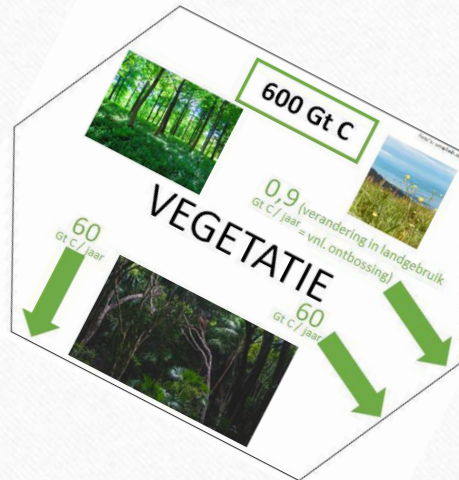
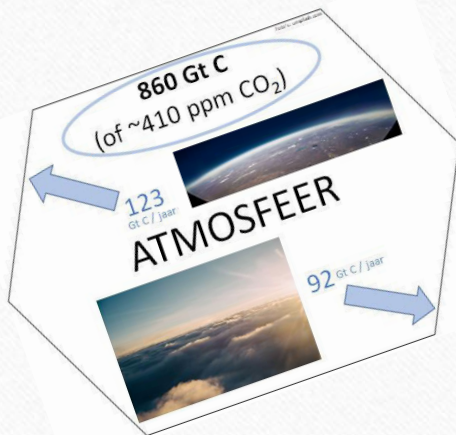
- ➔ De mens heeft een invloed op deze onderdelen, en op de fluxen tussen de onderdelen.
- ➔ Dit heeft gevolgen voor het klimaat.

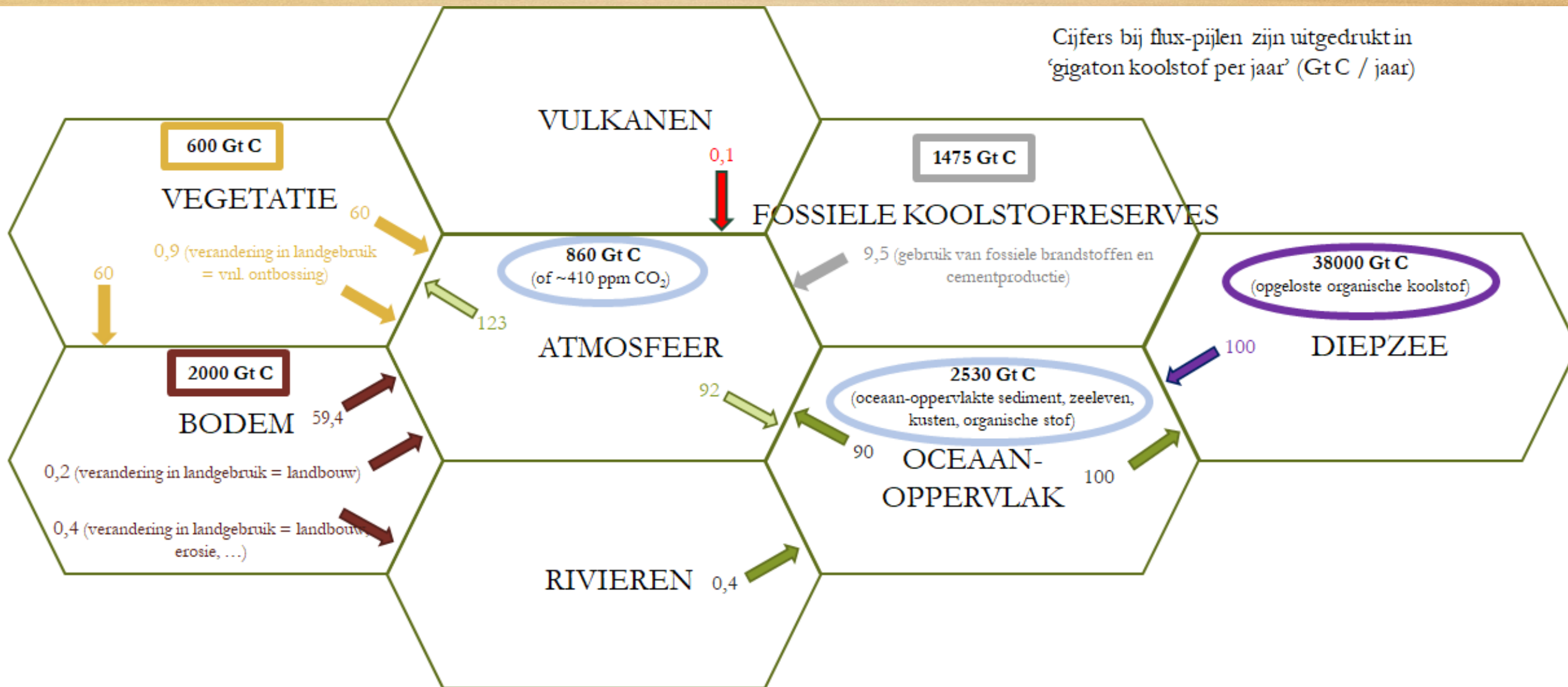
Carbon Cycle



Het koolstofpuzzelspel

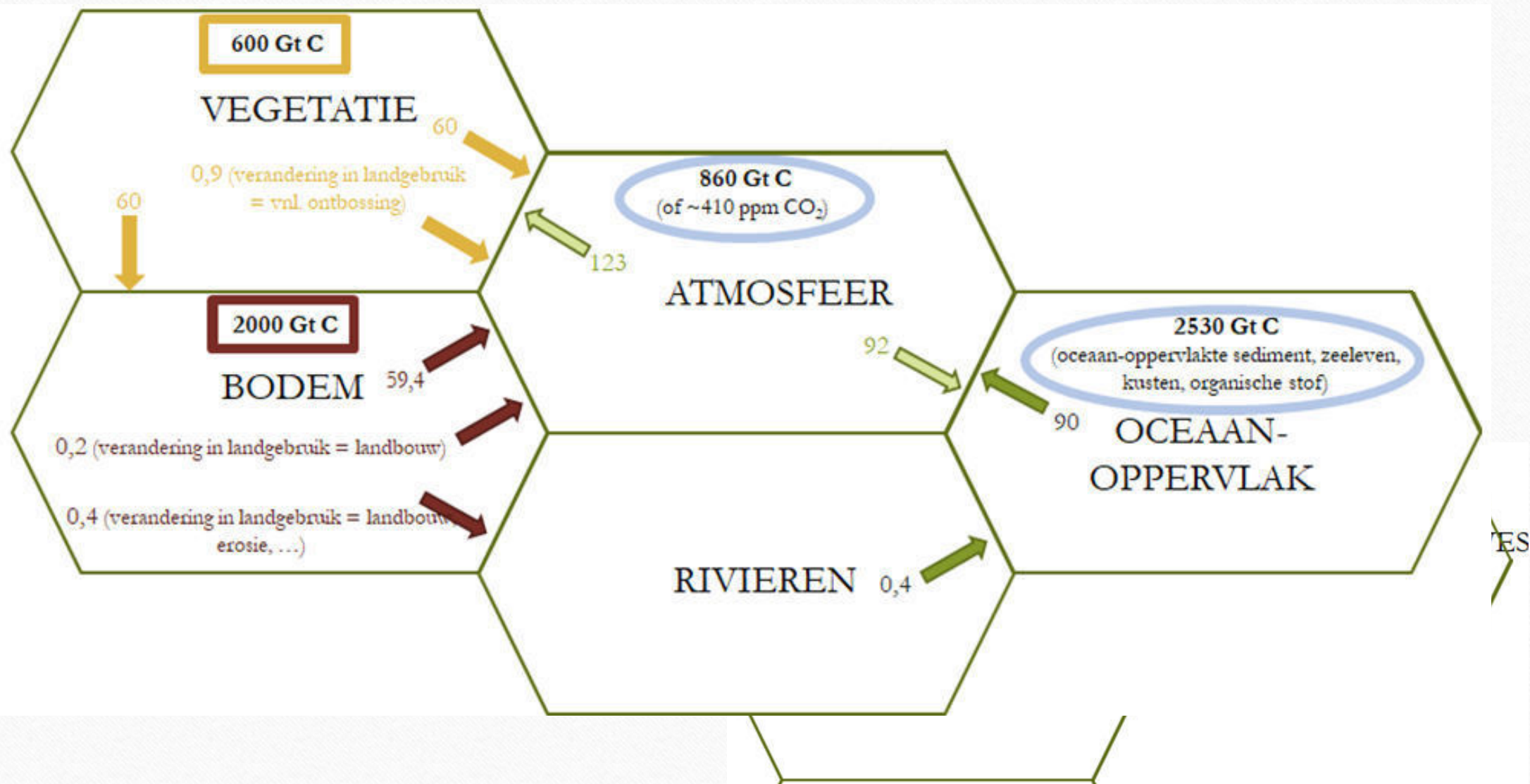
- Bespreking schema's:
 - Welk schema is het correcte? Waarom?





- Waar gaat de koolstof naartoe?
- Waar is het evenwicht van de kringloop verbroken?
- Welke onderdelen nemen toe in koolstofgehalte?

- Welke onderdelen nemen af in koolstofgehalte?
- Hoe beïnvloedt de mens deze kringloop?
- Hoe lossen we dit op?

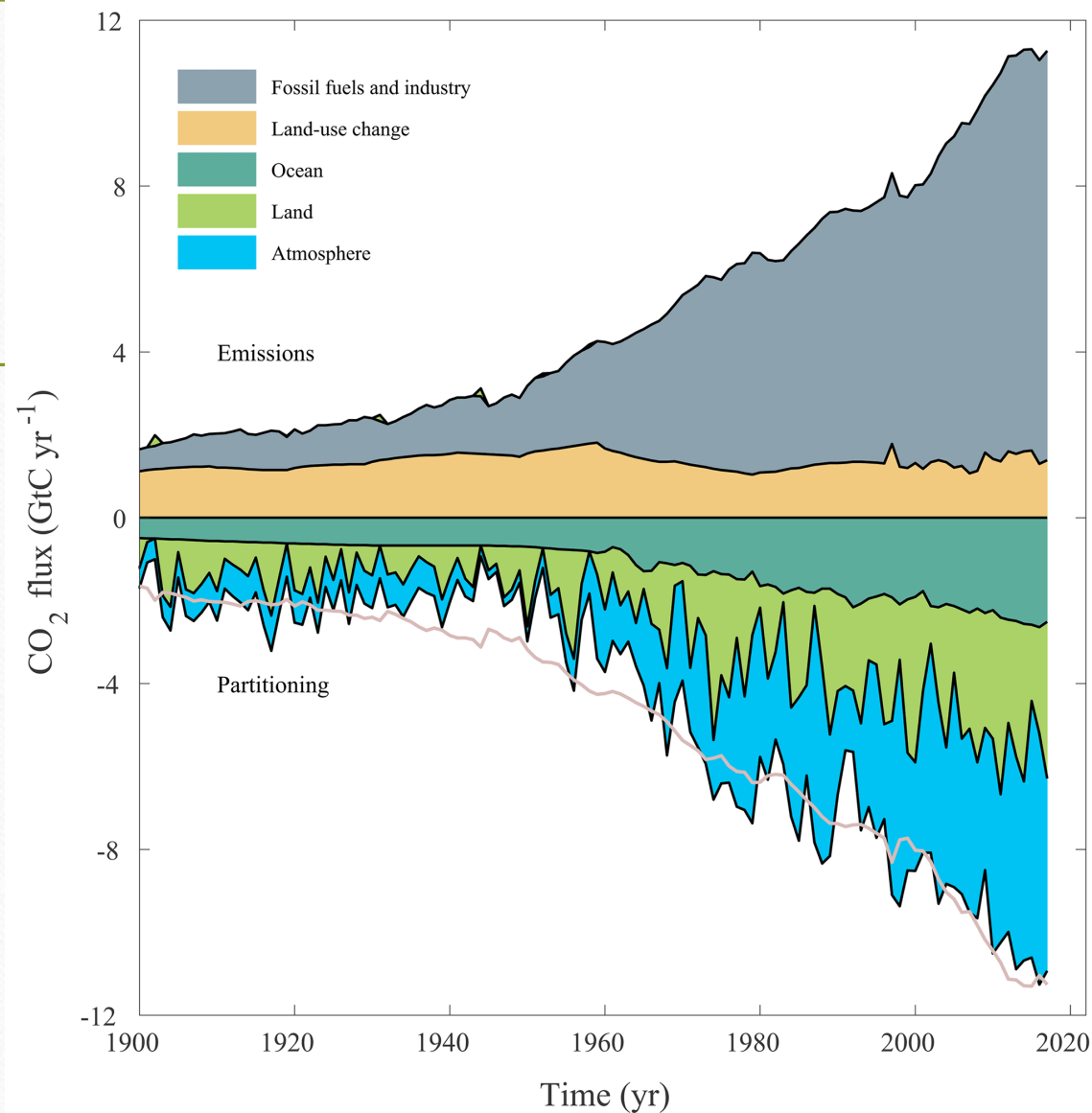


Koolstofopslag

- Koolstofopslag op het land:
 - Planten en dieren
 - De bovenste bodemlaag
- Koolstofopslag in de oceanen
 - CO₂ lost op in water (fysische pomp)
 - Waterplanten en algen doen aan fotosynthese, en sommige dieren halen CO₂ en calcium uit het zeewater voor hun schelp- of koraalgroei (biologische pomp)
- (Koolstofopslag diep in de aarde (o.a. fossiele koolstof))

