

Subrosionssenken in den triassischen Gesteinen der Hakel-Struktur

Subrosion depressions in the Triassic rocks of the Hakel structure

WOLFGANG ZWENGER*¹

¹)GeoCon Gmbh, Seestr. 16, D-15848 Rietz-Neuendorf

Keywords: Karst, Subrosionssenken, Erdfälle, Einsturzdolinen, Subrosions - Suszeptibilität, Trias - Gesteine, Hakel - Struktur

Keywords: Karst, subrosion sinks, sinkholes, collapse dolines, subrosion susceptibility, triassic rocks, digital terrain model, Hakel structure, Subherzyn Basin

Zusammenfassung

Die Identifizierung von Subrosionssenken im Ausstrich der triassischen Gesteine an der Geländeoberfläche der Hakel-Struktur 227 erfolgte unter Zuhilfenahme eines digitalen Geländemodells (DGM). Die Gesteine des Röt und des Unteren Muschelkalks wiesen mit 17 bzw. 5 Subrosionssenken pro Quadratkilometer die höchste Suszeptibilität auf. Im Bereich der Scheitelstörung des Hakels sowie in der Nähe der Ascherslebener Störung wird eine drei Mal so hohe Anzahl an Subrosionssenken pro Quadratkilometer verzeichnet, verglichen mit der Quote für die Gesamtfläche des Unteren Muschelkalks. Die Mehrheit der an der Oberfläche sichtbaren Senkungstrichter im Unteren Muschelkalk geht auf Massendefizite bzw. Lösungshohlformen im Untergrund zurück. Als Subrosionsherde kommen die Rötgipse in Betracht. In der Nähe der zentralen Störungszonen des Hakelgewölbes muss mit irregulärer Auslaugung der Rötgipse gerechnet werden. Die Rötgipsbänke liegen dort nur 160–170 m unter Flur.

Eine Halit- und Sulfatsubrosion im Mittleren Muschelkalk führte ebenso zu einem Massenverlust und einer Auflockerung des Gesteinsverbandes. Insbesondere im Einflussbereich der Ascherslebener Störung sowie deren Parallel- und Querstörungen fand eine irreguläre Auslaugung tieferer Schichten statt. Das sukzessive Nachsacken und die Verringerung des Gesteinsverbandes führten zu schlotartigen Durchbrüchen im Deckgebirge aus Oberem Muschelkalk und Unterem Keuper. Die aus dem Mittleren Muschelkalk mit einer Tiefenlage von 150–200 m an die Oberfläche durchbrechenden Einsturztrichter im Oberen Muschelkalk erreichten Öffnungsweiten von über 100 m. Die zeigen sehr steile Wände mit Hangneigungen von 63–69 %. Mit tertiären Sedimenten gefüllte Erdfälle im Hakel liegen, analog zu gleichartigen Vorkommen am östlichen Harzrand, oberhalb des Höhenniveaus von 200 m NHN. Folglich könnte die Hebung der Hakel-Struktur erst nach der marinen Phase im Oligozän, also frühestens im Pliozän, stattgefunden haben.

Abstract

Using a digital terrain model (DTM), 227 subrosion sinks were identified in the Triassic rocks on the surface of the Hakel structure. The rocks of the Röt and the Lower Muschelkalk exhibit the greatest susceptibility with 17 and 5 subrosion sinks per square kilometre respectively. In the area of the Hakel apex fault and in the vicinity of the Aschersleben fault, the number of subrosion sinks per square kilometre is three times the ratio for the total area of the Lower Muschelkalk. The majority of the sinkholes visible on the surface in the Lower Muschelkalk are due to mass deficits or solution cavities in the subsurface. The Röt is a possible source of subrosion. Irregular leaching of the red gypsum must be expected in the vicinity of the central fault zones of the Hakel vault. The red gypsum beds there are only 160-170 m below ground level. Halite and sulphate subrosion in the Middle Muschelkalk resulted in mass loss and rock formation loosening. Irregular leaching of the deeper layers occurred, particularly in the area of influence of the Aschersleben fault and its parallel and transverse faults. Successive subsidence and thickness reduction of the rock formation resulted in vent-like breakthroughs in the overburden of the Upper Muschelkalk and Lower Keuper layers. Collapsefunnels breaking through to the surface from the Middle Muschelkalk at a depth of 150–200 m in the Upper Muschelkalk reached opening widths of over 100 m. The collapse funnels breaking through from the Middle Muschelkalk have very steep walls with slopes of 63–69

