

## Paleo-Stress Paths in the Harz Mountains and surrounding areas (Germany) between the Triassic and the Upper Cretaceous

### Paläo-Stress Pfade im Harz und angrenzenden Gebieten (Deutschland) zwischen der Trias und der Oberkreide

FRANZKE, HANS JOACHIM, Clausthal, MÜLLER, RAINER, Clausthal, VOIGT, THOMAS, Jena, VON EYNATTEN, HILMAR, Göttingen

**Key words:** Harz Mountains/Germany, kinematics of fault tectonics, data base: simultaneously activated fault sets, paleo-stress fields of the Mesozoic, age controls by mineralising processes.

#### Abstract

In the Harz Mountains and its forelands, an almost continuous pile of sedimentary rocks of Paleozoic- and Mesozoic ages is exposed, so that the paths of the tectonic evolution are recordable under stratigraphic and radiometric age controls. This paper focuses on the reconstruction of pale-stress fields, which were active in Mesozoic times (proposed stress-stages 4 and 5). Variscan (stages 1 to 3) and post-Cretaceous stress patterns (stage 6) are still under investigation. The author's determined pale-stress axis from 140 exposures in hydrothermal mineralised fracture zones inside of the Harz block framed by Paleozoic wall rocks and Mesozoic rocks in the Northern border fault zone and the Subhercynian Basin. Time controls of fault activations are based on radiometric data from hydrothermal vein structures and on the stratigraphic record in Mesozoic rocks of the forelands. To determine the paleo-stress axis in single outcrops, synchronously activated fault sets and other structural elements like pressure solution seams, mineral fibre growth, mineralised feather jogs, drag folds from fault flanks and other kinematic increments were used. The pelitic and evaporitic rock interbeds, mainly from the basis of the cover rocks (Zechstein), played an important role such as geo-hydraulic and geo-mechanical barriers for the fracture tectonics in Mesozoic times. They hindered fluid transfers and provided a geomechanic decoupling of the Variscan basement from the overlying cover rocks. Accelerated erosion of the cover rocks from the uplifting Harz block in the Upper Cretaceous resulted in an increase of fluid pressures and in a decrease of effective pressures below the barrier. This situation favoured an increase in the stress sensitivity of the fault sets resulting in several fault activations, which can be deduced from the precipitation of numerous mineralising stages (mineral assemblages) in the vein structures of the Harz Mountains.

In the Triassic and Jurassic, the N–S trending swells (Altmark-Eichsfeld Swell) and rifts (Keuper Graben on the top of the Altmark-Eichsfeld Swell, Gifhorn Trough of the Jurassic) indicate E–W trending minimal principal stresses. Since the Upper Triassic/Lower Jurassic, the minimal horizontal stress axis fluctuated to SW–NE (stage 4). Therefore, faults, striking in the sector around NW–SE were predestined now to be activated as normal faults and oblique faults. This mechanism generated fluid circulation cells and the precipitation of fault bound polysulphide mineralisations below the evaporitic/pelitic barrier of the cover rocks (stage 4.1 Upper Triassic/Jurassic). Mineral precipitation took place in course of pressure and temperature decrease caused by uplift/erosion in the area of the Harz block. Mixing of fluids from below and above the barrier and the precipitation of carbonate-fluorite-barite veins was possible, since the primarily more than 2 km thick pile of cover rocks was partly eroded, allowing fault planes to crosscut the barrier (stage 4.2).

It must be emphasized that there is no evidence in the stratigraphic record for the existence of the Harz block and a distinct Harz border fault before the Late Upper Cretaceous. Pre-tectonic sedimentary deposits of Permian to Cretaceous were later incorporated into the frontal thrust of the Harz block and crop out in a wide flexure zone (“Aufrichtungszone”) as the southern rim of the frontal fault bulge. Late Cretaceous syntectonic sediments overlap on these rotated sediments with five successive angular unconformities.

Reverse faulting observed in hydrothermal vein structures of the Harz block as well in the flexure zone in front of the Harz border fault indicate younger as convergent tectonic pulses (stage 5) in cooperation with accelerated uplift and erosion in the Harz block. Fission track data argue for an amount of uplift/erosion of more than 5 km in the northern part of the Harz block, commencing between 85–73 Ma.

These convergent pulses acted from S to SW rotating and transforming older normal faults and transformed them to reverse faults and thrusts. These activations converted the signs but not the direction of the stress field since the Campanian and inverted the Harz border fault to a northward-directed thrust zone.

