

Spätpleistozäne bis frühholozäne Tektonik in einem Karsttrichter im Bereich der Störungszone des Harznordrandes nahe Benzingerode (Sachsen-Anhalt)

HANS JOACHIM FRANZKE¹, NORBERT HAUSCHKE² & MEINOLF HELLMUND³

¹ Dr. Hans Joachim Franzke, Institut für Geologie und Paläontologie der Technischen Universität Clausthal, Leibnizstraße 10, D-38678 Clausthal-Zellerfeld, E-Mail: franzke.clz@gmail.com

² Dr. Norbert Hauschke, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Von-Seckendorff-Platz 3, D-06112 Halle (Saale), E-Mail: norbert.hauschke@geo.uni-halle.de

³ Dr. Meinolf Hellmund, Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Domplatz 4, D-06108 Halle (Saale), E-Mail: meinolf.hellmund@zns.uni-halle.de

Schlüsselwörter: Karsttrichter, spätpleistozäne bis frühholozäne Tektonik, Störungszone des Harznordrandes

Keywords: Sinkhole, late Pleistocene to early Holocene tectonic, “Harznordrand“ fault

Zusammenfassung

In einem Karsttrichter etwa 1 km SSE von Benzingerode wurde eine Störung im Bereich der Nordrand-Störungszone des Harzes angetroffen (Flächenlage 15/75), die einen wahrscheinlich spätweichselkaltzeitlichen solifluidalen Schuttstrom schneidet und kumulativ um mindestens 1 m dextral-schrägabschiebend nach ENE verwirft. Die durchtrennten Sedimente zeigen an, dass es sich um spätpleistozäne bis frühholozäne Aktivitäten in der Nordrandstörungszone des Harzes handelt. Es können auf dieser Störung zwei Aktivierungen ausgehalten werden, die mit dem heute in weiten Teilen Mitteleuropas ansetzenden Stressfeld (SHmax aus SE bis SSE) kompatibel sind.

Abstract

In a sinkhole, located about one kilometer SSE of the village of Benzingerode, a fault (fault plan 15/75) was discovered in the area of the “Harznordrand” fault. This fault cuts a solifluidal debris flow of the last glacial period that probably is of late Weichselian age. The fault of at least 1 meter throw is a normal fault with a dextral component to the ENE. These fault activities point to late Pleistocene to early Holocene activities in the range of the “Harznordrand” fault. Two activities can be observed on this fault, which are compatible with the stress field (SHmax from SE to SSE) pushing wide parts of present Middle Europe (SHmax from SE to SSE).

1. Einleitung

Vom 7. bis 20. September 2013 wurde im Bereich der Harzaufrichtungszone zwischen Wernigerode und Neinstedt eine geologische Lehrveranstaltung des Instituts für Geowissenschaften und Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Geowissenschaftliche Geländemethoden; N.H. und M.H.) durchgeführt. Während der Kartierarbeiten wurden am 13. September 2013 von den beiden Studierenden Frau GESINE KLIESCH und Herrn MIKE NEUMANN im Bereich der Harznordrandstörung südlich von Benzingerode im nördlichen Hangbereich des Röseberges zwei dicht beieinander liegende Erdfälle entdeckt. Diese befinden sich am südlichen Rand des Zechstein-Ausbisses, also unmittelbar nördlich der Hauptstörung des nördlichen Harzrandes (Abb. 1).

Der östlich gelegene Erdfall wies einen nahezu kreisrunden Querschnitt (Durchmesser 3 m) bei einer Einsturztiefe von ca. 7 m auf. Aufgeschlossen war unter einer dünnen Bodendecke etwas Löß, gefolgt von 1-2 m mächtigen Residualbildungen, so dass bereits in 2-3 m Tiefe (steile Hanglage) geschichtete Zechsteinsulfate anstehen (Abb. 2).

