



LASER, SATELLIET EN MEETLINT VERTELLEN HOE HET
REGENWOUD KLIMAATVERANDERING DOORSTAAT

Wat gaat de Am

Het is vaker droog dan voorheen in de Amazone, en dan produceert 's werelds grootste oerwoud enorme hoeveelheden CO₂. Mogelijk gaat het bos er zelfs aan onderdoor, met grote gevolgen voor het klimaat. Wageningse onderzoekers zien zowel tekenen van stress als een verrassend grote veerkracht.

TEKST ARNO VAN 'T HOOG FOTO ANP INFOGRAPHIC STEFFIE PADMOS

A photograph of a lush tropical rainforest. In the foreground, a thick, light-colored tree trunk curves from the bottom left towards the center. The background is filled with a dense canopy of green trees and foliage, with some palm fronds visible. The lighting is soft, suggesting a misty or overcast day.

amazone doen?

‘Wij kunnen nu aangeven waar het bos kwetsbaar is’

In Manaus, de hoofdstad van de deelstaat Amazonas, is het alle dagen vochtig en drukkend warm. De miljoenenstad in het hartje van het Braziliaanse regenwoud kent vrijwel geen variatie in daglengte of seizoenen. De maximumtemperatuur van de warmste en koudste maand, oktober en februari, ontlopen elkaar niet veel met 32 en 30 graden. Het verschil tussen dag en nacht is met zeven graden een stuk groter, al wordt het er nooit kouder dan 23 graden.

De enige variatie zit in de regenval. Er is elk jaar een kletsnatte periode en een iets minder natte, tussen juni en oktober, maar opgeteld valt er hoe dan ook heel veel regen: in Manaus gemiddeld 2100 millimeter per jaar, tegen 880 in Nederland. In het uiterste westen van de Amazone zijn streken die zelfs 3000 tot 6000 millimeter per jaar verwerken.

DROGE JAREN

Veel water in combinatie met warmte en zonlicht is ideaal voor overvloedige plantengroei. Dat is merkbaar als regen opeens schaars is, zoals in 2005, 2010 en 2015. De vegetatie groeide minder goed en er waren ook meer bosbranden. Ingrid van der Laan-Luijckx, postdoc bij de leerstoelgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit, kan zulke gevolgen zelfs in Wageningen zien, aan de samenstelling van de lucht boven de Amazone. ‘We hebben luchtmetingen uit 2010 en 2011 met elkaar vergeleken. In 2010 was er een grote droogte in de Amazone. Dat zie je gelijk terug in verminderde opname van CO₂ door de bomen en in het vrijkomen van meer CO₂, door afbraak van biomassa en branden. In dat droge jaar was de Amazone daardoor een bron van CO₂, terwijl in het normalere jaar 2011 de Amazone netto CO₂ opnam. De wereldwijde CO₂-concentratie in de atmosfeer stijgt jaar op jaar, maar bij grote droogte in de Amazone stijgt die harder. Dat was ook het geval in 2015, onder invloed van wereldwijde droogte door El Niño.’

Van der Laans lab werkt samen met Braziliaanse onderzoekers die met een vliegtuigje regelmatig luchtmonsters nemen op verschillende hoogtes boven de Amazone.

Honderden flessen met lucht komen per post naar Nederland, waar infraroodmetingen de CO₂-concentraties onthullen. De meetwaarden zijn de grondstof voor het computermodel Carbon Tracker, ontwikkeld door Van der Laans collega Wouter Peters, hoogleraar Koolstofkringloop en Atmosferische Samenstelling. Carbon Tracker geeft een beeld van de koolstofboekhouding van de Amazone.

Plus of min onderaan de koolstofbalans gaat om forse hoeveelheden, vertelt Van der Laan. Jaarlijks komt er wereldwijd door verbranding van olie, gas en kolen ongeveer 35 gigaton CO₂ vrij. De Amazone produceert bij droogte een hoeveelheid CO₂ in orde van 0,9 tot 1,8 gigaton. ‘Het is dus behoorlijk significant ten opzichte van de fossiele emissies. Het is vergelijkbaar met vijf à tien keer de jaarlijkse CO₂-emissie van Nederland.’