## Zusammenfassung

Im Harz und seinen Vorländern steht für die Aufzeichnung struktureller Prozesse ein fast kontinuierliches Profil sedimentärer Gesteine zwischen dem Altpaläozoikum und der späten Oberkreide zur Verfügung. Ferner lassen sich Angaben zu Vertikalbewegungen aus der Höhenlage von tertiären Verebnungsflächen und darauf abgelagerten Sedimenten des Känozoikums gewinnen.

Durch Spaltspurdaterungen an Apatiten und radiometrische Altersdatierungen von Mineralisationsprozessen können stratigraphisch kontrollierte strukturelle Aussagen zeitlich noch besser eingeordnet werden. Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Rekonstruktion von Paläostressfeldern, die im Mesozoikum wirksam waren. Im Gebiet des Harzes sind dies die Stadien 4 und 5 innerhalb der bisher ausgegliederten 6 Stadien der variszischen und postvariszischen Entwicklung.

Zur Ermittlung der Paläostressfelder wurden Störungspopulationen nach zeitlichen und kinematischen Aspekten gruppiert und nach Abgleich mit der stratigraphischen Position der Aufschlüsse und einigen radiometrischen Altersdaten den einzelnen Stadien der Stressfeld-Entwicklung zugeordnet. Durch die Einbeziehung weiterer kinematischer Kriterien wie Drucklösungsvorgängen (H- und V-Styrolithen), Wachstumsrichtungen von Mineralgefügen (Mineralfibern) und der Raumlage von mineralisierten Fiederspalten wurden die gewonnenen Stressdaten zusätzlich abgesichert. Bedeutungsvoll ist die abschirmende Wirkung der Salinarbarriere des Zechsteins für die hydraulische und mechanische Abkopplung des variszischen Unterbaues vom Deckgebirge.

Die um N–S ausgerichteten paläogeographischen Konturen des Oberperms und der Trias (Hessische Senke, Eichsfeld-Schwelle, Gifhorn-Trog, Thüringische Senke) sind durch die Ausrichtung der minimalen horizontalen Hauptspannung in E–W-Richtung charakterisiert. Dieses Stadium wurde nicht näher untersucht, da es als Störungsinventar nicht erhalten ist. Die Aktivierung/Reaktivierung von WNW–ESE-Brüchen im Deckgebirge des Harzvorlandes ist seit der Obertrias/Jura festzustellen (Stadium 4). Dem entsprechen nach Störungs kinematik und einigen radiometrischen Altersdaten die unterhalb der Z-Barriere im Harz auftretenden Polysulfid-Gänge (Sub-Stadium 4.1). Deren Spaltenöffnung wurde durch hohe Fluiddrücke (Brekzientexturen) unterhalb der Staubarriere des Zechsteins begünstigt. Karbonat-Fluorit-Baryt Gänge (Sub-Stadium 4.2) sind durch Fluidmischung von Oberflächenwässern mit Tiefenwässern entstanden und jungmesozoischen Alters.

Ein Aufstieg der Harzscholle ist aus der stratigraphischen Aufzeichnung der gleichzeitig einsinkenden Subherzynen Senke erst für die Oberkreide ab dem Coniac nachweisbar. Die Bildung der bis zu 2 km breiten Aufrichtungszone der mesozoischen Schichtfolge am Schollenrand ist das alleinige Produkt der oberkretazischen Tektonik. Sie stellt den von der Erosion verschonten unteren Bereich der großen S-förmigen Flexur dar, die auch noch die inzwischen erodierte, ca. 2 km mächtige Deckgebirgshaut am Nordrand des Harzblockes, umfasste. Durch die immensen Vertikalverschiebungen am Harznordrand von mehr als 5 km, die nach Spaltspurdaterungen an Apatiten aus Magmatiten des Harzblockes vor 85–73 Ma (Santon/Campan) begannen, ist diese Flexur zur heutigen Nordrandstörung durchgerissen. In den oberkretazischen Sedimenten unmittelbar an der Schollenkante des Harzes sind durch die in Impulsen wirkende synsedimentäre oberkretazische Blockhebung mindestens fünf Winkeldiskordanzen entstanden, die zum Inneren des Subherzynen Beckens ausklingen. Hierdurch sind ältere Sedimente stärker, jüngere Sedimente weniger rotiert worden.

Die Transformation der Nordrandflexur/Nordrandstörung zu einer nach SSW einfallenden Auf- bis Überschiebungszone mit N-Verschiebung der Harzscholle (Stadium 5) wurde durch einen drastischen Wechsel des Spannungsfeldes in der späten Oberkreide erwirkt. Die langfristig wirkende Abschiebungstektonik an den WNW–ESE- Brüchen wurde durch die Umlagerung der maximalen horizontalen Hauptnormalspannungen (SSW–NNE) von konvergenten Schollenbewegungen mit Auf- und Überschiebungen abgelöst.