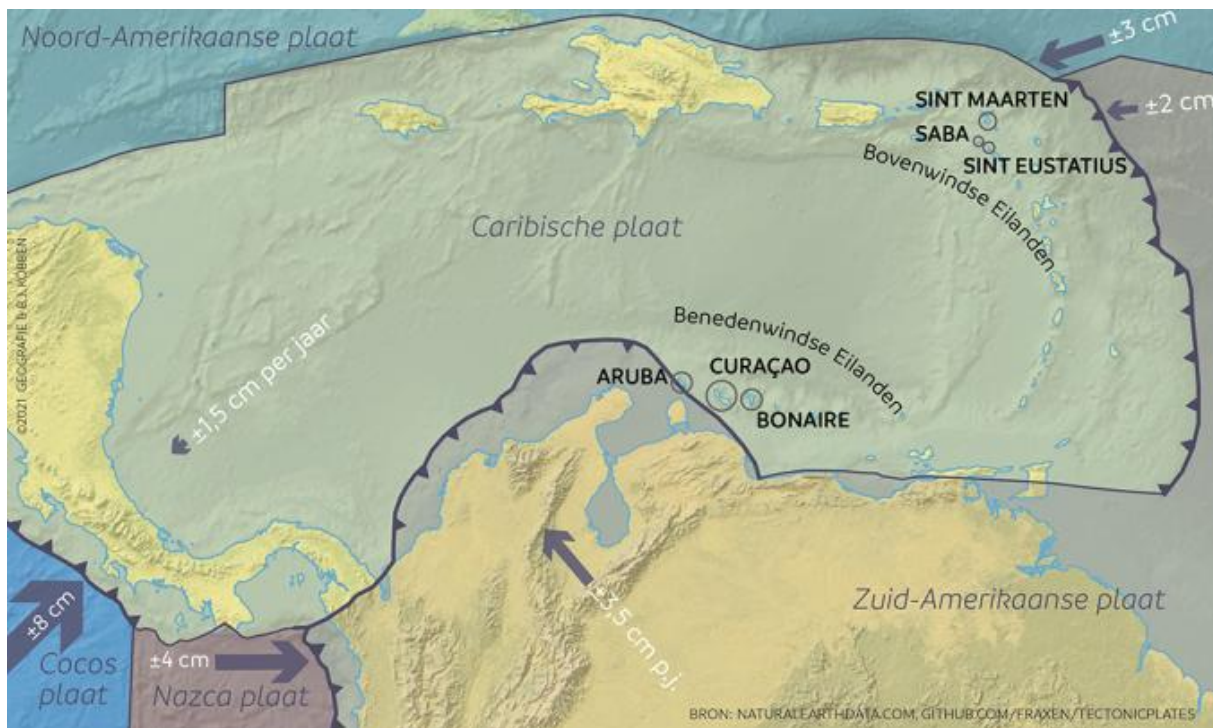


Geologie van het Caribisch gebied – havo/vwo



Intro afbeelding: Boven- en Benedenwindse eilanden en de platentektoniek

Introductie

Het Caribisch gebied is een gebied met een lange geologische geschiedenis. Geologie heeft betrekking op de endogene krachten die het aardoppervlak vormen, zoals de platentektoniek, de aanwezigheid van vulkanen en het regelmatig plaatsvinden van aardbevingen. De natuurrampen die hierdoor ontstaan, hebben invloed op het leven van de mensen in het gebied.

Probleemstelling

De geologische ontwikkeling van een gebied stopt nooit, ook in het Caribisch gebied bewegen de aardplaten nog steeds. Dat heeft soms grote gevolgen, denk maar aan de aardbevingen in Haïti in 2010 en 2021 of de uitbarsting van vulkaan La Soufrière op het eiland Saint Vincent in 2021. Wat veroorzaakt die natuurrampen? Wat zien we hiervan terug in het landschap? En wat kunnen wij doen om de schade te minimaliseren?

Bij dit katern maak je twee eindproducten:

- een kaart van het Caribisch gebied met daarop de verschijnselen die je in dit katern tegenkomt
- een mindmap met begrippen die horen bij de Caribische eilanden binnen het Koninkrijk der Nederlanden.

Met het maken van de eindproducten laat je zien dat je de leerdoelen van het katern beheerst.

Oriëntatie

Leerdoel van dit katern

De kandidaat kan fysische kenmerken van het Caribisch gebied beschrijven, verklaren en analyseren. In dit verband kan de kandidaat de geologie van het Caribisch gebied beschrijven en verklaren.

Aandachtspunten:

- Je kunt de verschillende ontstaanswijzen van eilanden in het Caribisch Gebied beschrijven en verklaren.
- Je kunt beschrijven en verklaren hoe de ligging op een plaatrand de aanwezigheid van actief vulkanisme, aardbevingen en de vorming van grondstoffen bepaalt.
- Je kunt beschrijven en verklaren waarom er in het Caribisch gebied veel verschillende natuurrampen voorkomen.
- Je kunt beschrijven en verklaren waarom de kwetsbaarheid voor natuurrampen verschilt in verschillende delen van het Caribisch gebied.

Kernbegrippen

Aan het einde van dit katern ken je de volgende begrippen:

- Geologie van het Caribisch gebied:
 - Caribische plaat
 - eilandenboog
 - platentektoniek
 - sedimentaire boog
 - vulkanische boog
 - risicoanalyse (rampen: frequentie en intensiteit)
 - risicoperceptie (afhankelijk van individuele kenmerken)
 - Hazard management

In de afronding aan het einde van het katern is een verklarende begrippenlijst opgenomen. Vet- en blauwgedrukte woorden zijn terug te lezen in deze verklarende begrippenlijst. In deze begrippenlijst zijn ook belangrijke begrippen uit domein C van de syllabus opgenomen die van toepassing zijn bij geologie in het Caribisch gebied.

Werkwijze

Vooraf

- Voorkennis: Je maakt de instaptoets om te zien hoeveel je nog weet over endogene en exogene processen.

Aan de slag

- Stap 1: Je leert over de verschillende onderdelen van het Caribisch gebied, de geologische geschiedenis van het Caribisch gebied en specifieke platentektoniek in de regio.
- Stap 2: Je leert over aardbevingen in het Caribisch gebied en waarom dit soms verwoestende gevolgen kan hebben.
- Stap 3: Je leert over de verschillende vulkaantypen en komt meer te weten over de verschillende vulkanen + uitbarstingen in het Caribisch gebied.

- Stap 4: Je leert over het beleid dat er is om schade en slachtoffers te voorkomen als gevolg van natuurgeweld.

Afronding

- Begrippenlijst: Vet- en blauwgedrukte woorden zijn terug te lezen in de verklarende begrippenlijst.
- Eindproduct: Alle kennis uit de stappen verwerk je in een kaart van het Caribisch gebied en je maakt een mindmap waarin je laat zien hoe begrippen verbonden zijn.
- Toetsvragen: Met verschillende vragen test je of je de leerdoelen hebt behaald.
- Examenvragen: Oefen met eindexamenvragen.
- Terugkijken: Kijk terug op het katern, check of je alle leerdoelen hebt behaald.

Nb.

Bij verwijzingen naar de atlas zijn omschrijvingen van kaarten genoemd, zodat de vragen te maken zijn met de Grote Bosatlas, 55^e editie en 56^e editie.

Voorkennis

Instaptoets

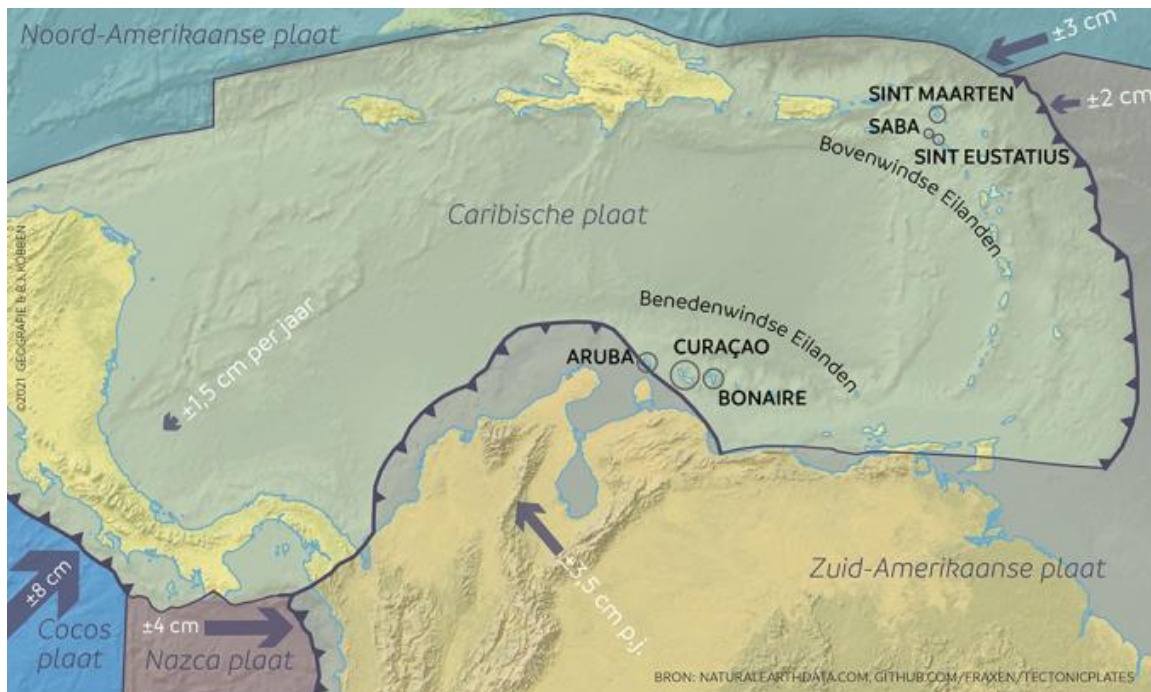
1. Er zijn drie verschillende plaatbewegingen.
 - a. Geef aan wat de namen zijn van deze drie verschillende plaatbewegingen. Noteer deze in de eerste kolom van de tabel.
 - b. Noteer per type plaatbeweging in de tabel of er sprake is van vulkanisme, aardbevingen en/of gebergtevorming.

Type plaatbeweging	Vulkanisme	Aardbevingen	Gebergtevorming
	Ja / Nee	Ja / Nee	Ja / Nee
	Ja / Nee	Ja / Nee	Ja / Nee
	Ja / Nee	Ja / Nee	Ja / Nee

2. Gebruik een atlaskaart over 'De Aarde Geologie – Platen tektoniek'.
De verschillende tektonische platen hebben allemaal een naam.
 - a. Noteer de namen van twee platen die naar elkaar toe bewegen.
 - b. Noteer de namen van twee platen die uit elkaar bewegen.
 - c. Noteer de namen van twee platen die langs elkaar bewegen.
3. De bekende twee typen vulkanen zijn de stratovulkaan en de schildvulkaan.
 - a. Geef van elke vulkaan aan wat voor soort uitbarsting er vooral is.
Kies uit: effusief / explosief.
 - b. Geef van elke vulkaan aan wat voor soort magma er vooral is.
Kies uit: dun / taai / vloeibaar / stroperig.
 - c. Geef per type plaatbeweging aan welk type vulkaan hier meestal voorkomt.
4. Welk woord hoort niet in het rijtje? Licht je antwoord bij elke vraag toe met een geografisch argument.
 - a. vulkaan – continentale plaat – Mid-Oceanische Rug
 - b. endogene krachten – erosie – aardbeving
 - c. magmakamer – trog – subductie

Stap 1: Plaatbewegingen in het Caribisch gebied

Zoals in katern 1 'Caribische regio' is besproken, zijn de grenzen van het Caribisch gebied niet altijd makkelijk te trekken. In deze stap staat de '**Caribische plaat**' centraal (zie bron 1). Als je kijkt naar de atlaskaart 'De Aarde Geologie – Platen tektoniek' en bron 1 dan zie je dat het Caribisch gebied over meerdere platen is verdeeld. Het grootste gedeelte van de eilanden bevindt zich op een eigen plaat: 'Caribische plaat'. Andere platen die een rol spelen in het Caribisch gebied zijn de Noord-Amerikaanse plaat, de Zuid-Amerikaanse plaat, de Cocosplaat en de Nazcaplaat.



Bron 1: Boven- en Benedenwindse eilanden en de platentektoniek

Op de Caribische plaat kan onderscheid gemaakt worden tussen de eilanden die bij de Grote Antillen horen en de eilanden die bij de Kleine Antillen horen. In bron 2 is te zien hoe de onderverdeling is gemaakt over de Grote- en Kleine Antillen. Alle eilanden binnen het Koninkrijk der Nederlanden zijn onderdeel van de Kleine Antillen.



Bron 2a: Grote Antillen



Bron 2b: Kleine Antillen

Binnen de Kleine Antillen kan opnieuw een onderverdeling gemaakt worden in Bovenwindse en Benedenwindse eilanden. De ABC-eilanden (die horen bij de Benedenwindse eilanden) hebben geen actieve vulkanen. Saba en Sint Eustatius (onderdeel van de Bovenwindse eilanden) hebben beide wel vulkanen: op Saba ligt Mount Scenery (bron 3a) en op Sint Eustatius ligt 'de Quill' (bron 3b). Dit zijn beide slapende vulkanen binnen het Koninkrijk der Nederlanden. Mount Scenery is met 887 meter het hoogste punt binnen het Nederlandse Koninkrijk. Het eiland Sint-Maarten, dat vlakbij Saba en Sint-Eustatius ligt, heeft geen vulkanisme.



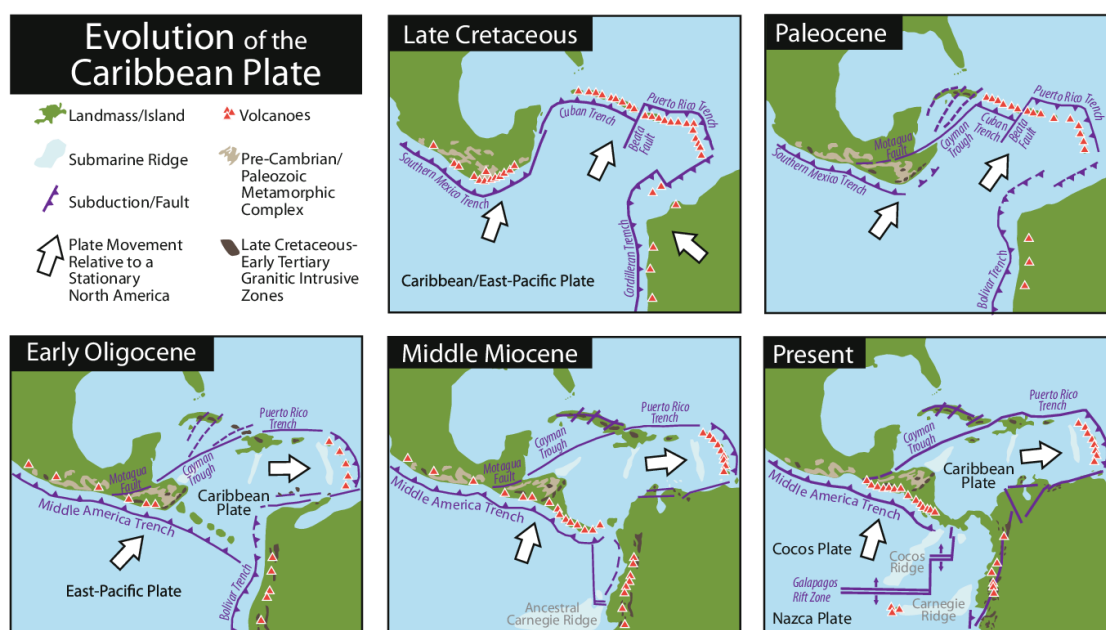
Bron 3a: Mount Scenery, Saba



Bron 3b: The Quill, Sint Eustatius

Geschiedenis van de Caribische plaat

Om de huidige ligging van het Caribisch gebied te begrijpen is het nodig om terug te gaan naar het Krijt, een periode uit de geologische geschiedenis zo'n 90 miljoen jaar geleden. De Caribische plaat is toen gevormd, waarschijnlijk door een **hotspot** die ook de Galapagoseilanden voor de kust van Ecuador heeft gevormd. Lava stroomde uit onderzeese scheuren in de aardkorst en stolde op de zeebodem. Hierdoor ontstond de oceanische plaat, die we nu kennen als de Caribische plaat. In bron 4 is deze plaat te herkennen aan de naam Caribbean / East-Pacific Plate. Door **platentektoniek** werd deze Caribische plaat in oostelijke richting gedrukt. Dit kun je in bron 4 zien aan de pijlen in oostelijke richting. In bron 5 is een animatie te zien van de verschuiving van de Caribische plaat.



