

# Samenvatting

## **Omgevingsfactoren bepalend voor de groei van koudwater koralen en de opbouw van carbonaat heuvels**

Dit proefschrift is gewijd aan het vaststellen en uitbreiden van de kennis over koudwaterkoraal gedomineerde carbonaat heuvel(“mound”)opbouw, waarbij voornamelijk de nadruk wordt gelegd op de omgevings factoren, die recent en in het verleden de groei van koudwaterkoralen en uiteindelijk moundopbouw hebben bepaald. Dit proefschrift is onderverdeeld in twee grote thema's.

Het eerste deel (hoofdstuk 2-4) richt zich op recente processen, die de vorm van de helling, de groei van koudwaterkoralen en uiteindelijk moundformatie beïnvloeden. In het tweede deel van dit proefschrift (hoofdstuk 5-7) worden processen uit het verleden aangaande moundopbouw bediscussieerd en het mogelijk gebruik van koudwaterkoralen en geassocieerde soorten als paleothermometers wordt besproken.

Deze studie beschrijft de verspreiding en ontwikkeling van koudwater-carbonaatmounds op de zuidwest (ZW) en zuidoost (ZO) Rockall Trough (RT) helling om zo te zorgen dat de verschillende moundtypen en morfologie beter worden begrepen. Hoge resolutie side-scansonar beelden en seismische en acoustische dwarsdoorsneden onthulden de aanwezigheid van moundclusters, die een langgerekte vorm hebben in de richting van de sterkste stroming. Deze doorsneden toonden aan dat alle moundstructuren zijn begonnen met groeien boven op een regionale zeer karakteristieke reflector.

Recente omgevingsfactoren bepalend voor koraalgroei en moundopbouw zijn gemeten met behulp van BOBO zeebed-observatoria, die voor korte en lange tijd zijn weggezet. Bodemlanders meten de stroomsnelheid, temperatuur, zoutgehalte en de hoeveelheid deeltjes in de waterkolom. Daarnaast is de waterkolom in de koudwaterkoraal gebieden op de ZO en ZW kant van de RT bestudeerd met

behulp van een CTD. Lange termijn plaatsingen van de bodemlanders uitgerust met sedimentvallen meten de dagelijkse, seizoenale en jaarlijkse variatie van condities bij de zeebodem en geven inzicht in de verticale en horizontale stroom van deeltjes, die de koudwaterkoralen bereiken. In beide moundgebieden op de ZO en ZW helling van de RT is de invloed en aanwezigheid van getijde golven aangetoond. Interne golven en een toename in de hoeveelheid deeltjes (turbiditeit) in de waterkolom kan direct gekoppeld worden aan de dagelijkse getijde cyclus en de voedselaanvoer naar de koralen. De boven beschreven observaties in combinatie met beelden van de zeebodem en sedimentmonsters geven de connectie weer van processen, die zich afspelen in de waterkolom en de opbouw van de carbonaat moundstructuren.

Om de paleo-omgevingscondities, die moundontwikkeling en groei beïnvloeden te bepalen, is een sedimentkern bestudeerd, genomen op de top van een mound. Stabiele isotopen en componentenanalyse toonden aan dat de kern uit een mound facies bestaat, waarop secundaire processen hebben plaatsgevonden in de vorm van oplossing en cementatie van de koraal structuur. Dit illustreert ook de beperkingen van het gebruik van koudwaterkoralen als (paleo)thermometers, omdat de koraaltakken niet goed bewaard blijven en de meest voorkomende koraalsoorten in hun isotopensignaal een sterke kinetische fractionatie laten zien. Geassocieerde schelpensoorten, verzameld van de mounds laten geen kinetische fractionatie zien in hun stabiele isotopen en dit betekent dat sommige soorten goed gebruikt kunnen worden om paleo-omgevingscondities te verklaren.

*Hoofdstuk 2* geeft een overzicht van de verspreiding van carbonaat mounds en gerelateerde sedimentaire structuren op de helling van de ZW RT. Hoge resolutie side-scansonar beelden en seismische profielen tonen de aanwezigheid van kilometers lange en brede geclusterde en individuele mounds, die allemaal hun top hebben op een specifieke waterdiepte. De aanwezige sedimentaire structuren en de vorm van de mounds wijst op de aanwezigheid van een sterke stroming bij de zeebodem. Hoge resolutie 2D seismische profielen onthullen in het algemeen geen sterke reflectoren in de mounds, maar laten zien dat chaotische en discontinue reflectoren de moundstructuren definiëren. Daarentegen suggereert de aanwezigheid van twee sterke reflectoren (unconformities) in de sedimentaire sequentie onder de mounds ten minste twee stadia van moundopbouw. Waarbij de oudste reflector de mogelijke start van moundopbouw definieert in het Midden Mioceen, terwijl het tweede stadium van moundopbouw gekoppeld is aan een sterke reflector van Laat vroeg Pliocene ouderdom.

