

Samenvatting

Bodemerosie, landuitputting en klimaatverandering vormen een groeiende bedreiging voor de kuststaten in de westelijke Indische Oceaan. Belangrijke lange-termijn gegevens ontbreken echter om de gevolgen van dergelijke veranderingen goed te kunnen bepalen. Bovendien zijn milieumanagement strategieën in het gunstigste geval gebaseerd op kortlopende meetseries die wel beschikbaar zijn, zoals van satellieten. Zelfs voor de kwetsbare stroomgebieden en kuststreken waar rivieren uitkomen in zee, ontbreekt het aan metingen die ver genoeg teruggaan in de tijd.

Dit proefschrift onderzoekt de veranderingen die invloed hebben op de koraalrifecosystemen in de westelijke Indische Oceaan. Dit is gedaan door te kijken naar zowel koraalarchieven als naar de beschikbare klimaatindices, milieumodellen en ecosysteemgegevens. De koraalarchieven blijken doorlopend klimaatgegevens en klimaatgebeurtenissen te registreren, zoals seizoensvariatie, overstromingen gerelateerd aan ENSO (El Niño Southern Oscillation), tropische cyclonen en lange-termijn veranderingen in neerslag en rivierafvoer.

Een onderdeel van het klimaatproject SINDOCOM was het boren van enkele koraalkernen -met een diameter van 4 cm en een lengte van meer dan 3 meter- om de veranderingen in het milieu te reconstrueren voor diverse rif-complexen. Deze koralen groeien met een gemiddelde snelheid van 1 cm per jaar, waarbij ze voortdurend specifieke, aan klimaat gerelateerde, signalen opslaan in hun kalkskeletten. Om deze klimaat-signalen te kunnen interpreteren, werd een nieuwe scantechniek ontwikkeld waarmee de intensiteit van luminescentie in koraalskeletten gemeten kan worden door het luminescentiespectrum op te splitsen in drie spectrale domeinen (Rood/Groen/Blauw; Hoofdstuk 2). De luminescentie wordt mede bepaald door de hoeveelheid humuszuren die door rivieren in zee is gespoeld op het moment van de opbouw van het koraalskelet (Hoofdstuk 2). Aangezien humuszuren een langere (groene) emissiegolflengte hebben dan het koraalskelet (blauw), levert de “groen/blauw” ratio een kwalitatieve maat op voor de aan bodemerosie gerelateerde rivierafvoer. De ongekeerde monster resolutie van de luminescentietechniek maakte wekelijkse reconstructies mogelijk van bodemerosie en rivierafvoer door de eeuwen heen in Noordoost-Madagaskar als gevolg van natuurlijke neerslagcycli, cyclonen en ontbossing.

Door de nieuwe spectrale luminescentietechniek te combineren met proxies voor de slibafvoer (Ba/Ca), het zoutgehalte ($\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$) en de troebelheid ($\delta^{13}\text{C}$) in de koraalskeletten, kon de invloed van erosie op individuele koralen, beïnvloed door drie afzonderlijke rivieren in en nabij de Antongil baai (de natste regio van Madagaskar), worden onderscheiden (Hoofdstuk 3). Voor drie koraalkolonies dichtbij de riviermond werden de proxymetingen gecombineerd met modelresultaten om de karakteristieken van ieder stroomgebied te bepalen. Hierdoor bleek het mogelijk de rivier te herkennen aan de mate van afvoer van zowel slib als humuszuren in de baai. We relateren verschillen aan de afstand tussen koraal en riviermond, plaatselijke fysiochemische factoren en de reacties van proxies op omgevingsomstandigheden. Deze informatie zal in de toekomst bijdragen aan een beter beheer van het mariene en het terrestrische milieu (Hoofdstuk 3).

Aan de hand van een langere koraalkern uit dezelfde regio konden ook de lange-termijn patronen in de rivierafvoer worden bepaald. De data verkregen uit de koraalarchieven voor de antropogene ontbossing in de 20^e eeuw in Madagaskar, werden ontkoppeld van door neerslag veroorzaakte bodemerrosie, door zowel de luminescentietechniek als geochemie te gebruiken. Daarmee kon er voor het eerst een verband worden aangetoond tussen de veranderende neerslag in Madagaskar en de temperatuur van het zeewateroppervlakte in de Stille Oceaan vele duizenden kilometers verderop (Hoofdstuk 4). Deze koraalarchieven leverden de eerste aanwijzingen voor een langzaam oscillerend patroon in de neerslag over de westelijke Indische Oceaan, dat bekend staat als de ‘Pacific Decadal Oscillation’ (PDO). De positieve fase van de PDO wordt geassocieerd met stijgende zeewatertemperaturen in de Indische Oceaan en toenemende neerslag in Oost-Madagaskar, terwijl het in Zuid-Afrika en Oost-Australië zorgt voor een afname van de neerslag. Hierdoor zou de negatieve PDO fase in 1998 moeten leiden tot een afname in neerslag in Noordoost-Madagaskar en een toename in neerslag in Zuid-Afrika en Oost-Australië (Hoofdstuk 4). Met deze resultaten kan ingespeeld worden op de lange-termijn verwachting van klimaatveranderingen in neerslag in Afrika, waar watermanagement van groeiend belang is.

