

VU Research Portal

Thermo-tectonic evolution of a convergent orogen with low topographic build-up

Merten, S.

2011

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

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

citation for published version (APA)

Merten, S. (2011). *Thermo-tectonic evolution of a convergent orogen with low topographic build-up: Exhumation and kinematic patterns in the Romanian Carpathians derived from thermochronology*. [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

Samenvatting

De manier waarop convergente gebergteketens zich manifesteren kan sterk verschillen, variërend van zeer hoge bergtoppen (bijv. het Himalaya gebergte, ~ 8 km) tot veel lagere bergtoppen (bijv. de Roemeense Karpaten, ~ 2 km). Convergente gebergteketens worden gevormd door het naar elkaar toe bewegen van tektonische platen. In het geval van zogenaamde “botsingsgebergten” wordt hierbij in eerste instantie afgeschraapt korstmateriaal van de onderduikende plaat opgestapeld voor de overschuivende plaat, waarna de naar elkaar toe bewegende continentale platen op elkaar botsen. Daarbij wordt de verkorting opgevangen door sterke deformatie van het korstgesteente en “groeit” het gebergte in de hoogte.

Op basis van observaties uit de Europese Alpen wordt de vorming van deze convergente orogenen vaak verklaard met behulp van het “dubbel-vergente wig model”. Hierbij wordt aangenomen dat materiaal uit de diepe korst naar de oppervlakte komt via grootschalige diepe breuken in de overschuivende plaat, op het moment waarop continentale botsing plaatsvindt. Dit model lijkt te kloppen voor gebergteketens die zijn gevormd door snel convergerende tektonische platen (zoals de Alpen). De ontwikkeling van veel gebergteketens wordt echter gedomineerd door snel onderschuivende platen (zoals de Apennijnen, Dinariden en Karpaten). Dit type gebergte wordt vaak gekenmerkt door een aanzienlijke component van lateraal materiaal transport en een geringe topografische opbouw. Omdat de ontwikkeling van gebergten voornamelijk moet worden afgeleid via observaties aan het aardoppervlak, maakt de geringe opbouw in de hoogte het moeilijker om inzicht te krijgen in de verkortingsgeschiedenis en de wisselwerking tussen opheffing en afbraak van dit soort gebergteketens.

Bovengenoemde gebergteketens kunnen vaak niet verklaard worden met het model van de “dubbel-vergente wig”: ze laten geen sporen zien van exhumatie van diep korstmateriaal tijdens de verkorting. Exhumatie van diepere korstgesteenten komt wel voor, maar pas in een later stadium als gevolg van het tektonisch afschuiven van stukken aardkorst door extensie van het achterland (d.w.z. in de overschuivende plaat). Door het snelheidsverschil tussen het naar beneden duiken van de onderste plaat, de mantel in, en het naar elkaar toe bewegen van de tektonische platen, trekt de rand van de onderschuivende plaat zich terug (het “roll-back” mechanisme). De extensie van de overschuivende plaat vangt dit op, en

verplaatst zich steeds verder naar het voorland toe. De verkortingsstructuren en de exhumatie van gesteenten in de kern van het gebergte worden in dit geval beïnvloed door een latere fase van extensie, waardoor het reconstrueren van de verkortingsgeschiedenis bij dergelijke terugtrekkende plaatgrenzen wordt bemoeilijkt.

Het doel van dit proefschrift is om inzicht te krijgen in de thermo-tektonische ontwikkeling van een convergent gebergte dat gedomineerd wordt door een terugtrekkende onderschuivende plaat. De Karpaten en het Balkangebergte zijn een typisch voorbeeld van zo een gebergteketen met geringe topografische opbouw tijdens de langdurige verkortingsgeschiedenis van Laat Jura tot Mioceen. De huidige verschijningsvorm, waarin de Karpaten, het Balkangebergte en de verbinding met de Dinariden geïsoleerde gebergten lijken is slechts schijn; het opbreken is veroorzaakt door een latere fase van Mioceen extensie van het achterland als gevolg van een terugtrekkende plaatgrens richting het Europese voorland (van de verdunde continentale korst van het “Carpathian embayment”). Het terugtrekken van deze convergerende plaatgrens begon ongeveer 20 miljoen jaar geleden, en creëerde daarbij de boogvorm van de gebergteketen en de tussenliggende sedimentaire bekkens. In het Roemeense deel van de Karpaten vond de grootschalige rek van het Pannoonse bekken ver in het achterland plaats. Daardoor zijn op deze locatie de deformatie structuren en de exhumatie van het gebergte als gevolg van verkorting nog steeds goed zichtbaar en vormt dit gebergte een ideaal gebied om de ontwikkeling van een laaggebergte te bestuderen. De positie van de Roemeense Karpaten binnen de complexe plaattektonische configuratie van de Alpen, Karpaten en Dinariden maakt het mogelijk om ook de effecten van geodynamische processen die plaatsvinden bij nabijgelegen plaatgrenzen te bestuderen.