*Hoofdstuk 3* beschrijft de hydrodynamische factoren, die mound-ontwikkeling beïnvloeden. De aanwezigheid van levende koralen op en rond de toppen van de mounds lijkt te zijn gekoppeld aan de aanwezigheid van interne golven en getijde golven, zoals gemeten met bodemlanders (BOBO). Derhalve worden

de carbonaat moundstructuren gevormd door het hydrodynamisch regime. Stroomsnelheden boven de  $45 \text{ cm s}^{-1}$  komen regelmatig voor en voorkomen lokale sedimentatie. Daarnaast leveren ze genoeg voedseldeeltjes aan de koralen, zodat deze goed gedijen op de moundtoppen. Getijdgolven op beide hellingen van de Rockall Trough drijven de vorming van interne en bodem nepheloïde lagen; de distributie van koralen in beide moundgebieden zou direct gerelateerd kunnen worden aan de aanwezigheid van verhoogde turbiditeit in de waterkolom, waarbij getijdgolven verse voedseldeeltjes naar de mounds brengen tijdens periodes van toegenomen stroomsnelheid. Een duidelijke relatie is geobserveerd tussen de omringende watertemperatuur en de hoeveelheid deeltjes in de waterkolom.

*Hoofdstuk 4* laat de seizoenale variatie in deeltjesaanvoer zien en geeft het bewijs voor de invangcapaciteit van de koraalbedekking. Seizoenale variatie in deeltjesaanvoer is gemeten met behulp van bodemlanders uitgerust met sedimentvallen. Deze landers zijn neergezet in een gebied met een dichte koraalbedekking en op een plek zonder koraalbedekking. Beide plekken liggen in een wolk met verhoogde turbiditeit, die direct boven de moundpieken hangt op de helling van de ZW RT. Grote verschillen tussen de stations in de deeltjesaanvoer, de chemische compositie en de versheid van het gevangen materiaal kan direct gerelateerd worden aan de aanwezigheid van een dichte koraalbedekking. Een dichte koraalbedekking zorgt voor het invangen van een groot deel van de deeltjes, die op de zeebodem arriveert via verticale aanvoer, wat uiteindelijk resulteert in de ontwikkeling van carbonaat mounds. De hoeveelheid, de compositie en het soort deeltjes, dat verzamelt is in de sedimentvallen kan gerelateerd worden aan de amplitude van dagelijkse veranderingen in temperatuur en variatie in stroomsnelheid in het moundgebied. Resuspensie van relatief oud materiaal op de plek zonder koraalbedekking zwakt het signaal afkomstig van de verticale aanvoer af. De dagelijkse getijdencyclus vormt een belangrijke component in de verticale en laterale aanvoer van deeltjes naar de koudwaterkoralen.  $^{15}\text{N}$  waarden van het gevangen materiaal laten een signaal zien van vers materiaal dat aankomt op de zeebodem aan het einde van de lente en in de zomer. Maar dit signaal is klein in vergelijking met het sterke seizoenale signaal, dat direct gerelateerd is aan de jaarlijkse variatie in het stroomregime vlakbij de zeebodem.

In *hoofdstuk 5* worden recente processen die moundconstructie beïnvloeden beschouwd en bediscussieerd om zo een beter inzicht te krijgen in condities en parameters, die moundopbouw hebben beïnvloed in het verleden. Koudwaterkoraal mounds op beide hellingen van de RT hebben een duidelijk verschillende morfologie. Alleenstaande, geïsoleerde mounds komen voor op de ZO RT helling tussen 650-900 m waterdiepte. Grote moundclusters zijn gevonden op de ZW RT helling tussen 600-1000 m water diepte in een smalle zone parallel aan de helling. Sedimentatiesnelheden op de mounds zijn hoger dan op de naastgelegen vlaktes,

doordat de dichte koraalbedekking, die de mounds bedekt, biogene carbonaat overblijfselen en sediment deeltjes invangt. De 3 dimensionale koraal bedekking en de aanwezigheid van hardgrounds en firmgrounds wordt verantwoordelijk gehouden voor de stabiliteit van de relatief steile hellingen van de mounds. Hoge stroomsnelheden in intra-mound gebieden resulteert in lokale non sedimentatie en erosie, wat aangetoond wordt door de aanwezigheid van IRD afzettingen op de zeebodem en wallen langs sommige mounds. De morfologie en sedimentologie van met koudwaterkoraal (voornamelijk *Lophelia pertusa* en *Madrepora oculata*) begroeide mounds op de zuidelijke hellingen van de RT (noordoost Atlantische Oceaan) worden bediscussieerd en een model, dat de ontwikkeling van mounds op de RT hellingen beschrijft, wordt gepresenteerd.