Bron 4: De Evolutie van de Caribische Plaat

Bron 5: Animatie Evolutie van de Caribische Plaat:

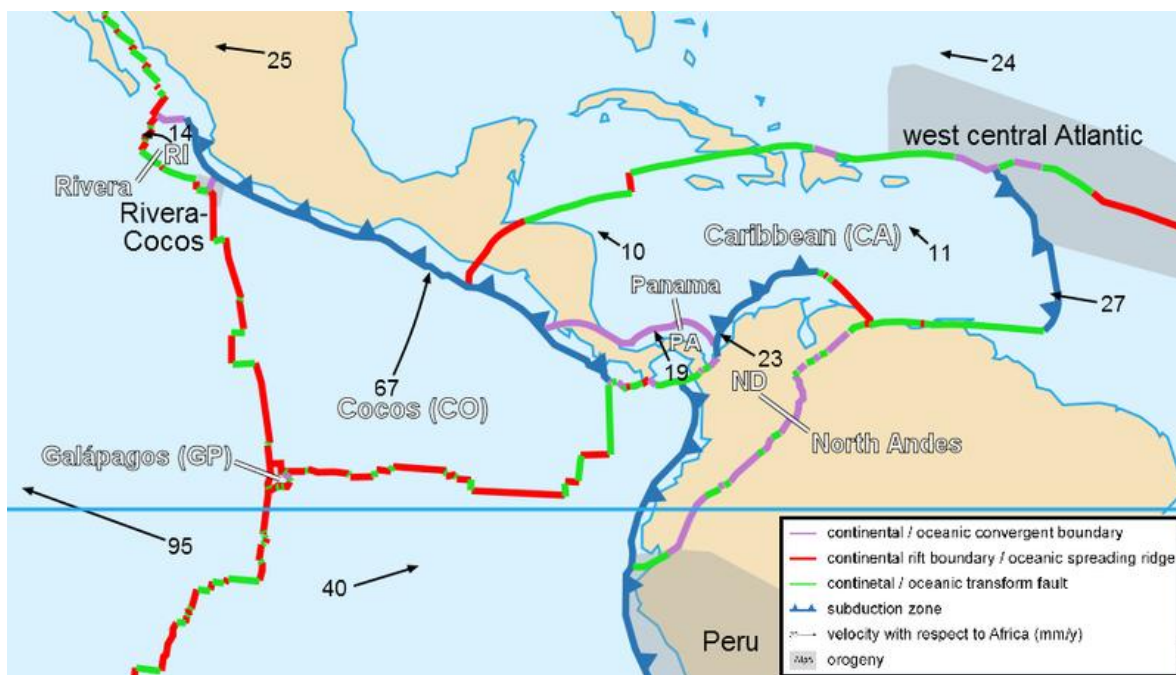
<https://www.youtube.com/watch?v=Pw5vtM-1IRE>

Zo'n 75 miljoen geleden, in het laat-Krijt (Late Cretaceous, bron 4) was er een botsing met de Zuid-Amerikaanse plaat. De Caribisch plaat kwam, zoals in bron 4 te zien, tussen Noord-Amerika en Zuid-Amerika in te liggen, en er vond **subductie** plaats aan de oostkant (met de Noord-Amerikaanse en Zuid-Amerikaanse plaat). Subductie is het proces waarbij een oceanische plaat onder een continentale plaat duikt of een oceanische plaat onder een jongere oceanische plaat glijdt. Dit heeft te maken met het gewicht van de platen. De onderduikende plaat smelt. Een gedeelte van het magma stijgt op en komt opnieuw aan het aardoppervlak in de vorm van vulkanen. Bij de botsing van twee oceanische platen vormen deze vulkanen ook eilanden. Aan beide kanten van de Caribische plaat (westzijde en oostzijde) is sprake van subductie. Aan de westzijde heeft dit geleid tot de vulkanische boog van Midden-Amerika, en aan de oostzijde tot de vulkanische boog van de Kleine Antillen.

Terwijl de Caribische plaat verder richting het oosten werd geduwd, veranderde 65 miljoen jaar geleden de plaatbeweging en snelheid. Hierdoor ontstond in het zuidelijk deel van de Caribische plaat een **transforme** beweging in plaats van subductie. De Caribische plaat beweegt richting het westen, maar de Zuid-Amerikaanse plaat beweegt sneller naar het westen. Hierdoor ontstond bij het eiland Hispaniola een transforme breuklijn en ontstond er opheffing van de Caribische plaat. Door alle plaatbewegingen ontstond er een zone met verschillende breuken. Zo'n 20 miljoen jaar geleden gingen delen van het gebied omhoog en andere delen omlaag. De opgehoogde gebieden zijn **horsten** en de ingezakte gebieden zijn **slenken**. Voorbeeld van deze horsten zijn Aruba, Curaçao en Bonaire.

Huidige plaatbewegingen van de Caribische plaat

De huidige plaatbewegingen in het Caribisch gebied zijn, net als in het verleden, complex. In bron 6 zijn deze bewegingen te zien.



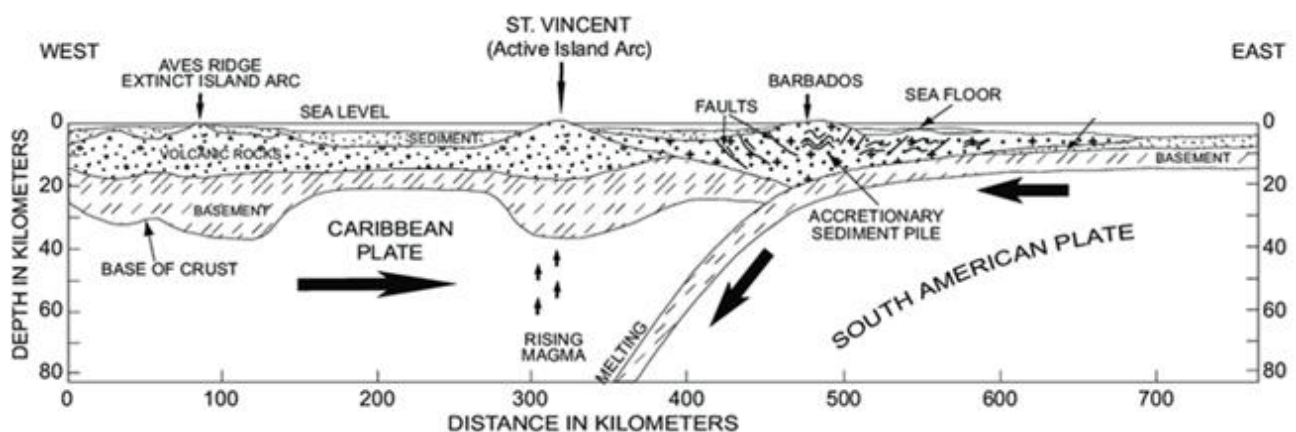
Bron 6: Huidige platentektoniek in het Caribisch Gebied. Vertaling legenda: paars = continentale vs. oceanische convergentie; rood = continentale of oceanische divergentiezone; groen = continentale of oceanische transforme breukzone; blauw = subductiezone.

Aan de noordkant is er een transforme plaatgrens tussen de Caribische en Noord-Amerikaanse plaat. De plaatgrens loopt door/langs meerdere landen, o.a. over het eiland Hispaniola waar het land Haïti ligt. Op de grens bevinden zich ook enkele **troggen** zoals de Puerto Rico trog, het diepste punt van de Atlantische oceaan. Een trog is een diepe en smalle kloof op de zeebodem die het gevolg is van subductie, in dit geval van de Zuid-Amerikaanse oceanische plaat en de Caribische plaat.

Aan de oostkant van de Caribische plaat schuift de Zuid-Amerikaanse plaat nog steeds onder de Caribische plaat. Bij dit subductieproces smelt de onderduikende Zuid-Amerikaanse plaat in de aardmantel. Aan de oppervlakte ontstaan hierdoor de vulkanische eilanden van de Bovenwindse eilanden, ook wel de Kleine Antillen. Deze eilanden vormen een **vulkanische eilandenboog**. De subductiezone loopt van de Maagdeneilanden in het noorden, tot de Venezolaanse kust. In het zuiden van het gebied botst de Caribische plaat ook met de Zuid-Amerikaanse plaat. Dit is een bijzonder gebied waarbij zowel een **convergente**- als een transforme plaatbeweging is.

Op het westelijke deel van de Caribische plaat ligt een deel van Midden-Amerika. Dit deel heeft te maken met subductie van de Cocosplaat onder de Caribische plaat, vlak voor de westkust van Midden-Amerika. Hierdoor ontstaan de vulkanen die de Centraal-Amerikaanse vulkanische boog vormen. Er zijn in het Caribisch gebied weinig **divergente** bewegingen, in bron 6 is te zien dat er alleen een kleine breukzone is ter hoogte van de ABC-eilanden.

Eilandenboog



Bron 7: Dwarsdoorsnede bij de eilandenboog. Vertaling begrippen: fault = breuk; basement = oudste laag stollingsgesteenten; base of crust = overgang tussen aardkorst en mantel; accretionary sediment pile = ophoping van sedimentgesteenten.

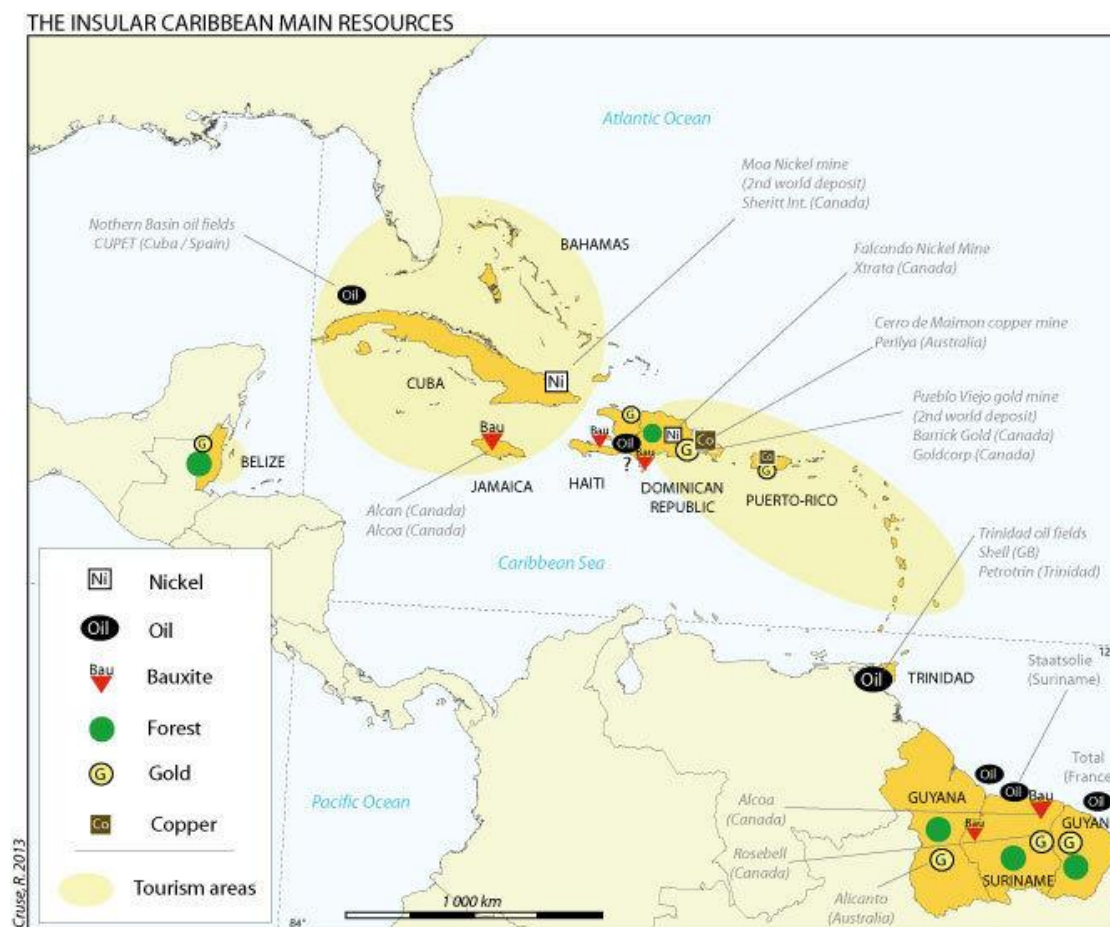
In bron 7 is een dwarsdoorsnede te zien van de eilandenboog in het Caribisch Gebied. Bij het proces van subductie is er sprake van het smelten van de onderduikende plaat. Het opstijgende magma zorgt op de overschuivende plaat voor het ontstaan van een vulkanenrij: een vulkanische (eilanden)boog. Voorbeelden van eilanden op deze eilandenboog zijn Martinique, Saba en Guadeloupe. Op de plek waar de subductie plaatsvindt ontstaat een diepzeetrog. De afstand tussen de trog en de vulkanenboog laat de diepte en snelheid van wegzakken van de onderduikende plaat in de mantel zien. Dit proces wordt ook wel **slab pull** genoemd.

In de zone tussen de vulkanische boog en de trog kan sediment verzamelen, onder andere afkomstig van de vulkanische boog als gevolg van de **exogene processen** vertering en erosie. Vertering is het proces waarbij weersinvloeden en andere externe krachten invloed hebben op gesteente aan het aardoppervlak. Voor het ontstaan van sedimenten moet er mechanische /

fysische verwerking plaatsvinden. Door grote temperatuurverschillen of vorstwerking kan het gesteente uit elkaar vallen in kleine delen. Vervolgens wordt het losse gesteente door erosie getransporteerd (bijv. door rivieren die het sediment meenemen naar zee) en uiteindelijk zal er sedimentatie optreden: het ophopen van losse sedimenten. Door de opstapeling van sedimenten kan er een tweede boog ontstaan, parallel aan de vulkanische boog. Deze tweede boog wordt '**sedimentaire boog**' genoemd. Hier bevinden zich dus eilanden die niet vulkanisch zijn maar bijvoorbeeld bestaan uit kalksteen zoals Barbados, Barbuda en Anguilla. Het eiland Sint-Maarten ligt op de overgangszone tussen de sedimentaire en de vulkanische boog. Er is wel vulkanisch gesteente te vinden, maar er zijn geen vulkanen meer.