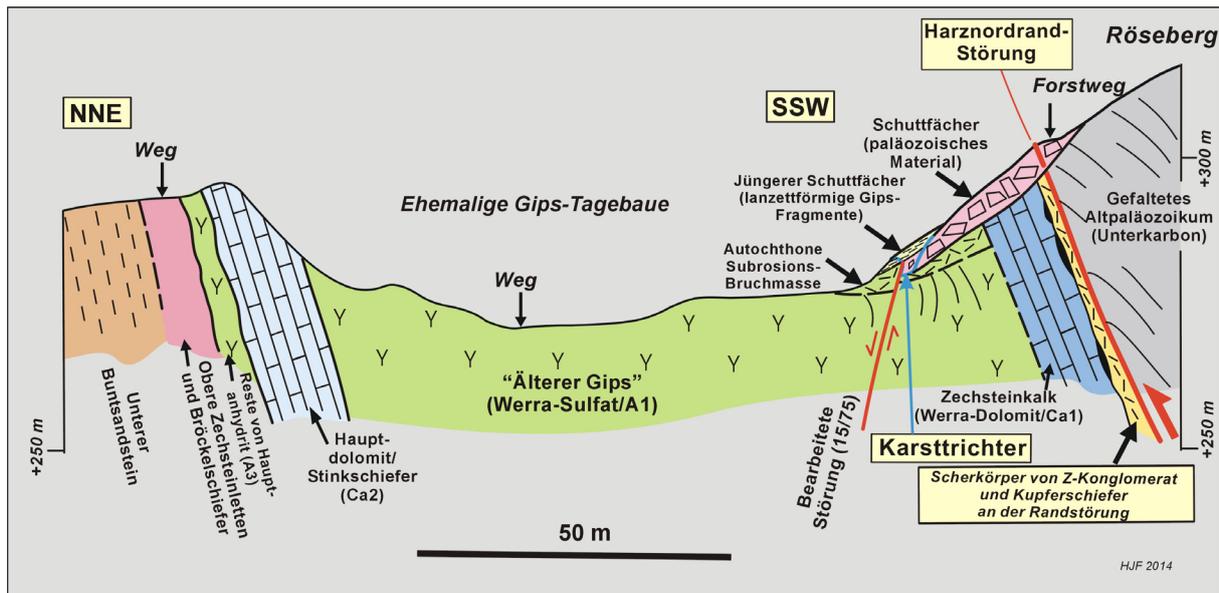


Abb. 1 Querprofil durch die Harznordrandstörung und die Aufrichtungszone am Röseberg, 1 km SSE von Benzingerode. Die Lage der im Quartär aktiven Nebenstörung zur Hauptstörung des Harznordrands (westlicher Karsttrichter) ist durch einen Pfeil hervorgehoben.

Der 8-10 m westlich und etwas tiefer am Hang gelegene zweite Erdfall präsentierte sich in frischem Zustand und zeigte zunächst noch keinerlei Veränderungen durch nachrutschenden Hangoberboden, was auf ein sehr zeitnahes Einsturzereignis hindeutet. Dieser Erdfall wies einen SSW-NNE gestreckten ovalen Querschnitt von 5 m Durchmesser auf bei einer geringeren Tiefe von nur etwa 2 m. An dessen östlichem Einsturzrand ist eine steil nach NNE einfallende Störung aufgeschlossen. Südlich der Störung wurden quartäre Fließerden mit paläozoischem Geröllbestand und nördlich davon Einsturzbrekzien mit Sedimenten des Zechsteins (Werra-Formation) angetroffen, die noch von umgelagerten Karstmassen (Residuen) überlagert werden (Abb. 3).

Da kaum natürliche Aufschlüsse im Bereich der Harznordrandstörung existieren, sind temporäre Aufschlüsse von großem geowissenschaftlichen Interesse, so dass uns die Dokumentation und eine Publikation wichtig erschienen. Bei den neuen Aufschlüssen handelt es sich um bisher nicht beschriebene junge (spätpleistozäne bis frühholozäne) Aktivitäten an der Nordrandstörung des Harzes. Nahe dem etwa 4 km östlich

gelegenen Kloster Michaelstein (Teufelsbad II) wurden bei Baumaßnahmen umfangreiche Aufschlüsse in der Störungszone des Harznordrands geschaffen und ebenfalls detailliert untersucht (FRANZKE & OSSWALD 1997).

Besonders interessant für die jüngere tektonische Entwicklung der Harznordrandstörung ist der westliche der beiden Tagesbrüche, da in diesem eine Störung angetroffen wurde, die der Haupttrandstörung des Harzes nördlich vorgelagert ist, an der ein von der Hochscholle des Harzes kommender Grauwacken-Schuttächer gegen Subrosionsbildungen des Werra-Sulfats versetzt wird.

Nachforschungen ergaben, dass am 10. September 2013 um 12.36 Uhr MESZ (10.36 UTC) ein schwaches seismisches Ereignis mit einer Magnitude von $M_w = 2.2$ mit Epizentrum in Elbingerode stattgefunden hatte (<http://juskis-erdbebennews.com>). Dies wird bestätigt durch Aufzeichnungen der Erdbebenmessstation Wimmelburg. Dabei blieb zunächst offen, inwieweit es sich um natürliche seismische Aktivitäten oder um einen bei Sprengarbeiten induzierten Erdstoß handelt hat. Eine diesbezügliche Anfrage bei



Abb. 2 Blick in den nahezu kreisförmigen östlichen Karsteinbruch mit ca. 3 m im Durchmesser (Koordinaten: R 44 22 608, H 57 44 115; Aufschlussituation am 2. März 2014). Unter einer dünnen Bodendecke und einem Lößschleier folgen 1-2 m mächtige Zechstein-Residuate und darunter steil nach NNE einfallende undeutlich geschichtete Gipse (Werra-Sulfat/A1).

der Fels-Werke GmbH (Kalkwerk Hornberg, Elbingerode) ergab, dass laut Sprengprotokoll im Tagebau Elbingerode am 10. September 2013, um ca. 12.30 Uhr, eine Sprengung ausgeführt wurde. Die Frische zumindest des westlichen der beiden Einbrüche legt einen engen zeitlichen Zusammenhang mit den Sprengarbeiten in Elbingerode nahe, lässt sich aber letztlich nicht beweisen. Als Ursachen ist die andauernde Subrosion im Ausstrich des Zechsteinsalinars zu diskutieren, wodurch es immer wieder zum periodischen Nachbrechen von Karsthohlräumen und zur Entstehung von eckig-fragmentierten Bruchmassen kommt. Wenn dabei Gleitflächen entstehen, zeigen die Gleitspuren in Einfallrichtung der Flächen. Eine Triggerung von solchen Erdfällen oder gar von deutlich messbaren Schrägverschiebungen durch die Einwirkung von Sprengungen in den 8-9 km ent-

fernten Kalksteintagebauten von Elbingerode oder durch Erschütterungen beim Befahren des 25 m südlich der Karsteinbrüche verlaufenden Holzabfuhrweges ist sehr unwahrscheinlich. Beim Nachbrechen von Karsthohlräumen kommt es nicht, wie im westlichen Trichter festgestellt, zur Entstehung diskreter Scherbrüche mit Schrägbewegungen und mit Störungsversätzen im Meter- bis Dekameterbereich, die sich zudem noch in das rezent wirksame Stressfeld einfügen.