*Hoofdstuk 6* beschrijft de accumulatie van voornamelijk carbonaat sediment op een mound aan de hand van een pistoncore, genomen op een mound top. Foto- en video-onderzoek van dit station laat de aanwezigheid zien van levende koraal kolonies boven op een dikke laag oud koraal, dat langzaam gebioërodeerd en afgebroken wordt. De koraalbedekking wordt voornamelijk opgevuld met sediment bestaande uit phytodetritus en skeletdeeltjes van fauna van geassocieerde soorten, die op de mounds leven. Dit heeft geresulteerd in een 120 cm dikke laag sediment afgezet sinds 10.850 jaar BP, bevestigd door metingen van stabiele isotopen aan planktonische en benthische foraminiferen. Componentenanalyse geeft verder een complete weergave van koudwaterkoraal moundfacies, waarbij een afwisseling te zien is van cement en skeletgedomineerde secties. Het oudste deel van de kern, gekenmerkt door voornamelijk isotopenwaardes met een tussenwaarde, wordt gedomineerd door grote hiaten tot wel 200.000 jaar. Hiaten in de kern kunnen mogelijk gekoppeld worden aan klimaatveranderingen, die een groot effect hebben gehad op het circulatiepatroon van de oceanen, waardoor het lokale hydrodynamische regime, de voedselaanvoer en de sedimentatiesnelheid op de mounds beïnvloed wordt.

In *hoofdstuk 7* worden stabiele isotopendata gepresenteerd van koudwaterkoraal soorten en geassocieerde soorten, die levend waren toen ze verzameld werden. Tropische koralen hebben bewezen dat ze op hoge resolutie marine condities kunnen weergeven en koudwaterkoralen zouden daarom een perfect archief kunnen vormen voor condities in de tussen en diepliggende watermassa's. Maar verschillende studies hebben aangetoond, dat de meest voorkomende koraalsoorten *Lophelia pertusa* en *Madrepora oculata* duidelijke fractionatie patronen laten zien in hun stabiele isotopencurves en daardoor worden ze onbruikbaar voor paleo klimaatreconstructies. De veel voorkomende geassocieerde tweekleppige (bivale) *Asperarca nodulosa* leeft bovenop dode koraaltakken en is afhankelijk van dezelfde voedselbron als de koudwaterkoralen. Deze bivale lijkt isotopen in te bouwen dicht in evenwicht met zeewater.

Omringende zeewatertemperaturen, berekend met behulp van stabiele isotopen tonen bodemwatertemperaturen in de range als gemeten met bodemlanders. Een directe relatie tussen een toename in de hoeveelheid deeltjes in relatief warm water zou kunnen wijzen op het feit dat schelpen en koralen voornamelijk groeien als de aanvoer van deeltjes naar de mounds hoog is.

*Hoofdstuk 8* (synthese) beschrijft en bediscussieert de drijvende en omgevingsfactoren die de distributie van koudwaterkoraal voorkomens bepalen in de noordoost Atlantische Oceaan. Deze factoren en beperkingen worden vergeleken met de kennis, die we hebben vergaard in de moundgebieden op de hellingen van de RT. De grootste (hoogste en breedste aan de basis) koudwaterkoraal mounds, gedomineerd bij de koralen *Lophelia pertusa* en *Madrepora oculata* in de noordoost Atlantische Oceaan zijn tot dusver gevonden op de ZW helling van de RT. Deze mounds hebben zich voornamelijk ontwikkeld door de aanwezigheid van getijdgolven en interne golven, die (verse) voedseldeeltjes van het zeewater oppervlak naar dieper water transporteren. Op de ZW RT helling is het stroomregime hoog genoeg om de koraalstruiken te beschermen tegen sedimentatie. Korallen op de hellingen van de ZW en ZO RT verkrijgen hun voedsel voornamelijk door de laterale en langs de helling getransporteerd phytodetritus via nepheloid lagen. De stabiele koolstofwaardes geven geen indicatie van een link tussen het om hoog komen van gas en koudwaterkorallen.

Een vergelijking tussen de evolutie van mounds op de beide hellingen van de RT laat zien, dat klimaatveranderingen waarschijnlijk een groot effect hebben gehad op de omgevingsfactoren en condities in de moundgebieden. Klimaatveranderingen kunnen het getijderegime, de deeltjes- en voedselaanvoer beïnvloeden en in combinatie met het verlagen van de zeespiegel en veranderingen in het algemene circulatiepatroon van de oceanen. Mounds op de RT helling lijken allemaal een bepaalde hoogte te bereiken onder het zeoppervlak, die correspondeert met verhoogde turbiditeit in de waterkolom net boven de mounds. Op dit moment lijken mounds op de ZO RT helling hun maximale hoogte bereikt te hebben, waardoor ze geërodeerd worden of in een stadium zijn geraakt, waarbij ze langzaam worden begraven.