Grondstoffen

Toen de Spanjaarden bij hun ontdekkingsreizen in het Caribisch gebied kwamen, ontdekten ze op sommige eilanden waardevolle grondstoffen. Andere eilanden daarentegen waren niet interessant genoeg. De ABC-eilanden werden bijvoorbeeld 'islas inutiles' (nutteloze eilanden) genoemd omdat de Spanjaarden er geen goud en zilver konden vinden. Toch zijn in veel vulkanisch actieve gebieden in het Caribisch gebied wel nuttige grondstoffen te vinden. Het gaat dan om bijvoorbeeld olie en gas in Trinidad, goud en koper op Hispaniola, en ijzererts en olie in Guyana op het vasteland van Zuid-Amerika. Halverwege de negentiende eeuw werd er ook nog goud gevonden op Aruba, wat ook korte tijd gewonnen en verwerkt werd op het eiland. In bron 8 is een kaart te zien met een aantal belangrijke grondstoffen die aanwezig zijn in het Caribisch gebied.

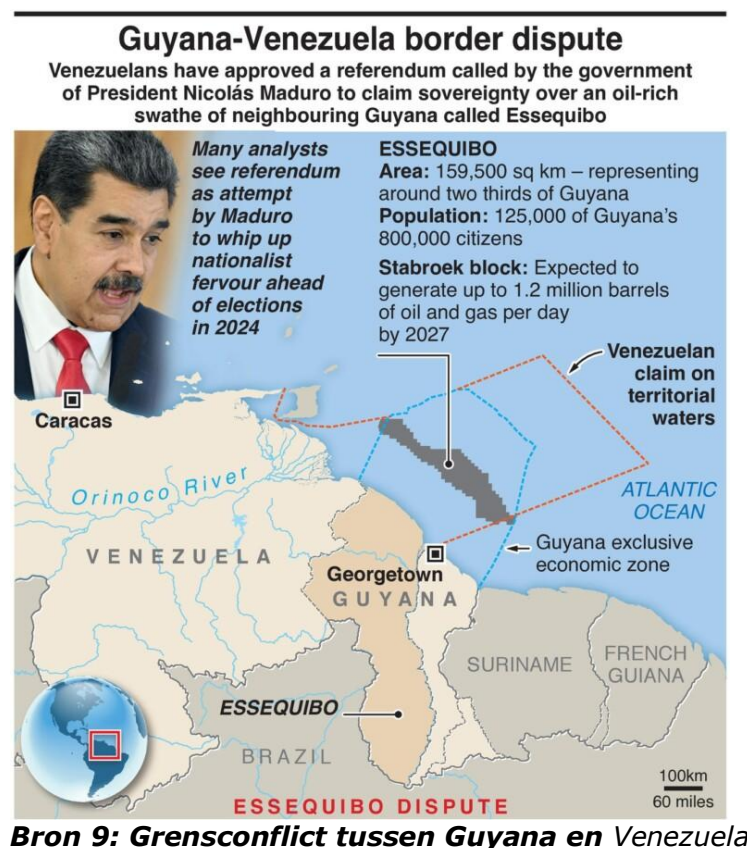


Bron 8: Belangrijke grondstoffen in het Caribisch gebied.

Ertsen, zoals goud en koper, zijn het gevolg van het stollen van magma in de ondergrond, wat zorgt voor dieptegesteente met daarin bijvoorbeeld goud. Afhankelijk van de samenstelling van het magma en de snelheid van afkoelen ontstaan er ook andere ertsen, zoals ijzererts. Ook onder hoge druk en/of hoge temperatuur (als gevolg van convergente plaatbewegingen) kunnen gesteenten veranderen (in metamorfe gesteenten) waarbij ertsen ontstaan.

Ook de warmte in subductiezones kan gezien worden als grondstof. Door de warmte kan er op sommige eilanden op de vulkanische eilandenboog gebruik gemaakt worden van geothermische energie (aardwarmte) om zo de eilanden van elektriciteit te voorzien.

Aardolie en aardgas zijn te vinden in gebieden waar in het geologische verleden veel sediment verzameld is. Olie ontstaat namelijk als dode planten- en dierenresten bedekt worden door lagen sediment. Door de druk van de bovenliggende lagen sediment verandert het organisch materiaal langzaam in aardolie. Deze olie kan door de bewegingen van de aardkorst ook in plooien terecht komen, de olie wordt dan in deze gesteenteplooien opgeslagen. Daarboven is een afdekkende laag te vinden die het aardolie en aardgas niet doorlaat. Trinidad is één van de Caribische eilanden waar aardolie en aardgas te vinden zijn. Door de ligging op de grens van de Caribische, Zuid-Amerikaanse en Noord-Amerikaanse plaat is er een complex gebied met plooien en breuken ontstaan waarin aardolie kan worden gevormd en opgeslagen. Dit is ook het geval in Venezuela en Guyana. De aanwezigheid van grondstoffen kan ook tot conflicten leiden. Zo maken Venezuela en Guyana beide aanspraak op de regio Essequibo waar veel olie te vinden is (zie bron 9).



Bron 9: Grensconflict tussen Guyana en Venezuela

Vragen

1 Leg uit wat het verschil is tussen convergentie en subductie.

Ga naar de atlaskaart 'Zuid-Amerika: tektoniek en vulkanisme'.

2 Geef aan welke twee plaatbewegingen er volgens deze kaart in het Caribisch gebied zijn.

3 Geef aan bij welk type plaatgrens er aardkorst verdwijnt.

Zoek in het trefwoordenregister naar kaarten over vulkanisme. Bekijk vervolgens de kaarten en zoek een plek op aarde (anders dan het Caribische gebied) waar ook een vulkanische eilandenboog is, die gevormd is door subductie.

4 Noteer de naam van de eilandenboog en geef aan welke platen er betrokken zijn bij het ontstaan van deze eilandenboog.

Gebruik een atlaskaart over de 'Verenigde Staten – Natuurgeweld: Seismiek en Vulkanisme' en zoek naar kaarten waarop de eilandenboog van Hawaï te zien is.

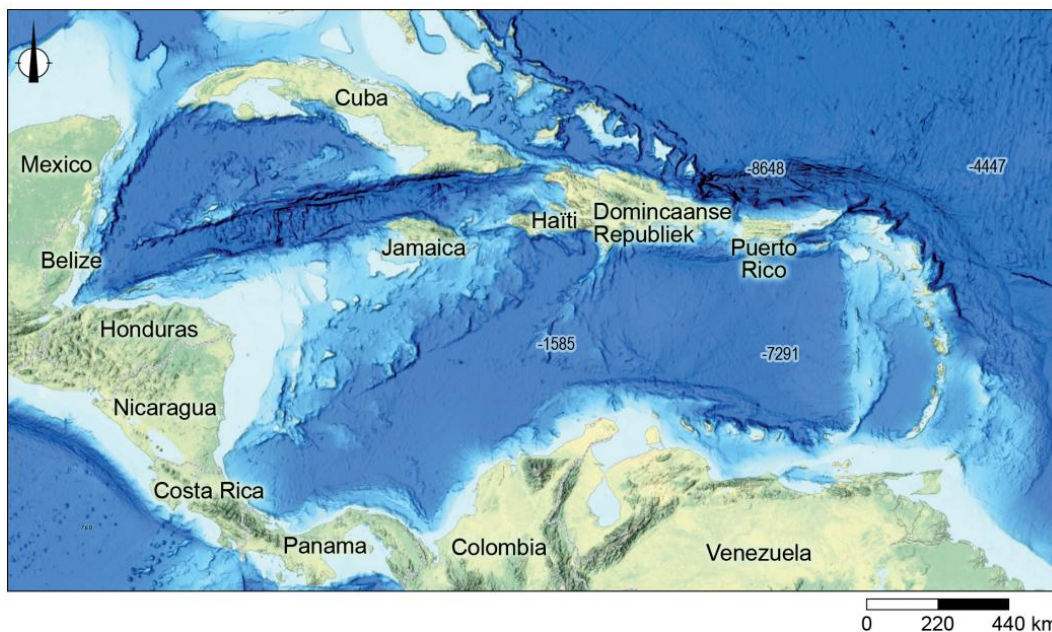
5 Beredeneer dat de ontstaanswijze van de eilandenboog bij Hawaï anders is geweest dan de eilandenboog bij de Kleine Antillen.

6 Geef aan op welke twee manieren er in subductiezones grondstoffen ontstaan.

Op het eiland Trinidad is aardolie te vinden.

7 Beredeneer vanuit de theorie over het ontstaan van aardolie op welk(e) ander(e) eiland(en) in het Caribisch gebied aardolie gevonden kan worden.

Gebruik de atlaskaart 'Midden-Amerika: tektoniek en vulkanisme' en bron 10.



Bron 10: Bathymetrische kaart van het Caribisch Gebied. Op deze kaart wordt de topografische hoogte van de zeebodem aangegeven. Hoe donkerder blauw hoe dieper de zee.

Ten oosten van de Bovenwindse Eilanden ligt een diepzeetrog.

Door een exogeen proces is het zuidelijke deel van deze trog minder diep (zie bron 10).

8 Leg uit dat het zuidelijk deel van deze trog minder diep is. Je uitleg moet een oorzaak-gevolgrelatie bevatten.

Gebruik opnieuw de atlaskaart 'Midden-Amerika: tektoniek en vulkanisme' en bron 10.

De Noord-Amerikaanse plaat en de Caribische plaat bewegen tussen Belize en Cuba transform ten opzichte van elkaar. Dat is niet altijd zo geweest. Tientallen miljoenen jaren geleden vond hier subductie plaats.

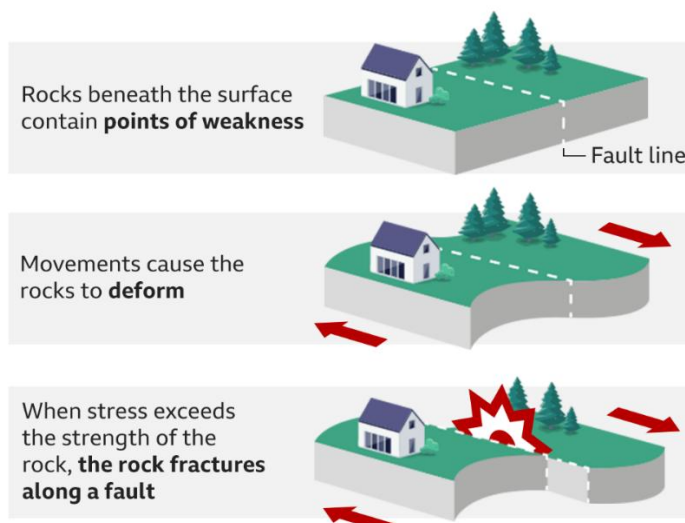
9 Geef twee aanwijzingen waaruit blijkt dat hier in het verleden subductie plaatsgevonden heeft.

Stap 2: Aardbevingen

Ontstaan van aardbevingen

Aardbevingen kunnen ontstaan door platentektoniek. We spreken van een **aardbeving**, als de opgebouwde spanning, ontstaan door het botsen van aardplaten, wordt ontladen. In bron 11 is te zien hoe een aardbeving ontstaat bij een transforme breuklijn (zoals bij het eiland Hispaniola). Vaak zit er een periode tussen zware aardbevingen. Gedurende deze periode is er sprake van het opbouwen van druk langs de plaatgrens. Hoe langer de periode is, hoe meer druk er wordt opgebouwd. Als de druk te groot wordt verschuiven de platen ten opzichte van elkaar en beeft de aarde. De kracht van de beving wordt gemeten met de **moment-magnitude schaal**. De aardbevingen bij transforme breuklijnen zijn vaak ondieper, maar hierdoor zijn de gevolgen aan het oppervlakte vaak groot.

Earthquake caused by strike-slip fault

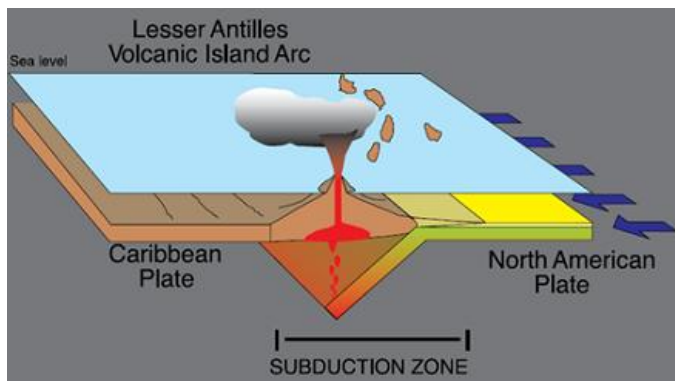


Source: British Geological Society

BBC

Bron 11: Ontstaan van aardbevingen bij transforme breuklijnen

Het oostelijk deel van het Caribisch gebied, met de vulkanische boog, heeft een **convergente plaatgrens** waar subductie plaats vindt (zie bron 12). De plaat met de hoogste dichtheid, die dus zwaarder is, wordt onder de lichtere plaat getrokken door de zwaartekracht (het proces slab pull). Deze subductie zorgt voor vulkanische en **seismische activiteit** in het oostelijk deel van het Caribisch gebied. Aardbevingen kunnen op verschillende dieptes voorkomen. De diepste aardbevingen zijn bij subductiezones.



Bron 12: Subductiezone in het Caribisch gebied

In bron 13 is een animatie te zien over hoe aardbevingen ontstaan in het Caribisch Gebied. Bron 14 laat een animatie zien van alle aardbevingen die geregistreerd zijn tussen 1918 en 2019. De animatie laat duidelijk zien dat het Caribisch Gebied een regio is die seismisch zeer actief is. Belangrijk om te realiseren bij deze animatie is dat naarmate de tijd in de animatie verder gaat, het aantal weergegeven aardbevingen toeneemt. Dit heeft geen geologische oorzaak, maar komt door de verbeterde technologie waardoor meetinstrumenten beter kunnen meten en ook lichte en kleine aardbevingen beter registreren.

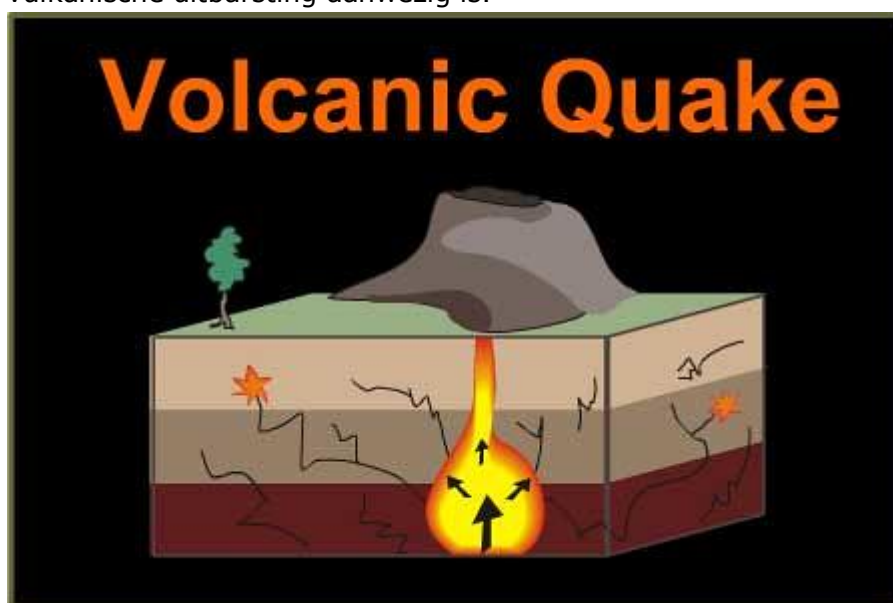
Bron 13: Animatie Hoe ontstaan aardbevingen in het Caribisch Gebied.