Koolstofopslag

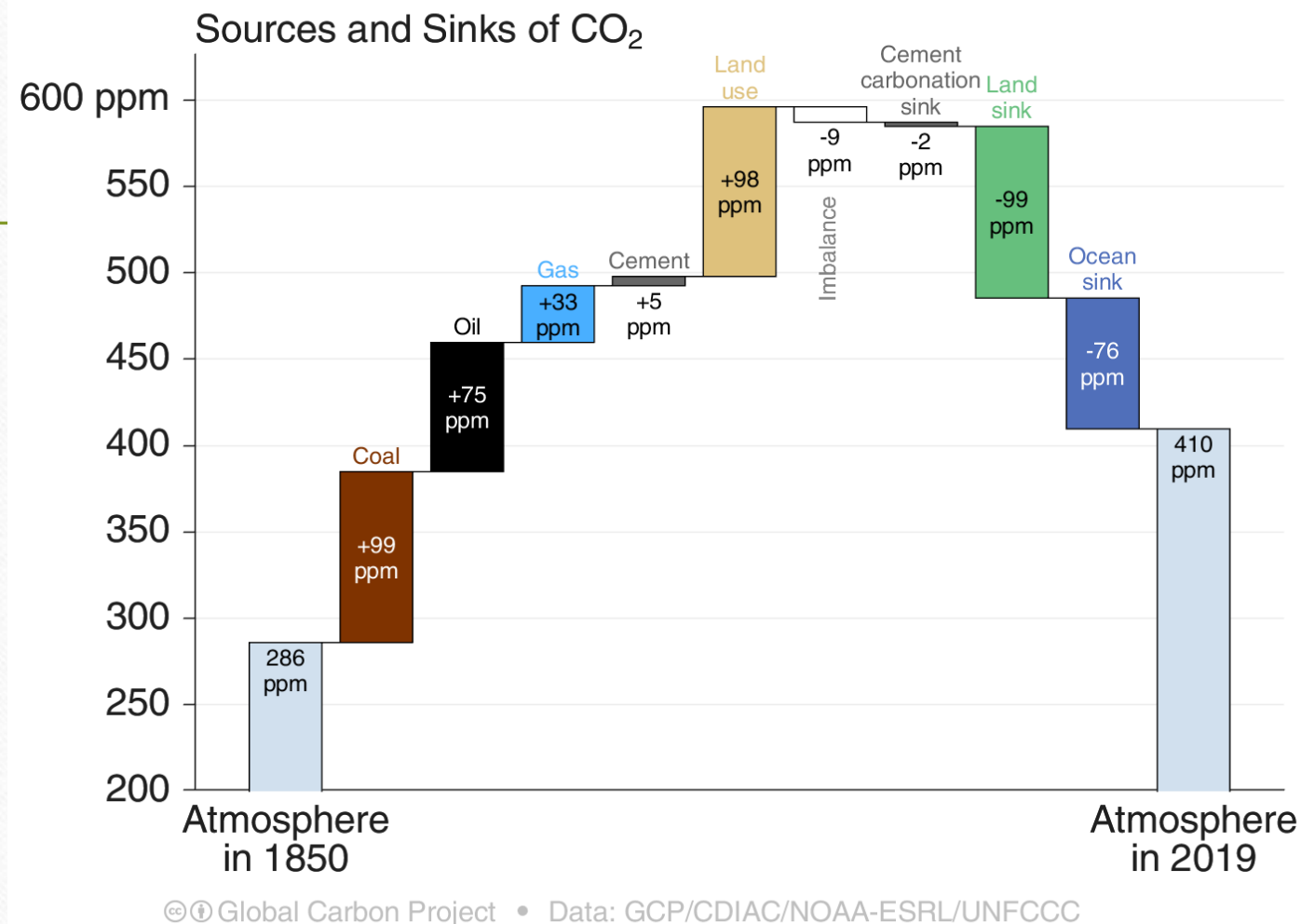
Hoe meer koolstof in de atmosfeer komt, hoe meer er wordt opgenomen door oceanen en het land.

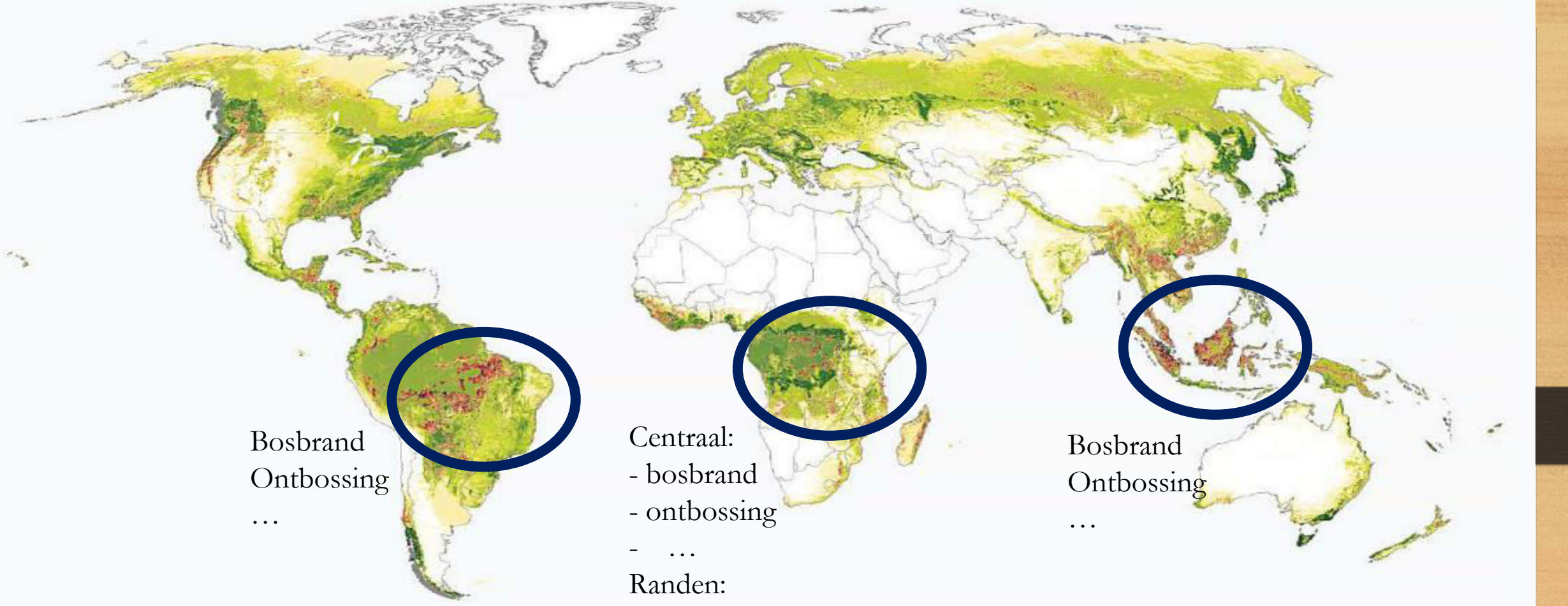


Koolstofopslag

Hoe meer koolstof in de atmosfeer komt, hoe meer er wordt opgenomen door oceanen en het land.

Zonder de natuurlijke ecosystemen zou klimaatverandering veel erger zijn.





Bosbrand
Ontbossing
...

Centraal:
- bosbrand
- ontbossing
- ...
Randen:
- bosgroei

Bosbrand
Ontbossing
...

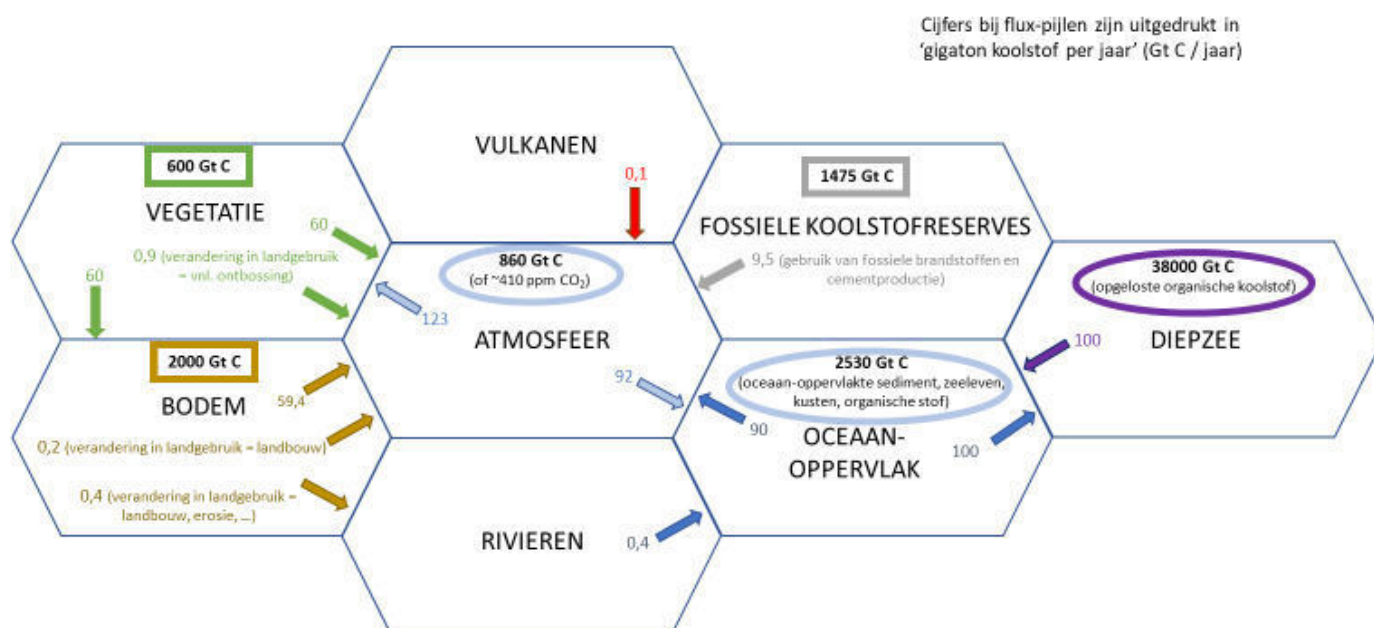


Net annual fluxes in forest-related greenhouse gases¹

VI. Deel 3: Koolstofpuzzelspel

Bijlage koolstofpuzzelspel

Deze bijlage legt de verschillende onderdelen van de koolstofkringloop uit het koolstofpuzzelspel, en hun onderlinge verbanden binnen de koolstofkringloop, uit. Cijfers komen uit het Global Carbon Budget 2020 – gepubliceerd op 11 december 2020 (<https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/>).



Figuur: het koolstofpuzzelspel met enkele belangrijke onderdelen van de koolstofkringloop telkens in een aparte zeshoek. Zie lespakket CurieuzeNeuzen in de Tuin, DEEL 3, koolstofpuzzelspel.

1. Atmosfeer

Koolstof bevindt zich in de atmosfeer voornamelijk in de vorm van koolstofdioxide (CO_2). Het is het bekendste broeikasgas waarvan geweten is dat het de laatste decennia in grote hoeveelheid is toegenomen door verbrandingsprocessen van fossiele koolstofreserves. De huidige (het jaar 2020) hoeveelheid koolstof in de atmosfeer wordt door wetenschappers op 860 gigaton koolstof (Gt C) geschat. De mens brengt jaarlijks 9,5 Gt C per jaar in de atmosfeer door verbranding van fossiele brandstoffen en cementproductie. Ongeveer 123 Gt C per jaar, toch wel 3 Gt C per jaar meer dan voor de industriële revolutie, wordt door de vegetatie uit de atmosfeer opgenomen. Anderzijds geven de vegetatie en de bodem ook voortdurend koolstof af aan de atmosfeer (zie 4. Vegetatie en 5. Bodem). Ook de oceanen wisselen koolstof uit met de atmosfeer. Gemiddeld 92 Gt C per jaar wordt opgenomen door het oceaanooppervlak, terwijl slechts 90 Gt C per jaar door de oceaan weer naar de atmosfeer wordt uitgestoten (zie 7. Oceaanooppervlak).

2. Vulkanen

Voor de industriële revolutie waren significante stijgingen van koolstof in de atmosfeer voornamelijk te wijten aan vulkaanuitbarstingen; er zijn tijdperiodes geweest dat de aarde op deze manier meerdere Gt C per jaar in de atmosfeer stuurde. Momenteel is deze koolstofuitstoot via vulkaanuitbarstingen, gemiddeld over meerdere jaren (niet elk jaar is er een uitbarsting), nog ongeveer 0,1 Gt C per jaar.

3. Fossiele koolstofreserves

Sinds de industriële revolutie zijn mensen steenkool gaan gebruiken voor energieproductie voor o.a. verwarming, mobiliteit en industrie. Later kwamen hier de fossiele koolstofbronnen olie, aardgas en schaliegas bij. Bij de verbranding van deze koolstofreserves komt een grote hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer; momenteel zelfs een hoeveelheid van 9,5 Gt C per jaar. De resterende fossiele koolstofreserves in de aarde worden geschat op 1475 Gt C.

4. Vegetatie

Planten en algen nemen via fotosynthese CO_2 uit de atmosfeer. CO_2 , zonlicht en water worden omgezet in suikers (koolstof, C) en zuurstof (O_2). Wanneer alle condities – inclusief de beschikbaarheid van nutriënten – ideaal zijn, geldt ‘hoe meer CO_2 er in de atmosfeer aanwezig, hoe beter de vegetatie kan groeien’. Daarom is de groei van vegetatie momenteel hoger dan voor de industriële revolutie. Helaas blijkt dit niet eindeloos te zijn, en zijn er niet altijd genoeg nutriënten en/of water aanwezig om te kunnen ‘profiteren’ van de toenemende hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer. Toch is de aarde in zijn geschiedenis zelden zo groen geweest: momenteel zit naar schatting ongeveer 600 Gt C in vegetatie. Jaarlijks neemt vegetatie ongeveer 123 Gt C uit de atmosfeer. Jaarlijks verplaatst ongeveer 60 Gt C uit vegetatie naar de bodem (zie 5. Bodem). Een andere 60 Gt C per jaar wordt vanuit de vegetatie terug in de atmosfeer gebracht door ademhaling van de planten. Door intensief landgebruik, ontbossing en landbouw, komt bovendien 0,9 Gt C per jaar extra vanuit vegetatie opnieuw in de atmosfeer terecht.

5. Bodem

In de bovenste laag van de aardkorst, wat nog heel wat leven bevat, zit naar schatting nog 2000 Gt C. Jaarlijks komt daar ongeveer 60 Gt C bij via vegetatie: afgestorven plantenmateriaal komt in de bodem terecht, wortels groeien door de bodem, planten doen aan symbiose met bacteriën en schimmels, planten scheiden wortellexudaten uit in de bodem, ...). Ongeveer even veel als er jaarlijks bij komt, gaat er opnieuw terug uit: 59,4 Gt C per jaar gaat via bodemrespiratie (respiratie door bodemorganismen bij afbraak en verbranding van organisch materiaal) terug naar de atmosfeer. Door intensief landgebruik, ontbossing en landbouw, komt bovendien 0,2 Gt C per jaar extra vanuit de bodem opnieuw in de atmosfeer terecht. Ongeveer 0,4 Gt C per jaar wordt weggespoeld door water (zie 6. Rivieren).