Thermochronologie (de bepaling van “afkoelingsouderdommen”) en de analyse van geologische structuren zijn gecombineerd, met het doel een kwantitatief inzicht te verkrijgen in de ontwikkeling van de Roemeense Karpaten. Thermochronologische data verschaffen informatie over het moment waarop gesteenten door een bepaald temperatuursbereik heen afgekoeld zijn. Het achterliggende principe is dat bepaalde radioactieve vervalproducten alleen in specifieke mineralen bewaard blijven als deze genoeg zijn afgekoeld; op dat moment begint de “radiometrische klok” te lopen. De temperatuur neemt geleidelijk toe met de diepte van de aarde ($\sim 20\text{--}40^\circ\text{C}/\text{km}$). Met behulp van enige kennis van de plaatselijke geothermische gradient in de aardkorst kunnen deze tijd-temperatuur gegevens dus vertaald worden naar de exhumatie-geschiedenis van het gebied. De twee thermochronometers die toegepast zijn in deze studie zijn de splijtingsporen- en (U-Th)/He technieken voor het mineraal apatiet (respectievelijk de AFT en AHe methoden). Deze methoden hebben een temperatuursgevoeligheid in het bereik van $\sim 120\text{--}60^\circ\text{C}$ (AFT) en $\sim 85\text{--}40^\circ\text{C}$ (AHe) en leveren ouderdommen gekoppeld aan de lage-temperatuur geschiedenis op (Hoofdstuk 2). Hiermee is het mogelijk gedetailleerde afkoelingspatronen in de bovenste kilometers van de aardkorst af te leiden voor gebieden die worden gekenmerkt door geringe exhumatie. Nieuwe data zijn geïntegreerd met gegevens van eerdere thermochronologische studies om een regionale interpretatie van afkoelings- en exhumatiepatronen mogelijk te maken.

In Hoofdstuk 3 wordt op basis van AFT, AHe en structurele data de evolutie van het Apuseni Gebergte na de botsing van de Tisza en Dacia continen-

tale blokken besproken. Het Apuseni Gebergte neemt een interne positie in ten opzichte van de huidige Karpaten en Dinaridisch-Hellenische gebergtekets. De meeste aandacht gaat uit naar de Laat Krijt–Tertiaire ontwikkeling en de effecten van convergente processen bij twee naburige plaatgrenzen (de Sava en Ceahlău-Severin zones, respectievelijk in de Dinariden en de externe Karpaten). Op basis van de gereconstrueerde exhumatiegeschiedenis lijkt de huidige topografische expressie van het Apuseni Gebergte voornamelijk gevormd te zijn in het Laat Krijt, en beïnvloed te zijn door twee tektonische fasen in het Paleogeen. De Paleogene tektonische fasen kunnen worden afgeleid op basis van perioden waarin versnelde afkoeling en verkorting langs diepe breuksystemen plaatsvond, rond ~ 45 Ma en ~ 30 Ma. De exhumatie voor beide pulsen is in de orde van $\sim 3,5$ km en vindt gelijktijdig plaats met de continentale plaatbotsing in de Dinariden en met de rotatie van Tisza-Dacia om het Moesische voorland. Er zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat de Mioceene extensie van het Pannoonse bekken en de continentale plaatbotsing in de externe Karpaten een significant effect hadden op de exhumatiegeschiedenis. Dit is opmerkelijk, omdat tot nu toe werd aangenomen dat de topografische expressie van het Apuseni Gebergte in sterk verband stond met de vorming van het Pannoonse bekken en de inversie-fase die daarop volgde.

Een combinatie van de AFT en AHe technieken is ook toegepast op de Zuidoost Karpaten (Hoofdstuk 4). Hier worden afkoelingsouderdommen jonger naar het Moesische voorland toe, en variëren van Krijt voor de interne dikke korst dekbladen tot Mioceen–Kwartair voor de externe dunne sedimentaire dekbladen. De Krijt afkoelingsgeschiedenis van het interne deel van het gebergte kan gerelateerd worden aan tektonische fasen in het Albien en Senonian als gevolg van convergentie in de Ceahlău-Severin zone. Een fase van exhumatie in het Paleogeen doet vermoeden dat ook de Zuidoost Karpaten werden beïnvloed door de rotatie van Tisza-Dacia om Moesia. De daaropvolgende midden Mioceene continentale botsing van Tisza-Dacia met het Europese voorland (Moesia) blijkt uit de vastgestelde exhumatiesnelheden in de orde van $\sim 0,8$ mm/jr. De exhumatie in de Zuidoost Karpaten verplaatste zich naar het voorland tijdens de continentale botsing, wat sterk doet vermoeden dat dit gebergte zich niet ontwikkeld heeft volgens het “dubbel-vergente wig” model. De waargenomen exhumatiesnelheden voor het midden Mioceen zijn gelijk aan die voor de Oost Karpaten. In de Zuidoost Karpaten vonden daarna echter nog twee exhumatiefasen plaats in het externe deel van het gebergte. De eerste fase vond plaats in het laat Mioceen–vroeg Pliocen (~ 6 – 5 Ma) en werd gekenmerkt door hoge exhumatiesnelheden in de orde van $\sim 1,7$ mm/jr. Deze exhumatiefase kan worden gecorreleerd met een zeespiegeldaling in de Paratethys gedurende de “Messinian Salinity Crisis”. De jongste exhumatiefase in het Pliocen–vroeg Kwartair (~ 3 – 2 Ma) had een ook een hoge snelheid van $\sim 1,6$ mm/jr en is het gevolg van grootschalige verkorting van de continentale korst van de onderschuivende plaat.