<https://www.youtube.com/watch?v=9UFQiesnvUc>

Bron 14: Animatie Aardbevingen in het Caribisch Gebied tussen 1918 en 2019.

https://www.youtube.com/watch?v=ic5_c5UIjdY

Sommige aardbevingen ontstaan als er beweging van magma is in de aardkorst en het bovenste gedeelte van de mantel (ook wel **lithosfeer** genoemd). Magma is lichter dan het omliggend gesteente en beweegt daardoor richting het aardoppervlak (zie bron 15). Vulkanische aardbevingen zijn dan ook een teken dat de magmakamer (een ondergrondse ruimte in de aardkorst waar magma zich verzamelt) zich aan het vullen is en de kans op een vulkanische uitbarsting aanwezig is.

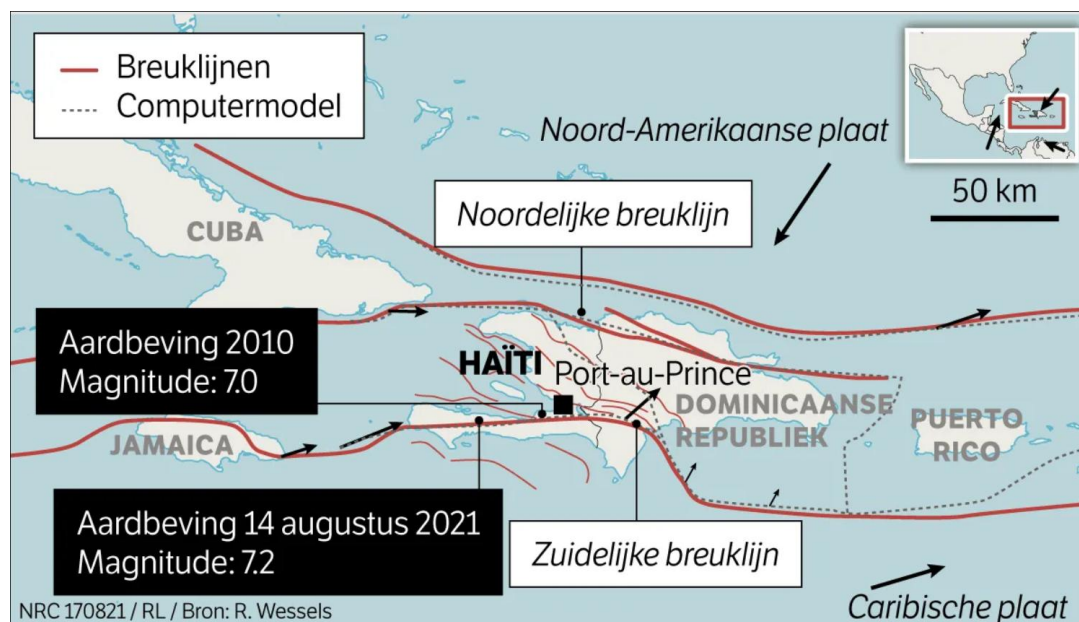


Bron 15: Vulkanische aardbevingen

Gevolgen van aardbevingen

In de huidige tijd (20^e en 21 eeuw) is de verwoesting die na een aardbeving zichtbaar is vaak groter dan in de 17^e en 18^e eeuw. De belangrijkste factor die daar verantwoordelijk voor is, is het gegroeide inwoneraantal. Daarnaast zijn de inrichting van het landschap en de gebruikte bouwstijlen vaak niet bestand tegen de kracht van aardbevingen.

Een voorbeeld van een zeer zware aardbeving in het Caribisch gebied, was de aardbeving van 2010 die grote verwoestingen aanrichtte op Haïti. In 2021 was er opnieuw een zware aardbeving op Haïti. Haïti ligt net als de Dominicaanse Republiek op het eiland Hispaniola. Dit eiland ligt op de noordgrens van de Caribische plaat en heeft een transforme beweging (zie bron 16).



Bron 16: Breuklijnen bij Haïti

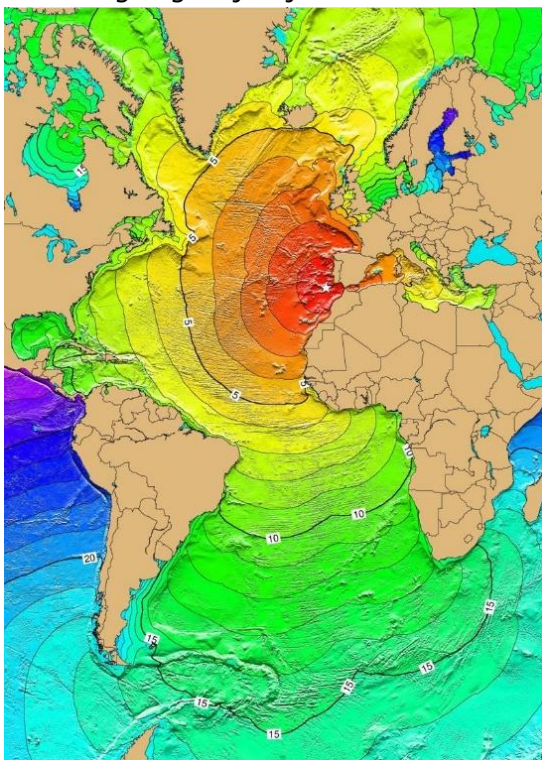
Door de verschuivingen van de omliggende platen wordt er aan alle kanten tektonische spanning opgebouwd. De aardbeving in 2010 was weliswaar niet één van de zwaarste ooit ter wereld, toch was de verwoesting enorm. Veel gebouwen in Haïti zijn namelijk niet bestand tegen aardbevingen. In het begin van de 20^e eeuw werden veel huizen gebouwd van hout of vergelijkbare materialen, die beter bestand waren tegen aardbevingen dan de huidige bakstenen of beton. Het arme land Haïti heeft echter te maken met gebrekkige bouwvoorschriften en goedkoop bouw materiaal. Een huis van gewapend beton (beton met een stalen vlechtwerk erin) is tegen meer impact bestand, maar ook duurder, waardoor er vaak gekozen wordt voor niet-gewapend beton, dat makkelijker verbrekt bij aardbevingen. Door corruptie en politieke onrust is het lastig om de wederopbouw op een aardbevingsbestendige manier te laten plaatsvinden.

Een ander probleem waar Haïti mee te maken had, na zowel de aardbeving in 2010 als in 2021, is dat er door de aardbevingen ook veel **aardverschuivingen** hebben plaatsgevonden (zie bron 17). Deze aardverschuivingen hebben deels een menselijke oorzaak. Door ontbossing lag er veel los sediment, dat met name tijdens de regentijd versneld richting zee spoelde. In combinatie met de aardbeving en de steile hellingen in het gebied ging er daardoor veel materiaal glijden en ontstonden er aardverschuivingen.



Bron 17: Aardverschuiving in Haïti na aardbeving

Als gevolg van bevingen onder de zeebodem kan er ook een **tsunami** ontstaan: een grote vloedgolf. Door de beving ontstaan er trillingen die door het water bewegen en zo een golf creëren. De golf blijft net zolang in beweging tot het een kust bereikt. Doordat het water ondieper wordt in de buurt van de kust, wordt de golf in elkaar gedrukt en daardoor steeds hoger. Een tsunami kan verwoestend zijn voor alles wat het tegenkomt. Aangezien een tsunami vaak snel volgt op een aardbeving, hebben bewoners niet altijd genoeg tijd om te vluchten. Hierdoor vallen er vaak veel slachtoffers. In het Caribisch gebied waren in de afgelopen jaar zo'n 50 aardbevingen die ook tot tsunami's hadden kunnen leiden, maar slechts 10-20% zorgde daadwerkelijk voor (kleine) tsunami's. Een tsunami kan ook van buiten de regio komen (zie bron 18), zoals bijvoorbeeld de tsunami als gevolg van een zware aardbeving in Lissabon (Portugal, 1755). Onderzoekers hebben in Fort-de-France (Martinique) sedimenten gevonden die neergelegd zijn tijdens de tsunami in 1755.

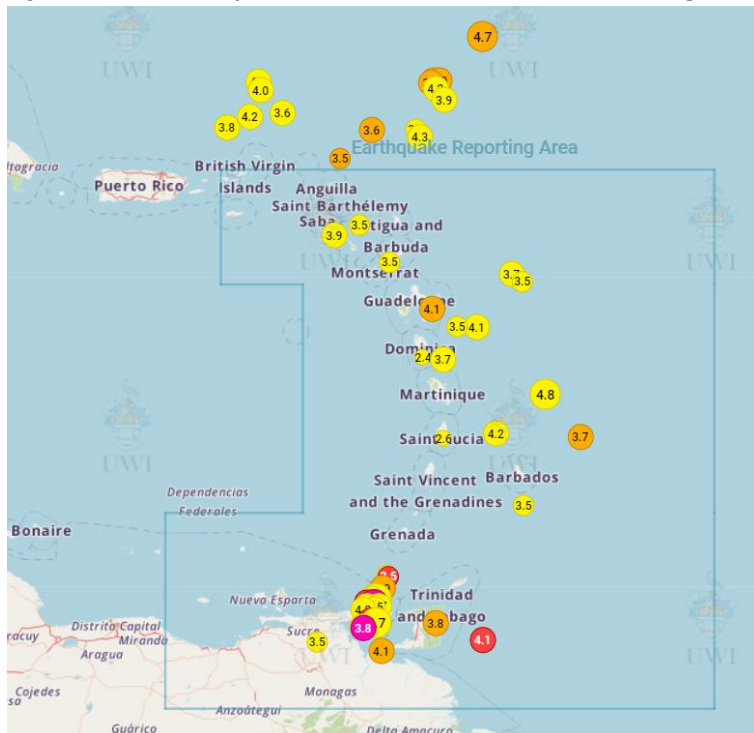


Bron 18: De (uitgerekende) snelheid waarmee de golven zich over de oceaan hebben verplaatst na de aardbeving in Lissabon.

Van de onderwatervulkaan Kick'em Jenny is ook bekend dat er bij tenminste twee uitbarstingen sprake is geweest van kleine tsunami's die de noordkust van Grenada bereikten. De kans op zware verwoestende tsunami's in het Caribisch gebied is klein, er wordt uitgegaan van 1 verwoestende tsunami per eeuw veroorzaakt door lokale aardbevingen en 1 verwoestende tsunami per 200 jaar voor aardbevingen buiten de regio.

Vragen

Ga naar <https://map.uwiseismic.com/>. Op deze website kun je een kaart zien zoals in bron 19 met daarop de meest recente aardbevingen. (Je kunt ook gebruik maken van EDUGIS, zoals je bij een eerdere opdracht in katern 1 'Caribische regio' hebt gedaan.)



Bron 19: Kaart met recente aardbevingen

Gebruik de informatie bij het maken van vraag 1 en vraag 2.

1 Geef aan wat het verband is tussen:

- verschillende soorten plaatgrenzen en de kracht van aardbevingen;
- de afstand van de plaatgrens en de diepte van aardbevingen.

2 Geef aan:

- of er in de afgelopen maand aardbevingen zijn geweest (in het Caribisch gebied?);
- door welke plaatbewegingen deze aardbevingen zijn ontstaan;
- hoeveel aardbevingen er per soort plaatbeweging zijn geweest.

3 Leg uit waarom er in Haïti zoveel schade en slachtoffers zijn gevallen na de aardbevingen van 2010 en 2021. Ga bij je antwoord in op twee sociaal geografische dimensies.

4 Geef aan of de aardbeving bij Haïti op grote diepte heeft plaatsgevonden of juist ondiep was.

5 Leg uit hoe aardbevingen kunnen leiden tot aardverschuivingen.

6 Leg uit waarom een tsunami hoger wordt bij de kust.

7 Leg uit waarom er in Haïti zoveel schade en slachtoffers zijn gevallen na de aardbevingen van 2010 en 2021. Ga bij je antwoord in op twee sociaal geografische dimensies.

8 Geef aan of de aardbeving bij Haïti op grote diepte heeft plaatsgevonden of juist ondiep was.

9 Leg uit hoe aardbevingen kunnen leiden tot aardverschuivingen.

10 Leg uit waarom een tsunami hoger wordt bij de kust.

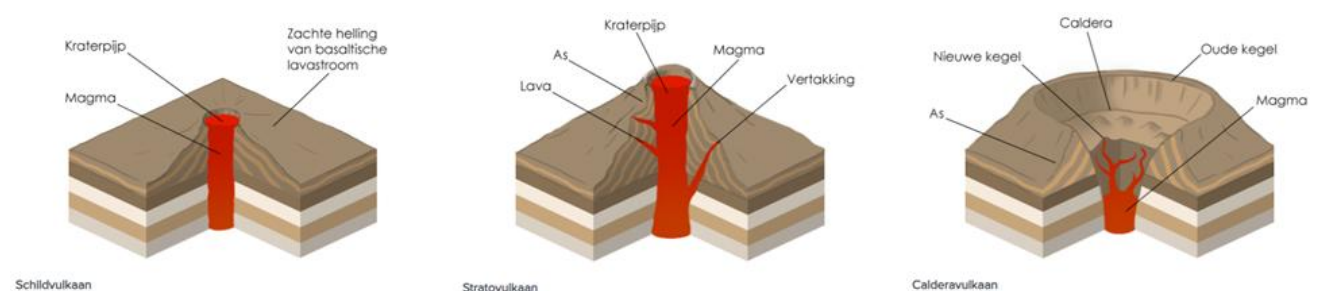
Stap 3: Vulkanisme

Vulkanen kunnen onderverdeeld worden naar het type eruptie: **effusief** of **explosief**.

In bron 20 is een overzicht te zien van de meest voorkomende soort vulkanen.

- **Stratovulkanen** komen vooral voor in de buurt van plaatranden, bij subductiezones. Een stratovulkaan ontstaat door het smelten van de onderduikende oceanische plaat. Het magma bij stratovulkanen is taai, stroperig en gasrijk als gevolg van de hoge viscositeit. Dit explosieve magma ontstaat als bij het onderduiken van de oceaanplaat er ook water en sediment mee de mantel in gaat. Bij stratovulkanen komen explosieve uitbarstingen voor.
- Soms ontstaat er bij een explosieve uitbarsting van een stratovulkaan een **caldera**, een grote komvormige krater. Deze caldera ontstaat als de magmakamer in één keer helemaal geleegd wordt waardoor het dak van de vulkaan in de magmakamer zakt. De tweede manier waarop een caldera kan ontstaan is als door de kracht van de eruptie de top van de vulkaan wordt geblazen.
- Schildvulkanen zijn het gevolg van effusieve uitbarstingen en komen vooral voor bij hotspots. Er zijn geen schildvulkanen in het Caribisch gebied.

Als je meer informatie nodig hebt over vulkanisme, zoek dit dan op in je lesboeken.



