

VU Research Portal

Vegetation and fire dynamics of savanna ecosystems assessed using satellite data

Andela, N.

2016

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Andela, N. (2016). *Vegetation and fire dynamics of savanna ecosystems assessed using satellite data*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

CHAPTER 7

Samenvatting

Dit hoofdstuk geeft een korte samenvatting van de introductie gevolgd door de belangrijkste resultaten van dit proefschrift. De laatste sectie is gefocust op meer algemene conclusies en blikt vooruit op de rol die de meest recente generatie satellieten gedurende het komende decennium zullen spelen in het onderzoek naar het savanne ecosysteem.

7.1 INTRODUCTIE

Savannes bestaan uit graslanden met verspreid voorkomende bomengroei en bestrijken ongeveer 12% van de mondiale landmassa, met name in de tropen en subtropen. De verhouding tussen kruidachtige soorten, zoals grassen, en houtige soorten, zoals bomen en struiken, is voor een belangrijk deel afhankelijk van de gemiddelde jaarlijkse neerslag. Begrazing en vegetatiebranden zijn twee andere factoren die de soortensamenstelling en de verhouding tussen kruidachtige soorten en houtige soorten bepalen. Vegetatiebranden doden de jonge bomen die zich in de kruidlaag bevinden en houden op die manier de savannes open. De uitgesproken seizoenaliteit van het neerslagregime en grote variatie in neerslag van jaar tot jaar zorgen voor hoge productie van biomassa gedurende natte periodes gevolgd door periodes van droogte waarin met name de grassen gevoelig zijn voor branden. Vegetatiebranden kunnen veroorzaakt worden door bliksem, maar sinds de prehistorie worden de branden ook gebruikt door de lokale bevolking voor de jacht en om het landschap te onderhouden. Zodoende branden grote delen van de 'natuurlijke' savannes ieder jaar of om het jaar, wat wereldwijd jaarlijks resulteert in een verbrand gebied met een oppervlakte ter grootte van India.

Grote delen van de (sub)tropische savannes worden tegenwoordig gebruikt voor landbouw of het laten grazen van vee. Sociaaleconomische ontwikkelingen, zoals toenemende bevolkingsdruk, zullen gedurende de komende eeuw waarschijnlijk voor verdere toename van veeteelt en landbouw zorgen in de (sub)tropische savannes, met name in Zuid-Amerika en Afrika. Daarnaast zijn traditionele leefwijzen aan verandering onderhevig. Zulke veranderingen kunnen een groot effect hebben op het savanne ecosysteem, waar een eeuwenoude dynamiek tussen mens en natuur bestaat. Klimaatverandering en hogere CO₂ concentraties in de atmosfeer hebben ook invloed op het functioneren van het ecosysteem en landbeheer.

Het doel van deze dissertatie was om de grootschalige dynamiek van (sub)tropische savanne-ecosystemen beter te begrijpen en veranderingen in deze ecosystemen en hun mogelijke oorzaken in kaart te brengen. Een aanzienlijk deel van deze dissertatie gaat specifiek in op het beter karakteriseren en begrijpen van de dynamiek van branden, die een belangrijke ecologische rol spelen binnen het ecosysteem en invloed hebben op de regionale luchtkwaliteit en het klimaat. Het werk in deze dissertatie is voornamelijk gebaseerd op satellietbeelden, modellen en statistiek. Satellietbeelden bieden een uitgelezen kans om de resultaten van veldwerk, lokale en regionale studies in een breder perspectief te plaatsen. Dit proefschrift bestaat uit een inleiding (hoofdstuk 1), vier studies (hoofdstukken 2 tot en met 5) en een Engelstalige en Nederlandstalige samenvatting (hoofdstukken 6 en 7).

