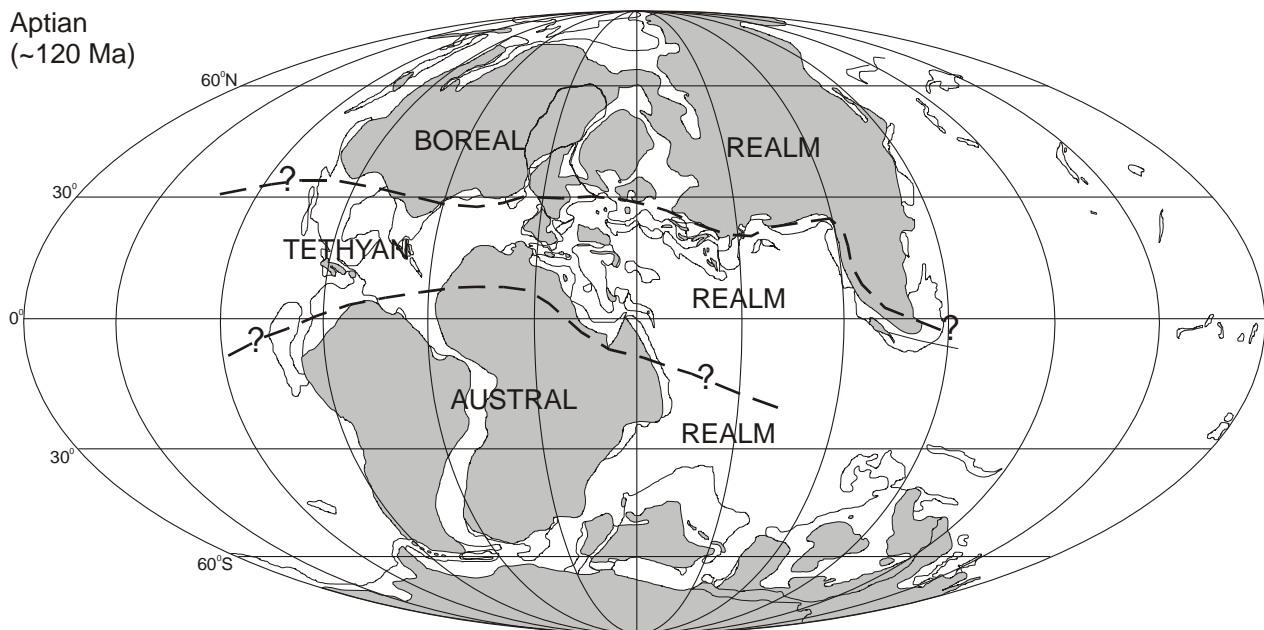


### 1.1 Het midden Krijt

De oorzaak van de ‘broeikas wereld’ tijdens het midden Krijt, gedurende welke omvangrijke veranderingen in biogeochemische cycli, klimaat en evolutie plaats vonden (b.v. Hay, 1995; Erbacher et al., 1996; Mutterlose et al., 1998; Premoli Silva and Sliter, 1999), wordt gezocht in een verhoogde productie van oceaankorst (b.v. bij de Kerguelen, Ontong Java, and Caribbean plateaus; Larson, 1991; Larson en Erba, 1999), waarschijnlijk in combinatie met van tijd tot tijd plotseling vrijgekomen methaan (Hesselbo et al., 2000; Weissert, 2000; Jahren et al., 2001). Dit resulteerde in verhoogde atmosferische CO<sub>2</sub> concentraties, met waarden die minstens vier maal hoger liggen dan de tegenwoordige (b.v. Berner, 1991), als ook in een mondiale zeespiegel stijging (zie Haq et al., 1988; Hardenbol et al., 1998). Met de actuele bezorgdheid over milieuveranderingen, die nu of in de toekomst als gevolg van de continue stijging van atmosferische CO<sub>2</sub> concentraties zouden kunnen optreden, maakt dat de oorzaken en gevolgen die ten grondslag lagen aan warme perioden zoals in het midden Krijt thema zijn van vele onderzoeks- en modelleringsprojecten.