2. Geologische Situation im Bereich der Aufschlüsse

Die beiden Erdfälle SE von Benzingerode befinden sich 25 m nördlich des Forstweges, der vom Hellbach-Tal aus nach WNW zum Nordabhang des Röseberges hinaufführt. Südlich des Forstweges (N-Hang Röseberg) stehen gefaltete Grauwacken und Tonschiefer

des Unterkarbon III an (siehe Querprofil, Abb. 1). Direkt nördlich des Forstweges treten unter einem Schuttschleier vereinzelt gelblich zersetzte, intern brekziierte und teilweise bituminöse Karbonat-Lesesteine auf, die dem Werra-Karbonat (Zechsteinkalk, Ca1) zugeordnet werden können. Nach den Erläuterungen zum geologischen Messtischblatt Blatt Derenburg (SCHRÖDER & DAHLGRÜN 1927) sind südlich, d. h. im Liegenden des Werra-Karbonats der ehemals zahlreichen, dem Harzrand folgenden kleinen Gips-Steinbrüche sowie in einem alten Erkundungsstollen und einer Bohrung (ca. 300 m westlich im Limbach-Tal) punktuell auch linsenförmige Scherkörper von Zechstein-Konglomerat und Kupferschiefer angetroffen worden. Im Limbach-Tal ist der tektonische Kontakt von geröteten Grauwacken (ehemalige permische Landoberfläche) zum Zechstein-Konglomerat im Bachbett zu erkennen. Das stratigraphische Profil des basalen Zechsteins ist damit trotz der Zerschering an der Hauptstörung des Nordharz-Störungssystems in reduzierter Form erhalten geblieben (Abb. 1).

Die beiden kleinen Einbruchtrichter liegen am Südrand des Ausstrichs der Sulfatgesteine des Zechsteins (Werra-Sulfat/Zechstein 1/Z1), die entlang des Harzrandes ein ca. 100 m breites Pingenfeld bilden, in dem bis zur ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in mehreren Kleintagebauen Gips abgebaut wurde. Dieser massive Sulfathorizont wird in den geologischen Karten als „Älterer Gips“ ausgehalten und entspricht dem Werra-Sulfat (A1). Die große Mächtigkeit erklärt sich durch die Lage der Aufschlüsse auf der SE-Flanke der permischen Eichsfeldschwelle. Nach Norden schließen sich mit 85° nach SSW einfallende (steil-überkippte) graue, 20-25 m mächtige plattige Karbonatgesteine an, die nach den Angaben von SCHRÖDER & DAHLGRÜN (1927) noch ein teils rotes Tonsteinband („Lettenband“) enthalten und dem Hauptdolomit/Stinkschiefer (Ca2) zuzurechnen sind. Sie enthalten dunkle bituminöse Lagen, womit sich mit diesen „Stinkkalk“-Lagen im Raum

von Benzingerode bereits Übergänge von der Eichsfeld-Schwelle (Karbonate) zur beckenwärtigen „Stinkschiefer“-Fazies bemerkbar machen. Weder sind der „Graue Salztou“/T3 vom Z3, noch der Ca3 („Plattendolomit“ der Becken-Randfazies) entwickelt, jedoch ist der „Jüngere Gips“/Leine-Sulfat/Hauptanhydrit/A3 punktuell nördlich des Ca2 nachzuweisen. Er wird von den „Hangenden Zechsteinletten“ gefolgt, die in diesem Bereich wegen des auflagernden quartären Schuttschleiers nicht differenzierbar sind und in den Unteren Buntsandstein überleiten. Die gesamte Abfolge steht nahezu senkrecht bis zur örtlichen Überkipfung und bildet den südlichen Teil der bis zu über 2 km breiten Aufrichtungszone, die sich infolge der intensiven, mehr als 5 km betragenden Hebung des Harzblocks seit der Oberkreide (ca. 85 Ma) entlang dieser wichtigen mitteleuropäischen Schollengrenze herausgebildet hat (FRANZKE et al. 2007).

3. Geologische Beobachtungen in den Erdfällen

Im östlichen Erdfall (Tiefe ca. 7 m) folgen unter einer dünnen Bodendecke (0,5 m) und einem undeutlichen Lössschleier etwa 2 m mächtige Gips-Residualgesteine. Darin enthaltene eckige Gipsbrocken weisen darauf hin, dass die Subrosion der Sulfatgesteine von oberflächlichen Gleitprozessen und periodisch nachbrechenden Karsthohlräumen begleitet wird. Unterhalb dieser Residualgesteine ist im östlichen Karsttrichter noch 3 m stratifizierter Gips aufgeschlossen, der etwa parallel zur Störung im westlichen Trichter steil nach NNE einfällt.

Der infolge von Nachfall aktuell nur noch 1,5 m tiefe westliche Karsteinbruch (Abb. 2) schließt unter einer dünnen Bodendecke und einem Anflug von Löß einen mit ca. 1,5 m aufgeschlossenen Schuttstrom auf. Dieser überlagert als eine breite Rinnenfüllung die Sulfatgesteine, die am südlichen Rand noch punktuell aufgeschlossen sind. Der Schuttstrom floss aus einer Rinne am Nordhang des Röseberges in die vorgelagerte Geländesenke des Zechsteins nach Norden ab. Die