7.2 ONDERZOEK

Tijdens de eerste studie (hoofdstuk 2) heb ik twee methodes vergeleken om vegetatie te bestuderen vanuit de ruimte, ieder gebaseerd op een ander deel van het elektromagnetisch spectrum. De eerste methode is gebaseerd op de verhouding tussen geabsorbeerd rood licht en gereflecteerd infrarood licht. Een gezonde plant gebruikt namelijk rood licht voor fotosynthese, terwijl infrarood licht juist wordt gereflecteerd door de bladeren om onnodige verhitting (en dus verlies van water) te voorkomen. Hoe minder productief een plant is, bijvoorbeeld omdat er te weinig water is, hoe minder rood licht er gebruikt wordt en tegelijk neemt de reflectie van infrarood licht af. Daarom kan met behulp van satellieten worden bepaald hoe groot het oppervlakte gezonde groene vegetatie is in een gegeven gebied aan de hand van de verhouding tussen de hoeveelheid geobserveerd rood en infrarood licht. De tweede methode maakt gebruik van microgolven, die geabsorbeerd worden door het water dat zich in de vegetatie bevindt. Deze methode geeft dus inzicht in de hoeveelheid water in de vegetatie en kan bijvoorbeeld gebruikt worden om biomassa te bestuderen. Beide data sets bestaan uit tijdseries van meer dan twee decennia en kunnen gebruikt worden om veranderingen in de vegetatie te bestuderen. Trends in vegetatie groenheid zijn met name gevoelig voor veranderingen in de hoeveelheid kruidachtige planten, zoals grassen, omdat deze een relatief groot oppervlakte beslaan in gebieden met een (semi) aride klimaat. Trends in de hoeveelheid water in de vegetatie zijn juist gevoeliger voor een verandering in de dichtheid van struiken en bomen, omdat die door hun afmeting meer water opslaan. Een statistisch model werd ontwikkeld om onderscheid te maken tussen trends die veroorzaakt werden door verandering of variatie in neerslag en trends met een andere oorzaak.

Inter-jaarlijkse variatie en veranderingen in neerslag over de studieperiode waren verantwoordelijk voor een groot deel, maar niet voor alle geobserveerde trends in beide vegetatie indicatoren. Na de correctie voor de effecten van klimaat werd in aride gebieden een netto afname in groenheid geobserveerd en een toename in de hoeveelheid water opgeslagen in vegetatie, dit wijst op een toename van houtige planten ten koste van kruidachtige vegetatie. Een mogelijke verklaring voor een dergelijke toename is de hogere CO₂ concentratie in de atmosfeer, die ten gunste komt van C3-planten (in de [sub]tropen vaak houtige soorten) ten opzichte van C4-planten (de meest algemene gras soorten in de [sub]tropen). C4-grassen floreren onder CO₂ arme condities en in warme klimaten doordat zij tijdens de fotosynthese een lagere fotorespiratie (water verlies) hebben, de toenemende concentratie van CO₂ in de atmosfeer resulteert echter in competitieve C3 planten, en mogelijk een toename van bomen en struiken in (sub)tropische savannes. In vochtigere savannes waren de trends minder eenduidig, en werden vele verschillende trends

geobserveerd in beide vegetatie indicatoren. Deze patronen konden gedeeltelijk worden toegekend aan verandering in begrazing, landgebruik en branden.

In een vervolgstudie waarin ik Afrika beter bestudeerde (hoofdstuk 3), bleek dat in noordelijk Afrika een sterke toename in landbouwgrond heeft plaatsgevonden over het afgelopen decennium. Tegelijkertijd werd een afname in branden geobserveerd in grote delen van noordelijk Afrika maar een netto toename in zuidelijk Afrika. Een statistisch model werd ontwikkeld om de individuele invloed van neerslag en omzetting van savannes in landbouwgrond op vegetatiebranden apart te kunnen bestuderen. De toename in vegetatiebranden in zuidelijk Afrika bleek over het afgelopen decennium voor een groot deel te kunnen worden toegeschreven aan een toename van neerslag in aride gebieden daar. Neerslag heeft vaak een positief effect op de hoeveelheid vegetatiebranden in aride gebieden, omdat de hoeveelheid brandstof (biomassa) de belangrijkste limiterende factor is voor branden. In vochtiger klimaten is het effect van neerslag op vegetatiebranden meestal andersom, omdat de vegetatie door de neerslag te nat is om vlam te vatten. Deze geobserveerde trends, die veroorzaakt werden door neerslag, waren waarschijnlijk van tijdelijke aard aangezien ze door schommelingen in de temperatuur van de oceaan veroorzaakt werden, die binnen de 12-jaar studieperiode van het ene naar het andere extreme ging. Variaties in de temperatuur van de oceanen hebben een groot effect op interjaarlijkse variatie in neerslag, daarom werd ook een duidelijke relatie gevonden tussen de temperatuur van de oceanen en het voorkomen van vegetatiebranden.