Dat midden Krijt broeikas condities niet een constant stijgende trend lieten zien maar afwisselden met korte koelere perioden tijdens het Barreem-Aptien (~127-99 Ma), valt af te leiden uit de aanwezigheid van ‘dropstones’ (materiaal meegevoerd door ijsbergen) en glendoniet (pseudomorf van iakiet, calciumcarbonaat dat onstabiel is boven 0°C; o.a. Kemper, 1987; Frakes en Francis, 1990). Deze koelere perioden kunnen ook worden afgeleid uit verschuivingen van de grens tussen fauna- en floraprovincies die parallel aan de klimaatgordels verliepen en welke in de volgende algemene zones kunnen worden verdeeld (Figuur 1): de Arctische, Boreale (noordelijke, hoge breedte gematigde zone), de Tethys (lage breedte tropische-subtropische zone), en de Australische (zuidelijke, hoge breedte gematigde zone), en de Antarctische.



Figuur 1. Positie, bij benadering, van grenzen tussen de Boreale, Tethys en Australische flora- en faunaprovincies.

Age		Stage	Substages	Boreal ammonite zones					
EARLY CRETACEOUS					ALBIAN	U	<i>S. (S.) dispar</i>		
							<i>M. inflatum</i>		
						M	<i>E. lautus</i>		
							<i>E. loricatus</i>		
							<i>H. dentatus</i>		
						L	<i>D. mammilatum</i>		
					<i>L. tardefurcata</i>				
					APTIAN	U	<i>H. jacobi</i>		
							<i>P. nutfieldensis</i>		
						M	<i>E. martinioides</i>		
							<i>T. bowerbanki</i>		
						L	<i>D. deshayesi</i>		
							<i>D. forbesi</i>		
					<i>P. fissicostatus</i>				
					<i>P. bidentatum</i>				
					BARREMIAN	U	<i>S. stolleyi</i>		
							<i>S. pingue/ "A." innexum</i>		
							<i>P. denckmanni</i>		
						L	<i>P. elegans</i>		
							"H." <i>fissicostatum</i>		
							"H." <i>rarocinctum</i>		
					<i>S. variabilis</i>				
					ALBIAN	U	<i>S. (S.) dispar</i>		
							<i>M. inflatum</i>		
						M	<i>E. lautus</i>		
							<i>E. loricatus</i>		
							<i>H. dentatus</i>		
						L	<i>D. mammilatum</i>		
					<i>L. tardefurcata</i>				
					APTIAN	U	<i>H. jacobi</i>		
							<i>A. nolani</i>		
						M	<i>P. melchioris</i>		
							<i>E. subnodosocostatum</i>		
						L	<i>D. furcata</i>		
							<i>D. deshayesi</i>		
					<i>D. weissii</i>				
					<i>D. tuarkyricus</i>				
					BARREMIAN	U	<i>P. waagenoides</i>		
							<i>M. sarasini</i>		
							<i>I. giraudi</i>		
						<i>H. feraudianus</i>			
						<i>H. sartousiana</i>			
						<i>A. vandenheckii</i>			
					L	<i>H. caillaudianus</i>			
						<i>S. nicklesi</i>			
						<i>S. hugii</i>			
					Australian dinocyst zonation				
					ALBIAN	HETERO-SPHAERIDIUM	Xenascus <i>asperatus</i>		
							<i>Pseudoceratium ludbrookiae</i> (now <i>Encoceratium ludbrookiae</i> )		
					<i>Canninginopsis denticulata</i>				
					APTIAN	MUDERONGIA	<i>Muderongia tetracantha</i>		
							<i>Diconodinium davidii</i>		
							<i>Odontochitina operculata</i>		
							<i>Ascodinium cinctum</i> (now <i>Ovoidinium cinctum</i> )		
							<i>Muderongia australis</i>		
							<i>Muderongia testudinaria</i>		
					BARREMIAN	MUDERONGIA	<i>Muderongia testudinaria</i>		
							<i>Muderongia testudinaria</i>		

Figuur 2. Het biostratigrafische kader voor het Boreale (links) en Tethys (rechts) Domein gebaseerd op ammonieten (naar Leereveld, 1995 en Hoedemaeker en Rawson, 2000), en het Australische dinocyst zonatieschema (rechts) voor het midden Krijt (Helby et al., 1987).