%. Some Hake sinkholes are filled with marine sediments from the Lower Oligocene (Rupelian), which are found above an elevation of 200 metres, analogous to the eastern edge of the Harz. Consequently, the Hake-Structure could only have been uplifted after the marine phase in the Oligocene, i.e. in the Pliocene at the earliest.english

Einleitung

Der Hake liegt im zentralen Teil des Subherzynen Beckens südwestlich der Oschersleben-Egelter Salzachse. Die mesozoischen Deckschichten der Hake-Struktur sind flach geneigt und über dem im Untergrund vorhandenen Salzkissen aufgewölbt. Zu den bekanntesten geologischen Bildungen des Hakes zählen die großflächigen wasser-gefüllten Subrosionssenken im Raum Gröningen. Die zentrale Hakehochfläche weist im Ausstrich des Unteren Muschelkalks eine größere Anzahl, allerdings kleinerer Subrosionssenken auf. Die räumliche Anordnung und die Morphologie der Karsthohlformen sind im Digitalen Geländemodell (DGM) sehr gut ablesbar. Diese weit verbreitete Fernerkundungsmethode hat viele Vorteile, dennoch muss anschließend geprüft werden, ob es sich aus geologischer Sicht tatsächlich um Karsthohlformen handelt. Geologische und geotechnische Termini von Karstbildungen werden unterschiedlich interpretiert, was zu Konflikten führen kann. Der Begriff Subrosionssenne wird nachfolgend im morphologischen Sinne verwendet. Die Bezeichnungen Erdfall oder Doline werden hier nur gebraucht sofern ein Einbruch bis zur Erdoberfläche vorliegt. Die Entstehung von Erdfällen ist eng verknüpft mit der Ausbildung der beteiligten Schichtenfolgen. Zu den wichtigsten Einflussfaktoren gehören die Tiefenlage und die Mächtigkeit der Subrosionsherde sowie die tektonische Beeinflussung des Gesteinsverbandes. In Abhängigkeit von der räumlichen Lage in der Hake-Struktur lassen sich differenzierte Auslaugungsprofile und Erdfallintensitäten feststellen. Die postgenetischen tertiären Sedimentfüllungen einiger Erdfälle im Topbereich der Struktur sind ein besonderes Phänomen. Sie liefern Hinweise auf das relative Alter der Hebung des Hakes.

1 Datengrundlagen und Methoden

Zur Geländeanalyse wurde das vom Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION (LVERMGEO LSA), 2025c) bereitgestellte DGM2 (LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION (LVERMGEO LSA), 2025d) mit einer Gitterweite von 2 m und einer Höhengenaugigkeit von $\pm 0,20$ m benutzt. Aus den gelieferten ASCII3D-Dateien wurden mit der Software QGIS und deren programminternen Werkzeugen (Raster, Hillshade, Schummerung etc.) verschiedene DGM-Derivate erstellt. Mit Hilfe des digitalen Geländemodells der Hake-Struktur konnten zahlreiche Hohlformen im Relief ermittelt werden, die als Subrosionssenken/Erdfälle/Dolinen in Frage kommen. Für Quervergleiche wurden parallel zum Schummerungslayer maßstabsgerechte Projektionen der zitierten geologischen Kartenblätter sowie vom [LVerGeo LSA](#) bereitgestellte Digitale Orthophotos (DOP 100; Auflösung 100 cm) verwendet.

2 Die geologische Situation

Die Hake-Struktur im zentralen Teil des Subherzynen Beckens ist analog zur benachbarten Huywald- und Fallstein-Struktur als Breitsattel ausgebildet. Bei diesen tektonischen Einheiten handelt es sich um halokinetisch bedingte Sattel- bzw. Domstrukturen. Der Hake wird von der NW-SW-streichenden Ascherslebener Störung durchzogen (Abb. 1). In deren südlicher Fortsetzung schließt sich die Salzstruktur des Ascherslebener Sattels an. Zwischen beiden Salinarstrukturen liegt die mit braunkohlenführendem Alttertiär gefüllte Randsenke von Nachterstedt - Schadeleben.