Bron 20: Soorten vulkanen

De meeste vulkanen in het Caribisch gebied bevinden zich aan de oostzijde van de Caribische plaat, bij de daar aanwezige subductiezone. De meest voorkomende vorm van vulkanisme in het Caribisch gebied is daarom explosief vulkanisme en het meest voorkomende type vulkaan is de stratovulkaan. Voorbeelden van actieve vulkanen in het Caribisch gebied zijn Soufrière Hills, Mount Pelée, La Soufrière en de onderzeese vulkaan Kick'em Jenny. In totaal zijn er vijf vulkanen in het gebied met in de naam 'Soufrière', dit is het Franse woord voor zwavel. Zwavel wordt uitgestoten door vulkanen en is te herkennen aan de 'rotte-eieren geur'. Rond vulkanen zie je ook vaak zwavel, te herkennen aan de gele randen of geel poeder. Op Saint Lucia is vlakbij de krater een natuurlijk modderbad te vinden. Het water wordt verwarmd door de vulkaan en in het water zijn grote concentraties zwavel en andere chemische elementen te vinden. Men gelooft in de heilzame werking van het nemen van een modderbad vanwege de aanwezigheid van de chemische elementen en zo 'Sulpher Springs' (zwavelbron, zie bron 21)

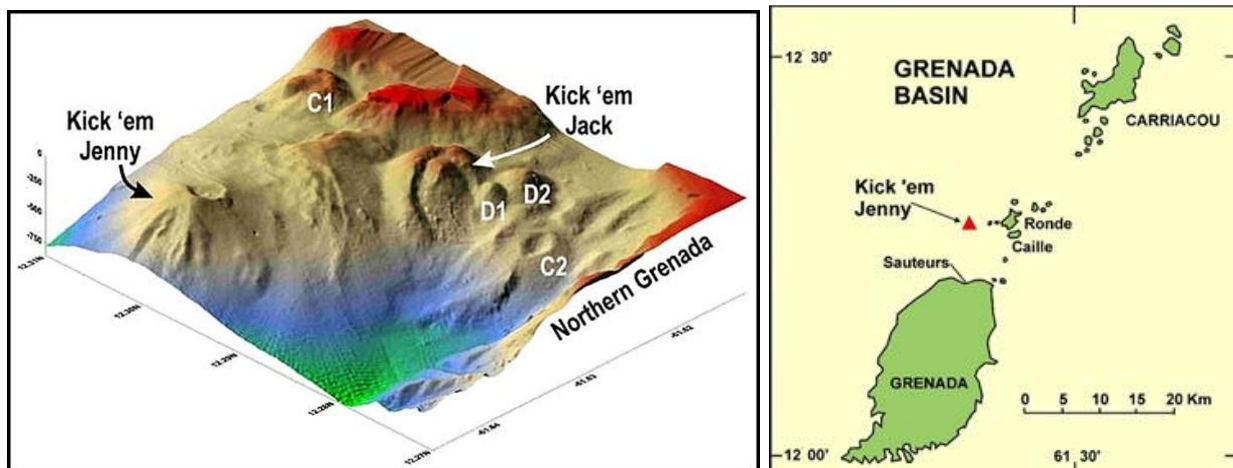
een toeristische attractie geworden. Het eiland Saba heeft nog een oude zwavelmijn, maar er wordt nu geen zwavel meer gewonnen.



Bron 21: Sulpher Springs op Saint Lucia.

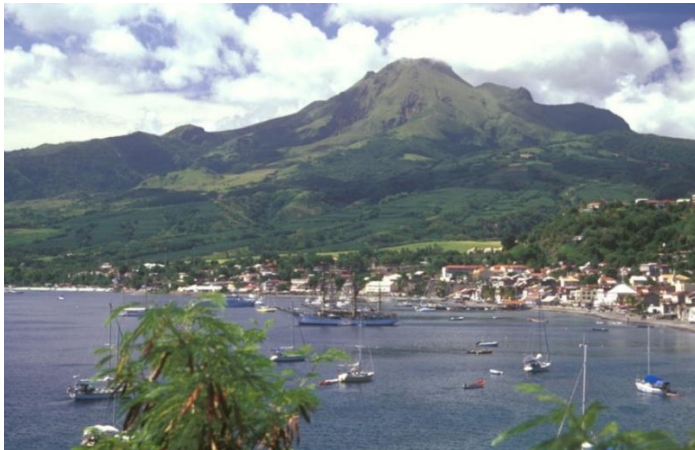
De meeste vulkanen in het Caribisch gebied zijn slapend, dat wil zeggen: niet actief. Het duurt soms honderden tot duizenden jaren voordat opnieuw genoeg spanning is opgebouwd voor een nieuwe uitbarsting. Dit heeft ook te maken met de trage beweging van de platen in het gebied die tot vulkanisme leiden. Een aantal vulkanen heeft een vrij recente uitbarsting gehad. Hieronder zullen een aantal van deze recente vulkaanuitbarstingen besproken worden.

Een bijzondere vulkaan is de onderzeese vulkaan Kick'em Jenny (zie bron 22). Deze vulkaan is zo'n 1.300 meter hoog (gemeten vanaf de oceaانبodem) en komt niet boven het water uit. Het is één van de meeste actieve vulkanen in het oostelijk deel van de Caribische Zee. Uit onderzoek naar het reliëf op de zeebodem is gebleken dat de vulkaan meerdere kraters heeft (o.a. Kick'em Jack). Sinds 1939 zijn er meerdere uitbarstingen geweest. Die uitbarstingen waren vaak niet zichtbaar maar werden wel opgevangen met akoestisch onderzoek (waarbij geluidsgolven worden gemeten). Vóór 1939 wist men niet van deze vulkaan af, maar in 1939 was er een explosieve uitbarsting waarbij er een aswolk van zo'n 270 meter boven de oceaan ontstond en zichtbaar was voor de inwoners van het nabijgelegen Grenada. Sommige uitbarstingen hebben geleid tot zo'n aswolk, maar er is ook regelmatig sprake geweest van relatief rustig vulkanisme waarbij er aan land alleen 'gerommel' gehoord werd. Deze aswolken komen niet hoog genoeg om meegenomen te worden door de wind en vormen ook geen gevaar voor omliggende eilanden.

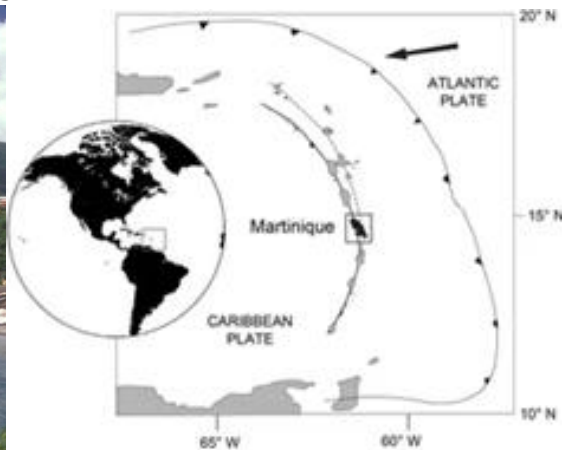


Bron 22: Kick'em Jenny

De grootste vulkaanuitbarsting in het Caribisch gebied uit de recente geschiedenis was in 1902 toen Mount Pelée (zie bron 23) tot uitbarsting kwam op het eiland Martinique. De uitbarsting van Mount Pelée was een van de dodelijkste uitbarstingen in de geschiedenis, met meer dan 30.000 slachtoffers. Voorafgaand aan de grote uitbarsting waren er kleine uitbarstingen, die echter door veel inwoners van Martinique niet opgemerkt werden. Er waren lichte aardbevingen, er kwam een wolk met zwavelgassen langs de helling naar beneden, er was lava te zien op de top van de vulkaan en een rivier op de flank van de vulkaan voerde erg veel grondwater af. Dit grondwater werd weggeduwd door de opbouw van warmte in de vulkaan, die ontstond als gevolg van opstijgend magma. De grootste problemen ontstonden toen er een verwoestend mengsel van as en lava gemengd met water richting de stad aan de voet van de vulkaan bewoog (ook wel lahar genoemd). De lahar gleed langs de helling en zorgde, toen hij in zee stortte, voor een drie meter hoge tsunami. Een paar dagen later was er een grote vulkaanuitbarsting, met deze keer een grote **pyroclastische stroom** en explosie. Een pyroclastische stroom ontstaat als een pyroclastische wolk van lava, as, rotsen en gas instort en dan langs de helling van de vulkaan naar beneden stroomt. In bron 25 is een pyroclastische wolk te zien bij een andere vulkaan. Door het gebrek aan kennis over vulkanisme in 1902, werden er vooraf weinig mensen geëvacueerd. Tegenwoordig zouden er met zulke signalen meer maatregelen genomen worden, zoals het tijdig evacueren van omwonenden.



Bron 23: Mont Pelée



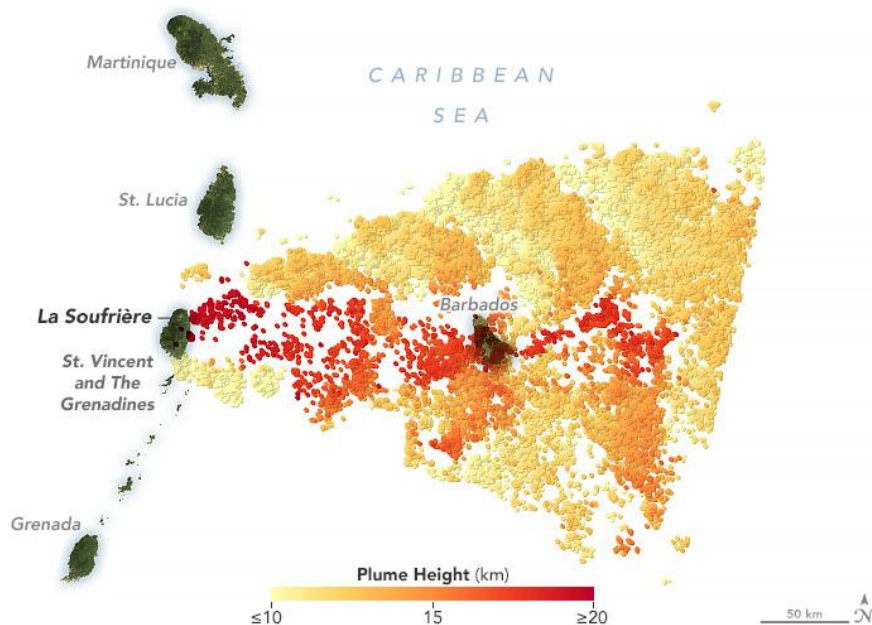
Een relatief recente uitbarsting (2021) is de uitbarsting van La Soufrière op het eiland Saint Vincent. Bekijk in bron 24 de tijdlijn van deze uitbarsting. Bij de uitbarsting ontstond er een hoge askolom boven de vulkaan, ook wel pyroclastische wolk genoemd (zie bron 25). Het as van de vulkaan viel neer boven Saint Vincent en omliggende eilanden. De kracht van de uitbarsting was zo groot, dat de vulkanische as hoger kwam dan de luchtlag waarin de overheersende winden waaien. Hierdoor werd de vulkanische as naar het oosten geblazen en kwam onder andere terecht op het eiland Barbados (zie bron 26). Daarnaast stortte de askolom in, waardoor een pyroclastische stroom ontstond, en in combinatie met de regen tijdens de uitbarsting ontstonden ook hier lahars. Er werden zo'n 22.000 mensen geëvacueerd, onder andere met de hulp van cruiseschepen, naar andere eilanden in de buurt.

Bron 24: Tijdlijn van de uitbarsting van La Soufrière

<https://www.youtube.com/watch?v=Q-JY6uxpbIQ>



Bron 25: Uitbarsting La Soufrière, Saint Vincent, op 13 april 2021



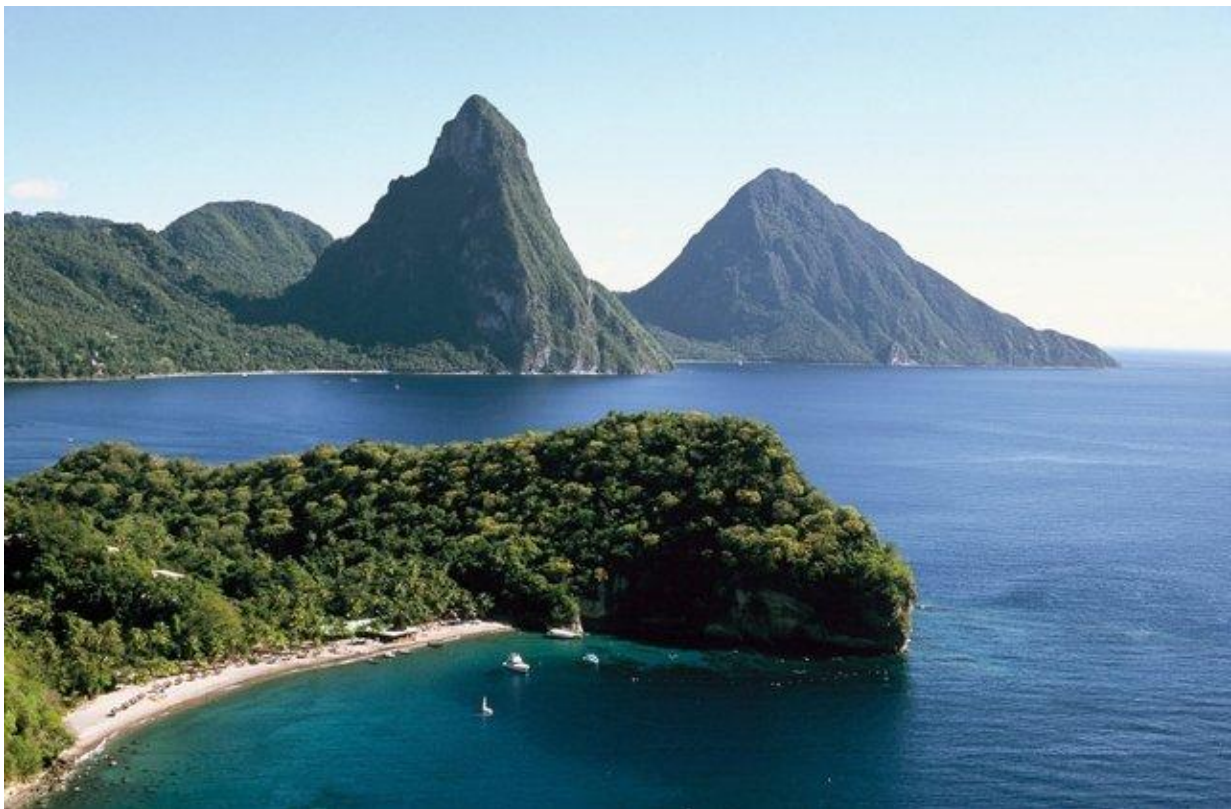
Bron 26: Verspreiding van de aswolk na uitbarsting van La Soufrière.