Traditioneel wordt chronostratigrafie voor het Krijt gebaseerd op ammonieten (Figuur 2). Helaas werd directe biostratigrafische correlatie, en daardoor calibratie, van Australische sequenties tot nu toe belemmerd doordat hierin stratigrafisch diagnostische ammonieten ontbreken en door de aanwezigheid van sterke latitudinale verschillen tussen fauna- en floraprovincies.

Meer dan een decennium geleden is een uitgebreide dinoflagellaten zonatie voor stratigrafische correlatie van ondiep mariene sequenties ontwikkeld voor het Jura en Krijt in Australië (Helby et al., 1987; Figuur 2). Sindsdien is dit schema veelvuldig toegepast en heeft het zijn waarde voor pan-Australische, biostratigrafische correlaties bewezen maar, afgezien van de beperkingen voor correlaties tussen de verschillende hemisferen, konden alleen een beperkt aantal niveau's binnen dit schema gecalibreerd worden met Etages en Subetages van de stratigrafische standaard.

In de afgelopen jaren heeft de toegenomen kennis over organische dinoflagellaten cysten (dinocysten) laten zien dat deze zeer nuttig zijn als stratigrafisch middel voor correlatie van wijdverspreide, ondiep mariene secties (b.v. Prauss, 1993; Hoedemaeker en Leereveld, 1995; Leereveld, 1997; Toricelli, 2000). Aanvullend op het belang voor de stratigrafie kunnen

dinocysten ook gebruikt worden voor (palaeo-)milieu onderzoek. Omdat het verspreidingspatroon van dinocysten bepaald wordt door milieuomstandigheden (b.v. door temperatuur van het wateroppervlak, aanwezige nutriënten, saliniteit en hoeveelheid licht) kan de kwantitatieve samenstelling van geselecteerde groepen binnen een fossiele dinocysten assemblage uitsluitsel geven over palaeomilieu en palaeoklimaat (b.v. Wall et al., 1977; Davey, 1979; Lister en Batten, 1988; Smelror en Leereveld, 1989; Brinkhuis, 1994; Zevenboom et al., 1994; Leereveld, 1995).

Tijdens warme perioden in het midden Krijt nam de temperatuurgradiënt van de evenaar naar de polen af (Barron, 1983; Huber et al., 1995), met gevolg dat circulatie patronen in de oceanen verzwakten en vorming van diepwater verminderde. Hierdoor was er minder zuurstof in de waterkolom aanwezig en kon de 'zuurstof minimum zone' zich uitbreiden. Deze veranderingen leidden tot afzetting van karakteristieke, organisch rijke lagen (zwarte schalies) in diep mariene settings, ook wel 'Oceanic Anoxic Events' (OAE's) genoemd (Schlanger en Jenkyns, 1976; Jenkyns, 1980). De OAE's corresponderen met excursies in de koolstofisotopen ( $\delta^{13}\text{C}$ ) curve (Figuur 3) en in de totale hoeveelheid organische koolstof die werd opgeslagen (b.v. Menegatti et al., 1998; Bralower et al., 1999; Leckie et al., 2002). Verscheidene auteurs hebben intervallen onderscheiden in de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  gegevens afkomstig van verschillende gebieden waarin eenzelfde patroon met overeenkomstige amplitudes te zien zijn die zij definieerden als 'carbon isotope segments' (b.v. Menegatti et al., 1998; Bralower et al., 1999).