6. Rivieren

Naar schatting 0,4 Gt C spoelt door landgebruik, landbouw en erosie jaarlijks via water weg uit de bodem. Via rivieren komt het uiteindelijk in de bovenste laag van de oceaan terecht.

7. Oceaanoppervlak

Doordat er voor veel levende organismen een ideale combinatie bestaat van CO₂, zuurstof, licht, water en nutriënten, is nabij het oceaanoppervlak vaak leven te vinden. In totaal zou het ongeveer 2530 Gt C bevatten in de vorm van oppervlaktensediment, zeeleven, organisch materiaal aan kusten (dieren en planten in de kuststrook) en in-het-water-opgeloste organische stoffen. Ongeveer 0,4 Gt C per jaar komt er via rivieren terecht. Ongeveer 92 Gt C per jaar komt er via de atmosfeer terecht, terwijl er slechts 90 Gt C per jaar terug aan de atmosfeer wordt afgegeven. Voor de industriële revolutie was hier een evenwicht, maar door de grotere hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer is de oceaan meer koolstof beginnen opnemen dan het jaarlijks afgeeft. Dit heeft een bufferende werking op het klimaat, maar is problematisch voor het leven in de oceanen. Het oplossen van CO₂ in de oceanen zorgt immers voor verzuring van de oceanen. Met de diepzee is er wel nog een evenwicht (zie 8. Diepzee).

8. Diepzee

De bovenste laag van de oceaan wisselt jaarlijks naar schatting nog 100 Gt C per jaar uit met de diepzee. In de diepzee zou maar liefst 38duizend Gt C in het water opgelost zijn. Het is daarmee het grootste koolstofreservoir van de koolstofkringloop.

VII. Deel 4: Hoekenspel

Hoekenspel

Hoek 1: Permafrost

- 1) Wat is permafrost?
- 2) Wat is de oorzaak dat permafrost smelt?
- 3) Welke twee gassen komen vrij als permafrost smelt?
- 4) Wat zijn de gevolgen dat permafrost smelt?

Hoek 2: Extreem weer

- 1) Wat bedoelen we met extreem weer?
- 2) Welke voorbeelden van extreem weer vind je terug in deze krantenkoppen?
- 3) Waarom is extreem weer zo gevaarlijk voor mensen?

Hoek 3: Smelten van land en zee-ijs

- 1) Wat is het verschil tussen landijs en zee-ijs?
- 2) Welke van de twee is verantwoordelijk voor het stijgen van de zeespiegel? Leg kort uit?
- 3) Wat is nog een oorzaak voor het stijgen van de zeespiegel?
- 4) Noem één gevolg voor het smelten van ijs voor dieren en één voor mensen?

Hoek 4: Verzuring van de oceaan

- 1) Wat veroorzaakt de verzuring van de oceaan?
- 2) Wat gebeurt er met het pH waarde van het water als het verzuurt?
- 3) Voor welke dieren is dit een rapzalig gevolg?

Hoek 5: ICOS

- 1) Waarvoor staat ICOS?
- 2) Wat meet ICOS?
- 3) Welk soort meetstations heeft ICOS?
- 4) Waar staat een meetstation van ICOS in België?

VIII. Deel 4: Hoekenspel – Eilandblaadjes

Hoek 1 – Permafrost

1) Lees onderstaande artikels

Dé website voor geowetenschappen en aardrijkskunde



geografie.nl

Smeltende permafrost blijkt grotere klimaatbedreiging dan gedacht

2 mei 2024 | Auteurs: [redactie](#)

[klimaatverandering](#)

Nieuws



De smeltende permafrost is een complex en zorgwekkend fenomeen als het gaat om de impact op het klimaat. Uit recent onderzoek, gepubliceerd in *Nature*, blijkt dat de CO₂-uitstoot uit de grond in gebieden waar de permafrost is ingestort 5,5 keer hoger is dan in gebieden zonder instorting. Dit suggereert dat de CO₂-uitstoot uit smeltende permafrost veel groter is dan tot nu toe werd gedacht, en dat het verlies van permafrost een grotere bedreiging voor het klimaat vormt dan eerder werd aangenomen.

De resultaten roepen vragen op over wat er precies onder de smeltende permafrost vandaan komt en hoeveel broeikasgassen er vrijkomen. Volgens de onderzoekers kan de extra CO₂-uitstoot uit thermokarst-gebieden op het noordelijk halfrond oplopen tot 0,4 gigaton koolstof per jaar. Dat is een kwart van het voorspelde verlies aan koolstof in de permafrost tegen het eind van de 21e eeuw. Deze bevindingen laten zien dat de impact van het verlies aan permafrost op de opwarming van de aarde groter is dan eerder werd aangenomen. Lees meer over deze bevindingen [in het volledige onderzoek](#) in *Nature*.



Taal



Smeltende permafrost lekt veel "oud methaan"

De ontdooiende permafrost – permanent bevroren grond – in het noordpoolgebied geeft niet alleen eigen methaan vrij uit de bevroren laag grond maar uit nieuw onderzoek blijkt dat ook grote hoeveelheden oud, geologisch methaan kunnen ontsnappen die zich dieper in de bodem bevinden. Methaan is een krachtig broeikasgas.

Luc De Roy

© zo 23 jul. 2017 00u12



Erosie van permafrost aan de kust van Alaska

Het smelten van de permafrost door de opwarming van de aarde door het broeikaseffect is een van de nachtmerrie-scenario's van klimaatwetenschappers, omdat het een zogenoemde "feedback loop" is die de klimaatverandering oncontroleerbaar kan maken.

Als de bevroren bodem smelt, komen daarbij grote hoeveelheden van het broeikasgas methaan vrij die op hun beurt de opwarming aanzwengelen, zo de bodem sneller doen smelten, en een sneeuwbaaleffect in gang zetten.

Het was al langer geweten dat de smeltende permafrost op twee manieren aan dat effect bijdraagt: er komt niet alleen methaan vrij door de hogere microbiologische productie aan de oppervlakte – bacteriën eten er het smeltende organisch materiaal op en produceren daarbij methaan – , maar door het smelten vormen zich ook lekken voor oud, geologisch methaan dat veel dieper is opgeslagen. De permafrost vormt als het ware een gigantische "dop" van bevroren materiaal op dat oudere methaan, en als die dop smelt kan het methaan ontsnappen.

Dat principe was al langer bekend, maar het was niet duidelijk om hoeveel oud methaan het ging. Wetenschappers van het Duitse GeoForschungsZentrum (GFZ) en het Alfred Wegener Institute in samenwerking met collega's in de VS hebben nu in Canada onderzoek gedaan naar de hoeveelheid "oud methaan", en het blijkt dat die aanzienlijk is. De studie is verschenen in het tijdschrift [Nature Scientific Reports](#).

Hoek 2 – Extreem weer

1) Lees onderstaande krantenkoppen



Milieu & Klimaat

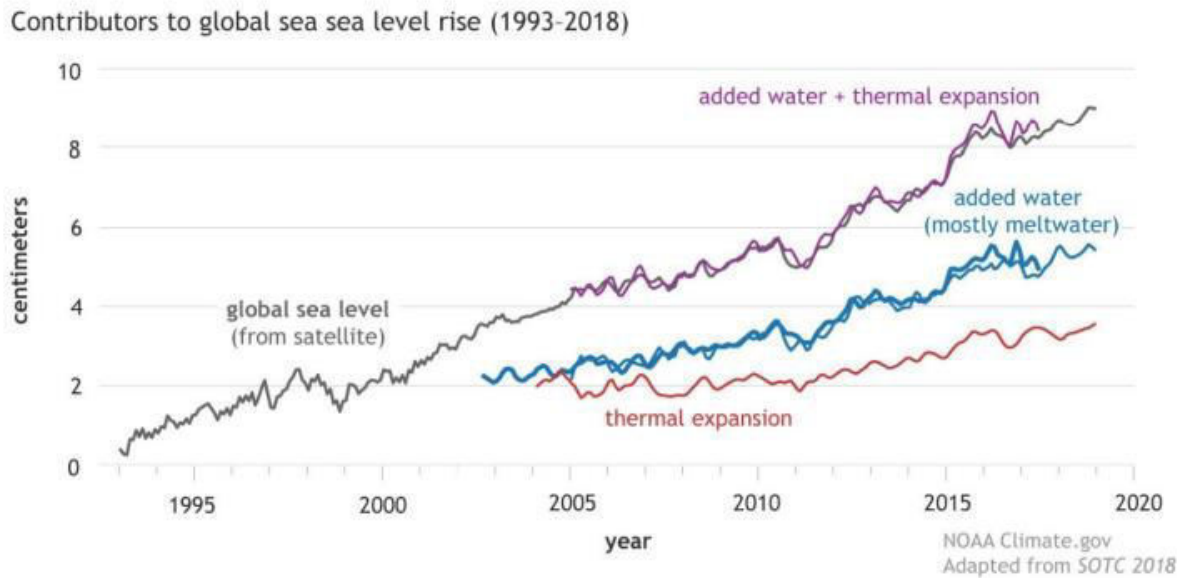
Japan zet na mislukte oogst volop in op rijst die hitte beter trotseert, eerste resultaten bemoedigend

Hoek 3 – Smelten van land en zee-ijs

1) Kijk naar volgend filmpje: Aardrijkskunde Bijles - De stijging van de zeespiegel

Link: https://www.youtube.com/watch?v=CFNf289dq_o

2) Wat vertelt onderstaande grafiek je?



Hoek 4 – Verzuring van de oceaan

1) Voor onderstaand proefje uit:

Onderzoeksvraag:

Wat is gevolg voor de pH van het water

Benodigdheden:

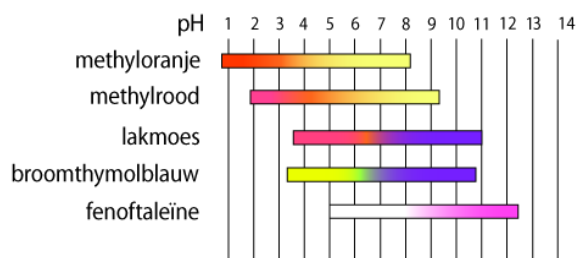
- 3 maatbekers met gedestilleerd water
- pH-indicator (bv. Broomthymolblauw)
- Pipet
- Rietje
- Ijs

Werkwijze:

- Vul de drie maatbekers met dezelfde hoeveelheid gedestilleerd water.
- Voeg in elke maatbeker evenveel druppels Broomthymolblauw toe.
- Voeg in één van de drie maatbekers ijs toe.
- Adem stevig uit in het water van één van de drie maatbekers (Gebruik hiervoor het rietje).

Waarnemingen:

- Vergelijk de kleuromslag bij de drie maatbekers.



2) Lees onderstaande artikel

Verzuring oceanen: CO₂ veroorzaakt nog meer dan klimaatverandering



De CO₂ die de mensheid de lucht inpompt, blijft niet allemaal in de atmosfeer. Een groot deel wordt opgenomen door de oceanen. Dat zorgt voor vertraging van het broeikaseffect, maar heeft nadelige gevolgen voor de staat van de oceanen.

CO₂ beïnvloedt de zuurgraad

CO₂ beïnvloedt namelijk de zuurgraad (pH) van de oceaan. Dat komt omdat het reageert met water en wordt omgezet in koolzuur (H₂CO₃). En koolzuur heeft een verzurend effect. Zo is een glas Spa rood ook zuurder dan een glas plat water. Sinds het midden van de 19^e eeuw is de zuurgraad van de oceaan met 0,1 pH-punt gedaald. Dat klinkt weinig, maar dat komt neer op een 30 procent verzuring van de zeeën.

Gevolgen

Die verzuring heeft ernstige gevolgen voor het leven in de zee, en dan met name voor schaaldieren en koraal. De schaal van dieren als mossels en oesters is opgebouwd uit kalk en dat valt uiteen als het water zuurder wordt. Dat maakt ze kwetsbaarder voor roofdieren en andere gevaren.

Hoek 5 – ICOS

- 1) Surf naar volgende site om het ICOS Handbook te raadplegen:

https://www.icos-cp.eu/sites/default/files/2024-05/ICOS_handbook_2024-accessible.pdf

Of vraag een fysieke versie van het boek aan.

IX. Deel 4: Hoekenspel – Verbetering

Hoekenspel

Hoek 1: Permafrost

- 1) Wat is permafrost?
Permanent bevroren bodem die het hele jaar door bevroren blijft.
 - 2) Wat is de oorzaak dat permafrost smelt?
Door de opwarming van de aarde.
 - 3) Welke twee gassen komen vrij als permafrost smelt?
Broeikasgassen zoals methaan (CH₄) en CO₂
 - 4) Wat zijn de gevolgen dat permafrost smelt?
Versnelling van klimaatverandering. Versterking van het broeikaseffect. Grote hoeveelheden van broeikasgassen die vrijkomen aan de atmosfeer.
-

Hoek 2: Extreem weer

- 1) Wat bedoelen we met extreem weer?
Ongewone of heftige weersomstandigheden zoals hittegolven, overstromingen, wolkbreuk, droogte, ...
- 2) Welke voorbeelden van extreem weer vind je terug in deze krantenkoppen?
Overstromingen
Hittegolven
Bosbranden
- 3) Waarom is extreem weer zo gevaarlijk voor mensen?
Het kan leiden tot schade, slachtoffers en voedseltekorten.

Hoek 3: Smelten van land en zee-ijs

- 1) Wat is het verschil tussen landijs en zee-ijs
Landijs ligt op land; zee-ijs drijft op water.
- 2) Welke van de twee is verantwoordelijk voor het stijgen van de zeespiegel? Leg kort uit?
De zeespiegel stijgt als landijs smelt. Wanneer zee-ijs smelt zal de zeespiegel niet stijgen. Het zee-ijs verplaatst in ijs-vorm evenveel water als het zelf weegt.
- 3) Wat is nog een oorzaak voor het stijgen van de zeespiegel?
Thermische expansie: warm water zet uit.