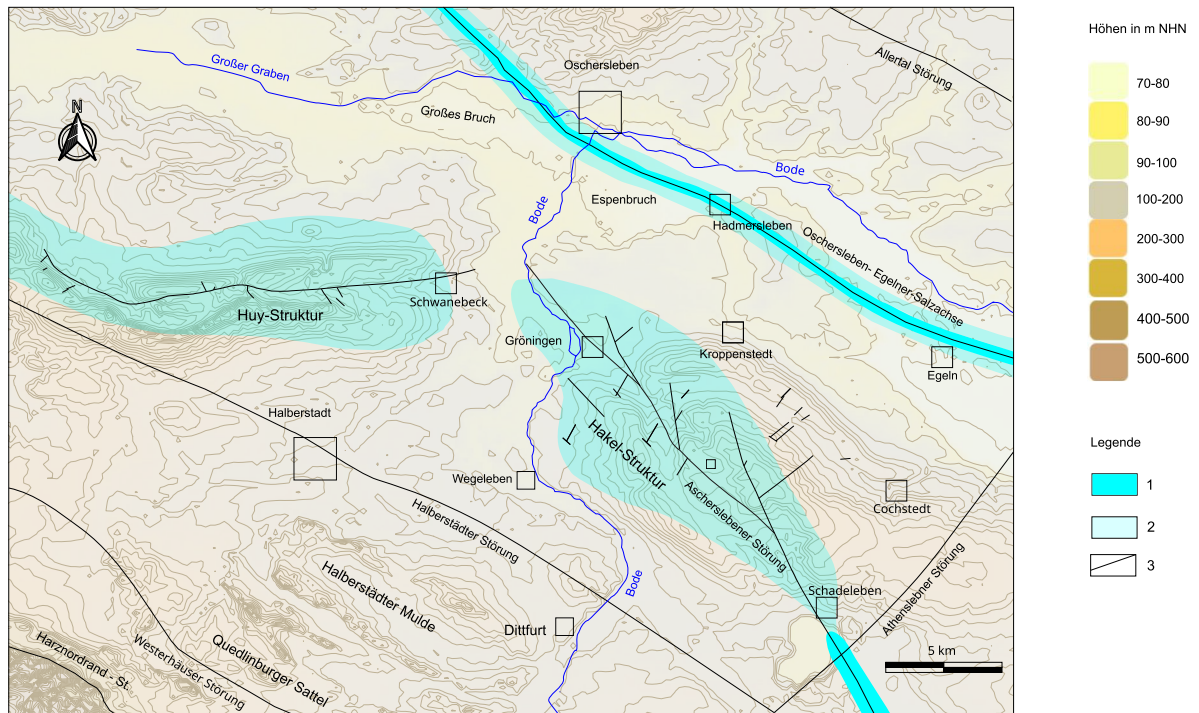


Abb. 1: Strukturgeologische Übersichtskarte des Subherzynen Beckens. Legende: 1 – Salzsaateln; 2 – Salzklissen; 3 – Störung. Quellen: LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESSEN (LAGB SA), 2025b [Tektonische Übersichtskarte, C 4330](#), Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LABG) DGM 200: ©Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Im digitalen Geländemodell erinnert der Hakeel an eine hufeisenförmige Wallanlage (Abb. 2). Der äußere Wall besteht im Wesentlichen aus den dickbankigen Bioklastkalken des Oberen Muschelkalkes. Diese Gesteine sind gegen Verwitterung und Abtragung relativ widerstandsfähig.