DUNNER BLADERDEK

Droogte levert problemen op voor bomen en anderen planten die gewend zijn aan een vochtige omgeving. Het bladerdek wordt wat dunner en sommige bomen leggen helemaal het loodje. Maar niet alle bossen worden even hard getroffen. Jan Verbesselt, universitair hoofddocent bij het Wageningse laboratorium voor Geo-informatiekunde en Remote Sensing, wil die verschillen beter begrijpen door goed te kijken naar het herstel van tropische wouden na droogte. Want veerkracht zegt iets over hoeveel een bos kan verdragen.

Verbesselt werkt met beelden van satellieten. Sommige moderne exemplaren detecteren microgolven die de vegetatie uitzendt, of ze gebruiken radar om vanaf 700 kilometer hoogte door de wolken heen te kijken. Zo maakt de Europese Sentinel-1-satelliet meerdere opnamen per week van de Amazone, met een resolutie van twintig bij twintig meter.

Als Verbesselt die opnames achter elkaar legt en analyseert, komen er in de loop van weken en maanden geleidelijke veranderingen in het regenwoud naar voren. ‘We kijken naar de hoeveelheid bladeren en de foto-

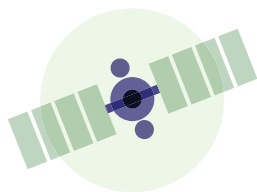
synthese. Die variëren door de tijd, want in droge periodes nemen de fotosynthese en het aantal blaadjes sterk af. In periodes met regen herstelt dat weer.’ Als dat herstel na een droogte traag verloopt, is dat een teken van stress in het bos, zegt Verbesselt. ‘Wij kunnen nu aangeven welke gebieden in de Amazone kwetsbaar zijn als er nog grotere droogtes komen, of bij branden of houtkap. Met onze methode willen we een waarschuwingssignaal ontwikkelen. Zodat er voorzigtiger met zulke bossen kan worden omgegaan.’

Verbesselt publiceerde in het najaar van 2016 samen met Marten Scheffer, hoogleraar Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer in Wageningen, een artikel in *Nature Climate Change*, gebaseerd op satellietonderzoek naar het herstel van regenwouden en naderende tipping points: het punt waarop bossen zo gestrest zijn dat bij een nieuwe droogte massaal bomen afsterven. De grote vraag is of zo’n grote kaalslag blijvend is: verandert regenwoud daarna in een droger bos, of zelfs een open savannelandschap? Er zijn meerdere modelstudies die erop wijzen dat zo’n omslag kan optreden: tropisch bos kan bij herhaalde droogte omslaan in een savannelandschap.

SNEL HERSTEL

Dat is een kwestie die ecooog Lourens Poorter, persoonlijk hoogleraar in Wageningen bij Bosecologie en Bosbeheer, ook bezighoudt tijdens zijn veldonderzoek in tropische bossen. Een ding valt hem daarbij telkens op: tropische vegetatie heeft een groot vermogen om te herstellen. Als de mens gekapte of verbrande bospercelen, verlaten veeweiden en landbouwgronden ongemoeid laat, raken ze in hoog tempo begroeid met onkruiden, struiken en bomen. Na tien jaar staat er weer een jong bos, na zestig jaar een flink woud. Sporen van kaalslag zijn op langere termijn nog maar met moeite te herkennen.

Poorter: ‘Dat geldt zelfs voor mij, en ik loop al jaren rond in de tropen. Toen ik in Guatemala was, zag ik een prachtig bos met een >



Satellieten meten via microgolven en radar het bladerdek en de fotosynthese



Vliegtuigen nemen luchtmonsters voor het vaststellen van de CO₂-concentratie



KOOLSTOFBALANS IN DE AMAZONE

Het Amazonegebied speelt een grote rol in de wereldwijde CO₂-huishouding. Vooral de gevolgen van droogte voor de koolstofopname van het tropisch regenwoud vormen de sleutel tot nauwkeuriger voorspellingen van het wereldklimaat.

