

VU Research Portal

Foreland of the Romanian Carpathians

Leever, K.A.

2007

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

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

citation for published version (APA)

Leever, K. A. (2007). *Foreland of the Romanian Carpathians: controls on late orogenic sedimentary basin evolution and Paratethys paleogeography*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam]. Netherlands Research School of Sedimentary Geology.

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

Voorland van de Roemeense Karpaten - over de laat orogene ontwikkeling van sedimentaire bekkens en de paleogeografie van Paratethys

Samenvatting

Sedimentaire bekkens bevatten een schat aan informatie over de ontwikkeling van de Aarde en de processen die daarin een rol speelden. Voor de prozaischer lezer: ze zijn ook een bron voor drinkwater en bevatten de olie- en gasreserves die tot de dag van vandaag onze voornaamste energiebron zijn; geothermische energie is een veelbelovende aanvulling. De patronen van de sedimentaire invulling geven informatie over de opheffing en daling van het aardoppervlak zoals die door mantelprocessen gestuurd wordt, en daarnaast over soms grote zeespiegelveranderingen. Veranderingen in leefmilieu en klimaat zijn vastgelegd door fossielen.

Het bestuderen van sedimentaire bekkens is daarom niet alleen vanuit een door nieuwsgierigheid gedreven wetenschappelijk perspectief gerechtvaardigd. Richtte de wetenschap zich oorspronkelijk op het achterhalen van de geologische geschiedenis van een bepaald gebied, in de moderne Aardwetenschappen is het doel verlegd naar het verkrijgen van een kwantitatief begrip van de verschillende processen die de Aarde gevormd hebben, en hun interactie. Deze benadering zal er uiteindelijk aan bijdragen in de vraag naar energie te voorzien en brengt kennis over de veranderingen in ons fysieke leefmilieu, waarbij de veranderingen in klimaat en zeeniveau enkele van de grootste uitdagingen van de 21e eeuw zijn.

Met het bovenstaande in het achterhoofd, gaat dit proefschrift in op de mechanismen die ten grondslag liggen aan de tektonische, sedimentaire en paleogeografische ontwikkeling van voorlandbekkens in de het tijdsbestek gedurende en met name na afloop van de vorming van het nabijgelegen gebergte. De ontwikkeling van een gebergte is nauw verbonden met die van zijn voorlandbekkens, een relatie waarvan is vastgesteld dat die ook na afloop van de actieve gebergtevorming voortduurt. Opheffing en daling zijn tektonisch gekoppeld in het berg-bekken systeem, dat eveneens een gekoppeld bron- en afzettingsgebied vormt voor sedimenten. Bovendien vormt het omhoogkomende gebergte een topografische barrière die de paleogeografische ontwikkeling van een gebied en de daarmee samenhangende veranderingen in leefmilieu bepaalt. Het samenbrengen van gegevens uit beide delen van het systeem is dus noodzakelijk om het geheel te begrijpen. Deze dissertatie maakt daarom onlosmakelijk deel uit van het onderzoek dat de laatste jaren uitgevoerd is binnen het kader van het Pannoonse Bekken - Karpaten programma van ISES (Netherlands Research Centre for Integrated Solid Earth Science).

De voorlandbekkens van de Roemeense Karpaten zijn een natuurlijk laboratorium met een dynamische ontwikkeling in alle bovengenoemde aspecten. Voortbouwend op een uitgebreide bestaande gegevensverzameling, helpen de aanvullende gegevens die in dit proefschrift gepresenteerd worden de mechanismen die de tektonische, sedimentaire en paleogeografische ontwikkeling van het studiegebied bepaalden, vast te leggen. De Karpaten zijn een boogvormig gebergte in centraal en oost Europa, dat zich in oostwaartse richting vanaf

de Alpen uitstrekt en een boog van 180° aflegt voor het zich in zuidwaartse richting bij het Balkangebergte voegt. Gedurende de Tertiaire verkorting en rotaties in de bergketen van de Karpaten begonnen de voorlandbekkens in Roemenie aan hun ontwikkeling op een voorland lithosfeer die uit een aantal in ouderdom, temperatuur en rheologie sterk van elkaar afwijkende delen is samengesteld. In paleogeografische termen is het post-orogene voorlandbekken van de Roemeense Karpaten bekend als het Dacisch Bekken, dat een aanhangsel van de Oostelijke Paratethys vormde.