Schuttstrom-Sedimente (Abb. 3) enthalten in einer feinkörnigen Matrix, die als Gleitmittel diente, ausschließlich eckige Fragmente des oberhalb anstehenden Unterkarbons III der Harzscholle (Grauwacken, wenige Schieferbrocken). Einzelne im Schuttstrom auftretende flach-schaufelförmige Flächen deuten an, dass sich der Schuttstrom durch laminares Gleiten bewegt hat. Es ist zu erkennen, dass der Schuttstrom eine in den Zechsteinsulfaten bereits vorhandene oder durch die Abrasionswirkung des Schuttstromes neu geschaffene Rinne benutzte und im Querschnitt betrachtet (Blick nach Süd) die typische Linsenform von Schuttströmen (alluvial fans) hat. Die Schuttströme breiteten sich vom höher gelegenen Altpaläozoikum aus fingerartig über den eine differenzierte Senkungszone bildenden Zechsteinausbiss aus und überzogen

diesen mit einem lückenhaften Schleier. Dies wird prinzipiell auch von SCHRÖDER & DAHLGRÜN (1927) so gedeutet. Es konnte nicht geklärt werden, ob es sich um einen durch sommerliches Auftauen von Dauerfrostböden initiierten Solifluktionsschutt oder einen bedingt durch die steile Hanglage gebildeten Hang-Schuttstrom handelt.

Diese am N-Hang des Röseberges ablaufende, ca. 60 m breite Abflussrinne erfasste aber nur den westlichen, tiefer gelegenen Ansatzpunkt des Karsttrichters, nicht jedoch den 2-3 m höher gelegenen Gips-Rücken, an dessen Nordfuß der östliche Trichter eingebrochen ist (Entfernung 8 m). Von diesem Gipsrücken aus wurden lokale Gips-Fließerden geschüttet, die im westlichen Trichter sowohl die dort anstehenden Karstresiduen im Hangenden (nördlich) einer darin aufge-

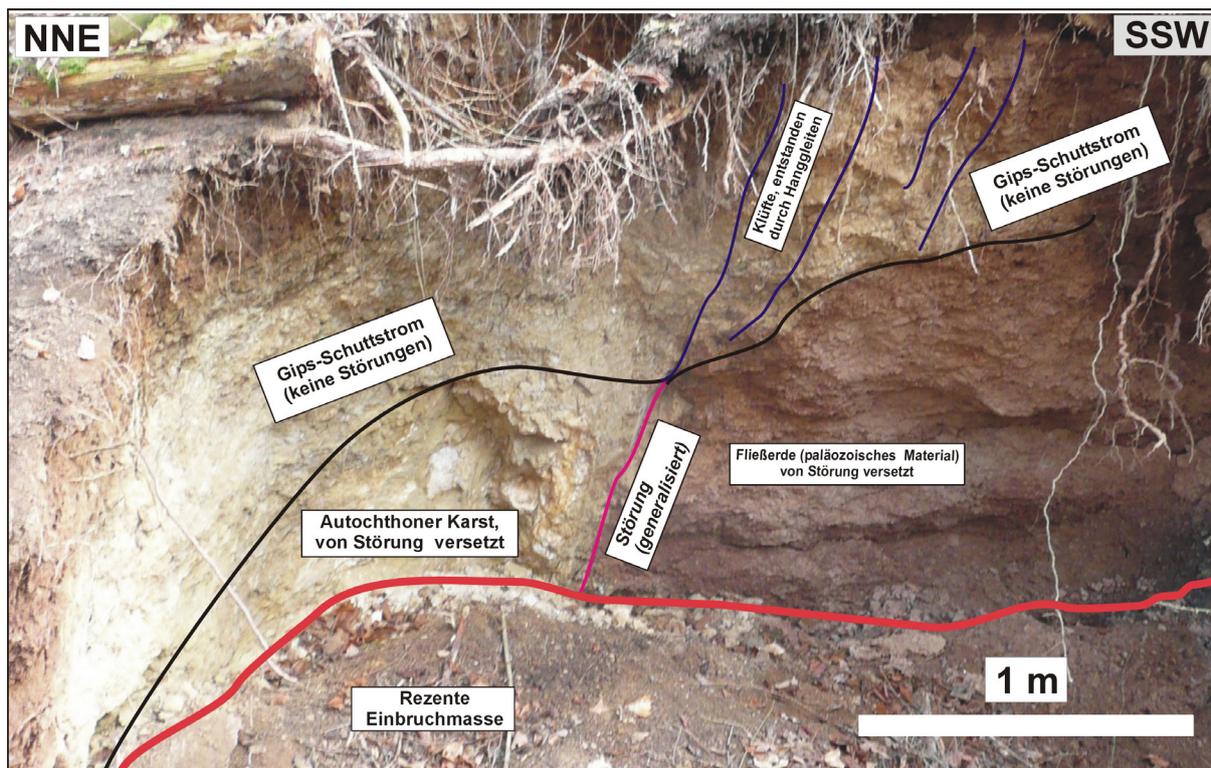


Abb. 3 Blick auf die Ostseite des westlichen Einsturztrichters (Koordinaten: R 44 22 600, H 57 44 115, Aufschlussituation am 2. März 2014). Eine der Nordrandstörung des Harzes vorgelagerte quartäre Störung (15/75) versetzt vertikal um mindestens 1 m verkarstete Werra-Sulfate („Älterer Karst“) im Norden gegen rote Fließerden im Süden. Erstere stellen subautochthone Karstmassen dar und Letztere einen vom Röseberg aus geschütteten Solifluktionsschutt. Ein jüngerer Gips-Schuttstrom plombiert diese Störung und ist damit jünger als deren Störungsaktivität. Durch gravitatives Hangabgleiten verursacht, treten im hangenden Schuttstrom noch einige Reißklüfte auf.