In Europese secties hebben onder andere Erba et al. (1999) en Wissler et al. (2002) laten zien dat de sterkste fluctuaties in de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  gegevens overeenstemmen met opvallende biostratigrafische gebeurtenissen (nannofossielen en foraminiferen). In de huidige studie wordt onderzocht of overeenkomstige patronen bestaan tussen dinocysten en de organische koolstofisotopen stratigrafie in Australische en Europese secties. Indien dit het geval is dan levert deze combinatie een sterk stratigrafisch middel voor het bepalen van Etage en Subetage grenzen in Australië. Deze studie richt zich dan ook op: de geochemie en palynologie van mariene sedimenten uit het midden Krijt van verscheidene Australische sequenties en hun relatie tot de standaard, ammonieten gecalibreerde Tethys sequenties, welke dan verdere vergelijkingen met secties uit andere domeinen mogelijk zouden maken. Dit zou dan leiden tot: 1) definitie van een biostratigrafisch kader met hoge resolutie gebaseerd op palynologie, 2) vergelijking en correlatie van  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  isotopen gegevens afkomstig van de verschillende domeinen, 3) karakterisering van de aard en verbreiding van mondiale palaeomilieu- en palaeoklimaatveranderingen.

## 1.2 Kader en opzet van het proefschrift

Met dit doel voor ogen, is de Europese sectie gekozen als referentie voor een mondiale correlatie de type sectie voor het Barreem van Angles, ZO Frankrijk (Birkelund et al., 1984). Eerdere studies aan deze sectie (die een Barreem-Aptien overganginterval bevat) hebben de ammonieten stratigrafie (Delanoy, 1995),  $\delta^{13}\text{C}$  isotopen stratigrafie (Wissler et al., 2002), en aanwezigheid van dinocysten (b.v. De Renéville en Raynaud, 1981; Srivastava, 1984; Wilpshaar, 1995) bepaald.

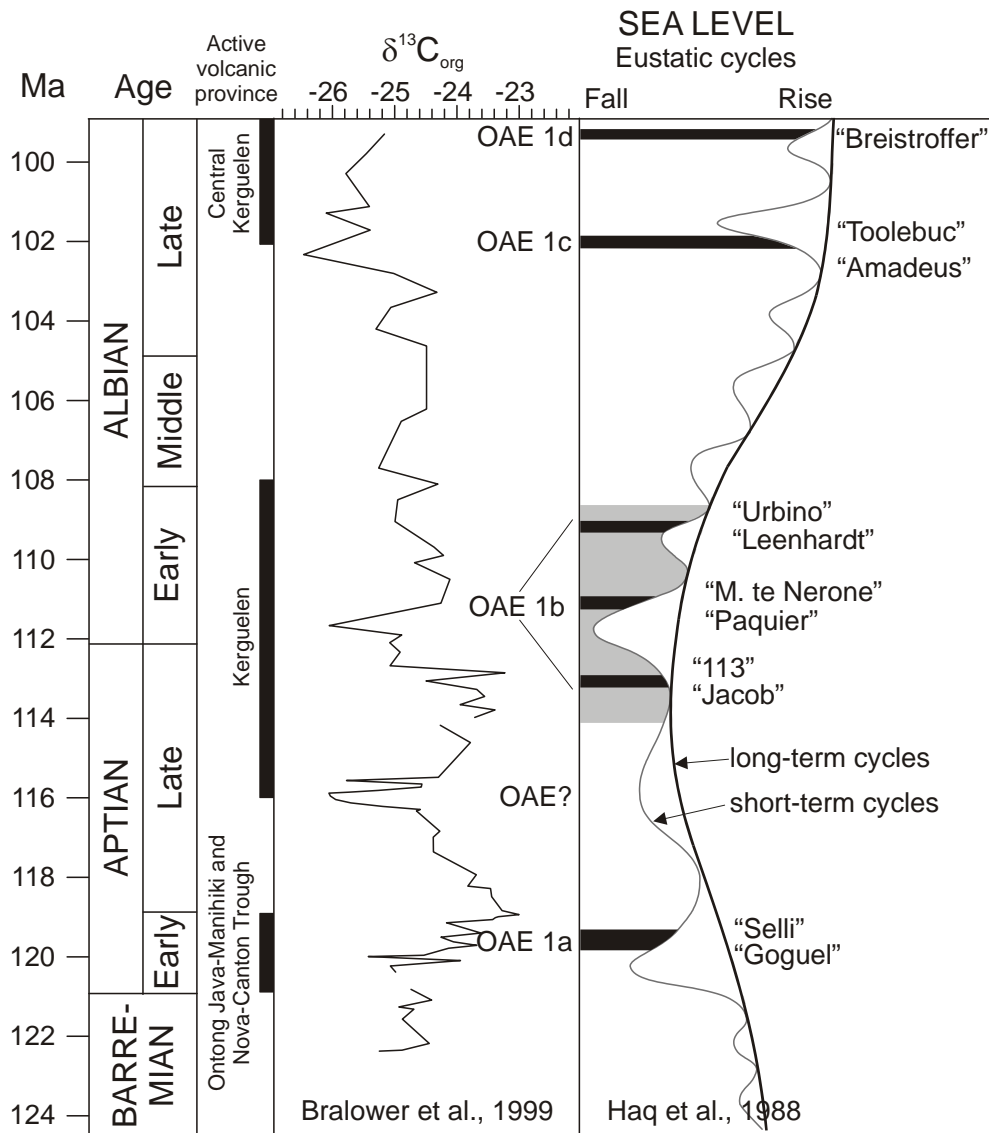
Een overeenkomstig stratigrafisch interval was bemonsterd in 'Deep Sea Drilling Project' (DSDP) site 263, gelegen op de continentale marge van NW Australië. Om het opgestelde biostratigrafische kader voor Australië te testen zijn boorkernen uit twee verdere afzettingseenheden gekozen c.q. uit het Carpentaria Bekken de 'Bureau of Mineral Resources' (BMR) Mossman-1 kern, en uit het Eromanga Bekken: 'Geological Survey of Queensland' (GSQ) Hughenden-7, GSQ Manuka-1, en GSQ Eromanga-1 kernen.

