

---

## SAMENVATTING (SUMMARY IN DUTCH)

De Boven Rijndal Slenk (BRS) is het centrale segment van een Cenozoiisch slenkstelsel in het voorland van de Alpen. De BRS is ontstaan tijdens de vorming van de Alpen. Het ontstaan van de BRS wordt tevens door een significante opwelling van de mantel vergezeld. In het huidige spanningsveld wordt de BRS gereactiveerd in de vorm van een sinistrale *shearzone*. De reaktivatie wordt gekenmerkt door relatief langzame oppervlakte deformatie, een regionaal verhoogde kans op seismische activiteit en een significant merkbare oppervlakte daling (0.1 tot 0.2 mm/jaar geologisch, 1 mm/jaar geodetisch berekende ratios). De factoren die tot de huidige tektonische activiteit bijgedragen hebben zijn tot nog toe niet volledig begrepen. Informatie van de spanningstoestand in de aardkorst zijn slechts in weinige gebieden voorhanden. De seismische activiteit in de regio is niet beperkt tot de slenkrandbreuken, noch zijn er weinig seismisch actieve breuken bekend. Voor het grootste deel zijn breuken in de BRS niet bestudeerd en is weinig bekend met betrekking tot hun Kwartaire activiteit of de mogelijkheid tot reaktivatie in het huidige spanningsveld. Het doel van dit proefschrift is het onderzoeken en nabootsen van breuken in het huidige spanningsveld met behulp van de eindige elementen methode.

De eindige elementen methode wordt gebruikt voor het inschatten van de kinematische verhoudingen en de in-situ spanningstoestand in een geologisch systeem. De methode wordt op verschillende schalen gebruikt, zowel grootschalig (bv. de aardkorst) als kleinschalig (bv. tunnelboringen). In dit proefschrift worden verschillende schalen gebruikt om het huidige spanningsveld in een regionaal model, dat de gehele BRS omvat, na te bootsen. De in dit regionale model geobserveerde vervormingen en spanningen, worden vervolgens gebruikt als uitgangspunt die twee kleinere en gedetailleerdere modellen van het centrale deel en noorden van de BRS aandrijven. De kleinere en meer gedetailleerde modellen bevatten een groot aantal breuken. Voor het onderzoek van het in dit proefschrift gepresenteerde materiaal zijn verschillende commerciële software programma's, zoals gOcad®, HyperMesh® en ABAQUS™ gebruikt. Er is een methode ontwikkeld welke geometrisch complexe modellen kan genereren en numeriek oplossen.

Verschiedende gegevens zoals bv. de geometrische structuur, materiaal eigenschappen en randvoorwaarden zijn geïntegreerd in dit proefschrift om een model te bouwen en numeriek op te lossen. Het regionale model bestaat uit drie lagen: de bovenkorst, de

---

onderkorst en de lithosferische mantel. De variërende dikten van deze gesteentelagen resulteert in laterale dichtheidsvariaties, welke leiden tot extra spanningen in het regionale model. Daarnaast is de complexe Varistische structuur van de aardkorst nagebootst door middel van dichtheids variaties. De onderkorst en lithosferische mantel zijn gebruikt als extra randvoorwaarden om de bovenkorst aan te drijven. De slenkrandbreuken zijn in het model opgenomen als zogenaamde 'kontaktoppervlakken' die de natuurlijke condities van een breuk zo goed mogelijk nabootsen.

Om het regionale model numeriek op te lossen zijn geschikte randvoorwaarden noodzakelijk. Dit proefschrift richt zich op het vinden van de best passende randvoorwaarden door middel van het testen van verschillende bewegingscondities aan de modelranden. De zwaartekracht werkt op elk element in de richting van het middelpunt van de aarde. Om de spanningstoestand en de kinematische bewegingen in het onderzochte tijdsinterval te simuleren, zijn passende randvoorwaarden alleen niet toereikend. Een correcte initiële spanningstoestand welke de geometrische complexiteit en de geologische geschiedenis weerspiegelt is essentieel. In dit proefschrift zijn daartoe modellen gebruikt welke de ronding van de aarde honoreren om het effect van elastische samendrukking van gesteenten correct na te bootsen. Naast deze modelaanname is in het gehele model van een hydrostatische poriëndruk uitgegaan en van de uitgang aanwezige tektonische spanningen. De best passende initiële spanningstoestand is na meerdere modelfasen van o.a. zwaartekracht en verschillende grenscondities bereikt. In de laatste modelfase is de nagebootste spanning van het regionale model door middel van in-situ gegevens gekalibreerd. De gemodelleerde bewegingen en vervormingen van het gekalibreerde regionale model zijn vervolgens als grenscondities toegepast op de kleinere en meer gedetailleerde modellen. De resultaten van de kleinere modellen worden vergeleken en gekalibreerd met relatieve bewegingen geobserveerd aan het aardoppervlak en gemeten referentiegegevens.

De resultaten van het regionale model, met lateraal variërende aardkorstdikte en geometrische structuren, hebben een duidelijk effect op het huidige spanningsveld en de recente bewegingen. De resultaten van het regionale model zijn sterk afhankelijkheid van de aangenomen opwelling van de top van de onderkorst en lithosferische mantel. De modelresultaten geven duidelijk aan dat de huidige BRS zich in een transtensioneel spanningsveld bevindt en daaraan uitdrukking geeft in de vorm van een sinistraal horizontaal verschuiving-systeem. Het centrale segment uit zich als een *restraining bend*, waarbij de breuk en seismische activiteit wisselt tussen de

---

oostenlijke randbreuk en de westelijke randbreuk.

De resultaten van het eerste kleinschalige model duiden erop dat dit segment in het huidige spanningsveld meer aan compressie onderhevig is dan het noordelijke en zuidelijke segment. Het model voorspelt verschillende deformatie stijlen: zowel extensie en compressie breuken. Wanneer seismisch actieve breuken vergeleken worden met de resultaten van de gemodelleerde breukreactivatie is de conclusie dat destructieve aardbevingen in deze regio voornamelijk langs breuken met een lage reactivatietendens kunnen voorkomen.

De resultaten van het tweede kleinschalige model van het noordelijke deel van de BRS laten zien dat dit segment zich kenmerkt als een releasing bend. Ten opzichte van het huidige spanningsveld wordt de laterale compressie relatief verminderd door een verandering in orientatie van de grensrandbreuk. De resultaten van de breuktendensanalyse en de dilatatieanalyse voor dit breuksegment duiden op een verhoogde tectonische activiteit. Voor beide kleinschalige modellen bieden de analyses geen uitkomst met betrekking tot de seismische activiteit van individuele breuken. Het is echter interessant te vermelden dat de paar seismisch actieve breuken in het centrale en noordelijke deel van de BRS worden gekenmerkt door significant lagere slip tendens en dilatatie tendens waarden dan andere breuken die bewijs tonen voor groot verzet door de geologische tijd heen.