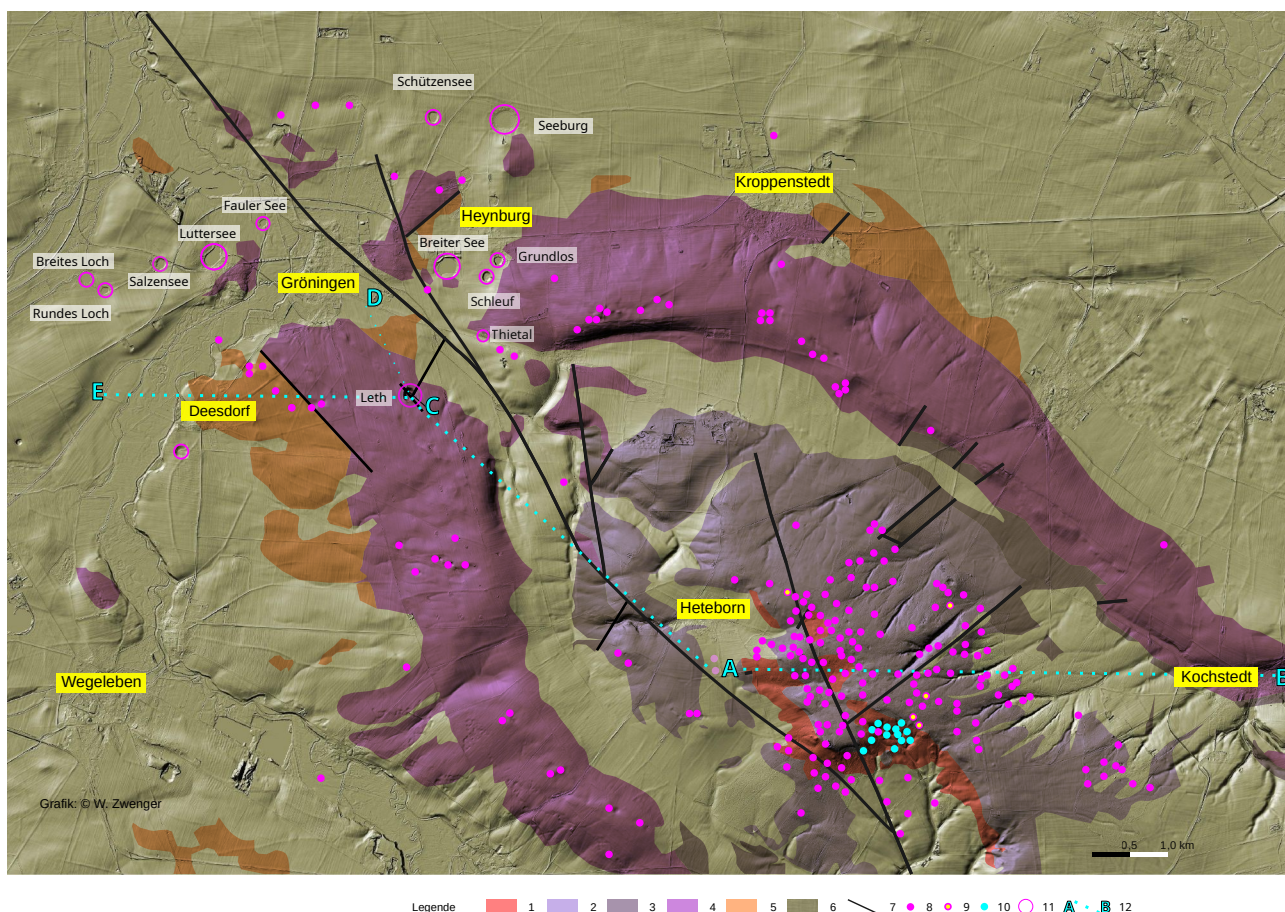


Abb. 2: Geologische Übersichtskarte des Hakels projiziert auf den Schummerungslayer des DGM. Darin eingezeichnet sind die aus dem DGM2 ermittelten Subrosionssenken. Legende: 1 – Röt/Oberer Buntsandstein; 2 – Unterer Muschelkalk; 3 – Mittlerer Muschelkalk; 4 – Oberer Muschelkalk; 5 – Unterer Keuper; 6 – Holozäne Oberfläche; 7 – Störung; 8 – Subrosionssenke; 9 – Erdfall mit tertiärer Sedimentfüllung; 10 – Schlottedfüllungen von Einsturzdolinen; 11 – Großerdfälle; 12 – Profilinie