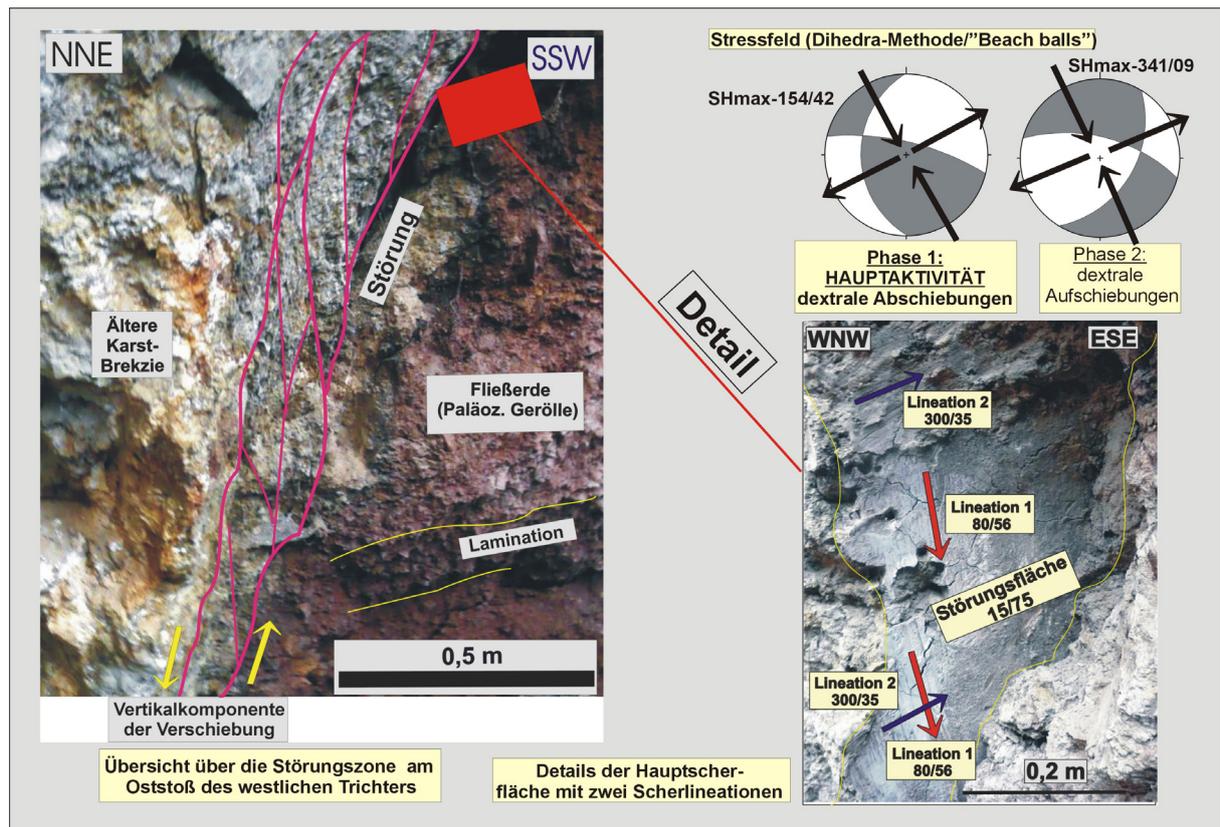


Abb. 4 Westlicher Einsturztrichter, Ostseite. Foto links: Eine aus mehreren Scherflächen aufgebaute Störungszone (15/75) begrenzt eine Karst-Brekzie von Werra-Sulfat (A1/ „Älterer Gips“) gegen einen vom Röseberg geschütteten Schuttstrom ab. Die linke (nördliche) Scholle ist um einen unbekanntem Betrag, mindestens aber um 1 m, abgesenkt. Der die Störung unbeeinflusst überlagernde jüngste Gips-Schuttstrom ist hier nicht abgebildet (siehe Abb. 1 und 3). Foto rechts: Zwei sich schneidende und damit altersverschiedene Scherlineationen auf der freigelegten hangenden Haupt-Scherfläche dieser Störungszone. Die Pfeilspitzen zeigen die Bewegungstrends der Hangendscholle an (N-Scholle). Diagramme rechts - oben: Dargestellt sind die Paläo-Stressfelder der beiden quartärzeitlichen Verformungen.

schlossenen Störung überlagern, als auch die Fließerden, die im Liegenden (südlich) der Störung anstehen. Diese Gips-Fließerden plombieren damit als Jüngstes die Störung, womit sich das Ende der tektonischen Aktivität datieren lässt.

Da nördlich der aus Zechsteinsulfaten gebildeten Subrosionssenke eine Geländerippe besteht, die von senkrecht stehenden erosionsresistenten Karbonatgesteinen des Zechsteins (Hauptdolomit/Stinkschiefer/Z2) gebildet wird, enden die von Süden kommenden Schutfächer im Bereich der südlich vorgelagerten Subrosionssenke. Nur dort, wo in der Umgebung Quertäler mit Bächen aus der Hochscholle des Harzes heraustreten (Hellbach- und Limbach-

Tal) und der Wall der Karbonatgesteine durchbrochen ist, bildeten sich zum Vorland hin deltaförmige Schutfächer aus, die noch auf den Unteren Buntsandstein der Aufrichtungszone übergreifen.