Binnen het kader van de laat orogene ontwikkeling van de Roemeense voorlandbekkens, beslaat dit proefschrift twee delen, die zich op verschillende geografische regio's en probleemstellingen richten. Het onderwerp van het eerste deel van het proefschrift is de tektonische daling van het voorland van een gebergte, en het heeft tot doel (1) de invloed van laterale overgangen in lithosferische sterkte op syn-orogene bekkenontwikkeling vast te leggen, en (2) de kinematica van de anomale post-orogene verticale bewegingen in het voorland van de Zuidoost Karpaten te bepalen en deze te verklaren. Veranderende paleogeografische relaties zijn het onderwerp van het tweede deel van het proefschrift. Deze zijn het best te bestuderen in het westelijke deel van het Dacisch Bekken, in het voorland van de Zuid Karpaten. Hier is het doel, (3) de uitdrukking in het Dacisch Bekken van de grote zeespiegeldaling gedurende het Messinien (Messinian Salinity Crisis) in de Middellandse Zee te bepalen en (4) de oorzaken en gevolgen van veranderende connectiviteit binnen Paratethys na te gaan. Hierbij ligt de nadruk op de insnijding van de Donau in zijn kloof door de Zuid Karpaten en de gevolgen daarvan op de sedimentverdeling tussen het Pannoonse en Dacische bekken.

De resultaten in dit proefschrift zijn grotendeels gebaseerd op de interpretatie van 2D seismische reflectie data. Dat betreft zowel enkele nieuwe, in het kader van dit promotieonderzoek verkregen secties van hoge resolutie als gegevens die door de industrie beachikbaar zijn gesteld. Numerieke modellering, in de vorm van parameteranalyses van lithosfeer flexuur en van de interactie tussen lithosfeer- en oppervlakteprocessen, is daarnaast toegepast in dienst van de interpretatie van de seismiek, en om het relatieve belang van de verschillende processen die de bekkenontwikkeling beïnvloedden aan te kunnen tonen.

Het studiegebied in het eerste deel van het proefschrift, aan de voet van de Oost en Zuidoost Karpaten, is gekenmerkt door een voorland dat is samengesteld uit sterk verschillende stukken lithosfeer. Deze verschillen van elkaar in tectono-thermische ouderdom en samenstelling, en zijn daardoor gekenmerkt door een verschillende rheologie en vertonen bij eenzelfde belasting afwijkende patronen van doorbuiging of flexuur. Het oude Oost-Europese Kraton (EEC) wordt in het zuiden begrensd door het Scythische Platform dat op zijn beurt door het Noord-Dobrogea gebergte gescheiden is van het Moesian Platform (MP). De ontwikkeling van het voorlandbekken gedurende de oostwaartse verplaatsing en aangroei van de flyschgordel van de Oost Karpaten is bestudeerd met een 2D elastisch flexuurmodel. Een constante topografische last werd daartoe richting een overgang in lithosferische sterkte of stijfheid verplaatst, waarvoor de overgang in lithosfeersterkte tussen EEC en MP, onder een schuine hoek met het naderende gebergte, model stond. De resultaten wijzen uit dat een overgang in lithosfeersterkte in het voorland van een naderend gebergte leidt tot een

stapsgewijze verbreding van het voorlandbekken. De snelheid waarmee de bekkenrand zich voor het gebergte uit verplaatst kan tot 4 maal de verplaatsingssnelheid van het gebergte bereiken, afhankelijk van de gradient van de sterkteovergang. Een sterkteovergang met een breedte van 100 km verklaart de geometrie van het voorlandbekken gedurende het Sarmatian, dat veel breder is in het noorden dan in het zuiden. Daarnaast wordt een concentratie en versterking van buigspanningen langs de sterkteovergang voorspeld. Een dergelijk, door flexurele buiging ingegeven falen langs een de overgang tussen het Moesian en Scythische Platform kan de rekbreuken langs het Peceneaga-Camena breuksysteem verklaren.