Die höchste Geländeerhebung auf dem äußeren Wall bildet der aus Ceratitenkalk bestehende Markberg mit 203,43 m NHN. Zwischen dem äußeren Ringwall und dem inneren Hakelgewölbe befindet sich eine grabenartige Senke, welche 20 bis 40 m unterhalb der beidseitig angrenzenden Höhen liegt. An den Rändern nähern sich die Gesteine des Oberen Buntsandsteins und des Mittleren Muschelkalks der Geländeoberfläche. Diese Gesteine sind verwitterungsempfindlich und werden zumeist von Lösslehm verdeckt, so dass sie kaum aufgeschlossen sind.

Die zentrale Hakelhochfläche besteht aus Gesteinen des Unteren Muschelkalks. Auf deren höchster Erhebung (241 m NHN) befindet sich die mittelalterliche Burg der Domburg. Die aus Werksteinen des Unteren Muschelkalks errichtete Burg sowie deren Wallgräben sind im DGM deutlich erkennbar. Am südwestlichen Rand der Höhenburg fällt das Gelände abrupt nach Süden ab. Dort streichen in einem schmalen Band die Schichten des Röts (Oberer Buntsandstein) aus. Diese älteste Formation bildet den Sattelkern der Hakel-Struktur.

Die Hochebene wird durch schmale Talrinnen entwässert, die sich deutlich im DGM abheben. Zwei getrennte Talrinnensysteme sind nach Süden gerichtet und münden in die sog. Seeländerei zwischen Schadeleben und Friedrichsaue. Der nördliche Teil der Hakelhochfläche entwässert in einem 7,5 km langen Talzug von Heteborn aus in Richtung der Bodeniederung bei Gröningen.

Der Muschelkalk des Hakels hat keine bergbauliche Bedeutung mehr. Das schematische Gesamtprofil für den Muschelkalk des Hakels in der Abbildung 3 ist eine Synthese aus den nachfolgend zitierten Bohrdaten sowie den Tagebauprofilen von Förderstedt und Hecklingen (vgl. HINZE, 1958; ZWENGER, 1983). Die Mächtigkeit der Leitbänke im Unteren Muschelkalk weicht ein wenig von den umgebenden Profilen im Subherzynen Becken ab.