Op het eiland Montserrat, in het noorden van de Caribische eilandenboog bevindt zich de Soufrière Hills vulkaan (bron 27). Deze vulkaan heeft onstabiele hellingen en is zeer actief. De onstabiele hellingen zijn een resultaat van de samenstelling van het magma. Deze is erg stroperig en bevat een relatief hoog percentage magma. Elk magma bevat een beetje water. Bij subductie komt water mee en als de druk op de plaat toeneemt, wordt het water uit de plaat geperst en kan het in het magma terecht komen. Als het percentage water hoog is, dan is de aardbeving explosief. De Soufrière Hills vulkaan kent twee soorten uitbarstingen, namelijk een explosie van de vulkaan, waarbij gesmolten gesteente de lucht in wordt geschoten en dichte aswolken gevormd worden en een uitbarsting waarbij de lichtere gesmolten gesteente door de zwakkere lagen stijgt en lava koepels vormt. Als een dergelijke lava koepel te stijl wordt, of de druk in de lavakoepel een drempelwaarde overschrijdt, zal de koepel instorten en lava en hete as uitspuwen.



Bron 27: Soufriere Hills

In het Caribisch gebied is ook een caldera te vinden, namelijk op het eiland Saint Lucia. De caldera op het eiland Saint Lucia heeft de naam Qualibou, ook wel Soufrière Volcanic Centre genoemd. Op het eiland Saint Lucia bevinden zich ook de Pitons, die deel uitmaken van de caldera Qualibou. Dit zijn twee vulkaantoppen van 786 en 739 meter hoog, die zij aan zij uit zee rijzen en verbonden zijn via de Piton Mitam-bergrug. In het vulkanische gebied rond de Qualibou ligt een geothermisch veld met zwavelhoudende gassen, hete bronnen en koraalriffen die bijna 60% van het zeegebied beslaan. De twee vulkaantoppen zijn vulkanische 'pluggen' (zie bron 28): gestolde lava die is ontstaan in de pijp van een actieve vulkaan. Nadat de vulkaan is gedoofd, kan het omliggende gesteente door verwerking en erosie verdwijnen.



Bron 28: De Pitons op het eiland Saint Lucia

Vragen

Gebruik de atlaskaart 'De Aarde Geologie – Platen tektoniek' en 'De Aarde Natuurkundig'.

1 Geef aan

- welke groep eilanden in het Caribisch gebied geen vulkanen hebben;
- wat de oorzaak is waardoor deze eilanden geen vulkanen hebben

2 Leg in drie stappen uit op welke manier een sedimentaire eilandenboog ontstaat.

3 Welke begrippen horen bij explosief vulkanisme? Kies uit:

- Vulkanische boog
- Lahar
- Effusieve eruptie
- Lage viscositeit
- Convergente plaatbeweging
- Hotspot

4 Leg uit met behulp van platen tektoniek hoe de vulkaan Soufrière Hills is ontstaan. Noem in je antwoord de namen van de betrokken platen.

5 Geef aan of de uitbarstingen van Soufrière Hills explosief of effusief zijn. Licht je antwoord toe.

6 Geef twee kenmerken van het magma van de vulkaan Soufrière Hills.

7 Geef aan wat voor soort vulkaan Saint Lucia gehad zal hebben vóór de caldera ontstond. Licht je antwoord toe.

Hieronder staan de fasen in het ontstaan van explosief vulkanisme.

- De oceanische korst neemt water op.
- De oceanische lithosfeer wordt door slab pull de mantel ingetrokken.
- De smelttemperatuur van gesteenten in de asthenosfeer gaat omlaag.
- Er ontstaat taai magma dat veel gas bevat.
- Water komt vrij uit de onderduikende plaat.

8 Noteer de letters a tot en met e in de juiste volgorde.

Stap 4: Hazard management

Naar platentektoniek, aardbevingen en vulkaanuitbarstingen wordt veel onderzoek gedaan, ook in het Caribisch gebied. Dit gebeurt onder andere door de Universiteit van de West Indies maar ook door het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) en de USGS (Amerikaanse geologische dienst). Zij monitoren plaatbewegingen en hebben op diverse locaties meetapparatuur. Een van die plaatsen is bijvoorbeeld op Saba (zie bron 29), waar een 'slapende' vulkaan (Mount Scenery) als gevolg van subductie, is. Aangezien de subductie doorgaat kan de vulkaan in de toekomst weer uitbarsten. Het KNMI heeft meetapparatuur geïnstalleerd en houdt met behulp van satellieten in de gaten wat er gebeurt. Zo worden de bewegingen in de vulkaan en het gedrag van de zeebodem in de gaten gehouden. Bekijk ook bron 30, waarin door de Universiteit van de West Indies wordt uitgelegd hoe zij de vulkanen monitoren in het Caribisch Gebied. Mocht er activiteit worden gemeten die duidt op een komende vulkaanuitbarsting, dan heeft de overheid tijd om het evacuatieplan voor de inwoners van Saba in werking te stellen. Het opstellen van beleid om ernstige schade bij natuurrampen te voorkomen wordt **hazard management** genoemd.



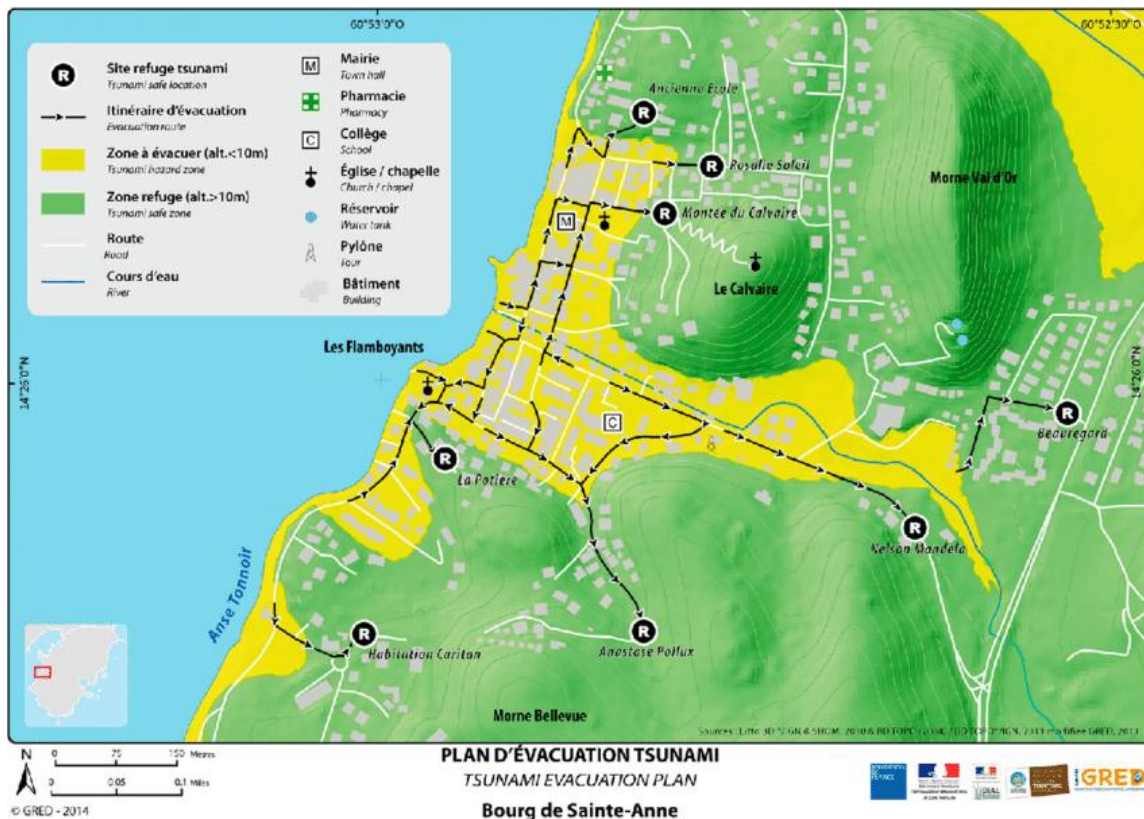
Bron 29: Meetapparatuur op Mount Scenery, Saba

Bron 30: Monitoring van vulkanen in het Caribisch Gebied

<https://www.youtube.com/watch?v=eGWCWAB2DMs>

Een onderdeel van het beleid is ook om waarschuwingsberichten te kunnen versturen. Aruba is bezig met een 'Early Warning System' waardoor inwoners sneller gewaarschuwd kunnen worden. De sirenes die geplaatst worden, geven het eerste signaal aan degenen die zich in de gevarenczones bevinden. De premier van Aruba gaf bij de lancering van het systeem aan dat 'wanneer een ramp zich voordoet, je goed voorbereid moet zijn om sneller te herstellen en weer normaal te worden'.

Een ander onderdeel van hazard management is het plaatsen van borden met evacuatieroutes. In bron 31 is een kaart te zien waarop aangegeven wordt waar naar toe gevlucht kan worden als een tsunami zich voordoet bij Martinique.



Bron 31: Tsunami evacuatiekaart voor Sainte-Anne (Martinique).

Risicoanalyse

Met het monitoren van plaatbewegingen en andere data die uit de meetinstrumenten komt, kunnen wetenschappers een **risicoanalyse** maken. Daarmee kunnen uitspraken gedaan worden over de intensiteit (kracht), frequentie (hoe vaak komt het voor) en diepte van aardbevingen, en over mogelijke volgende locaties waar aardbevingen kunnen ontstaan. Daarnaast maken zij ook realtime kaarten waarop gezien kan worden wanneer er voor het laatst een aardbeving heeft plaatsgevonden en welke magnitude kracht) die beving had. Ook wordt er bij een risicoanalyse gekeken naar grondsoorten, inwonertal, bouwstijl, mate van voorbereiding en andere factoren die van invloed zijn op de gevolgen van een aardbeving.

Risicoperceptie

De Universiteit van de West Indies heeft ook onderzoek gedaan naar de manieren waarop inwoners in het Caribisch gebied zich voorbereiden op rampen. Er is namelijk een groot gat tussen de **risicoperceptie** onder wetenschappers en de risicoperceptie onder inwoners. Met risicoperceptie wordt bedoeld wat de inschatting is van inwoners over hoe vaak een natuurlijke ramp kan gebeuren of hoeveel slachtoffers een ramp kan veroorzaken. Er kunnen veel slachtoffers vallen bij rampen, daarom is het belangrijk om te werken aan de risicoperceptie. Er is niets wat kan worden gedaan om aardbevingen of vulkaanuitbarstingen te voorkomen, maar goed voorbereid zijn kan de risico's wel verminderen.

Het is belangrijk dat inwoners in het geval van een noodsituatie gelijk op de juiste manier kunnen handelen. Maar ook dat ze zich voorafgaand aan de ramp kunnen voorbereiden om zo het aantal potentiële slachtoffers te verkleinen. Vulkaanuitbarstingen en aardbevingen komen niet frequent voor, maar als ze plaatsvinden kunnen de gevolgen verwoestend zijn. Regelmatig zit er tussen een uitbarsting of beving een grote tijdsperiode, waardoor het soms een *'once in a lifetime'* gebeurtenis is. Hierdoor is de vorige uitbarsting of beving zo lang geleden dat mensen

het misschien niet mee hebben gemaakt of het zich niet meer kunnen herinneren. Juist tijdens deze rustige periodes is het belangrijk voor de overheid en haar inwoners om aan risicoperceptie te blijven werken.

Niet alleen inwoners van eilanden met vulkanen moeten zich voorbereiden, ook de omliggende eilanden moeten voorbereid zijn. Zo kunnen eilanden getroffen worden door aswolken van buureilanden of kunnen tsunami's eilanden treffen na aardbevingen of aardverschuivingen in de buurt.

Vragen

- 1** Geef aan wat het verband is tussen ontwikkelingspeil en hazard management.
 - 2** Geef aan waarom het belangrijk is dat er onderzoek gedaan wordt naar risicoperceptie van inwoners.
 - 3** Leg uit voor zowel de aardbeving als de vulkaanuitbarsting of het mogelijk is deze te voorspellen.
- Maak voor vraag 4 en 5 gebruik van de atlas en het internet. Zoek in het trefwoordenregister van de atlas naar kaarten over aardbevingsrisico, welvaart en platentektoniek.
- 4** Geef aan wat de meeste slachtoffers veroorzaakt bij aardbevingen.
 - 5** Leg uit waarom er bij de aardbeving in Haïti geen tsunami kon ontstaan.
 - 6** Geef aan wat het verschil is tussen risicoanalyse en risicoperceptie.
 - 7** Bedenk minimaal drie oplossingen of geef drie adviezen aan de overheid van Haïti en bewoners van Haïti om de gevolgen van een aardbeving in Haïti te verkleinen.

Afronding

Begrippenlijst

Hieronder een begrippenlijst met de belangrijkste begrippen in dit katern. In deze begrippenlijst zijn ook belangrijke begrippen uit domein C van de syllabus opgenomen die van toepassing zijn bij geologie in het Caribisch gebied en die nodig zijn om de theorie over het Caribisch gebied te begrijpen.

Aardbeving: een trilling in de aardkorst

Aardverschuivingen: een massabeweging waarbij sediment onder invloed van de zwaartekracht naar beneden schuift, rolt of valt.

Caldera: een grote komvormige krater ontstaan door een zeer explosieve uitbarsting

Caribische plaat: een stuk aardkorst in het Caribisch gebied

Convergente plaatgrens: twee aardplaten bewegen naar elkaar toe

Divergente plaatgrens: twee aardplaten bewegen uit elkaar

Effusief (vulkanisme): zeer rustig vulkanisme

Eilandenboog: een rij vulkanische of sedimentaire eilanden op de oceaانبodem, afhankelijk van de ontstaanswijze

Endogeen: krachten van binnenuit op de aardkorst inwerken

Exogeen: krachten van buitenaf die de aardkorst veranderen

Explosief (vulkanisme): krachtig, gevaarlijk vulkanisme

Horst: een deel van de aardkorst dat langs een breuk omhoog wordt geduwd

Hazard management: het beleid om (ernstige) schade bij natuurrampen te voorkomen

Hotspot: een plek op aarde (niet bij een plaatgrens) waarbij een mantelpluim door de (dunne) aardkorst heen komt en voor vulkanisme zorgt.

Lahar: as en lava vermengd met water leidt tot een soort modderstroom

Lithosfeer: de aardkorst en het bovenste gedeelte van de mantel

Moment-magnitude schaal: een schaal die wordt gebruikt om de kracht van aardbevingen te meten, wordt vooral gebruikt bij zware aardbevingen

Platentektoniek: een geologisch verschijnsel waarbij aardplaten ten opzichte van elkaar kunnen bewegen

Pyroclastische stroom: een grote wolk van lava, as, rotsen en gas. De wolk stijgt vaak uit boven de vulkaan, maar kan ook instorten en langs de helling van de vulkaan naar beneden stromen

Risicoanalyse (rampen: frequentie en intensiteit): een onderzoek naar het risico bij natuurrampen of het gevaar voor schade en/of slachtoffers

Risicoperceptie (afhankelijk van individuele kenmerken): de inschatting van inwoners over hoe vaak een natuurlijke ramp kan gebeuren of hoeveel slachtoffers een ramp kan veroorzaken

Sedimentaire boog: een boog die zich parallel aan de vulkanische boog bevindt en die opgebouwd is uit vulkanische sedimenten

Seismische activiteit: het plotselinge bewegen / trillen van de aardkorst, ook wel aardbeving genoemd

Slab pull: het proces waarbij de wegzakkende oceaانبodem door zijn gewicht de rest van de aardplaat de mantel intrekt.