Het wel meest opvallende verschijnsel in het voorland van de Oost-Karpaten is het Focșani Bekken aan de voet van de Zuidoostelijke Karpatenboog. In een gebied van zo'n 60 bij 120 km zijn tot 6 km sedimenten afgezet gedurende het Pliocéen en Kwartair, de periode volgend op de botsing, opheffing en gebergtevorming in de Oost Karpaten. Grenzend aan het gebergte zijn deze sedimenten ontsloten; steilgesteld tot verticaal aan toe en hellend naar het oosten. Door interpretatie en tijd-diepteconversie van nieuw geschoten hoge resolutie seismische lijnen kon de geometrie van de lagen op deze westelijke bekkenflank en de overgang naar het gebergte gedetailleerd in kaart gebracht worden. Met behulp van een kinematische reconstructie van de zo verkregen profielen konden drie verschillende ontwikkelingsperiodes van het bekken worden onderscheiden. De eerste fase, tijdens het Laat Mioceen, komt overeen met een periode van 'normale' voorlandbekken-daling gedurende en als gevolg van de gebergtevorming. De tweede fase, van het eind van het Mioceen en gedurende het Pliocéen, was gekenmerkt door daling over een groot gebied, dat het oostelijke deel van het huidige gebergte omvatte. Deze daling werd zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de neerwaartse trekkracht van de 'Vrancea plaat'. In de derde en laatste Kwartaire periode, werd het bekken geïnverteerd. In antwoord op ongeveer 5 km verkorting kwam het gebergte omhoog, een opheffing die gedeeltelijk geacommodeerd werd langs steile breuken onder de flyschgordel. Ten gevolge van de opheffing van de gebergtegordel kwamen de sedimenten op de westelijke bekkenflank mee omhoog en werden in hun subverticale positie gesteld terwijl de daling verder naar het oosten doorzette en daarbij aan nog 2 km sedimenten ruimte bood. Deze inversieperiode komt overeen met de regionale inversie van het Pannoons en Karpatengebied. De amplitude van de inversie (verticale bewegingen van enkele km) is groot in vergelijking met de rest van het gebied, veroorzaakt door de neerwaartse kracht van de Vrancea plaat en de overgang naar het rigide Oost-Europese Kration. De waarnemingen leidden tot de conclusie dat post-orogene tektonische bewegingen, veroorzaakt door intraplaatspanningen en de aanwezigheid van een achtergebleven gesubduceerde plaat, in staat zijn om significante vervormingen te veroorzaken in een gebergte en zijn voorlandbekkens, waarbij de bestaande patronen van dekbladstapeling overprint worden.

Het tweede deel van dit proefschrift speelt zich af in het Dacische Bekken in het voorland van de Zuid Karpaten, waar de rotatie van de Tisza-Dacia plaat langs de westelijke rand van het Moesian Platform de opening van de Getische Depressie tot gevolg had. Da-ling leidde hier tot de vorming van een tot 500m diep bekken dat in de loop van de tijd gevuld werd door klastische sedimenten afkomstig uit het omringende gebergte. De sedimentaire platforms

die zo gevormd worden bieden door hun interne structuur informatie over zeespiegelveranderingen. In het uiterste westen stroomt tegenwoordig de Donau het bekken in door de IJzeren Poorten, de uitgang van het ca 90km lange dal dat de rivier dwars door de Zuid Karpaten heen heeft uitgesleten. In dit deel van het proefschrift wordt de bekkenontwikkeling benaderd vanuit een paleogeografische invalshoek, waarbij speciaal aandacht wordt besteed aan de kenmerken van de Mediterrane MSC in het Dacische Bekken. Het centrale onderwerp is de uitdrukking van de verbinding tussen de watermassa's van Paratethys onderling, en tussen Paratethys en de Middellandse Zee, en de invloed ervan op zowel accommodatieruimte voor sediment als op de aanvoer ervan. De combinatie van seismische sequentiestratigrafie en modellering van oppervlakte transportprocessen, beide op bekken-schaal, blijkt in aanvulling op de traditionele biostratigrafische benaderingen een potentieel waardevolle methode om paleogeografische ontwikkeling te reconstrueren. Goede datering- en blijven een voorwaarde.

Door middel van de sequentiestratigrafische interpretatie van een samengestelde seismische lijn van meer dan 200 km lengte in het westelijk deel van het Dacisch Bekken, kon aangetoond worden dat de grote zeespiegelveranderingen die in de Middellandse zee de MSC kenschetsen, ook het Dacisch Bekken beïnvloed hebben. De aan deze gebeurtenis gelieerde zeespiegelveranderingen bereikten in het Dacisch Bekken een grootte van honderden meters, en zijn daarmee in zowel grootte als snelheid ruim van een andere orde grootte dan glacio-eustatische waarden. Een zeespiegeldaling van 200 meter gedurende het Midden Pontian kon aan de MSC worden toegeschreven. Deze daling legde de top van het siliciclastische platform bloot, waarmee het afzettingsgebied sterk verkleind werd, hetgeen leidde tot een schijnbare toename in sedimentatiesnelheden. Een grote laagwaterwig werd gevormd, die zich uitbouwde in het resterende ~300m diepe bekken. Gedurende het laagwater werd het zeeniveau constant gehouden door de hoogte van de Scythische drempel, waarlangs het bekken in verbinding stond met de Zwarte Zee. Gedurende het Laat Pontian, gelijktijdig met de Zanclean deluge, werd het bekken weer tot de rand toe onder water gezet.