Amazonewoud

Het Amazonewoud is het grootste regenwoud op aarde (5,5 mln. km²), verspreid over 9 landen.



Jaarlijkse neerslag in de Amazone

2000 mm



Jaarlijkse neerslag in Nederland

880 mm



Secundair bos

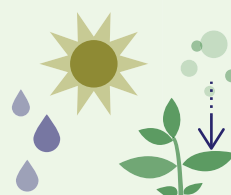
In de vegetatie die terugkomt op open plekken, na boskap, brand of landbouw, is de opname van CO₂ enorm. In dit zogeheten secundair bos herstelt de biomassa naar het oorspronkelijke niveau.

Secundair bos in heel Latijns-Amerika (voornamelijk in de Amazone) kan de komende 40 jaar 31 gigaton CO₂ vastleggen. Dat is evenveel als de landen in Latijns-Amerika tussen 1993 en 2014 hebben geproduceerd.

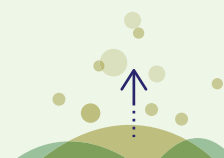
31 Gton

CO₂-opname en -afgifte

In stabiele toestand van de Amazone, waarbij evenveel bomen sterven als opkomen, zijn opname en afgifte van CO₂ ongeveer in evenwicht:



De grote hoeveelheid water, warmte en zonlicht zorgt voor overvloedige plantengroei. Daarbij wordt CO₂ opgeslagen.



Bij afbraak van planten, bijvoorbeeld via microben die dood hout verteren, komt CO₂ vrij.

CO₂-productie bij droogte

Het is vaker droog in de Amazone. Dan groeien planten minder hard, of sterven af, waardoor er minder CO₂ wordt vastgelegd, én meer CO₂ vrijkomt.

0,9-1,8 Gton

CO₂-emissie door de Amazone bij droogte (5 - 10 x de jaarlijkse emissie van Nederland)

35 Gton

Jaarlijkse wereldwijde CO₂-emissie door verbranding van olie, gas en kolen

Ecologisch onderzoek laat in detail zien welke soorten er groeien.

De CO₂-opnamecapaciteit van secundair bos is elf keer zo groot als van een ongestoord regenwoud.

11X



FOTO WUR/JEFFREY VAN LENT

Onderzoeker Jeffrey van Lent (links) meet de CO₂-emissie van de bodem in het Amazonewoud.

vreemde topografie. Ik moest klimmen en dalen. Onder die heuvels bleken de ruïnes te liggen van een oude Maya-stad. De vegetatie oogt als een ongestoord bos, maar het is een overgroeide ruïne. Alleen als je goed kijkt, zie je nog sporen van die oude samenleving. Ecologen die de lokale vegetatie goed kennen, lieten me zien dat er veel vruchtdragende bomen groeien, soorten die ooit zijn aangeplant door de Maya's.' Zulke observaties zijn voor Poorter een teken van de veerkracht van het regenwoud, dat wellicht ook iets zegt over de reactie op klimaatverandering. 'We doen allemaal onderzoek maar de echte mechanismen begrijpen we nog niet. Daarom is een combinatie van verschillende benaderingen zo belangrijk. Met remote sensing door Jan Verbesselt en Marten Scheffer kun je op veel grotere schaal kijken dan ik als ecooloog kan overzien. Alleen oogt van grote hoogte alles groen; je weet niet of het struiken zijn of bomen. Validatie op de grond door ecologisch onderzoek aan bospercelen is dus belangrijk, bijvoorbeeld om te zien welke soorten er groeien. Daarbij leggen we ook

om elke boom een lint, om de dikte te bepalen. Meten is weten.'