- 4) Noem één gevolg voor het smelten van ijs voor dieren en één voor mensen?
[Minder leefgebied voor ijsberen.](#)
[Steden aan de kustlijn komen onder water te staan.](#)

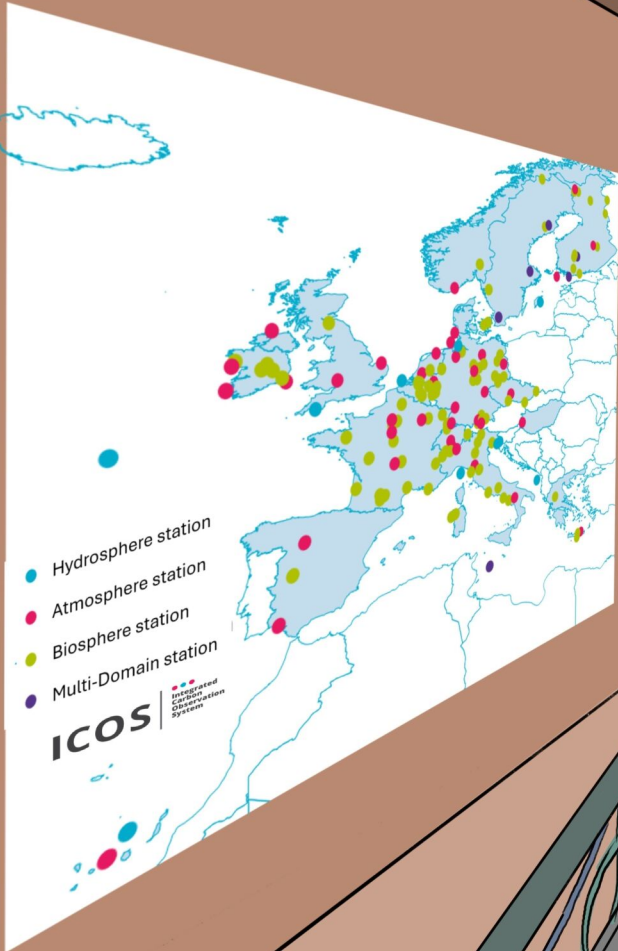
Hoek 4: Verzuring van de oceaan

- 1) Wat is het gevolg van meer CO₂ in de atmosfeer voor de oceaan.?
[Een deel van deze CO₂ lost op in zeewater. Hierdoor verzuurt de oceaan.](#)
 - 2) Wat gebeurt er met het pH waarde van het water als het verzuurt?
[De pH daalt; het water wordt zuurder.](#)
 - 3) Waarom is de verzuring van de oceaan rampzalig?
[Schelp- en koraaldieren kunnen moeilijke kalkskeletjes maken.](#)
[Koraalriffen sterven af.](#)
-

Hoek 5: ICOS

- 1) Waarvoor staat ICOS?
[Integrated Carbon Observation System](#)
- 2) Wat meet ICOS?
[De hoeveelheid CO₂.](#)
- 3) In hoeveel landen vinden we ICOS terug?
[16 Europese landen](#)
- 4) Welk soort meetstations heeft ICOS?
[Oceaan stations](#)
[Atmosferische stations](#)
[Ecosysteem stations](#)
[Multi-stations](#)
- 5) Waar staat een meetstation van ICOS in België?
[Brasschaat](#)

X. Deel 5: Tekeningen escaperooms
(The Great Escape – Code Groen –
Code Rood – Code Blauw)



> TIME MACHINE >>>

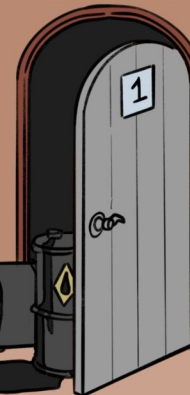


__ _ SFEER

7 __ _ SFEER

__ _ 4 _ SFEER

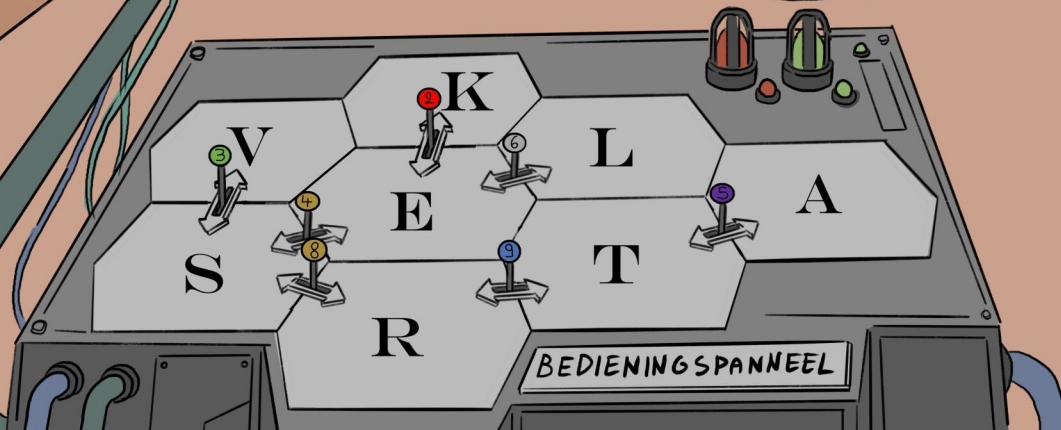
LIT⁴⁰OSFEER



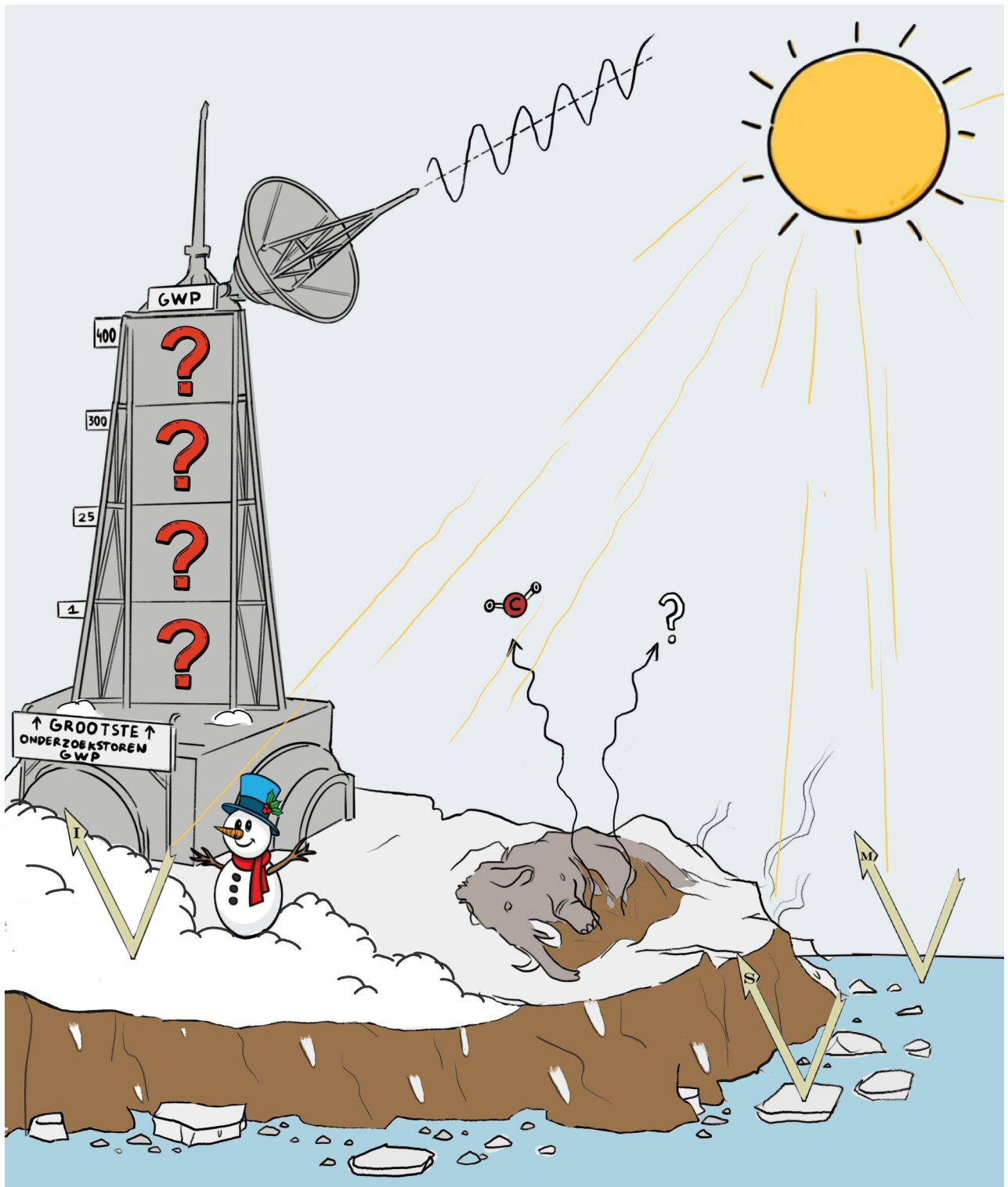
ACTIVERINGS CODE

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10

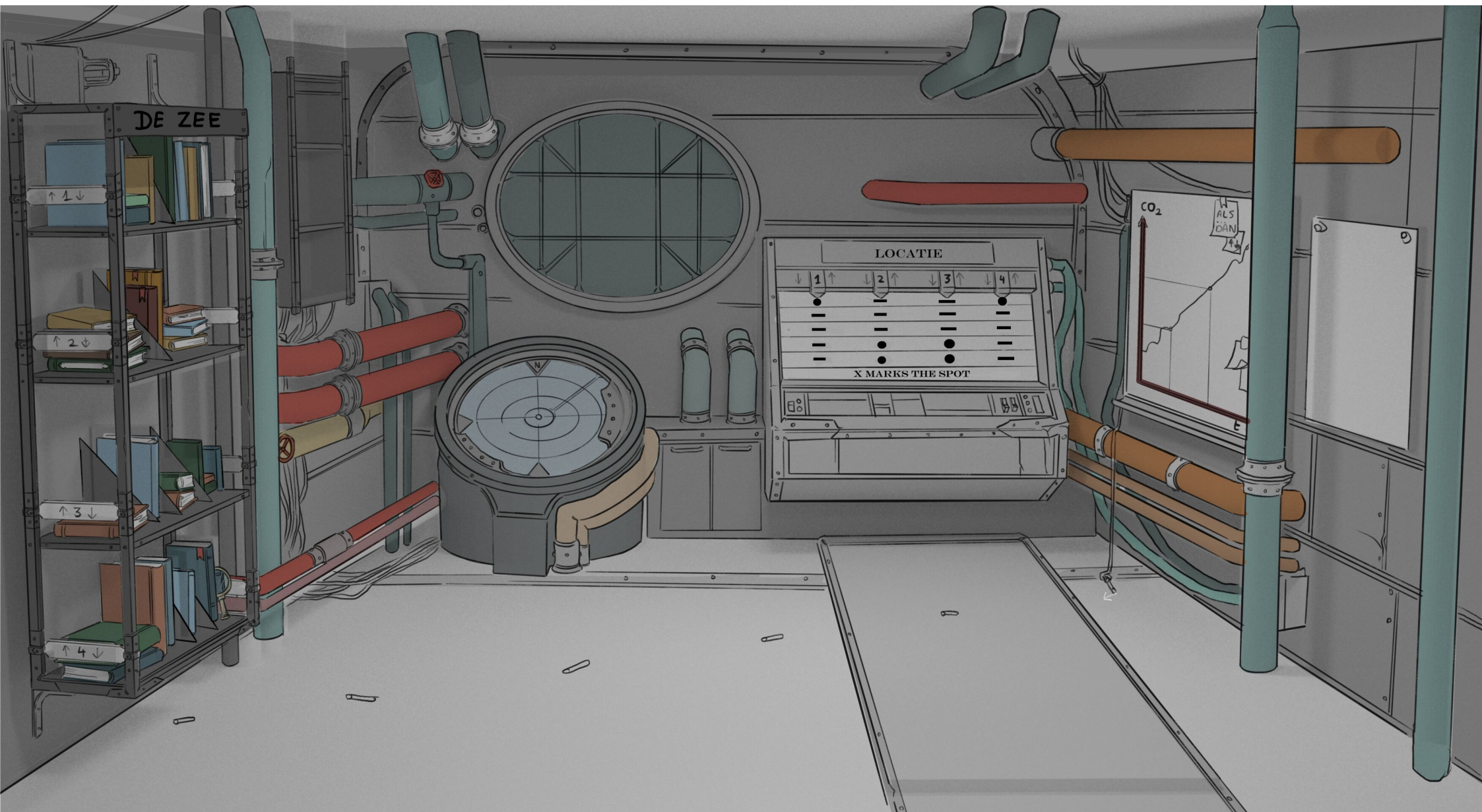
H











XI. Deel 5: Verhaallijnen

The great esCape

Het is het jaar 2100. De aarde kreunt onder extreme klimaatverandering. Oceanen zijn zuur, bossen zijn verdwenen, permafrost smelt, en de CO₂-uitstoot is volledig ontspoord. De mensheid heeft gefaald. Maar... niet iedereen heeft stilgezeten.

Een geheime club wetenschappers heeft eeuwenlang cruciale kennis over de koolstofcyclus bewaard. In het geheim verzamelden ze data, symbolen en codes, en bouwden ze tijdscapsules waarmee je tot 100 jaar terug in de tijd kan reizen.

Nu, in een laatste wanhoopspoging, stuurt de orde jullie via een tijdscapsule terug naar drie cruciale momenten in het verleden. De missie: herstel de verstoring van de koolstofcyclus voordat het onomkeerbare gebeurt. Ontrafel de bestemming van elke capsule en zet de machine aan door de hendels in de juiste positie te plaatsen.

Maar wees gewaarschuwd: fouten worden genadeloos afgestraft. De tijd tikt. De planeet hangt aan een zijden draadje. En slechts één pad leidt terug naar een leefbare wereld.

Code groen

Het jaar is 2050. De laatste stukken van het Amazonewoud worden massaal gekapt. Overal ter wereld verwelken planten, bossen verdwijnen en satellieten detecteren een drastische daling in fotosynthese-activiteit. De aarde verliest haar natuurlijke longen en de CO₂-concentratie stijgt gevaarlijk snel.

De Koolstofwachters, een geheime wereldwijde alliantie van ecologen, slaan alarm. Ze vermoeden opzettelijke sabotage van de wereldwijde koolstofcyclus. Jullie zijn net gerekruteerd als nieuwe leden. In hun verborgen commandocentrum ligt een reeks puzzels en opdrachten klaar.

Alleen als jullie het verband tussen vegetatie, fotosynthese en koolstofopslag ontrafelen en het saboteerde systeem opnieuw activeren, kunnen jullie verdere ontbossing stoppen en de natuurlijke balans herstellen.

De tijd dringt: binnen 20 minuten dreigen de laatste regenwouden voorgoed te verdwijnen... en daarmee de buffer van onze planeet. Red de natuur en achterhaal de juiste code. De tijd TELT!