In noordelijk Afrika kon een deel van de afname in branden worden verklaard door een soortgelijke tijdelijke verandering in neerslag over de studieperiode, maar het omzetten van savannes in landbouwgrond veroorzaakte ook een aanzienlijke afname. Gezien de tijdelijke aard van de trends in vegetatiebranden die werden veroorzaakt door neerslag en de duidelijke onderliggende afname in vegetatiebranden door omzetting van savannes in landbouwgrond, konden wij concluderen dat in de nabije toekomst het aantal branden waarschijnlijk verder zal afnemen onder invloed van sociaaleconomische ontwikkelingen. Dat is een verrassende bevinding omdat in het algemeen wordt aangenomen dat branden juist meer voor zullen komen vanwege de klimaatverandering. De ruimtelijke verdeling van vegetatiebranden, savannes en landbouwgrond liet zien dat niet alleen de grond die daadwerkelijk werd omgezet in landbouw maar ook de omliggende savannes een duidelijke afname in branden vertoonden. De soortensamenstelling van de vegetatie in de nabijheid van akkerbouw zal daardoor waarschijnlijk veranderen, gezien de rol die vegetatiebranden spelen in de competitie tussen verschillende plantensoorten.

De twee laatste studies concentreerden zich op het beter begrijpen van de dynamiek van vegetatiebranden in de savannes. Naast het ecologische belang van vegetatiebranden heeft de uitstoot van fijnstof en vervuilende gassen invloed op lokale en regionale luchtkwaliteit

en atmosferische chemie. De focus van de laatste twee studies was daarom deels gericht op het beter berekenen van deze uitstoot, bijvoorbeeld voor toepassing in atmosferische modellen die gebruikt worden om luchtkwaliteit te voorspellen. Een belangrijke factor voor uitstoot inschattingen is de brandstofconsumptie, ofwel de hoeveelheid droge biomassa die verbrandt per vierkante meter verbrande oppervlakte. Tot op heden was informatie over de ruimtelijke verdeling van brandstof consumptie vooral gebaseerd op biochemische modellen; veldexperimenten geven ook inzichten maar zijn vaak niet representatief voor grotere gebieden. Satellietbeelden kunnen gebruikt worden om de oppervlakte van verbrande gebieden te kwantificeren, alsmede om het stralingsvermogen (de hoeveelheid energie die vrijkomt) van een brand te bestuderen. In de derde studie (hoofdstuk 4) werd deze informatie gecombineerd om een inschatting te maken van de hoeveelheid energie die vrijkomt per verbrande oppervlakte. Vervolgens zijn veldmetingen van de brandstofconsumptie gebruikt om een conversiefactor te bepalen van energie naar gewicht droge biomassa.

Grote verschillen in brandstofconsumptie werden gevonden tussen savannes in Zuid-Amerika, Afrika en Australië, gedeeltelijk veroorzaakt door de frequentie waarmee branden voorkwamen. Savannes in Zuid-Amerika brandden over het algemeen minder regelmatig dan de Afrikaanse savannes, waardoor meer droge biomassa accumuleert en de brandstofconsumptie hoger is. Vegetatietype speelde ook een rol, struikachtige vegetatie of grastypes die op enige afstand van elkaar groeiden, brandden met lagere frequentie dan grassen die een continu brandstofveld vormden, en hadden daarom meer tijd om brandstof te accumuleren. Maar verschillende vegetatietypes resulteerden ook in verschillende accumulatiesnelheden van biomassa. De binnenlanden van Australië worden gedomineerd door polvormende grassoorten die op enige afstand van elkaar groeien, terwijl Afrikaanse graslanden gekarakteriseerd worden door grassen die aaneengesloten zijn. Bij gelijke productiviteit van de savannes was de opbouw van droge biomassa in deze Australische grassoorten aanzienlijk sneller dan in Afrika. Mogelijk kan dit verklaard worden door de afwezigheid van megafauna in Australië, maar een andere mogelijke verklaring is een verschil in afbraaksnelheden van organisch materiaal. Aanwezigheid van mensen had ook een groot effect op de brandstofconsumptie, landbouwgebieden werden bijvoorbeeld gekenmerkt door gereduceerde brandstofconsumptie ten opzichte van savannes, terwijl in regio's waar ontbossing plaatsvond de brandstofconsumptie aanzienlijk hoger was omdat naast grassen ook bomen verbrand worden.