4. Störungs kinematik und geologische Befunde zur Alterseinstufung

In Abb. 4 und dem Datenblatt (Abb. 5) sind die Strukturdaten der Störung zusammengefasst. Sie stellt eine ca. 0,3 m breite Zone (mittlere Raumlage 15/75) von eng gruppierten Kleinstörungen und darin eingebauten, steiler einfallenden Kleinscherflächen sowie senkrechten Klüften dar, die von im Aufschluss durchgängigen Hauptflächen eingehüllt werden. Die durch die stattgefundenen

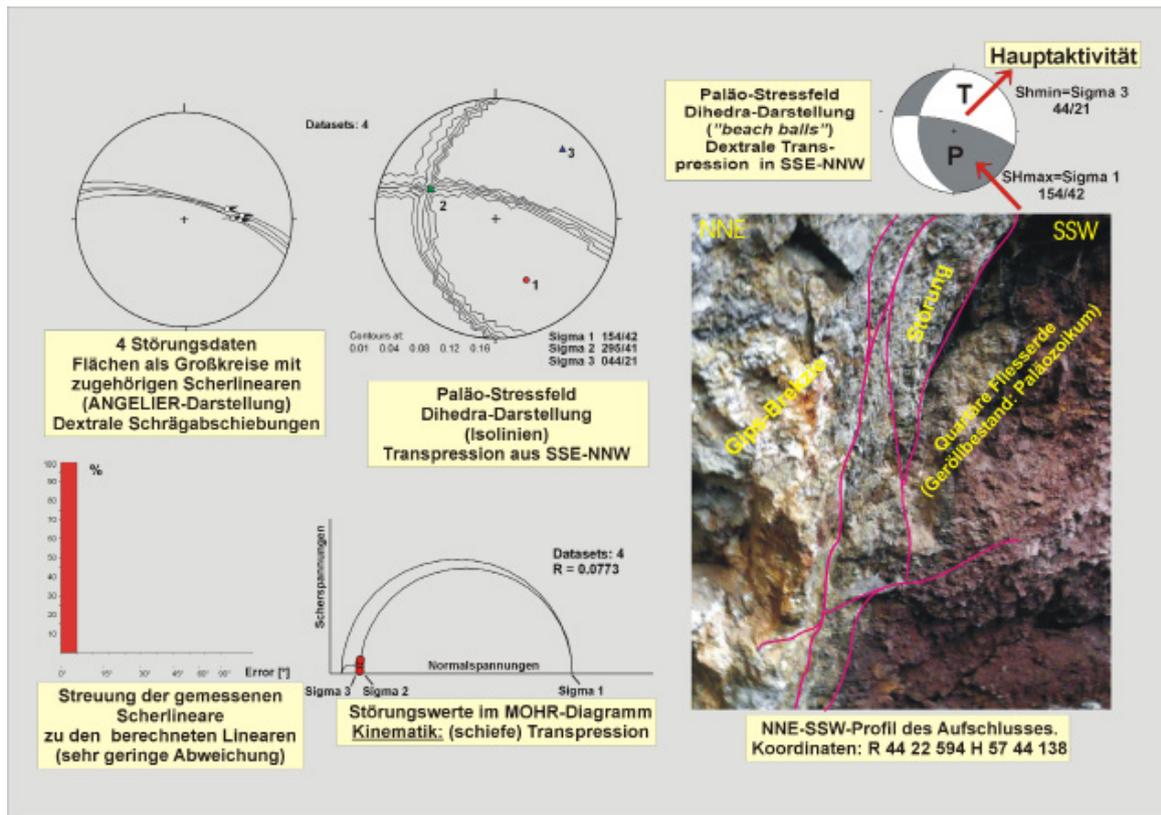


Abb. 5 Datenblatt. Diagramm oben-links: Großkreise der Störungen mit Scherlinearen, Diagramm oben-Mitte: Paläo-Stressfeld der pleistozänen - holozänen Hauptaktivierung, Diagramm Mitte-rechts: Paläo-Stressfeld der Hauptaktivierung in „beach-ball“-Darstellung, T=Extensionssektoren, P=Drucksektoren, Diagramm links-unten: Streubereich der gemessenen im Vergleich zu den berechneten Scherlinearen, Diagramm unten-Mitte: Die Messdaten im MOHR'schen Spannungskreis. Der kleine R-Wert signalisiert große Unterschiede in den Spannungsbeträgen der maximalen Normalspannung (Sigma 1) zu Sigma 2 und 3. Die Ausrichtung in NNW-SSE-Richtung und die steile Neigung von Sigma 1 (154/42) bedeuten für die spätpleistozänen - frühholozänen Aktivierungen an der Harznordrand-Störung (WNW-ESE) eine schräge dextrale Transpression, resultierend in rechtsdrehenden Schrägabschiebungen.

Scherbewegungen stark geglättete liegende Hauptgleitfläche (unteres Foto in Abb. 4) führt einen sehr feinkörnigen Störungsbelag („Störungsletten“/Mikrokataklasit), auf dem sich zwei Generationen von Scherlineationen eingeprägt haben. Sowohl die Schleppung an den Störungsrändern als auch die steil-fiedrige Anordnung von Kleinscherflächen (synthetische Riedel-Scherflächen) und Klüften zu der mit 70-75° nach NNE einfallenden Hauptfläche zeigen, dass es sich bei der Hauptaktivierung um eine im dextralen Sinne abgeglittene Weitungs-Störung (Abschiebung, NNE-Flügel abgesenkt) handelt.

Die Störungszone stellt resultierend eine Schrägabschiebung dar, auf der zwei Scherlineationen zu identifizieren sind. Die ältere

Scherlineation (80/56) zeigt eine dextral-abschiebende Kinematik. Die zweite, jüngere und schwächere Scherung (300/03) manifestiert sich als schwächere dextrale schräg-auf-schiebende Bewegung. Im Ergebnis wird der Betrag der vorangegangenen Abschiebung durch die jüngere schwächere, schrägauf-schiebende Bewegung nicht kompensiert.