Code Rood

Het is 2030. Wetenschappers slaan wereldwijd alarm: binnen 20 minuten bereiken we een kritiek kantelpunt. Als het broeikaseffect nog verder toeneemt, treedt een onomkeerbare opwarming van de aarde op.

Jullie maken deel uit van De GWP, Geheime Wachters van de Planeet, een vrijmetselaarsorde van ecologen en klimaatwetenschappers, die al eeuwenlang waakt over het evenwicht van de natuur. Aan boord van het Internationaal Onderzoeksstation, gestationeerd op een smeltende gletsjer, is het alle hens aan dek.

Enkel door snel te handelen kunnen jullie het tij keren: herstel de kritieke systemen, analyseer de klimaatdata en zend de juiste noodboodschap uit om wereldleiders te alarmeren en de broeikasgassen te laten dalen.

Wees alert: elke fout verhoogt de temperatuur en laat het ijs sneller smelten. Kunnen jullie het evenwicht herstellen vóór het te laat is?

✓ □ ✓ = SOS

Code Blauw

Het jaar 2075, een jonge klimaatactivist duikt met zijn onderzeeër de diepte in om de verzuring van de oceaan te onderzoeken. Plots klinkt er een noodsignaal. Hij is spoorloos. Al snel wordt duidelijk: Hij is ontvoerd... door de diepzeedieren zelf. Uit woede over de schade die de mensheid hun leefwereld heeft aangedaan, hebben ze hem meegenomen naar een onbekende locatie.

Net voor zijn verdwijning slaagde hij erin een reeks puzzels achter te laten in zijn onderzeeër én een zuurstoffles mee te nemen. Jullie opdracht: kraak de codes, ontdek de waarheid achter de verzuring én vind zijn locatie... voor zijn zuurstof op is. Jullie hebben 20 minuten. De klok tikt.

XII. Deel 5: Antwoordbladen

The great esCape

ACTIVERINGSCODE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
									H

EINDCODE

— — — —

Code Rood

! NOODBOODSCHAP !

- 1) Wat heeft ↑ **GRROOTSTE** ↑ ... ?  I of  S of  M
- 2) | t° zonder broeikaseffect + t° met natuurlijk broeikaseffect | = ...
En vertaal.
- 3) ? = ... ; Tel het aantal atomen van de molecule en vertaal.

1	2	3

(1 = A ; 2 = B ; 3 = C ; ...)

Code groen

DEAD TREES DO TELL TALES

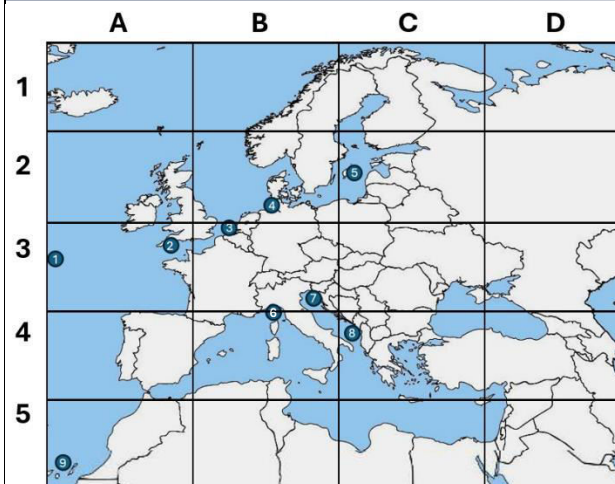
LICHT WORDT SUIKER IN HET GROEN LABORATORIUM

—	—	+	—	—	→	1	—	+	—	—

De som van de **coëfficiënten** is het aantal slagen aan het rad.

CODE: — — — — —

Code Blauw

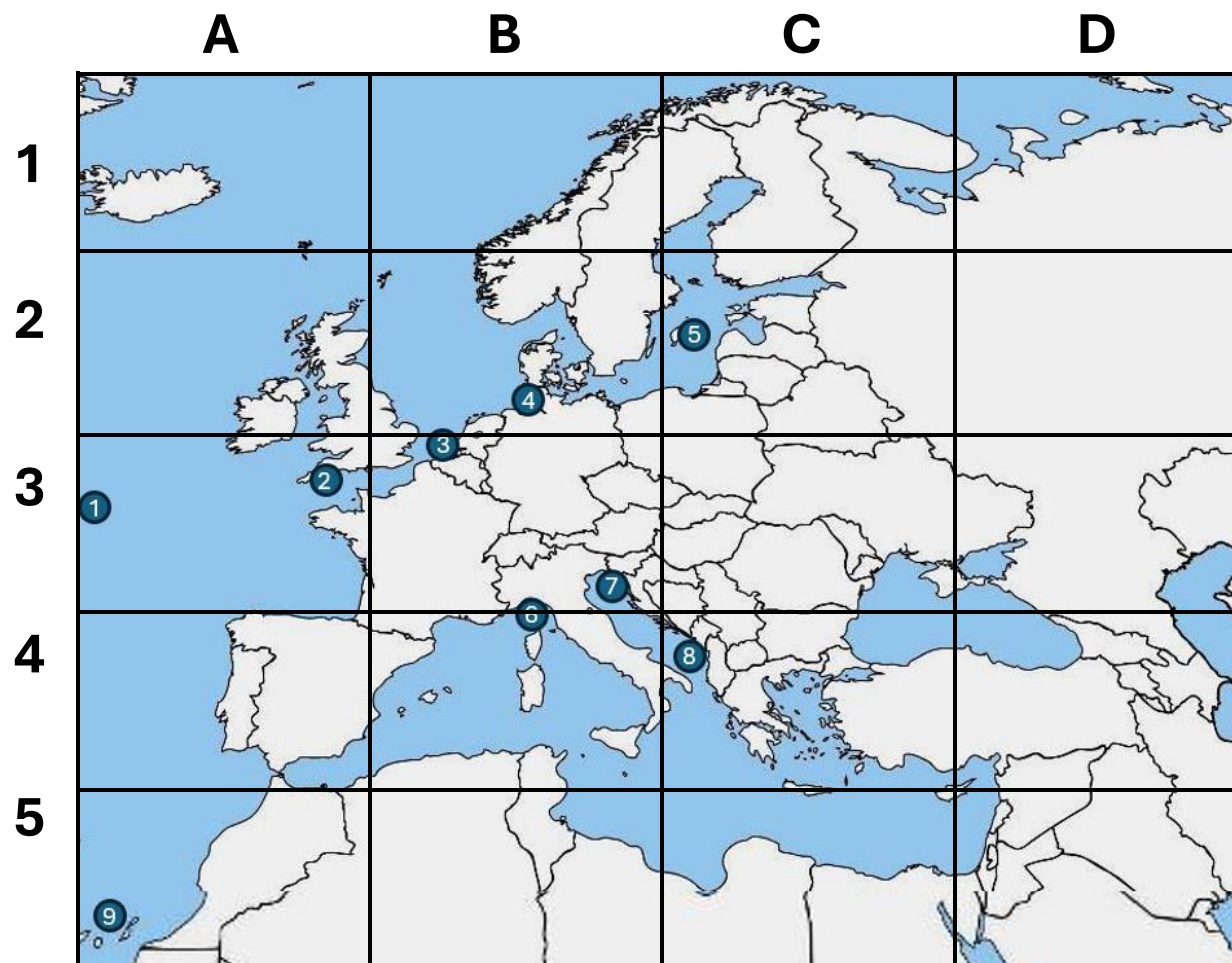


ICOS Ocean stations

Locatie

— —

(vb. C2)



XIII. Deel 5: Voorbladen



The great esCape



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

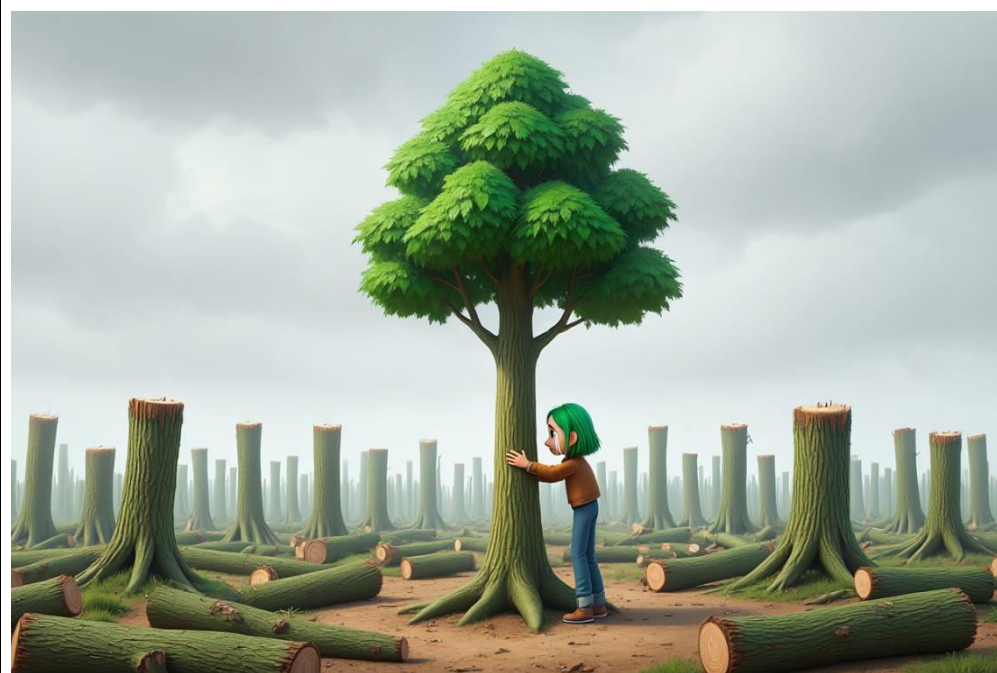
ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

KLIMAATLINK



Code groen



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

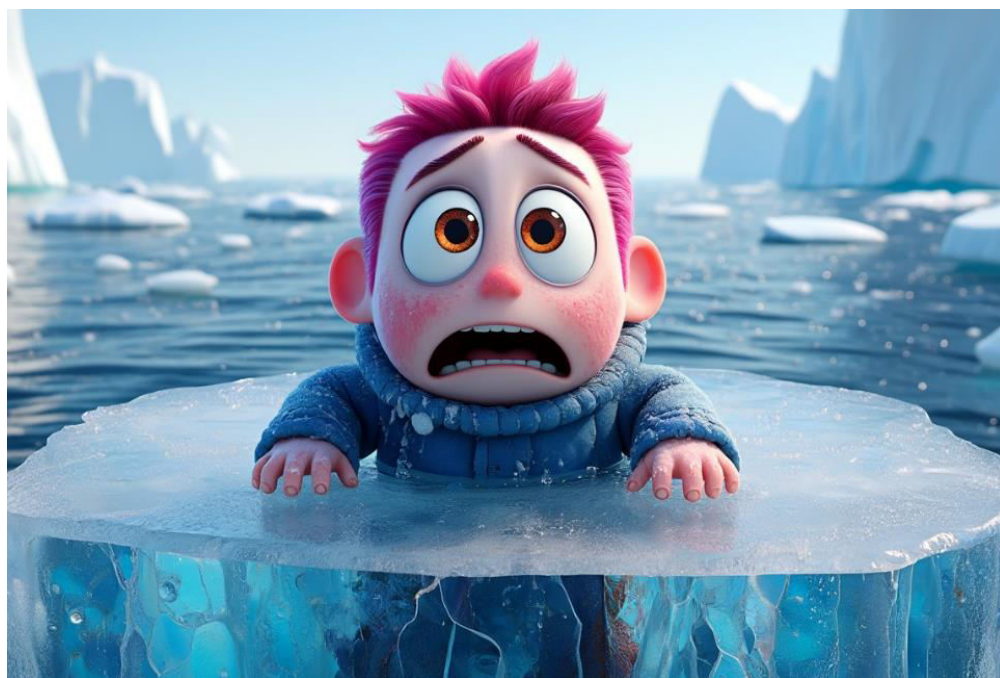
ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

KLIMAATLINK



Code Rood



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

KLIMAATLINK



Code Blauw



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

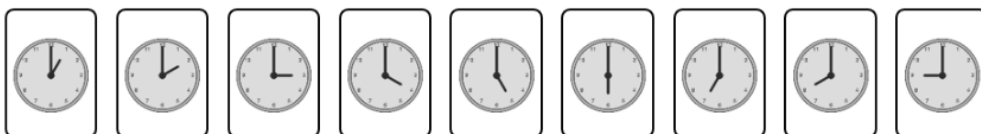
ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

KLIMAATLINK

XIV. Deel 5: Geheimschriften

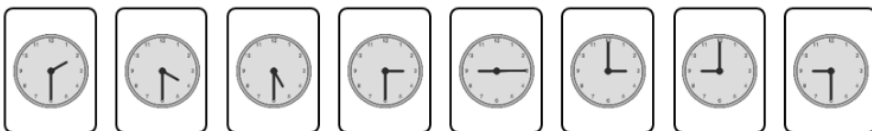
The great esCape



Antwerpen Berlijn Caïro Dublin Edinburgh Florence Gent Helsinki Istanbul



Jakarta Kyoto Londen Madrid New York Oslo Parijs Quito Rome

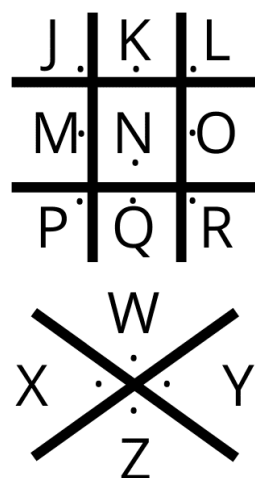
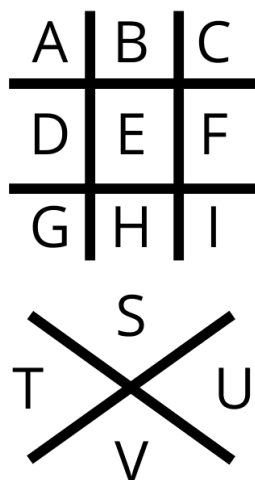