Slenk: een deel van de aardkorst dat langs een breuk naar beneden is gezakt

Stratovulkaan: een vulkaan die afwisselend uit lagen as en lava is opgebouwd en hierdoor een kegelvorm krijgt

Subductie: het proces waarbij een plaat onder de andere plaat duikt

Transform: twee aardplaten schuiven langs elkaar

Trog: een diepe en smalle kloof op de zeebodem als gevolg van subductie

Tsunami: een hoge golf als gevolg van een aardbeving op de oceaانبodem

Vulkaan: ophoping van gestolde lava rond de plek waar gloeiend magma omhoog komt uit de diepe ondergrond

Vulkanische boog: een boog met verschillende (vulkanische) eilanden, gevormd door platentektoniek

Eindproduct



Bron 32: Blanco kaart van het Caribisch gebied

- A. Bij deze opdracht ga je alle kennis uit de voorgaande stappen verwerken in een kaart van het Caribisch gebied. Vraag aan je docent om een uitgeprinte versie van bron 32 om de verschillende onderdelen op een kaart te plaatsen.

Gebruik voor deze opdracht alle eerdere bronnen en de atlas. Noteer (teken) in de kaart:

- de breuklijnen van de platen
- de bewegingsrichting van de platen + de geografische benaming voor deze plaatbeweging
- de sedimentaire en de vulkanische eilandenboog
- de Grote en Kleine Antillen
- de namen van de platen
- een stip op de plek waar jij woont
- de locatie van actieve vulkanen
- het aardbevingsrisico

Vergeet niet om een legenda te maken bij de kaart!

- B. Bij deze opdracht ga je onderzoeken welke gevolgen van platentektoniek terug te vinden zijn op de verschillende eilanden die horen bij het Koninkrijk der Nederlanden.
- Omcirkel / noteer eerst de begrippen of voorbeelden uit onderstaande tabel die horen bij de eilanden binnen het Koninkrijk der Nederlanden.

- Maak vervolgens een mindmap met de begrippen en voorbeelden waaruit blijkt welke woorden horen bij de SSS-eilanden (Sint-Maarten, Saba en Sint Eustatius) en welke begrippen bij de ABC-eilanden (Aruba, Bonaire en Curaçao) horen.
- Zorg dat de mindmap op een logische manier is opgebouwd. Dit helpt om verbanden te leggen tussen concepten.

Aardbevingen	Stratovulkaan	Schildvulkaan	Sedimentaire boog
Divergente beweging	Convergente beweging	Transforme beweging	Horst
Slenk	Hazard management	Goud	Stollingsgesteente
Subductie	Slapende vulkaan	Actieve vulkaan	Hoge viscositeit
Geothermische energie	La Soufrière	Lage viscositeit	Mount Scenery
Kick 'em Jenny / Jack	Grote Antillen	Kleine Antillen	Trog
Zuid-Amerikaanse plaat	Noord-Amerikaanse plaat	Cocosplaat	Caribische plaat
Islas Inutiles	Benedenwindse eilanden	Bovenwindse eilanden	Natuurrampen
Vulkanische boog	Platentektoniek	Slab pull	Vulkanisch gesteente

Toetsvragen

De toetsvragen komen allemaal uit eerdere examens.

Havo examen 2019

Bestudeer de Caribische eilandenboog. In onderstaande tabel staan 16 begrippen met betrekking tot platentektoniek.

1 Kies hieruit vijf begrippen en gebruik deze, in een logische volgorde, om een beschrijving te geven van het ontstaan van de Caribische eilandenboog. Noem bij elk begrip dat je gebruikt een kenmerk dat hoort bij deze plaattektonische situatie.

Magmakamer	Effusieve uitbarsting	Stratovulkaan	Schildvulkaan
Exogene processen	Divergentie	Aardkern	Plooiingsgebergte
Hypocentrum	Convergentie	Subductiezone	Breukgebergte
Transform	Stroperige magma	Vloeibaar magma	rifzone

Havo examen 2019

Hazard management is het beheersen van risico's van natuurrampen. Een overheid kan bij veel soorten natuurrampen een belangrijke rol spelen. Maar bij de komst van een pyroclastische wolk is de mogelijkheid van de overheid om de bevolking te beschermen beperkt.

2 Noem twee verschillende kenmerken van een pyroclastische wolk waaruit blijkt dat een overheid de bevolking hiertegen niet goed kan beschermen.

Havo examen 2016

Gebruik de atlaskaart 'Midden-Amerika' en 'De Wereld Natuurkundig'.

De Caribische plaat wordt begrensd door verschillende subductiezones.

3 Hoe heet het diepste punt van het Caribische gebied? Vermeld tevens op hoeveel meter diepte het ligt.

Havo examen 2016

De Caribische plaat en de Noord-Amerikaanse plaat bewegen beide in westelijke richting.

4 Wat is, ondanks dezelfde bewegingsrichting, de belangrijkste verklaring voor het ontstaan van een subductiezone tussen deze platen?

Je verklaring moet een oorzaak-gevolgrelatie bevatten.

Havo examen 2016

Subductiezones staan bekend om een gevaarlijk verschijnsel: tsunami's. Hieronder staat een aantal zinnen over het verloop van een tsunami. De zinnen staan in willekeurige volgorde.

a De kolom van zeewater boven het epicentrum wordt in beweging gebracht.

b De hoogte van de golf kan in ondiepere kustzones sterk toenemen.

c De schade in aantal slachtoffers en economisch kan desastreus zijn.

- d De verticaal bewegende energie van de zeebeving wordt omgezet in een horizontale beweging.
- e De megagolf rolt als een muur van water over het land heen.
- f Door platentektoniek ontstaan seismische trillingen: er vindt een zware zeebeving plaats.

5 Zet bovenstaande zinnen in de juiste volgorde. Noteer alleen de letters.

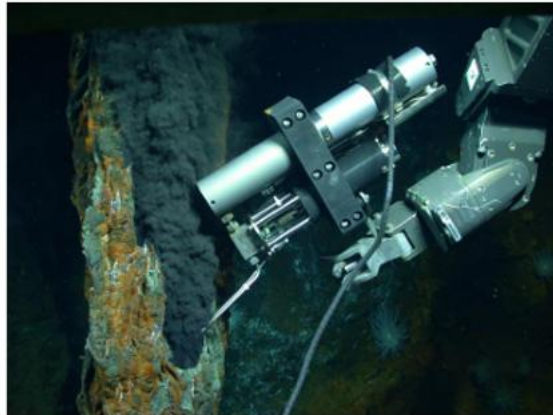
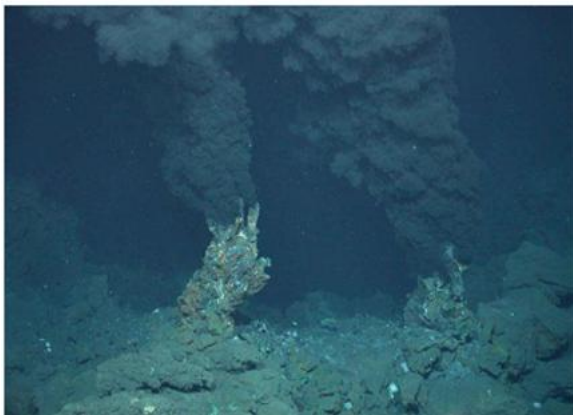
Havo examen 2016

Gebruik de atlaskaart 'De Aarde Geologie – Verschuiving van de continenten' en bron 33.

Bron 33 Verloren wereld wordt verkend

De Caymantrog tussen Jamaica en de Caymaneilanden herbergt een keten van vulkanen met vulkanische schoorstenen, de zogenaamde black smokers. Wetenschappers verwachten in deze verloren wereld nieuwe levensvormen aan te treffen. Bij eerdere diepzeemissies werden waterdieren ontdekt die hebben bijgedragen aan bijvoorbeeld nieuwe kankermedicijnen en betere fiberoptische kabels voor het internet.

Vanaf het gloednieuwe Britse onderzoeksschip, de RSS James Cook, sturen wetenschappers twee duikboten het water in. "De Caymantrog zou een verloren wereld kunnen zijn die ons het ontbrekende puzzelstukje biedt in de wereldwijde puzzel van het onderwaterleven," vertelt dr. Copley van de Universiteit van Southampton. Het leven in de Caymantrog zou een link moeten vormen tussen het diepzeeleven van de Atlantische en de Grote Oceaan, maar misschien treffen de onderzoekers wel iets heel nieuws aan. De Caymantrog vormde tot ongeveer drie miljoen jaar geleden de verbindingsweg tussen de Atlantische en de Stille Oceaan, voordat Noord- en Zuid-Amerika verbonden werden door Midden-Amerika. Daarom hopen de onderzoekers hier een ontbrekende schakel te vinden tussen het leven in de twee oceanen en de rest van de wereld.



Vulkanische schoorstenen (black smokers) brengen leven op de diepzeebodem. Vanwege het warme water en de uitstoot van mineralen en gassen zijn de schoorstenen vaak omringd door unieke ecosystemen.

vrij naar: <http://www.kennislink.nl/publicaties/verloren-wereld-wordt-verkend>

'De Caymantrog vormde tot ongeveer drie miljoen jaar geleden de verbindingsweg tussen de Atlantische en de Stille Oceaan, voordat Noord- en Zuid-Amerika bij elkaar kwamen'. Dit was niet de eerste keer dat de continenten Noord- en Zuid-Amerika verbonden waren met elkaar. Dat was eerder ook al zo geweest.

6 Hoeveel jaar geleden waren de continenten Noord- en Zuid-Amerika al eerder verbonden met elkaar? Noteer tevens de naam van de geologische periode.

VWO examen 2017

Lees bron 34.

Bron 34**Haïti zwaar getroffen door aardbeving**

Op 12 januari 2010 schudde de grond in Haïti lang en hevig. Het epicentrum van de aardbeving, die een kracht had van 7.0 op de schaal van Richter, lag ten zuidwesten van de hoofdstad Port-au-Prince. Omdat de beving zeer ondiep plaatsvond, bereikte veel van de energie van de beving het oppervlak en veroorzaakte een onvoorstelbare puinhoop in het arme land. Door endogene krachten onder de Atlantische Oceaan schuiven Noord- en Zuid-Amerika met een vaartje van een paar centimeter per jaar naar het westen. Aan de westkust van deze continenten schuiven de continenten over de oceanische korst van de Stille Oceaan. In Midden-Amerika en de Cariben is een kleine plaat aanwezig, de Caribische plaat. De westwaarts, onder de Caribische plaat, wegzinkende oceanische korst van de Atlantische Oceaan zorgt voor de vulkanische boog van het Caribisch gebied en veroorzaakt aardbevingen. Dat betekent dat de Caribische plaat zelf heel weinig naar het westen beweegt. Aan de oostkant is dat verschil in beweging mogelijk door de Caribische subductiezone. Ten opzichte van de Noord-Amerikaanse plaat is er nog een ontkoppeling nodig. Dat gebeurt langs een breukzone, waarbij de Noord-Amerikaanse plaat sneller naar het westen kan bewegen (2.5 centimeter per jaar), dan de Caribische plaat (1 centimeter per jaar). In bron 5a staat de beweging van de afzonderlijke platen met pijlen weergegeven. In bron 5b wordt ingezoomd op de geologische situatie van Hispaniola.

vrij naar: <http://www.falw.vu.nl/nl/voor-het-vwo/wetenschap-in-gewone-woorden/Aardwetenschappen/aardbeving/Aardbeving-Haiti-2010.asp#accept>

De plaatbewegingen zijn het resultaat van een duwkracht en een trekkracht van de oceaankorst.

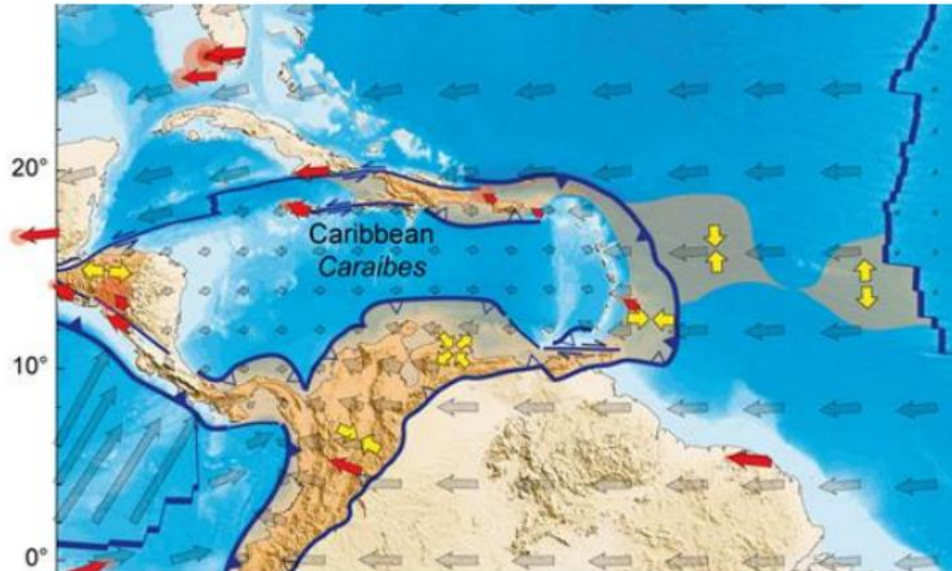
7 Geef aan welke soort plaatbeweging door de duwkracht van de oceanische korst wordt veroorzaakt en welke soort plaatbeweging door de trekkracht.

VWO examen 2017

Gebruik bron 35 (kaart A en B).

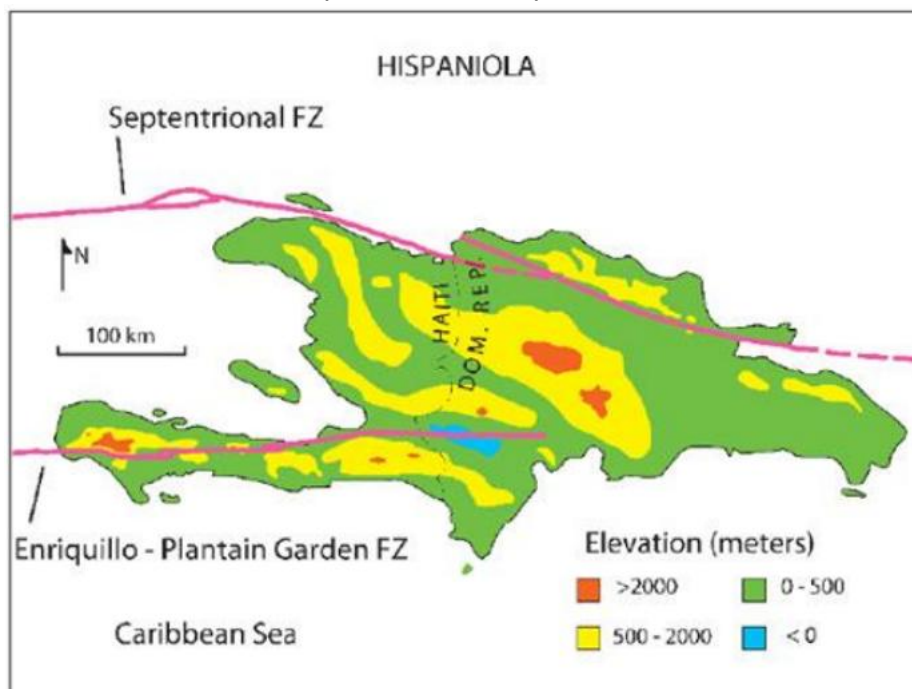
Bron 35

Kaart A: De beweging van de afzonderlijke platen met pijlen



bron: <http://www.ccgmm.org>: Commission for the Geological Map of the World

Kaart B: Breukzones* op het eiland Hispaniola



*Breukzone = Fault Zone = FZ

Langs twee breukzones vindt de relatieve beweging van de Noord-Amerikaanse plaat naar het westen plaats. De Septentrional Fault Zone loopt onder andere door Haïti en langs het noorden van Haïti. De Enriquillo-Plantain Garden Fault Zone loopt door het zuiden van Haïti en eindigt in de Dominicaanse Republiek.

bron: http://seismo.berkeley.edu/blog/seismoblog.php/2010/01/13/devastation_on_.....

