

## Über die mechanischen Ursachen von parallelen Abschiebungen

### Vortrag

Thorsten Nagel<sup>1</sup> Roger Buck<sup>2</sup>

Gruppen von parallel einfallenden Abschiebungen treten in der Natur sehr häufig und in unterschiedlichsten Dimensionen auf. Existierende, überwiegend experimentelle Arbeiten führen einheitliches Einfallen auf laterale Festigkeitsschwankungen oder, vor allem, auf horizontale Scherspannungen zurück (e.g. Brun et al. 1994, Behn et al. 2002). Einheitliche horizontale Scherspannungen im großen Maßstab werden mit einer konsistenten Fließrichtung in der mittleren und/oder unteren Kruste erklärt. Beobachtungen in einigen der bedeutendsten Rift-Systeme lassen jedoch beide Erklärungen als zentrale Ursache unwahrscheinlich erscheinen. In der Basin-and-Range-Provinz in den westlichen Vereinigten Staaten ändert sich die Einfallrichtung von parallelen Abschiebungen im Streichen der Störungen, so dass strukturelle Domänen mit intern einheitlicher Einfallrichtung entstehen, die von Blattverschiebungen untereinander getrennt werden. Eine solche Geometrie ließe sich nur mit bizarren Fließmustern in der Unterkruste erklären.

Wir präsentieren numerische Extensionsexperimente von sprödem Material, das auf einem linear-viskosen Substrat ruht. Parallele Abschiebungen treten in der oberen Schicht nur dann auf, wenn das Substrat mäßig viskos und nur eine relativ dünne Schicht ist, die eine in der vertikalen Richtung fixierte Untergrenze hat. Mit diesen Randbedingungen bilden sich parallele Abschie-

bungen auch dann, wenn die Untergrenze scherstressfrei ist. Wir erklären dieses Verhalten mit den Fließeigenschaften von Flüssigkeiten in dünnen viskosen ‚Kanälen‘. Die Wechselwirkung mit einem viskosen Substrat führt in erster Linie dazu, dass die Verformung in der spröden Schicht verteilt ist — die obere Lage wird boudiniert. Wenn der Abstand zwischen einzelnen Brüchen (Boudin-necks) kleiner als die elastische Wellenlänge der oberen Lage ist, minimiert eine Geometrie von einheitlich einfallenden Störungen die viskose Arbeit in der unteren Schicht. Dies ist so, weil in einem viskosen Kanal die zu leistende Arbeit quadratisch von der Entfernung zwischen Quellen und Senken im Fließmuster abhängt und eine Geometrie von parallelen Abschiebungen eben diese Entfernung minimiert.

Desweiteren unterscheiden wir zwei Geometrien, mit denen die spröde Lage in einem ‚Boudin-neck‘ nachgeben kann — einzelne Störungen und lokale Gräben, d.h. zwei entgegengesetzt einfallende Störungen, die sich nahe der Grenze zwischen sprödem und viskosem Material schneiden. Wir beobachten, dass ein hoch viskoses Substrat die Bildung von lokalen Gräben — im Gegensatz zu einzelnen Störungen — begünstigt. Am unteren Ende einer Störung treten im viskosen Material in einem begrenzten Bereich die höchsten Verformungsraten auf. Eine einzelne Störung muss dabei mehr Arbeit leisten als ein lokaler Graben, da es zu einem vertikalen Versatz der beiden Blöcke kommt. Diese ‚Strafe‘ für einzelne Störungen (die andere energetische Vorteile haben) nimmt mit zunehmender Viskosität des Substrats zu. Das heißt, dass das viskose Substrat bei der Bildung von parallelen Abschiebungen (die ja aus einer Folge ein-

<sup>1</sup> Geologisches Institut Bonn    <sup>2</sup> Lamont Doherty Earth Observatory, Palisades, NY, USA

zelen Störungen bestehen) nicht allzu hoch sein darf, da es sonst zur Bildung von einer Serie von Horsten und Gräben kommt. Ein niedrig viskoses Substrat führt jedoch zu weit auseinander liegenden Brüchen, wenn die viskose Lage dick ist oder eine schwimmende Untergrenze (Winkler-foundation) hat. Eine dünne, mäßig viskose Lage verbindet die beiden erforderlichen Eigenschaften, indem sie wenig Widerstand an der Untergrenze einzelner Störungen bietet und dazu die spröde Lage effektiv boudiniert.

In unseren Modell sind parallele Abschiebungen nicht, wie bisher angenommen, auf einheitlichen horizontalen Scherstress, sondern auf vertikale Normalspannungen zurückzuführen, d.h. auf den Widerstand, den das viskose Substrat vertikalen Blockbewegungen in der spröden Lage entgegengesetzt. Wenn unser Modell richtig ist, würde das für Gebiete wie die Basin-and-Range-Provinz bedeuten, dass die spröde Oberkruste auf einer wenige Kilometer dicken, viskosen mittleren Kruste liegt, die wiederum ein festeres Substrat hat. Die Unterkruste müsste deutlich fester sein als die mittlere Kruste. Es scheint, dass Folgen von parallelen Abschiebungen häufig in dünnen, niedrig viskosen Lagen (etwa Ton oder Salz) wurzeln.

## Literatur

- Behn, MD, Lin J & Zuber MT (2002) A continuum mechanics model for normal faulting using a strain-rate softening rheology: Implications for rheological controls on continental and oceanic rifting, *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 202, 725–740.
- Brun J-P, Sokoutis D & van den Driessche J (1994) Analogue modeling of detachment fault systems, *Geology*, 22, 319–322.