Sydney Tokio Utrecht Venetië Warschau Xian Yokohama Zürich

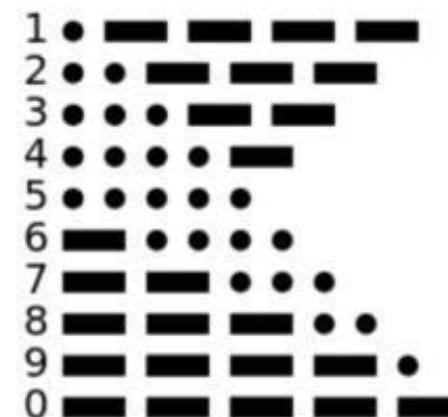
Code groen

LETTER	GOLFLENGTE (NM)	KLEUR
A	380	
B	396	
C	412	
D	428	
E	444	
F	460	
G	476	
H	492	
I	508	
J	524	
K	540	
L	556	
M	572	
N	588	
O	604	
P	620	
Q	636	
R	652	
S	668	
T	684	
U	700	
V	716	
W	732	
X	748	
Y	764	
Z	780	

Code Rood



Code Blauw



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

KLIMAATLINK



University of Antwerp
Global Change Ecology
Centre of Excellence

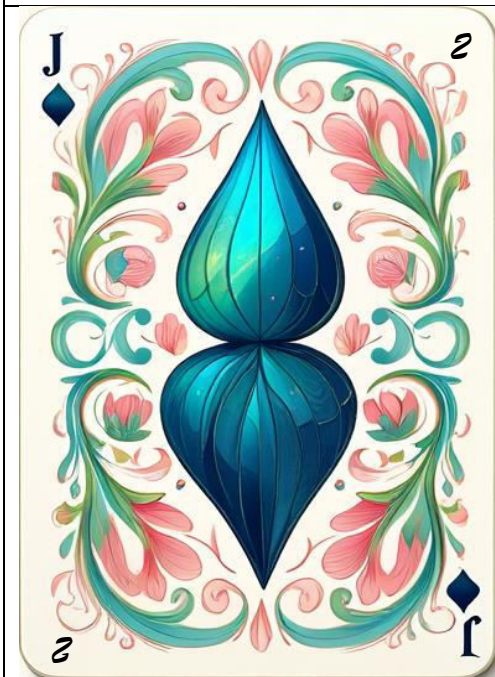
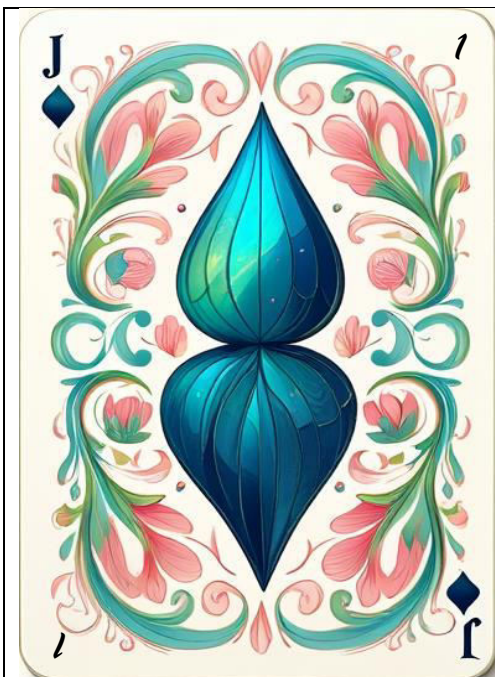
ICOS

INTEGRATED
CARBON
OBSERVATION
SYSTEM

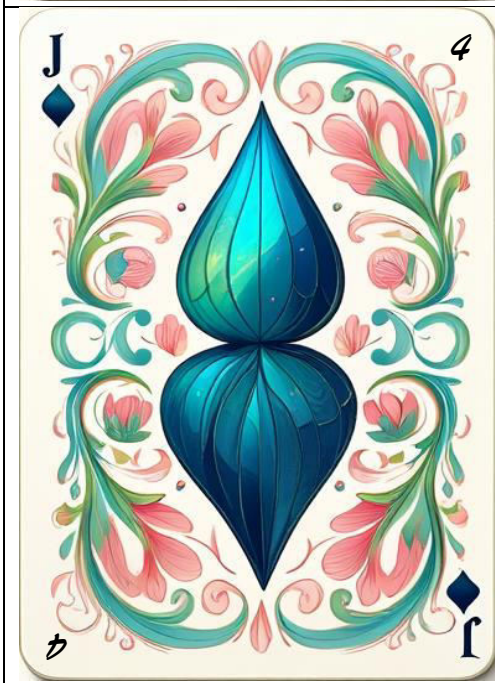
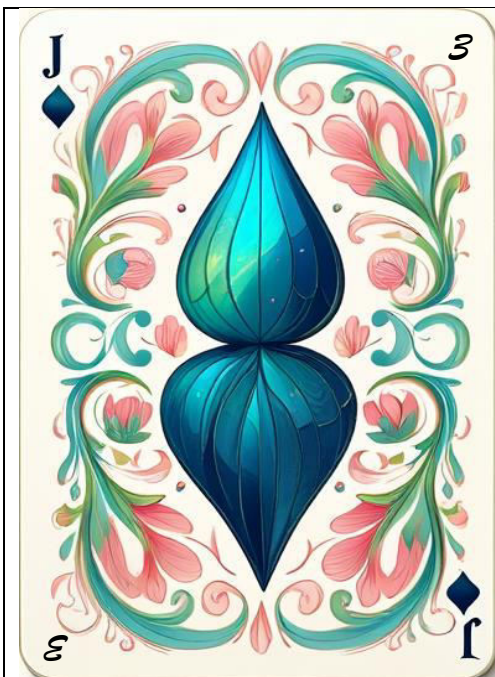
KLIMAATLINK

XV. Deel 5: Kompaskaarten











XVI. Deel 5: Top secret bundels

The Great EsCape

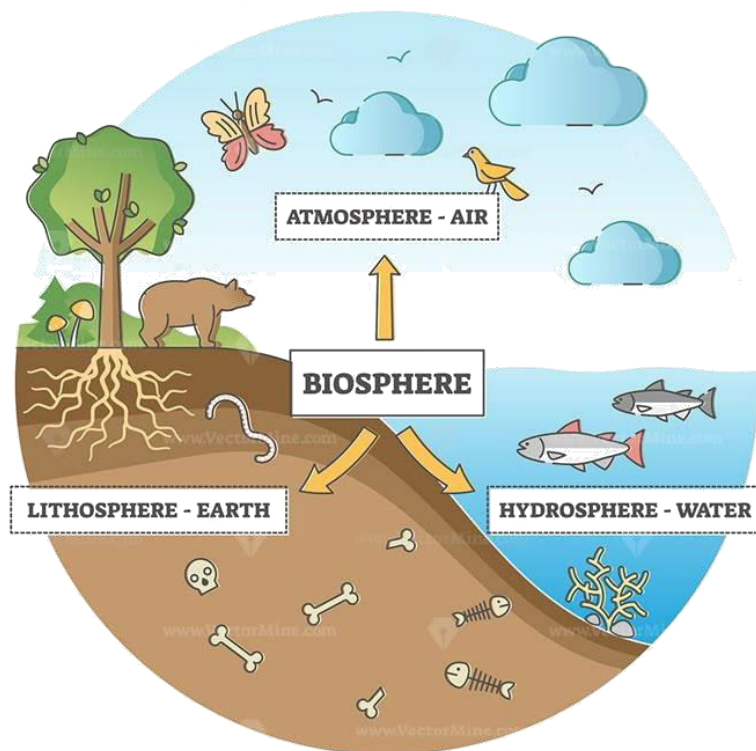
Het systeem Aarde bestaat uit vier grote onderdelen: de **lithosfeer**, de **atmosfeer**, de **hydrosfeer** en de **biosfeer**. Deze sferen staan allemaal in verband met elkaar en beïnvloeden elkaar voortdurend. Wanneer er iets verandert in één sfeer, reageren de andere sferen tot er opnieuw een evenwicht is.

De **lithosfeer** is opgebouwd uit gesteenten. Aan de oppervlakte vinden we losse en vaste gesteenten. Dieper in de aarde komen gesteenten voor in een plastische toestand en nog dieper kunnen ze zowel vast als vloeibaar zijn. In deze laag vinden we ook fossiele brandstoffen terug. Sinds de industriële revolutie (rond 1760) worden die in een snel tempo ontgonnen.

De **atmosfeer**, ook wel de dampkring genoemd, is de gaslaag rond de aarde.

De **hydrosfeer** omvat al het water op aarde: oceanen, meren, rivieren, maar ook het water dat in de bodem zit en het ijs op de polen en gletsjers.

De **biosfeer** is uniek voor onze planeet. Het is de zone van de aarde waar leven mogelijk is: planten, dieren en mensen maken hier allemaal deel van uit.



Koolstof (C) is een chemisch element dat in grote hoeveelheden op aarde aanwezig is. Alle levende organismen zijn opgebouwd uit koolstofverbindingen, ook wij mensen. Koolstof zit bovendien in broeikasgassen zoals koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4).

Binnen het systeem Aarde wordt koolstof opgeslagen in vier verschillende **reservoirs**: de lithosfeer, atmosfeer, hydrosfeer en biosfeer. Tussen deze reservoirs wordt koolstof voortdurend uitgewisseld. Dat proces heet de **koolstofcyclus**.

Planten (biosfeer) nemen bijvoorbeeld koolstof op uit de atmosfeer via **fotosynthese**. Daarbij halen ze koolstofdioxide (CO_2) uit de lucht en zetten die, met behulp van zonlicht en water, om in nieuwe koolstofverbindingen (suikers zoals $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) en zuurstofgas (O_2).

Ook in de bovenste lagen van de oceanen doen **wieren en plankton** aan fotosynthese. Plankton is een verzamelnaam voor microscopisch kleine planten en dieren die in het water zweven. Net zoals landplanten wisselen ze koolstof uit met de hydrosfeer en de atmosfeer.

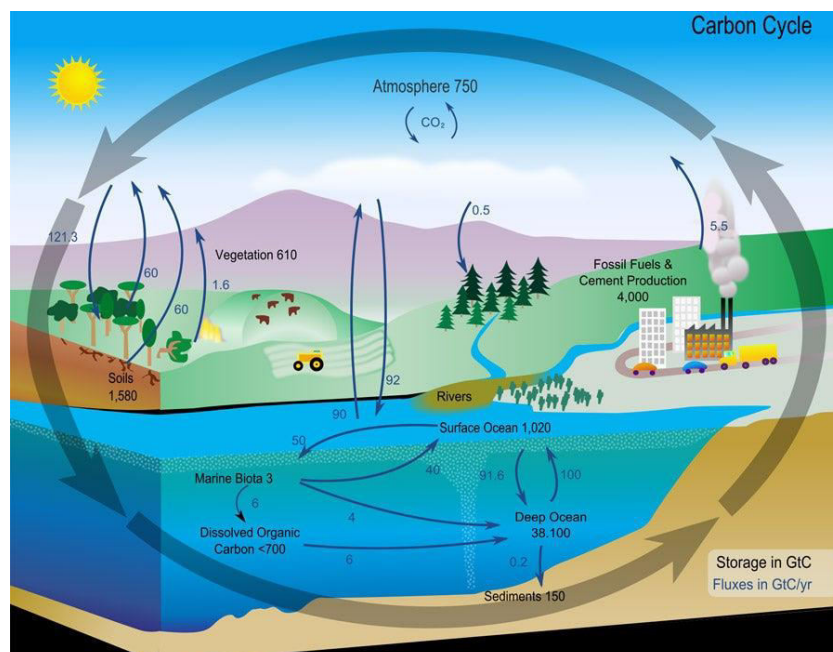
Resten van planten, plankton en dieren die miljoenen jaren geleden stierven, raakten bedolven onder dikke lagen sediment en gesteenten. Onder hoge druk en temperatuur ondergingen ze chemische veranderingen en werden zo omgezet in **fossiele brandstoffen**, die we vandaag nog steeds gebruiken.

In de **lithosfeer** zit veruit de grootste voorraad koolstof ($\pm 60.000.000 \text{ GtC}$), vooral in fossiele brandstoffen en carbonaatgesteenten.

De **hydrosfeer** (oceanen) bevat ook veel koolstof ($\pm 38.000 \text{ GtC}$), maar dit is al duizenden keren minder dan in de lithosfeer.

In de **biosfeer** (alle planten, dieren en micro-organismen) zit nog eens veel minder koolstof ($\pm 2.500 \text{ GtC}$).

De kleinste voorraad vinden we in de **atmosfeer** ($\pm 860 \text{ GtC}$).



ICOS is een **onderzoeksnetwerk** dat zich richt op het meten en opvolgen van **broeikasgassen** en de **koolstofcyclus** in Europa en daarbuiten. Ze verzamelen gegevens over de concentraties van broeikasgassen in de **atmosfeer** en over de **koolstofstromen** tussen de verschillende reservoirs. Deze data zijn heel belangrijk voor **klimaatonderzoek**, om de koolstofcyclus beter te begrijpen en om beleidsmakers te helpen beslissingen te nemen rond **klimaatverandering**.

In België zijn er in totaal **12 meetstations**, verdeeld over drie soorten observatienetwerken:

- 3 oceaanstations
- 8 ecosysteemstations
- 1 atmosfeerstation

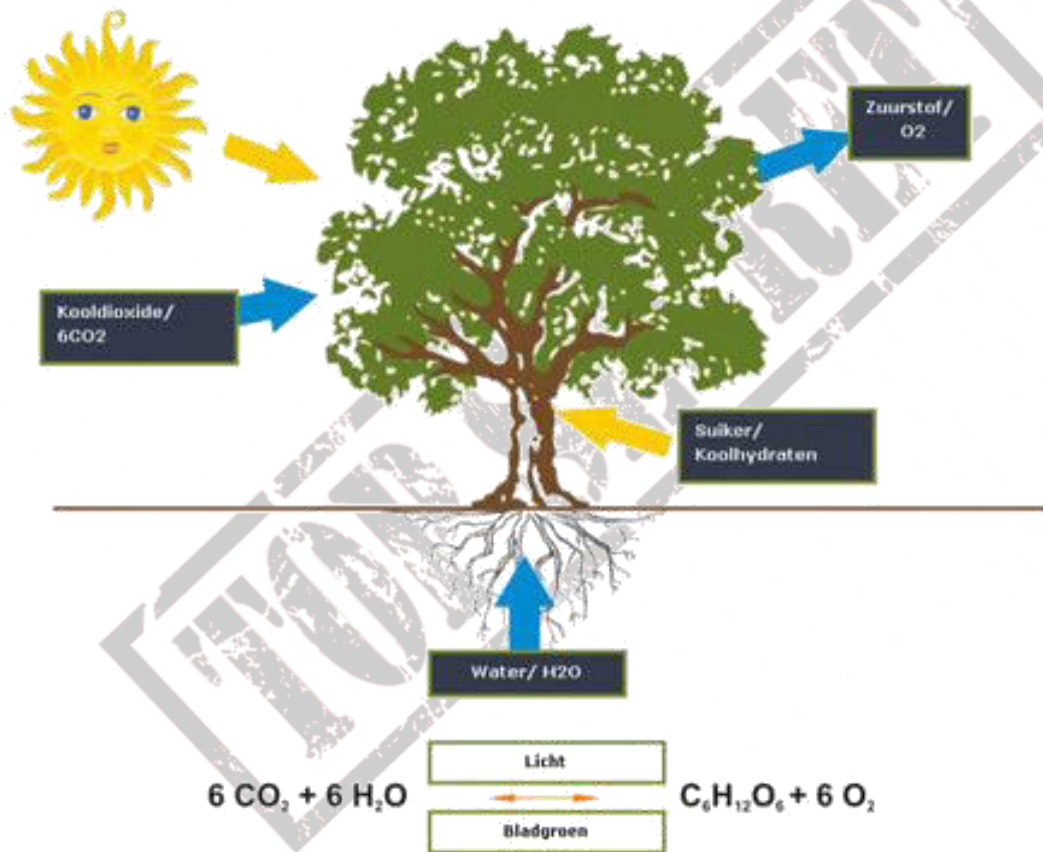
Daarnaast zijn er ook **twee overzeese stations**: één in de Democratische Republiek Congo (ecosysteemstation) en één op het eiland Réunion (atmosfeerstation).