Om te bepalen of het kustgebied van Oost-Madagaskar significant is opgewarmd over de afgelopen 43 jaar werd de temperatuur van het

Samenvatting

zeewateroppervlakte bepaald door de Sr/Ca samenstelling te meten van twee koraalkernen (Hoofdstuk 5). Helaas werd hierbij een significant effect van groei op de neerslag van Sr/Ca in het koraalskelet gevonden, waardoor de reconstructie van de temperatuur van het zeewateroppervlakte belemmerd werd. In beide koralen werd een positieve correlatie gevonden tussen de groeisnelheid en Sr/Ca. Toenemende groei in één koraal bleek gekoppeld aan toenemende Sr/Ca waardes terwijl afnemende groei in een naburige koraal gekoppeld was aan afnemende Sr/Ca waardes. Bovendien waren de calcificatiesnelheden in beide koralen negatief gecorreleerd tijdens positieve ENSO periodes, wat resulteerde in een uiteenlopende Sr/Ca reactie. Aangezien beide koralen van dezelfde soort zijn (*Porites lutea*) en uit dezelfde omgeving komen (0.72 km van elkaar) wordt de betrouwbaarheid van Sr/Ca als paleo-thermometer hierdoor in twijfel gebracht. Rekening houdende met dit groei-effect op de koralen schatten we dat de temperatuur van de zeewateroppervlakte over de laatste 43 jaar in Oost-Madagaskar gestegen is met $0.75^{\circ}\text{C} - 1.07^{\circ}\text{C}$. Deze waarde is significant hoger dan de grenswaarden $0.09^{\circ}\text{C} - 0.44^{\circ}\text{C}$, bepaald door satellietgegevens. Dit suggereert dat deze gegevens de lange-termijn effecten op rif-schaal sterk onderschatten.

Het verband tussen de temperatuur van het zeewater (SST) en neerslag is gecompliceerd. Door met behulp van koraalkernen de reactie op de door ENSO veroorzaakte neerslag te bepalen, kan een beter inzicht verkregen worden van de gevolgen van een veranderend ENSO systeem (Synthese). In de La Niña fase, wanneer de zuidwestelijke Indische Oceaan afkoelt, neemt de neerslag in Noordoost-Madagaskar toe en niet af zoals blijkt uit de luminescentiemetingen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een veranderde SST-gradiënt, in plaats van de absolute SST in de zuidwestelijke Indische Oceaan. Aangezien de zuid centrale Indische Oceaan gedurende La Niña sterker afkoelt dan de zuidwestelijke Indische Oceaan, neemt het vochttransport toe richting Madagaskar en daaruit de neerslag (Synthese). Die relatie tussen La Niña en verhoogde neerslag werd echter verbroken na 1976 toen het klimaat door antropogene opwarming verschoof naar een nieuw basisniveau. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door het verzwakken van de SST-gradiënt tussen de zuidwestelijke en de zuid centrale Indische Oceaan, aangezien antropogene opwarming in het zuidwesten van de Indische Oceaan met een hogere snelheid toenam dan in de zuid centrale

regio. Verdere antropogene opwarming zal mogelijk een ommekeer in de ENSO gerelateerde neerslag veroorzaken, met een toename tijdens El Niño in Noordoost-Madagaskar.

Een ander voorbeeld van een regionale toename in neerslag door een afkoelende zee vond plaats tijdens de Kleine IJstijd in Zuid-Afrika vanaf de 15^e tot medio 19^e eeuw. De luminescentiemetingen aan de lange koraalkern uit Noordoost-Madagaskar geven een significant natter klimaat gedurende deze periode (Synthese). Dit komt overeen met gegevens van Oost-Afrikaanse meren, maar niet met die uit Centraal- en Zuid-Afrika. Een sterker moessonsysteem in de Indische Oceaan, gerelateerd aan een zuidelijke verschuiving van de 'Intertropische Convergence Zone', is waarschijnlijk daarvoor verantwoordelijk en ook hier vermoedelijk gekoppeld aan SST-gradiënten. Nader onderzoek in het CLIMATCH-programma zal bepalen wat de lange-termijn veranderingen zijn in de 'nat-droog cycli' van Oost- en Zuid-Afrika.