Poorter gebruikt ecologische gegevens in nieuwe rekenmodellen om de gevolgen van klimaatverandering te voorspellen. In een publicatie die in augustus 2016 verscheen, modelleert hij met Duitse collega's hoe bossen reageren op frequentere droogte. De uitkomst is voor velen verrassend: het bos verandert weliswaar van soorten-samenstelling, maar het blijft een tropisch woud, met ongeveer evenveel biomassa en vastgelegd CO₂.

BOS HERSCHIKT ZICH

De sleutel voor die veerkracht zit in de biodiversiteit, aldus Poorter: 'Oudere modelstudies voorspellen dat het door klimaatverandering helemaal misgaat: je krijgt droog bos of savanne. Maar die modellen rekenen met planten met slechts twee eigenschappen: bladbehoudend en bladverliezend. Dat is geen realistische afspiegeling van de Amazone-vegetatie. In het nieuwe model rekenen we met planten met een grote diversiteit aan eigenschappen. Dan zie je

bij toenemende droogte bomen eerst afsterven. Maar daarna krijg je successie. De plantengemeenschap gaat zich herschikken, en de bomen en planten die succes hebben zijn ietsje toleranter voor droogte. Het hele systeem veert terug en de biomassa herstelt naar het oorspronkelijke niveau. Biodiversiteit is dus heel belangrijk voor een gezond en veerkrachtig ecosysteem.'

Zulke veerkracht ziet hij ook bij de groei van zogeheten secundair bos: de vegetatie die terugkomt na boskap, brand of landbouw. Dat haast exponentiële herstelvermogen na kaalslag is niet verrassend, zegt Poorter. 'Op open plekken heb je namelijk heel veel licht, water en voedingsstoffen. In het begin kunnen pionierplanten en jonge bomen ongehinderd groeien. De aanwas van biomassa en de opname van CO₂ zijn dan gigantisch. Die capaciteit is elf keer zo groot als in een ongestoord regenwoud. In een stabiel regenwoud sterven namelijk evenveel bomen als er weer bijkomen, dus zijn opname en afgifte van CO₂ ongeveer in evenwicht.' Twee publicaties van Poorter en Latijns-Amerikaanse onderzoekers uit het voorjaar

van 2016 brengen het vermogen van secundair bos om koolstof op te slaan systematisch in kaart aan de hand van onderzoek aan 1.500 bospercelen. De onderzoekers berekenen dat het secundair bos in heel Latijns-Amerika de komende veertig jaar 31 gigaton CO₂ kan vastleggen. Dat is de hoeveelheid CO₂ die de landen in Latijns-Amerika tussen 1993 en 2014 gezamenlijk hebben geproduceerd. Het merendeel van die secundaire bossen ligt in de Amazone. Met zijn onderzoek hoopt Poorter politici en beleidsmakers warm te maken voor natuurlijk herstel van secundair bos, als een goedkope manier om biodiversiteit te beschermen en CO₂ vast te leggen. 'Het is belangrijk om onaangetaste tropische bossen te beschermen, maar we moeten secundair bos echt gaan herwaarderen. Secundair klinkt een beetje tweedehands, maar het is de manier waarop de natuur bosherstel aanpakt. Als er nog resten bos aanwezig zijn, hoeven we er vrijwel niks voor te doen.' Koolstofopslag is slechts een van de functies die zo worden gered. Tropische bossen hebben ook een waterkringloop: ze creëren een eigen klimaat en neerslag, zegt Poorter. 'Bossen pompen water rond. Bomen en planten transpireren enorme hoeveelheden vocht, die met luchtstromen worden weggevoerd. Dat worden wel *flying rivers* genoemd. Verdwijnen bossen in de Amazone dan heeft dat consequenties elders in Zuid-Amerika, voor de landbouw in Paraguay of het drinkwater van Sao Paulo.'