De **Universiteit van Antwerpen** speelt een belangrijke rol binnen het Belgische ICOS-netwerk. Ze is het **nationaal coördinatiepunt** en werkt samen met Frankrijk en Italië als medeorganisator van het **Ecosysteem Thematisch Centrum (ETC)**. De universiteit is vooral verantwoordelijk voor het verzamelen en verwerken van extra data. Het thematisch centrum voor de **atmosfeer** bevindt zich in Finland en Frankrijk, en dat voor de **oceaan** in Finland.

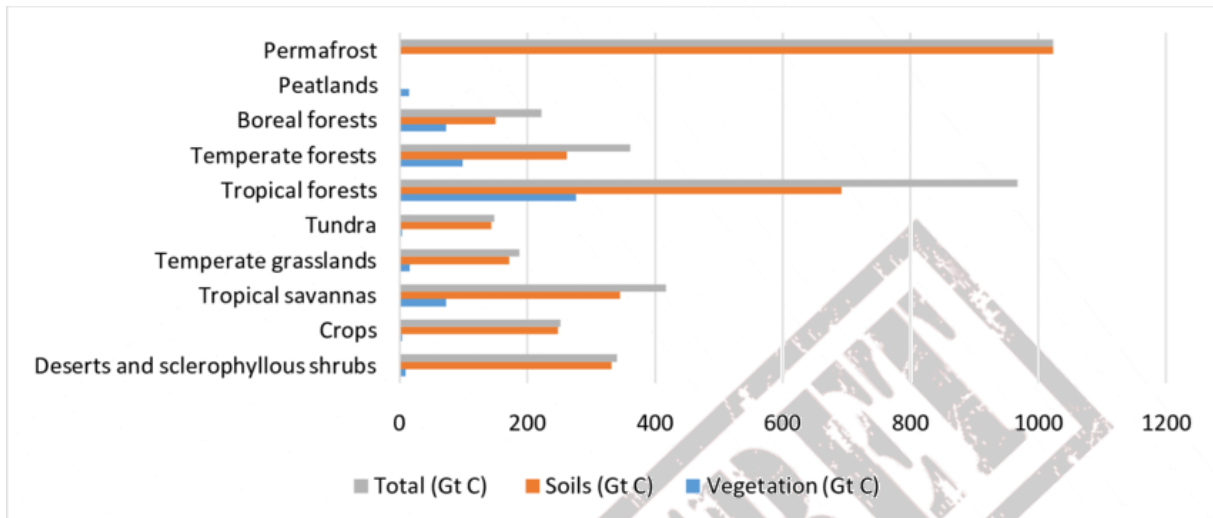
Code Groen

De biosfeer zit vol leven. Een belangrijk proces hierin is **fotosynthese**. Bij fotosynthese nemen planten **koolstofdioxide (CO₂)** uit de lucht en **water (H₂O)** uit de bodem op. Met behulp van **zonlicht** zetten ze dit om in nieuwe koolstofverbindingen, zoals **suiker (C₆H₁₂O₆)**. Daarbij komt ook **zuurstof (O₂)** vrij, wat wij nodig hebben om te ademen. Bomen zijn dus echt onze vrienden!

Er is ook een omgekeerd proces: **celademhaling**. Hierbij maken cellen energie uit bijvoorbeeld suiker, met behulp van zuurstof. Dat is precies wat wij doen wanneer we eten en ademen.

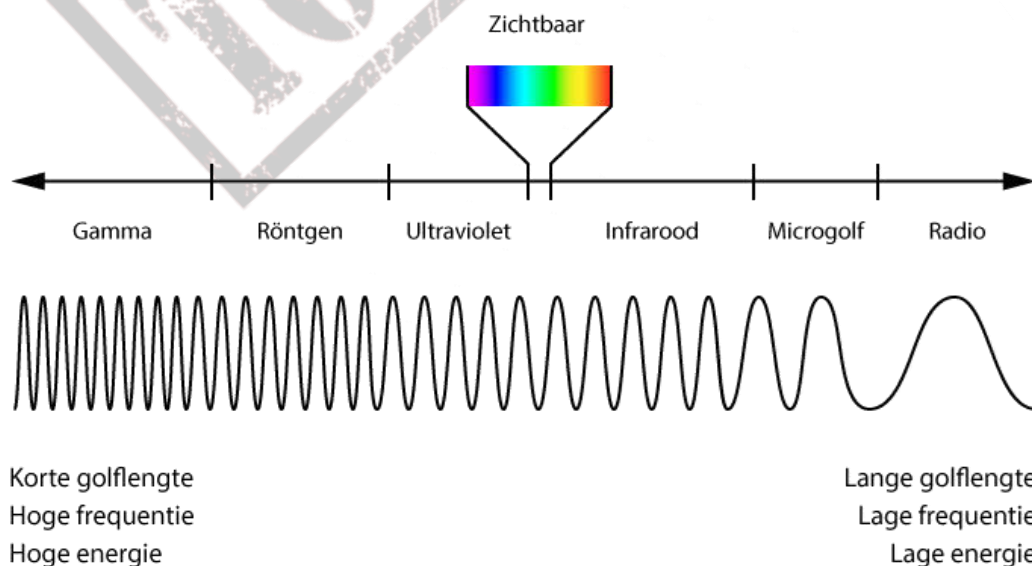


Ontbossing gebeurt vaak om plaats te maken voor landbouw of steden. Daarbij komt de koolstof die eerder was opgeslagen in de **bodem** en in de **bomen** vrij in de atmosfeer. In de voorbije 30 jaar is wereldwijd ongeveer **18 miljoen hectare bos** verdwenen. Ontbossing zorgt voor veel **koolstofuitstoot**, omdat bomen veel meer koolstof opslaan in hun **biomassa** en in de **bodem** dan landbouwgewassen.



De aarde ontvangt **straling van de zon**. Er zijn verschillende soorten straling, afhankelijk van de **afstand tussen de golftoppen**.

Een groot deel van deze straling is **zichtbaar licht**, dit noemen we **kortgolvlige straling**. De zon zendt ook straling uit waarbij de golftoppen verder uit elkaar liggen. Dit noemen we **langgolvlige straling**, en **warmte** is hier een voorbeeld van.



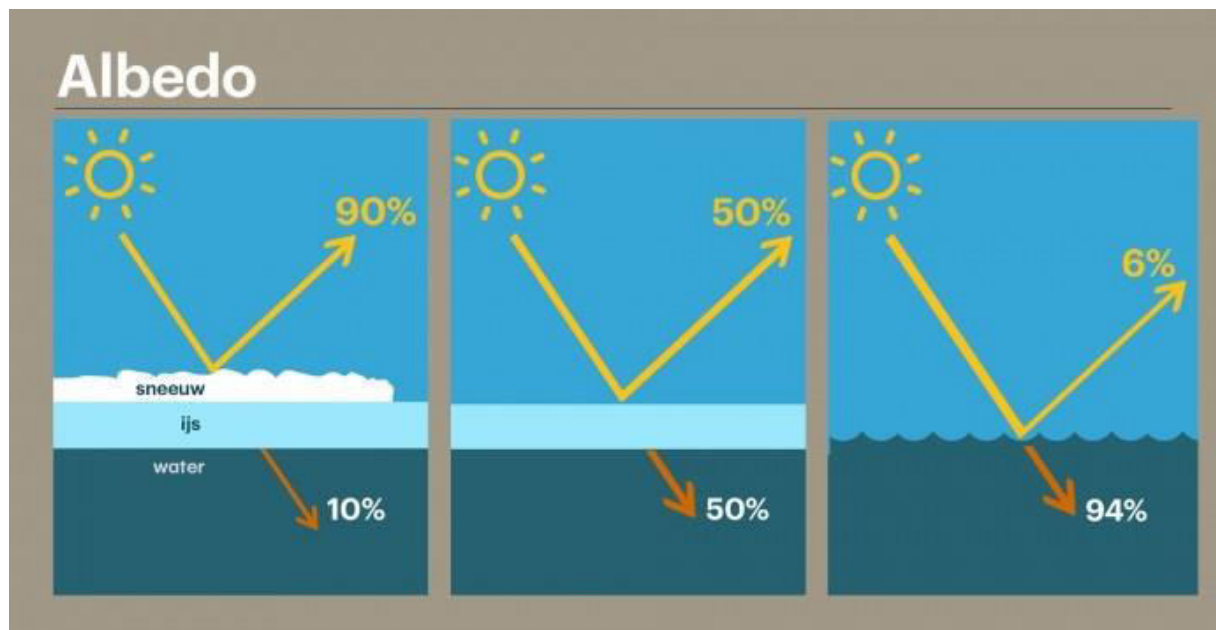
Code Rood

De aarde ontvangt **straling van de zon**. Er zijn verschillende soorten straling, afhankelijk van de **afstand tussen de golftoppen**.

Een groot deel van deze straling is **zichtbaar licht**, dit noemen we **kortgolvige straling**. De zon zendt ook straling uit waarbij de golftoppen verder uit elkaar liggen. Dit noemen we **langgolvige straling**, en **warmte** is hier een voorbeeld van.

De **wolken**, de **stofdeeltjes in de atmosfeer** en het **aardoppervlak** weerkaatsen een deel van de kortgolvige straling terug de ruimte in. Het percentage van de weerkaatste straling noemen we **albedo**.

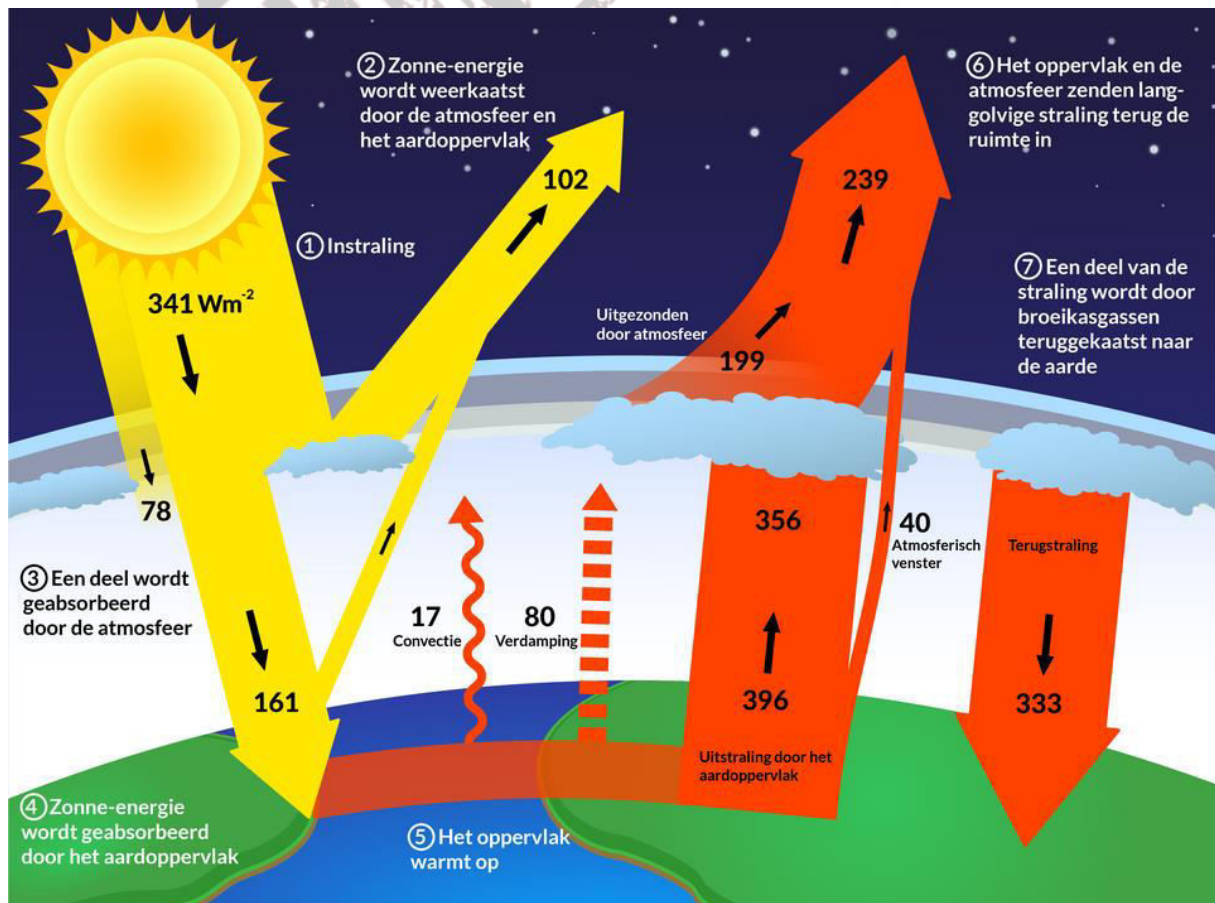
De **albedo** hangt af van de kleur en het type van het aardoppervlak. **Lichtgekleurde oppervlakken**, zoals verse sneeuw, weerkaatsen veel straling en hebben een hoog albedo. Hoe hoger het albedo, hoe meer kortgolvige straling wordt teruggekaatst. **Donkergekleurde oppervlakken**, zoals asfalt, hebben een laag albedo en absorberen meer straling.