In Hoofdstuk 2 wordt de directe correlatie tussen een Barreem-Aptien, mariene sectie uit Australië met Europese ammonieten gecontroleerde standaard successies gepresenteerd. Gebaseerd op overeenkomstige stratigrafische gebeurtenissen in de ontwikkeling van dinoflagellaten

assemblages, zet het de correlatie tussen DSDP site 263 (NW Australië) en een equivalent interval van de Angles sectie (ZO Frankrijk) uiteen.

De correlatie levert negen dinocyst ‘index events’ op welke bruikbaar zijn voor vergelijkingen tussen de verschillende domeinen. Deze dinocyst ‘events’ maken tevens ouderdomsbepalingen binnen het Australische zonatieschema mogelijk.

Palaeomilieureconstructies aan de hand van de dinocyst assemblages in DSDP site 263 duiden erop dat tijdens het Barreem-Aptien de continentale marge van NW Australië invloed onderging van relatief koude waterstromingen.



Figuur 3. De midden Krijt curves van de meest uitgesproken zwarte schalies en ‘oceanic anoxic events,’ gerelateerd aan vulkanische provincies (naar Leckie et al., 2002). De koolstof isotopen curve is van Bralower et al. (1999) en de zeespiegel curve van Haq et al. (1988), c.q. de dunne, grijze lijn geeft de korte-termijn zeespiegel variaties weer en de dikke, donker grijze lijn de lange-termijn variaties (naar Leckie et al., 2002).

In Hoofdstuk 3 wordt het ontwikkelde tijds kader voor het Australische zonatieschema uit hoofdstuk 2 toegepast op BMR Mossman-1, gelegen in het noordoosten van Australië. Vergelijkingen tussen het Australische palynologische kader, uitgebreid met  $\delta^{13}C_{org}$  gegevens, en tijdsequivalente Tethys en Atlantische data tonen identieke stratigrafische veranderingen in bio- en

geochemie. Tevens duiden deze gegevens op een interval in BMR Mossman-1 dat zeer waarschijnlijk overeenkomt met ‘oceanic anoxic event’ (OAE) 1a.