DE ROL VAN WATER

Het ecologisch onderzoek van Lourens Poorter levert allerlei gegevens voor het verbeteren van de Carbon Tracker en het onderliggende biosfeermodel SiBCASA, zegt hoogleraar Peters. 'Wat zijn de dominante boomsoorten en hoeveel groeien ze per jaar? Hoe ziet het wortelstelsel eruit? Hoe reageren ze op droogte en natte omstandigheden?' Water bepaalt het verloop van veel processen in de Amazone, aldus Peters. 'Je hebt enorm veel neerslag en enorm veel verdamping. Daarnaast voeren rivieren water af. Die ba-

'Biodiversiteit is belangrijk voor een veerkrachtig ecosysteem'

lans bepaalt hoeveel water beschikbaar is voor de vegetatie en dat varieert enorm per gebied in de Amazone. In sommige streken reiken bomen met hun wortels tot zeven meter diepte. Die hebben daardoor veel minder last van droogte. De rol van water in de koolstofkringloop van de Amazone wil ik de komende tijd veel beter gaan begrijpen.' Peters wil Carbon Tracker de komende tijd nog beter toespitsen op de Amazone. Want het computermodel leert weliswaar dat in droge jaren de Amazone CO₂ produceert, maar het is niet duidelijk wat er precies gebeurt. Peters: 'Er spelen altijd twee tegengestelde processen: de CO₂-opname door plantengroei en CO₂-afgifte door afbraak, bijvoorbeeld door microben die dode bladen en hout verteren. Die twee grote brutostromen heffen elkaar grotendeels op. Wat resteert is de hoeveelheid CO₂ die de Amazone in een droog jaar afgeeft.' Maar die gigatonnen CO₂ vertellen niet welke van de twee het meest verandert, zegt Peters: nemen de bomen veel minder CO₂ op, of komt er veel meer vrij door afbraak van biomassa? 'Die vraag is ook van belang om te voorspellen wat er gaat gebeuren als het in de toekomst vaker warmer en droger wordt.'

GELD VOOR ISOTOPEN

Nieuw onderzoek aan isotopen kan daar inzicht in geven. Peters had een innovatief idee en is daarvoor in 2015 beloond met een prestigieuze ERC-grant, een Europese subsidie. Er zijn verschillende varianten van CO₂ doordat er verschillende koolstof- en zuurstofisotopen bestaan. Isotopen zijn chemisch identiek, maar subtiel verschillend in massa. Er zijn drie zuurstofisotopen: het veelvoorkomende zuurstof-16, en het zeld-

zamere zuurstof-17 en zuurstof-18.

'De verhouding tussen de drie zuurstofisotopen vertelt iets over de processen die het CO₂ heeft doorgemaakt', zegt Peters. Vooral contact tussen CO₂ en water heeft een duidelijke invloed op de isotopenverhouding, omdat CO₂ en water zuurstof uitwisselen. Het meeste contact vindt plaats in planten. Dat komt doordat die continu enorme hoeveelheden CO₂ opzuigen dat in contact komt met watermoleculen. Boven de Amazone zie je door het contact met water in planten de isotopenverhouding in CO₂ duidelijk veranderen. Die verandering in isotopenverhouding is een prima manier om te kijken naar plantengroei en CO₂-opname.' Door het isotopenonderzoek kunnen straks de opname van CO₂ door planten en de afgifte door afbraak van elkaar worden gescheiden. Tot voor kort was onderzoek aan zuurstofisotopen tamelijk ingewikkeld, maar recent heeft Peters met zijn subsidie een nieuw apparaat gekocht dat isotopen direct meet met lasertechnologie. De promovendi in Peters' groep krijgen zo de komende jaren veel gegevens om het computermodel Carbon Tracker verder te verbeteren. Het betekent ook dat de luchtmonsters uit de Amazone niet meer per vliegtuig naar Nederland hoeven te komen. Peters: 'Dat apparaat komt begin volgend jaar in het lab in Brazilië te staan. Dan gaan we de isotopen direct in de Amazone-lucht doormeten. We verwachten daarmee belangrijke nieuwe inzichten te verwerven. Vooral de gevolgen van droogte voor de koolstofopname van het tropisch regenwoud vormen de sleutel tot nauwkeuriger voorspellingen van het wereldklimaat van de 21ste eeuw.' ■

www.wur.nl/amazone