De straling die niet wordt weerkaatst, wordt **geabsorbeerd** door het aardoppervlak en de atmosfeer. In de bovenste lagen van de aarde en de onderste lagen van de atmosfeer vindt een **energieomzetting** plaats: de kortgolvlige straling die is geabsorbeerd, wordt omgezet in **langgolvlige straling**, oftewel **warmte**. Deze warmte wordt terug uitgestraald naar de ruimte.

In onze atmosfeer zitten echter **broeikasgassen**. Ze laten de kortgolvlige straling door, maar blokkeren deels de langgolvlige straling. De warmte wordt door de broeikasgassen **geabsorbeerd** en in alle richtingen weer uitgezonden, ook terug naar de aarde. Hierdoor ontvangt de aarde extra langgolvlige straling en warmt ze op.

Dit proces noemen we het **natuurlijk broeikaseffect**. Zonder dit effect zou de gemiddelde temperatuur op aarde **-18°C** zijn; dankzij het natuurlijke broeikaseffect is dat **15°C**.



De **stralingsbalans van de aarde** is in evenwicht als de hoeveelheid **invallende straling** gelijk is aan de hoeveelheid **uitgaande straling**. Zolang dit evenwicht bestaat, blijft de temperatuur van de aarde over een langere periode constant.

Maar hier zit het probleem: de hoeveelheid **broeikasgassen** in de atmosfeer neemt toe. De laatste jaren is er een enorme stijging van **koolstofdioxide (CO₂)** in de atmosfeer. Dit gebeurt vooral door de industrie en door de verbranding van **fossiele brandstoffen**, waarbij CO₂ vrijkomt.

Ook de toename van de **landbouwproductie** zorgt voor een ander broeikasgas: **methaan (CH₄)**. Dit gas komt onder meer vrij via de mest en de uitwerpselen van dieren.

Hieronder vind je een tabel met de belangrijkste **broeikasgassen**. Elk gas krijgt een **GWP-waarde** (Global Warming Potential). De GWP geeft aan hoeveel een gas bijdraagt aan het broeikaseffect. **CO₂** wordt gebruikt als referentiegas, met een GWP-waarde van 1. De **resistentietijd** van een broeikasgas geeft aan **hoe lang het gas in de atmosfeer blijft** voordat het wordt afgebroken of ergens anders naartoe gaat.

Broeikasgas	GWP (jaar)	Residentie-tijd (jaar)	Natuurlijke oorsprong	Antropogene oorsprong
CO ₂	1	100	- Celademhaling - Ontbinding dood organisch materiaal - Bosbranden - Vulkaanuitbarstingen	- Verbranding van fossiele brandstoffen - Ontbossing - Verandering van bodemgebruik
CH ₄	25 - 30	8 - 10	- Landbouw, bosbouw en visserij - productie en vervoer fossiele brandstoffen	- Veeteelt en rijstvelden - Bij ontginning van fossiele brandstoffen - Smelten permafrost
N ₂ O*	300	100	- Bodembacteriën	- Gebruik kunstmest
CFK's**	124 - 22800	> 1000	- Geen	- Tot 1987 gebruikt als in spuitbussen, koelkasten en airco's
H ₂ O		Enkele dagen	- Verdamping van oppervlaktewater - Evapotranspiratie	- Geen

Als je naar de **gemiddelde temperatuur** van de atmosfeer kijkt, merk je dat deze stijgt.

Menselijke activiteiten zorgen ervoor dat er meer **broeikasgassen** in de atmosfeer komen. Door de grote hoeveelheid broeikasgassen wordt er meer **warmtestraling** vastgehouden, waardoor de temperatuur stijgt. Dit noemen we het **versterkt broeikaseffect**.

Deze opwarming heeft veel gevolgen, bijvoorbeeld het **smelten van de permafrost**, de permanent bevroren grondlaag. In de permafrost zit veel organische koolstof opgeslagen. Als de permafrost ontdooit, komt deze koolstof vrij in de vorm van broeikasgassen, vooral **koolstofdioxide (CO₂)** en **methaan (CH₄)**, die het versterkt broeikaseffect verder kunnen versterken.

Code Blauw

ICOS is een **onderzoeksnetwerk** dat zich richt op het meten en opvolgen van **broeikasgassen** en de **koolstofcyclus** in Europa en daarbuiten. Ze verzamelen gegevens over de concentraties van broeikasgassen in de **atmosfeer** en over de **koolstofstromen** tussen de verschillende reservoirs. Deze data zijn heel belangrijk voor **klimaatonderzoek**, om de koolstofcyclus beter te begrijpen en om beleidsmakers te helpen beslissingen te nemen rond **klimaatverandering**.

In België zijn er in totaal **12 meetstations**, verdeeld over drie soorten observatienetwerken:

- 3 oceaanstations
- 8 ecosysteemstations
- 1 atmosfeerstation

Daarnaast zijn er ook **twee overzeese stations**: één in de Democratische Republiek Congo (ecosysteemstation) en één op het eiland Réunion (atmosfeerstation).

De **Universiteit van Antwerpen** speelt een belangrijke rol binnen het Belgische ICOS-netwerk. Ze is het **nationaal coördinatiepunt** en werkt samen met Frankrijk en Italië als medeorganisator van het **Ecosysteem Thematisch Centrum (ETC)**. De universiteit is vooral verantwoordelijk voor het verzamelen en verwerken van extra data. Het thematisch centrum voor de **atmosfeer** bevindt zich in Finland en Frankrijk, en dat voor de **oceaan** in Finland.

De opwarming van de aarde en de stijging van **CO₂** in de atmosfeer hebben ook grote gevolgen voor de oceanen en het leven daarin. Een deel van de CO₂ in de lucht, ongeveer een kwart, lost op in het zeewater. Hierdoor daalt de **pH-waarde** van de oceanen en worden ze zuurder, een proces dat **oceaanverzuring** heet. Dit bedreigt veel zeedieren; bijvoorbeeld koraal sterft sneller door de verzuring.

Daarnaast zorgt de hogere temperatuur van het zeewater ervoor dat er minder **zuurstof** in het water zit. Dit kan leiden tot **vissterfte** door zuurstoftekort.

Verzuring oceanen: CO₂ veroorzaakt nog meer dan klimaatverandering



Regio Denderstreek

Groot zuurstoftekort in Oost-Vlaamse waterlopen: "Gevolg van de klimaatverandering"

In de Dender in Denderleeuw zijn de voorbije dagen honderden dode vissen aangetroffen. Dat komt omdat het zuurstofgehalte in het water fel gedaald was door de hevige regenval van de voorbije dagen. "Het klimaatprobleem zit ook in de waterlopen, die ook warmte absorberen waardoor er minder doorstroming is. Organismen die daardoor snel groeien, nemen veel zuurstof op die de vissen nodig hebben."

Een ander gevolg van de opwarming van de aarde is dat de **zeespiegel stijgt**. De oceanen nemen ongeveer **90% van de extra warmte** in de atmosfeer op. De stijging gebeurt door twee dingen:

1. Het **smelten van gletsjers** en de grote **ijskappen** van Antarctica en Groenland.
2. Het **uitzetten van oceaanwater** wanneer het warmer wordt.

Opvallend is dat het smelten van **zee-ijs** de zeespiegel niet laat stijgen. Stel je een glas water voor met ijsblokjes tot aan de rand: als het ijs smelt, loopt het glas **niet over**.

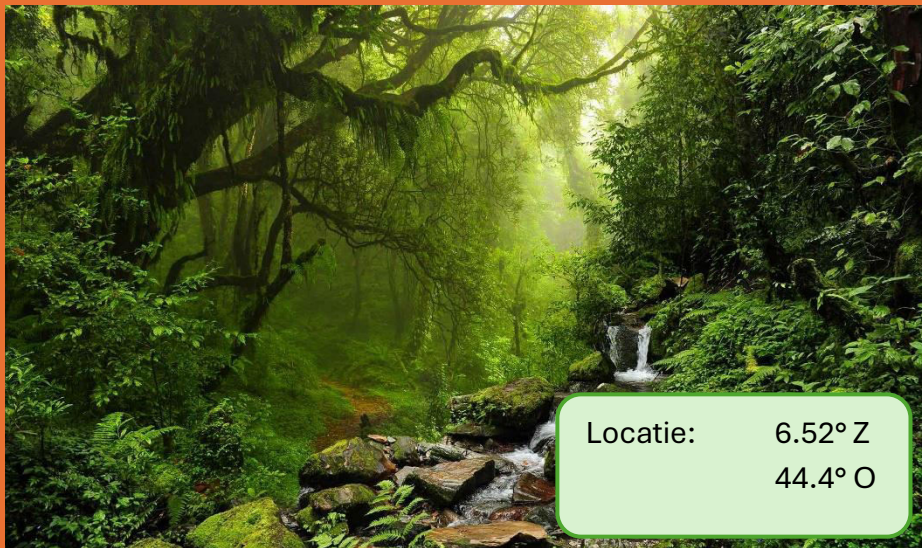
Geloof je me niet, test het zelf maar eens uit!



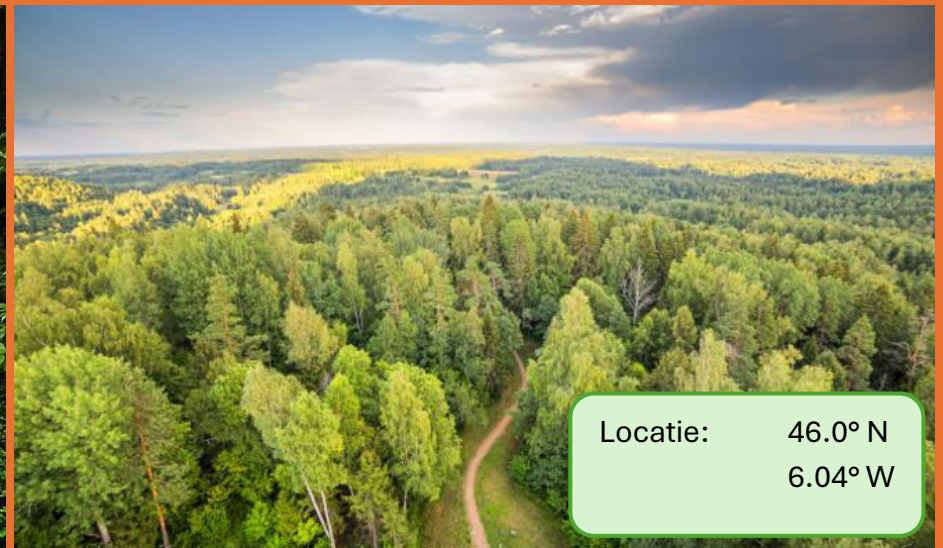
European Climate Change Service
European State of the Climate | 2018

Credit: Matthias Huss, GLAMOS

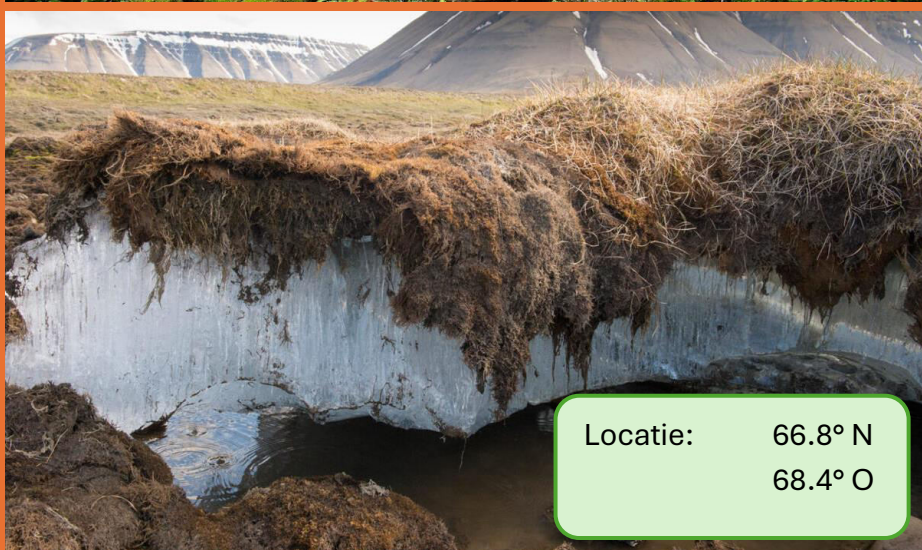
XVII. Deel 5: Koolstofvoorraden Code groen



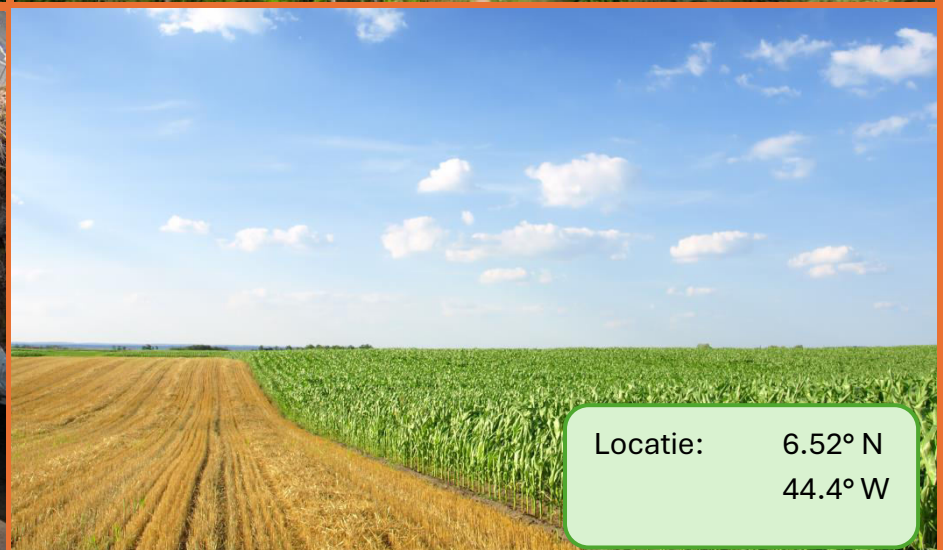
Locatie: 6.52° Z
44.4° O



Locatie: 46.0° N
6.04° W



Locatie: 66.8° N
68.4° O



Locatie: 6.52° N
44.4° W

XVIII. Deel 5: Caesar Cipher