Palaeomilieureconstructies zijn gebaseerd op groepen die zijn onderscheiden binnen de dinocyst en spore-pollen assemblages. Deze groepen duiden op warmere en vochtigere condities voorafgaand aan OAE 1a die veranderen naar koelere en drogere condities vanaf het begin van OAE 1a. De  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  resultaten leveren nieuwe details voor veranderingen die mondiaal kunnen worden geobserveerd in de koolstofisotopen stratigrafie voor het Barreem-Aptien en bevestigen de aanname dat OAE 1a mondiaal van invloed was.

In vergelijking met de mondiale zeespiegel curve van Hardenbol et al. (1998) kunnen de veranderingen in palynologie, koolstofisotopen stratigrafie en lithologie terug gevoerd worden op variaties in de derde orde cyclus.

In Hoofdstuk 4 wordt het dinocyst zonatieschema uit de hoofdstukken 2 en 3 verder getest door toepassing op drie kernen uit het Eromanga Bekken in oostelijk Australië, zijnde GSQ Hughenden-7, GSQ Manuka-1 en GSQ Eromanga-1.

De dinocyst ‘events’ gecombineerd met de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  gegevens geven een Vroeg Aptien tot Albien ouderdom voor de drie kernen. De veranderingen in palynologie, isotopen stratigrafie en lithologie reflecteren derde orde zeespiegelfluctuaties.

Uit vergelijking met gegevens van de BMR Mossman-1 kern uit het Carpentaria Bekken blijkt dat de aanvang van de mariene incursie in het Eromanga Bekken tijdens het midden Krijt gerelateerd is aan de zeespiegelstijging in het vroegste Aptien. Verdere vergelijkingen met tijdsequivalente gegevens uit de Tethys tonen aan dat de Toolebuc Formatie in Australië verband houdt met OAE 1c en correleert met het omkeringspunt van een relatieve, maximum daling van de zeespiegel in het vroegste Laat Albien.

Dezelfde groepen voor palaeomilieureconstructies als in het voorgaande hoofdstuk zijn toegepast. Deze geven koelere en drogere condities aan tijdens aanvang, veranderend naar warmere en relatief natte condities tijdens afzetting van het latere deel van de Toolebuc Formatie.

In Hoofdstuk 5 worden de Barreem tot Albien sequenties afkomstig uit de drie Australische afzettingsbekkens van het Vroeg Krijt met elkaar vergeleken. Hieruit blijkt dat de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  stratigrafie overeenkomstige variaties laat zien voor tijdsequivalente Australische, Atlantische en Pacifische secties. De waar te nemen excursies in de isotopen curves van Europese en Australische secties kunnen met behulp van biostratigrafische ‘events’ gecorreleerd worden. Voor het Barreem-Aptien interval blijken elf, successieve dinocyst ‘events’ te bestaan die voor mondiale vergelijkingen gebruikt kunnen worden. Correlatie van deze ‘events’ laat zien dat overeenkomstige patronen in de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  curves, afkomstig uit de Tethys, Boreale en Australische domeinen, optreden en dat twee periodes met ‘oceanic anoxic events’ (OAE 1a en 1c) ook in Australië herkend kunnen worden. Bovendien kunnen op deze wijze de grenzen van Etages en Subetages in Australië bepaald worden, als zodanig een tijds kader voor het Australische dinocyst zonatieschema opleverend.

De vergelijkbare patronen in de koolstofisotopen curves, en de respons van de palynologische assemblages in Australië en andere gebieden op palaeomilieu- en palaeoklimaatsveranderingen tijdens het midden Krijt geven aan dat OAE 1a en 1c van mondiale omvang waren. Het eerste anoxische event valt binnen de ‘transgressive systems tract’ van cyclus T13, en het tweede event correleert met het omkeringspunt van de regressieve R14 cyclus en daaropvolgende ‘transgressive systems tract’ van de T15 cyclus. Waaruit blijkt dat de drijfveren achter de verscheidene OAE’s verschillen.

Noot: De hoofdstukken zijn/worden afzonderlijk ingediend bij wetenschappelijke tijdschriften waardoor enige herhaling niet kon worden vermeden.