Om meer inzicht te krijgen in de karakteristieken van de continentale plaatbotsing, is de gedetailleerde exhumatiegeschiedenis van de Zuidoost Karpaten uiteindelijk geïntegreerd in de regionale ontwikkeling van de gehele Karpatenboog (Hoofdstuk 5). Hiervoor zijn nieuwe AHe ouderdommen van dit onderzoek gecombineerd met AFT en AHe data uit eerdere studies. De gebergteontwikkeling tijdens de botsingsfase is af te leiden van de verkregen afkoelings-, exhumatie-, en

deformatiepatronen voor de periode van het Mioceen tot het Kwartair. In dit tijdsinterval bleken de deformatie en exhumatie zich door de tijd heen voornamelijk naar het voorland te verplaatsen, doordat breuken steeds dicht bij het voorland werden geactiveerd. Op een gegeven moment vond de breukactivatie echter ook plaats in een afwijkende volgorde (“out-of-sequence”), wat een indicatie is voor het optreden van de botsing. Door de sterke koppeling tussen de platen tijdens deze botsing (“foreland-coupling collision”) werd de onderschuivende plaat hierbij sterk gedeformeerd, zoals blijkt uit de steile diepe korstbreuken en de migratie van exhumatie in de richting van het voorland.

Laterale verschillen in exhumatiepatronen tussen de Oost, Zuidoost en Zuid Karpaten lijken voornamelijk het gevolg te zijn van het grote verschil in sterkte tussen de onderschuivende voorlandplaten in deze gebieden (nl. de Europese / Scythische plaat en de Moesische plaat). In de Oost Karpaten werd de Tisza-Dacia plaat samen met de Ceahlău- en externe sedimentaire dekbladen omhooggebracht. De sterke Europese/Scythische plaat werd gedeformeerd, maar de grens tussen Tisza-Dacia en de Europese plaat (de Ceahlău zone) bleef het voornaamste subductie contact. In de Zuidoost en Zuid Karpaten werd Miocene exhumatie alleen waargenomen in de externe dekbladen die dichtbij het voorland liggen. De overschuivende Tisza-Dacia plaat was in het Krijt al over het Danubische deel van de zwakke Moesische plaat geschoven. Het onderschuiven van de plaat tijdens het Mioceen vond plaats in een positie dicht naar het voorland toe, omdat het makkelijker was om de relatief zwakkere Moesische plaat “intern” te deformeren.

Hoofdstuk 6 geeft een overzicht van alle thermochronologische data die beschikbaar zijn voor de Roemeense Karpaten. De gegevens gepresenteerd in hoofdstukken 3 tot en met 5 en data uit eerdere publicaties zijn samengebracht in regionale thermochronologische ouderdomskaarten voor de zircon (met een temperatuursgevoeligheid van $\sim 230^\circ\text{C}$) en apatiet splijtingssporen methoden en voor de AHe methodiek. Dit hoofdstuk illustreert de ontwikkeling van de Roemeense Karpaten in zes tijdstappen van het Laat Krijt tot het Kwartair met exhumatie / begravingsskaarten en dwarsdoorsneden. Deze regionale kaarten laten de groot-schalige kinematische patronen zien in relatie tot de evolutie van de verschillende convergente plaatgrenzen. De resultaten benadrukken dat de effecten van processen die plaatsvinden bij deze naburige plaatgrenzen een grote rol kunnen spelen in de ontwikkeling van een complex gebied zoals de Roemeense Karpaten. Verder wordt er ingegaan op de link tussen de huidige topografische expressie en de jongst-waargenomen exhumatie fase. Deze analyse doet vermoeden dat een deel van de topografische expressie van de Roemeense Karpaten uit het Laat Krijt–Paleogeen stamt (het Apuseni Gebergte, de Zuid Karpaten en het interne deel van de Zuidoost Karpaten), in tegenstelling tot eerdere interpretaties die postuleerden dat deze gebieden sterk werden beïnvloed door de Miocene botsing in de externe Karpatenboog. Groot-schalige Miocene exhumatie beperkte zich tot de Oost en Zuidoost Karpaten. De daaropvolgende Pliocene–Kwartaire exhumatie episoden in het externe deel van de Zuidoost Karpaten hebben een sterke correlatie met de huidige topografische expressie van dit deel van het gebergte.