Da keine anderen Datierungsmöglichkeiten vorliegen, können Rückschlüsse über junge Störungsaktivitäten am Schollenrand des Harzes nur über die stratigraphische Einordnung der von der Störung noch überprägten Sedimente und aus der jüngeren Überlagerung mit ungestörten Sedimenten gezogen werden. Sulfat- und Karbonatsubrosion setzte am Harznordrand wahrscheinlich schon in

der späten Oberkreide, sicher jedoch im Alttertiär ein, da eozäne und unteroligozäne Grünsande in Karstschlotten in Karbonaten und Sulfaten des Zechsteins am Harzrand zwischen Michaelstein und Benzingerode verbreitet auftreten. Dies ermöglicht es aber nur, die von der untersuchten Störung überformten Karsterscheinungen mit jünger als Oberkreide/Alttertiär einzustufen.

Fließerden mit paläozoischen Gesteins-Fragmenten, wie sie im westlichen Einbruch angetroffen wurden, werden aus weiten Teilen des Harzes beschrieben (SCHRÖDER & FIEDLER 1979, LITT & WANSA 2008). Sie werden zu den periglazialen Deckschichten der späten Weichsel-Kaltzeit (Spät-Weichsel-Kaltzeit, ab ca. 15.000 a) gerechnet. Das Sedimentgefüge und der Geröllbestand sprechen für eine Zuordnung zum solifluidal verdrifteten Basisschutt dieser Deckschichten (LITT & WANSA 2008, S. 322). Damit kann eine wahr-

scheinliche Zeitmarke für die Störungsaktivitäten mit Post-Weichsel-Kaltzeit (jünger als ca. 15.000-11.600 a) angegeben werden. Auf dem abgesenkten N-Flügel der Störung treten Residuen des Werra-Sulfats auf, die gegen die roten Fließerden mit Paläozoikum-Geröll um mindestens einen Meter, wahrscheinlich sogar um mehrere Meter abgesenkt sind.

Diese von der Störung verworfenen Sedimente und folglich die untersuchte Störung werden noch von einem bis ca. 1 m mächtigen jüngeren Gips-Schuttstrom überlagert (Abb. 3), dessen Fragmente durch das hangabwärtige oder diagonal dazu erfolgte Gleiten bereits kantengerundet sind. Darin sind lediglich in Hangrichtung streichende Zugrisse, jedoch keine Störungen mehr verifizierbar. Das Alter des abdeckenden Gips-Schuttstroms ist schwierig zu beurteilen. Der obere Bereich des Gips-Schuttfächers scheint noch von Lößeinwehungen betroffen zu sein, wird

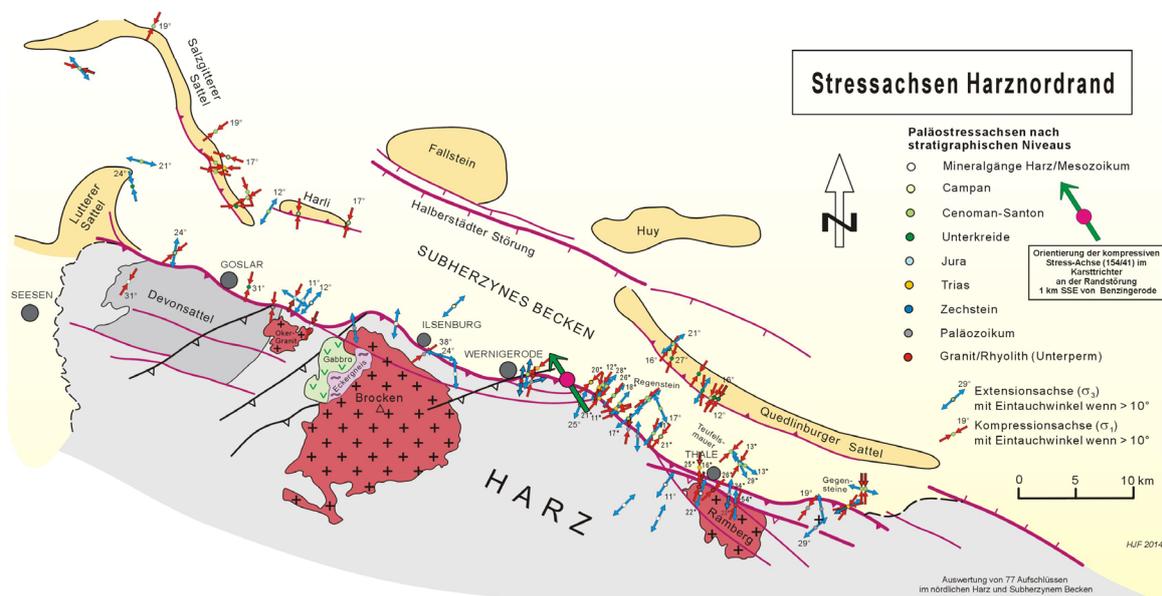


Abb. 6 Darstellung der Paläo-Spannungsfelder im Nordharz und im Subherzynen Becken, basierend auf der Kinematik von genetisch kompatiblen Störungspopulationen (FRANZKE et al. 2007). Dargestellt sind die Weitungsphase der jungmesozoischen, saxonischen Tektonik (blaue Pfeile = Extensionsachsen/ S_{Hmin}) sowie die daran anschließenden spätoberkretazisch-alttertiären Inversions- bzw. Aufschiebungsbewegungen (rote Pfeile = Kompressionsachsen/ S_{Hmax}). Die gefärbten Kreissymbole zeigen an, in welchen stratigraphischen Einheiten die Daten jeweils erhoben wurden. Der vergrößerte grüne Pfeil gibt die Schubrichtung der an der quartärzeitlich aktiven Störung im westlichen Karstrichter ermittelten Einengungsrichtung (S_{Hmax}) für die etwa gleichgerichteten Bewegungsphasen 1 und 2 an.

aber mit Sicherheit von einer autochthonen Humusdecke überlagert. Die Aktivierungen an der Störung waren also abgeschlossen, bevor die Lößeinwehungen von Norden her ihr zeitliches Ende fanden und jedenfalls noch bevor sich die postglaziale Vegetationsdecke im Laufe des Holozäns etablieren konnte.