De laatste studie (hoofdstuk 5) bestudeerde de dagelijkse gang van vegetatiebranden om in *real-time* inschattingen van de uitstoot die vrijkomt tijdens deze branden te verbeteren. In het algemeen bereiken vegetatiebranden hun hoogtepunt aan het begin van de middag, als de zon zijn hoogste stand heeft bereikt en de luchtvochtigheid relatief laag is. Aan het

eind van de middag, als de temperatuur zakt en de luchtvochtigheid toeneemt, neemt de intensiteit van de vegetatiebranden af. Afhankelijk van de condities van de brandstof en de weersomstandigheden wordt zodoende een deel van de branden gedoofd gedurende de nacht. Brandhaarden die de nacht doorkomen laaien de volgende morgen weer op om aan een nieuwe cyclus te beginnen. Voor het inschatten van uitstoot in *real-time* worden observaties van het stralingsvermogen van de vegetatiebranden gebruikt, omdat deze zonder vertraging beschikbaar zijn. Satellieten die een polaire baan volgen zijn in staat om zelfs branden met een relatief laag stralingsvermogen te observeren omdat ze relatief dicht bij de aarde staan. Het nadeel van satellieten in een polaire baan is echter dat ze geen continue observaties maken, de Terra en Aqua satellieten bijvoorbeeld worden veel gebruikt voor het maken van uitstoot inschattingen en maken op een onbewolkte dag in de tropen samen vier observaties op vaste tijden. Als alternatief kan gebruik worden gemaakt van satellieten in een geostationaire baan, deze draaien precies mee met de aarde waardoor ze continu dezelfde schijf van de aarde waarnemen. Een dergelijke baan is aantrekkelijk omdat de complete dagelijkse gang van vegetatiebranden kan worden waargenomen, maar is alleen mogelijk op grotere afstand van de aarde, waardoor kleine maar veelvoorkomende vegetatiebranden met een relatief laag stralingsvermogen niet worden waargenomen. Tijdens deze studie zijn observaties van de geostationaire Meteosat satelliet gebruikt om de dagelijkse gang van branden beter te karakteriseren. Deze informatie is vervolgens gebruikt om betere uitstootinschattingen te maken gebaseerd op de Terra en Aqua observaties.

De ruimtelijke verdeling van de dagelijkse gang van vegetatiebranden werd beïnvloed door zowel het klimaat als door de brandstofcondities. In vochtige savannes in de tropen was de dagelijkse gang meer uitgesproken, met een kortere duur overdag en een stralingsvermogen dat 's nachts beneden de detectielimiet van de satelliet viel. In aride gebieden waren de vegetatiebranden intenser, met langere duur overdag en een sterk gereduceerd maar waarneembaar stralingsvermogens gedurende de nacht. Het gebied waarover een individuele brand zich kon verspreiden bleek een goede indicator voor brandstofcondities: in gebieden waar branden zich over grote afstanden konden verspreiden was de dagelijkse gang vaak wijder en minder uitgesproken dan in gebieden die werden gedomineerd door kleine branden. Door de vaste tijden waarop de Terra en Aqua satellieten hun waarnemingen maakten werd een grote overschatting van de energie die vrijkomt tijdens vegetatiebranden gemaakt als de dagelijkse gang genegeerd werd. Tijdens deze studie konden de *real-time* emissie inschattingen gebaseerd op de Terra en Aqua satellieten worden verbeterd door gebruik te maken van de nieuwe kennis over de ruimtelijke verdeling van de dagelijkse gang van vegetatiebranden.