De grote zeespiegelverandering van het Messinian zoals die op de seismische data is waargenomen duidt op communicatie tussen Paratethys en de Middellandse Zee, en riep vragen op over de verbindingen binnen Paratethys, specifiek tussen de Centrale en Oostelijke Paratethys, ofwel het Pannoone en Dacische bekken. De oorzaken en gevolgen van veranderende connectiviteit tussen deze twee bekkens via de Poort van de Donau in de Zuid Karpaten zijn nader onderzocht met behulp van numerieke modellering. Behalve zeespiegelveranderingen is het belang van een aantal andere factoren bestudeerd, die potentieel invloed hebben op het ontstaan en in stand houden van een verbinding tussen twee bekkens en de daarmee samenhangende sedimentverdeling. Dat betreft de geometrie en de opheffingssnelheid van de barrière, en de sterkte van de lithosfeer. Het belangrijkste resultaat van de modellering is dat de connectiviteit tussen twee bekkens zowel op accommodatie als op sedimentaanvoer invloed uitoefent, factoren die zodoende van elkaar afhankelijk blijven.

De modellering heeft aangetoond dat een verbinding via een rivier tussen twee grote sedimentaire bekkens, die gescheiden zijn door een topografisch hoog, slechts zal ontstaan als het niveau van het bovenstroomse meer tot de aan de rand van de barriere kan stijgen.

In het model heeft het bovenstroomse meer (Pannoonse Bekken) verreweg de grootste sedimentaanvoer, terwijl het benedenstroomse bekken (Dacisch Bekken) in open verbinding staat met de zee. Het invangen van het meer en/of de aanpassing van de riviergradient aan een benedenstroomse waterspiegeldaling leiden beide tot een daling van het niveau van het bovenstroomse meer. Het invanging tegenwerkende effect van isostatische terugvering kan door verschillen in erodeerbaarheid in de barrière, veroorzaakt door tektonische structurering, verminderd worden. De rivier kan hierdoor relatief diep in zijn dal insnijden. De sedimentverdeling tussen de bekkens, die het gevolg is van de ontstane verbinding, wordt primair bepaald door de accommodatieruimte in het bovenstroomse bekken, die op zijn beurt een functie is van het waterniveau en van daling. De sterkte of stijfheid van de lithosfeer is in dat opzicht de belangrijkste factor die de sedimentverdeling beïnvloedt; zowel het moment van de overgang van sedimentatie van het bovenstroomse naar het benedenstroomse bekken, als de snelheid ervan worden hierdoor bepaald. Een sterke lithosfeer leidt tot een snelle en plotselinge toename van de sedimentatie in het benedenstroomse bekken, terwijl voor een zwakke lithosfeer de overgang veel geleidelijker is. Het invangen van het bovenstroomse meer leidt op zichzelf niet tot een sterke toename in sedimentatiesnelheden in het benedenstroomse bekken, tenzij het invangen gebeurt als het meer al bijna opgevuld is. Het invangen van het meer kan ook de uiteindelijke opvulling versnellen doordat het tot een afname van de accommodatieruimte leidt. Het hoogteverschil tussen de twee bekkens is hiervoor bepalend. Lokaal, bij de invoer van de rivier in het benedenstroomse bekken, zal het invangen van het meer in elk geval leiden tot hogere sedimentatiesnelheden.

Nadat de open water communicatie door de Sarmatian opheffing van de Zuid Karpaten verstoord was, is de fluviatiele verbinding tussen het Pannoonse en Dacische bekken waarschijnlijk gedurende het Meotian hersteld. Hierop wijzen de lokale toename in sedimentatie bij de IJzeren Poort, de lage saliniteit en een waterbalans van het Pannoonse meer tijdens de endemische Pannonian etage. De zeespiegeldaling van 200m in het Dacisch Bekken gedurende het Messinian leidde tot diepere insnijding van de (paleo)Donau in de Karpaten, wat de verlaging van de waterspiegel van het Pannoonse meer tot gevolg had. De verbinding was vanaf dat moment permanent, en de door erosie verlaagde barrière zou zelfs een transgressie in het Dacisch Bekken naar het Pannoonse Bekken kunnen laten doordringen. De daling van de waterspiegel van het Pannoonse meer luidde het eind van de 2e orde 'Laat Miocene sequentie' in, versnelde de opvulling van het bekken en deed uiteindelijk de sedimentatiesnelheden in het Dacisch Bekken toenemen. Die toename was echter slechts geleidelijk vanwege de lage sterkte van de lithosfeer onder het Pannoonse Bekken, waar (ook de tektonische) daling doorzette en extra accommodatieruimte gegenereerd bleef worden voor grote volumes fluviatiele en ondiep-lacustriene sedimenten.