8 Geef aan door welke soort plaatbeweging de aardbeving in Haïti werd veroorzaakt. Noem vervolgens de naam van de breukzone waar deze aardbeving gebeurde.

VWO examen 2017

Gebruik, als dat nodig is, bron 35.

De aardbeving in Haïti maakte meer dan 200.000 dodelijke slachtoffers en nog veel meer gewonden.

9 Leg van onderstaande factoren uit hoe deze hebben bijgedragen aan het grote aantal slachtoffers:

- 1: Hypocentrum;
- 2: Infrastructuur.

VWO examen 2017

De meeste eilanden van de Caribische eilandenboog zijn vulkanische eilanden. Echter, een deel van deze eilanden is niet-vulkanisch.

10 Hoe wordt het niet-vulkanische deel van de Caribische eilandenboog genoemd?

Leg ook uit hoe deze niet-vulkanische eilanden zijn ontstaan.

Havo examen 2017

De regio van de Caribische eilandenboog wordt regelmatig getroffen door aardbevingen. Echter, de diepte van het hypocentrum kan sterk verschillen.

11 Waar ligt het hypocentrum van aardbevingen doorgaans dieper: bij de vulkanische eilanden of bij de niet-vulkanische eilanden? Leg je antwoord uit.

Havo examen 2017

Met de nieuwe informatie over de zeebodem kan men gericht op zoek naar locaties waar in het verleden de juiste omstandigheden waren voor het ontstaan van aardolie.

12 Beschrijf twee verschillende voorwaarden voor het ontstaan van aardolie.

Examenvragen

Maak de onderstaande examenopgaven. Kijk ook op examenblad.nl voor oude examens. Ga naar aardrijkskunde en kies voor schooltype + Caribisch gebied. Vanaf 2024 zijn de examens van het Caribisch gebied terug te vinden.

Examenopgave **Het ontstaan van Saba** – Havo-2014-1

Bestudeer bron 36 t/m 39 voor het beantwoorden van onderstaande vragen.

bron 36

Saba met hoogste top: Mt. Scenery



bron: [www. paganga.nl](http://www.paganga.nl)

bron 37

Saba - Well's Bay: Dit bruin-gele zandstrand verdwijnt soms



bron: www.lifestyle-caribbean.com/sababeaches.html

bron 38

Saba - Cove Bay: Het ondiepe gedeelte van de baai wordt afgescheiden van de open zee door een door de natuur gevormde rij van rotsen. Hier is niet zo lang geleden wit zand gestort dat uit St. Maarten is geïmporteerd.



bron: www.lifestyle-caribbean.com/sababeaches.html

bron 39

Vulkanisme op Saba

De laatste grote vulkanische activiteit op Saba vond zo'n 400 jaar geleden plaats, niet lang voordat de Europeanen op het eiland aankwamen. Zij zagen een overvloed aan gras, dat was gaan groeien nadat een vulkaanuitbarsting de tropische vegetatie geheel had verwoest. Tussen 1995 en 1997 werd een verhoging van het aantal lokale aardbevingen gevoeld. Tegelijkertijd werd er een temperatuursverhoging gemeten van 7 tot 12 graden Celsius van het water in heetwaterbronnen die op het eiland aanwezig zijn. Men denkt dat de verhoogde seismische activiteit die men op Saba heeft gevoeld, het gevolg was van een geringe tektonische plaatbeweging. De verhoogde temperatuur kon een gevolg zijn van of een diepere circulatie van het grondwater of van opstijgend magma. Het vliegveld is gebouwd op een verharde lavastroom, terwijl de rest van het eiland voor een groot deel bestaat uit een laag verharde vulkanisch as.

bron: www.caribbeanvolcanoes.com/saba/geology.htm

Saba is onderdeel van de Kleine Antillenboog.

1 Leg in drie stappen het ontstaan van Saba uit.

Op de foto in bron 36 zijn duidelijk de vele ravijnen op Saba te zien.

2 Noem twee exogene krachten die hiervoor verantwoordelijk zijn.

3 Welke vulkaanvorm heeft Mount Scenery en door welk soort uitbarsting is deze vulkaanvorm ontstaan?

4 Leg uit hoe het kan dat er op Saba warmwaterbronnen voorkomen.

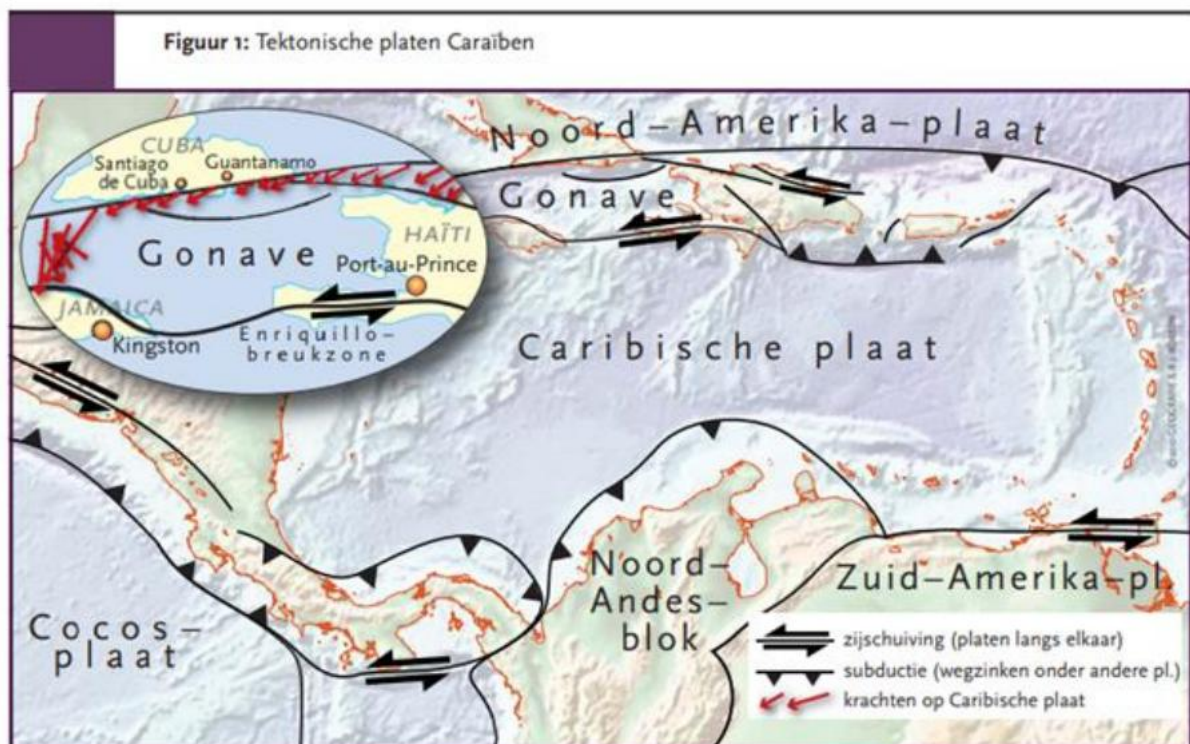
Examenopgave **De kwetsbaarheid van Haïti** – VWO-2019-1

Bestudeer bron 40 en bron 41 die bij deze opgave horen.

bron 40

De tijdbom onder Haïti

Het gebied rondom Haïti bestaat uit een aantal tektonische platen: de Zuid- en Noord-Amerikaanse platen, de Cocos-plaat en de Caribische plaat (zie afbeelding). Deze platen duwen tegen elkaar, zinken onder elkaar weg en schuren langs elkaar. Vooral de relatief kleine Caribische plaat, waarop Haïti ligt, heeft het zwaar te verduren. Hij zit gevangen tussen zijn veel grotere burens. Het noordelijk deel van de Caribische plaat is dan ook opgebroken in kleinere fragmenten (microplaatjes). Het eiland Hispaniola, waarvan Haïti deel uitmaakt, ligt op een van die microplaatjes en wordt omringd door grote breuken.



De kans op en de grootte van een aardbeving op de Enriquillo-breuk werd in 2008 geschat door een groep van onderzoekers. Op basis van hun gegevens voorspelden ze dat er een aardbeving met een magnitude van 7.2 op de Schaal van Richter aan zat te komen. De

onderzoekers zaten er beangstigend dichtbij, zoals bleek na de catastrofale aardbeving van 2010 in Port-au-Prince. Nog slechter nieuws voor de mensen op Haïti is dat ook op de Septentrional-breuk in het noorden van het land al lange tijd geen beving is geweest. Op basis van metingen voorspelt het onderzoeksteam een beving met een magnitude van 7.5 binnen enkele decennia. Een goede voorbereiding zou het aantal slachtoffers flink kunnen beperken. Dit kan door te herbouwen met betere materialen, zware graafmachines paraat te hebben en distributiepunten voor water en noodrantsoenen in te richten. In een land waar de overheid al tweehonderd jaar slecht functioneert, is het de vraag of dit daadwerkelijk gaat gebeuren.

vrij naar: <https://www.researchgate.net/publication/46725857> De tijdbom onder Haïti (Uit: Geografie, maart 2010).

bron 41

Doden en gewonden door aardbeving

Haïti 6 oktober 2018: Door een aardbeving in Haïti zijn volgens de autoriteiten zeker tien mensen om het leven gekomen en zijn meerdere mensen gewond geraakt. De slachtoffers raakten bedolven onder het puin toen de gebouwen waar ze in zaten instortten. De beving met een kracht van 5.9 had plaats in het noordelijkste puntje van het Caribische land, maar werd ook in hoofdstad Port-au-Prince gevoeld. De burgerbeschermingsdienst meldde dat de beving paniek veroorzaakte in verschillende steden. De president van Haïti, Jovenel Moise, riep de mensen via Twitter op om kalm te blijven.

vrij naar: <https://www.rtlnieuws.nl/nieuws/buitenland/artikel/4442271/> doden-en-gewonden-door-aardbeving-haiti

Bestudeer Haïti op de natuurkundige kaart van Midden-Amerika in de atlas.

De aardbevingen in Haïti zijn veroorzaakt door een transforme beweging tussen platen.

1 Noem een element uit de atlaskaart waaruit blijkt dat het landschap van Haïti gevormd wordt door een transforme (transversale) plaatbeweging. Geef een toelichting op je antwoord.

Bestudeer bron 40 en bron 41.

In bron 40 is omschreven hoe onderzoekers de magnitude van aardbevingen voorspellen: hun voorspelling in 2008 van de aardbeving op de Enriquillibreukzone in 2010 was vrij nauwkeurig.

De onderzoekers deden een soortgelijke voorspelling voor de Septentrional-breuk: binnen enkele decennia zal er een aardbeving plaatsvinden met een magnitude van 7.5.

Uit bron 41 blijkt dat op 6 oktober 2018 een aardbeving heeft plaatsgevonden op de Septentrional-breuk met een magnitude van 5.9, zodat hier nog steeds sprake is van een 'seismisch gat' (Engels: seismic gap).

2 Doe een voorspelling over de komende aardbevingen in het noorden van Haïti (op de Septentrional-breuk). Geef in je voorspelling een oorzaak-gevolg relatie en maak hierbij gebruik van het begrip 'seismisch gat'.

Bestudeer nogmaals bron 41.

Uit bron 41 blijkt dat de president van Haïti Twitter gebruikte om de bevolking te informeren na de aardbeving.

Uitspraak: "Het is na een aardbeving in Haïti logisch om Twitter te gebruiken om de bevolking te informeren."

3 Noem een argument voor en een argument tegen deze uitspraak.

Bestudeer in de atlas Aarde - Natuurrampen.

In figuur B neemt de aardbeving van Haïti van 2010 de derde positie in, terwijl deze aardbeving niet voorkomt op de lijst van figuur A.

4 Geef voor deze tegenstelling een reden vanuit de demografische dimensie en een reden vanuit de economische dimensie.

Bestudeer de atlaskaart over natuurrampen en die over kwalitatieve bodemaantasting op aarde.

5 Beredeneer aan de hand van beide atlaskaarten dat, in de situatie van Haïti, een natuurramp en een milieuramp elkaar kunnen versterken zodat vervolgens een humanitaire ramp kan ontstaan. Geef in je antwoord een logische samenhang tussen deze drie rampen.

Terugkijken

Intro

Lees de Introductie van het katern nog eens door. Vind je de introductie goed bij het katern passen? Schrijf op waarom wel of waarom niet.

Kan ik wat ik moet kunnen?

Weet je nog wat het leerdoel van het katern was? Probeer zonder te kijken onder het kopje oriëntatie te verwoorden wat het leerdoel van het katern was?

Hoe ging het?

- Instaptoets

Heb je de instaptoets gedaan? Wist je alle antwoorden op de vragen?

- Tijd

Voor dit katern staat ongeveer 4 uur. Heb je alle vragen/opdrachten in 4 uur kunnen doen?

- Inhoud

Was alles wat in dit katern behandeld is nieuw voor je?

Schrijf een ding op wat je al wist. Schrijf ook een ding op wat je nog niet wist.

- Begrippenlijst

Heb je de begrippenlijst vaak gebruikt? Stonden er veel nieuwe begrippen in de lijst of waren de meeste begrippen toch al wel bekend?

- Eindproduct

Was het leuk om aan de kaart en aan de mindmap te werken? Ben je tevreden met de resultaten?

- Toets

Heb je de toets goed gemaakt? Ging het goed. Ja? Dat is fijn want alle vragen kwamen uit eerdere examens.

- Examenvragen

Er waren enkele examenvragen om te oefenen in dit katern. Heb je ze gemaakt? Ging het goed?

Bronnen

Hier enkele betrouwbare bronnen waar je informatie kunt vinden over de geologie van het Caribisch gebied:

Stap 1

Directie Onderwijs Aruba (2013). Nos Baranca. Geologie voor de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. UNOCA, Oranjestad.

<https://geografie.nl/artikel/de-antillen-in-drie%C3%ABn-geografie-geologie-en-tektoniek>

https://www.dcbd.nl/sites/default/files/documents/Koppel%282011%29_CaribischNederlandGeologieBonaire.pdf

<https://geografie.nl/artikel/saba-sint-eustatius-en-sint-maarten>

Stap 2

<https://uwiseismic.com/>

<https://www.youtube.com/@UWISeismicResearch>

<https://www.knmi.nl/nederland-nu/seismologie/aardbevingen>

Stap 3

<https://volcano.si.edu/>

<https://caribbean.eclac.org/topics/earthquakes-and-volcanic-activity>

Stap 4

<https://caribischnetwerk.ntr.nl/2021/05/22/extra-knmi-meetstation-op-saba-geeft-enorm-veilig-gevoel/>

<https://uwiseismic.com/education-outreach/>

<https://www.dcbd.nl/document/volcano-seismic-monitoring-network-caribbean-netherlands>