7.3 ALGEMENE CONCLUSIES EN VOORUITZICHTEN

Naast de uitkomst van de individuele studies, kunnen ook een aantal meer algemene conclusies getrokken worden. Tijdens de eerste twee studies werd bijvoorbeeld gebruik gemaakt van statistische modellen om te begrijpen wat de achterliggende drijvende kracht is voor veranderingen in vegetatiepatronen of vegetatiebranden. Zulke modellen bleken uitgesproken krachtig en met de alsmaar langer wordende tijdseries zullen dit soort modellen ook in de toekomst toepassing vinden. Vaak werden verschillende data sets gecombineerd om zodoende nieuwe gegevens te verkrijgen. De combinatie van een toename in de hoeveelheid water in vegetatie en afname in vegetatiegroenheid kon bijvoorbeeld worden toegeschreven aan een toename in houtige vegetatie ten koste van vegetatie in de kruidlaag. Op een vergelijkbare manier kon een inschatting van brandstofconsumptie van vegetatiebranden worden gemaakt door data van verbrand gebied en stralingsvermogen te combineren.

Een interessante wisselwerking tussen ruimte en tijd werd ook gevonden, namelijk dat ruimtelijke patronen gebruikt kunnen worden om nieuwe inzichten in de lange termijn dynamiek te verkrijgen, met andere woorden satellietdata kan ook gebruikt worden om iets te zeggen over de periode van voor het satelliet tijdperk. Tijdens de studie naar recente trends in vegetatiebranden in Afrika werd bijvoorbeeld gevonden dat ruimtelijke verdeling van akkerbouw in de savannes een duidelijk effect had op de hoeveelheid branden. Uit de tijdserie en het statistische model bleek vervolgens dat over het afgelopen decennium de toegenomen akkerbouw in noordelijk Afrika een duidelijke afname in branden tot gevolg heeft gehad. Kennis over de ruimtelijke verdeling van landbouw in het verleden zou dus kunnen worden gebruikt om de verandering in vegetatiebranden in het verleden te reconstrueren. Op een soortgelijke manier zouden patronen in vegetatiebranden in gebieden van Afrika waar traditionele leefwijzen nog wijdverspreid zijn, inzichten kunnen geven in de geschiedenis van vegetatiebranden in Afrika. Zo ook in Zuid Amerika en Australië, waar het gebruik van vegetatiebranden door de lokale bevolking drastisch veranderde na de westerse kolonisatie, met grote gevolgen voor de lokale ecosystemen.

Gedurende het komende decennium komt data beschikbaar van een nieuwe generatie satellieten. De instrumenten aan boord van deze satellieten leveren data van hogere kwaliteit, maar nieuwe technieken worden ook ontwikkeld. Het GEDI instrument (Global Ecosystem Dynamics Investigation lidar, verwacht in 2018) maakt bijvoorbeeld gebruik van laser om gedetailleerde 3-D beelden te maken van de mondiale bossen. Tot op heden was dit soort data slechts beschikbaar door veldcampagnes of *remote sensing* met behulp van vliegtuigen. Deze data kan bijvoorbeeld gecombineerd worden met de 30 meter resolutie Landsat 8 data (gelanceerd in 2013) om een inschatting te maken van de soortensamenstelling. Deze hoge

resolutie data sets zullen een steeds grotere rol gaan spelen binnen het wetenschappelijk onderzoek en zullen gedurende het komende decennium een grote bijdrage leveren aan ons begrip van het savanne-ecosysteem. Door deze nieuwe ontwikkelingen is de kloof tussen veldcampagnes en satellietbeelden steeds kleiner aan het worden en betere integratie van de twee disciplines is daarom noodzakelijk. Veldcampagnes die tot voor kort relatief op zichzelf stonden, kunnen nu gebruikt worden voor validatie en het kalibreren van satellietbeelden om zo uitspraken te doen over veel grotere gebieden. Dergelijke opschaling van studies is belangrijk, omdat juist op grotere schaal de effecten van klimaatverandering of sociaaleconomische ontwikkelingen duidelijker naar voren komen.