5. Tektonische Stressfelder

Die Paläo-Stressfelder beider spätpleistozän-holozäner Aktivitäten sind anhand der Raumlage der Störung und der darauf abgebildeten Scherlineare unter Beachtung des Bewegungssinns und der gegenseitigen relativen Altersbeziehungen (Überschneidung der Lineationen) mit der Software *TECTONICSFP 1.6* (REITER & ACS 2000) nach der Dihedra-Methode von ANGELIER & GOUGEL (1979) berechnet worden (Abb. 4).

Als ältere Verformung (Phase 1 in Abb. 4) lässt sich eine dextral-schrägabschiebende Bewegung (Streckung nach ENE, Einengung in SSE-NNW) von einer nochmaligen Überscherung der Fläche (Phase 2) abgrenzen. Phase 2 ist dextral schrägaufschlagend nach SSE, die Streckung erfolgte wie bei Phase 1 ebenso nach ENE-WSW. Es ergeben sich richtungsmäßig nahezu identische Stressfelder mit den Kompressionsachsen (SHmax) in SSE-NNW-Richtung.

6. Regionale Einordnung der Ergebnisse

Das für beide Aktivierungen ermittelte (Paläo-) Stressfeld korrespondiert mit dem heute in Mitteleuropa anliegenden Stressfeld (SHmax = Kompressionsachse in SSW-NNE bis SE-NW; Abb. 6, siehe auch im Internet unter: World Stress Map). Es entstanden im untersuchten Aufschluss bei Benzingerode dabei dextrale Schrägabschiebungen nach NE (Phase 1) bzw. dextrale Schrägaufschlagungen nach SE (Phase 2). Da hierdurch noch jungquartäre (spätweichselkaltzeitliche) Sedimente durchtrennt und versetzt wurden, ist auf spätweichselzeitliche oder noch jüngere (holozäne) Aktivitäten zu schließen.

Diese Aktivitäten weichen sehr deutlich von der Paläostress-Situation der jungmesozoi-

schen Saxonischen Tektonik am Harznordrand ab (Abb. 6). Diese ist durch SSW-NNE-Extension bis zur Oberkreide und Kompression aus SSW-NNE ab der späten Oberkreide bis zum Alttertiär gekennzeichnet (Inversionsphase der Saxonischen Tektonik; KOCKEL, 2003). Die hier beschriebenen Aktivitäten repräsentieren bereits die Reaktion auf das etwa seit dem Jungtertiär (Miozän) anliegende und bis heute wirksame Stressfeld in Mitteleuropa.

7. Danksagung

Wir danken Herrn Dr. THOMAS VOIGT, Jena, und Frau Dr. DOROTHEE MERTMANN, Halle (Saale), für deren konstruktive Reviews zu diesem Beitrag. Frau GESINE KLIESCH und Herrn MIKE NEUMANN, die die Erdfälle als Teilnehmer an den Geowissenschaftlichen Geländeübungen des Instituts für Geowissenschaften und Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg entdeckt hatten, danken wir für deren Aufmerksamkeit bei der Geländearbeit. Für freundliche Auskünfte zu seismischen Ereignissen in Mitteldeutschland sind wir den Herren Dr. IVO RAPPILBER, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Halle (Saale) sowie Dr. STEFAN LÖBENS, Fels Werke GmbH, Oberharz am Brocken, dankbar. Nicht zuletzt danken wir Frau IRENE JOSS, Clausthal, für die qualifizierte Endbearbeitung der Graphiken.

8. Literatur

- ANGELIER, J. & GOGUEL, J. (1979): Sur une méthode simple de détermination des axes principaux contraintes pour une population de failles. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 288: 307-310; Paris.
- FRANZKE, H. J. & OSSWALD, U. (1997): Ein Neuaufschluß der Harznordrandstörung am Teufelsbad II bei Michaelstein am Harz. *Z. geol. Wiss.*, 25: 263-275; Berlin.
- FRANZKE, H. J., MÜLLER, R., VOIGT, T. & EYNATTEN, H. v. (2007): Paleo-Stress Paths in the Harz Mountains and surrounding areas (Germany) between the Triassic and the Upper Cretaceous. *Z. geol. Wiss.*, 35: 141-

- 156; Berlin.
- KOCKEL, F. (2003): Inversion structures in Central Europe – Expressions and reasons, an open discussion. *Geologie en Mijnbouw*, 82: 367-382; Amsterdam.
- LITT, T. & WANSA, S. (2008): Quartär. – In: BACHMANN, G. H., EHLING, C.-B., EICHNER, R. & SCHWAB, M. [Hrsg.]: *Geologie von Sachsen-Anhalt*. 293-325; Stuttgart (Schweizerbart).
- REITER, F. & ACS, P. (2000): *TECTONICSFP 1.6, Computer Software for Structural Geology, Operational Manual*: 60 S.; Innsbruck.
- SCHRÖDER, H. & DAHLGRÜN, F. (1927): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Lieferung 240, Blatt Derenburg Nr. 2306: 81 S.; Berlin.
- SCHRÖDER, H. & FIEDLER, H. J. (1979): Beitrag zur Kenntnis der Böden des östlichen Harzes. *Hercynia*, N. F., 16: 121-140; Leipzig.