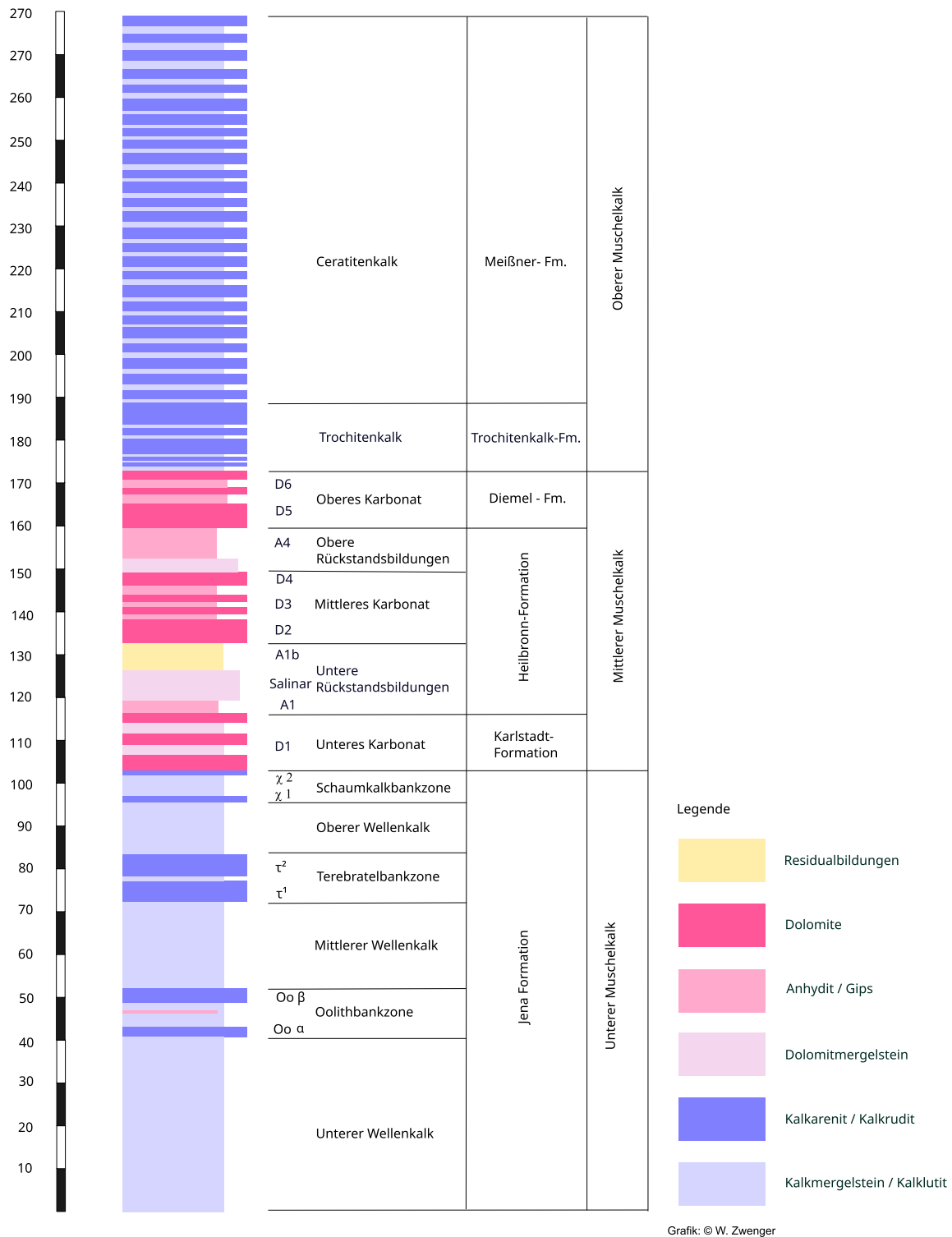


Abb. 3: Schichtenprofil des Muschelkalks im Bereich der Havel- Struktur.

3 Die räumliche Verbreitung der Subrosionssenken

Die größten und bekanntesten Subrosionssenken befinden sich am nordwestlichen Rand des Havel in der Umgegend von Gröningen (Abb. 4). Die wohl früheste Notiz dazu stammt von BEHRENS (1703, S. 88), der einen wässrigen Erdfall mit einer schwimmenden Schilfrohrinsel bei Gröningen in seiner Hercynia Curiosa als sonderbare Naturerscheinung erwähnt. Er meinte vermutlich die sog. Seeburg, welche seit dem 17. Jh. wiederholt

auf topographischen Karten dargestellt wurde (z. B. VISSCHER, 1659; DANCKERTS, 1707). Wenig später hat LEUCKFELD (1710, S. 269) weitere wässrige Erdfälle mit den nachfolgenden Bezeichnungen mitgeteilt: Salzener See, Schützensee, Offenbahrer See (Luttersee), Breites Loch, Schleuff, Thiethal, Leth und Grundlos (Abb. 4c). Der letztgenannte Erdfall bei Heynburg existierte demnach bereits im 18. Jahrhundert. Die von VLADI et al. (2017) angenommene Entstehung dieses sagenumwobenen Kleinsees im Jahre 1815 ist daher fraglich. Die historischen Karten und Beschreibungen sowie die heute noch geläufigen Flurnamen belegen, dass die o. g. Großerdfälle im Umfeld von Gröningen bereits vor vier Jahrhunderten vorhanden waren und lassen vermuten, dass sie viel älter sind. Ein morphologisch sehr eindrucksvoller Erdfall ist das Leth, welches im Geotopkataster des Landesamtes für Geologie und Bergwesen (LABG) Sachsen-Anhalt unter Nummer 4033-03 registriert ist (Abb. 4a). Der Erdfall Seeburg gehört zu den größten natürlichen Wasserflächen der Magdeburger Börde und steht als Naturschutzgebiet (NSG 0034 Seeburg) unter Schutz (Abb. 4b und d).

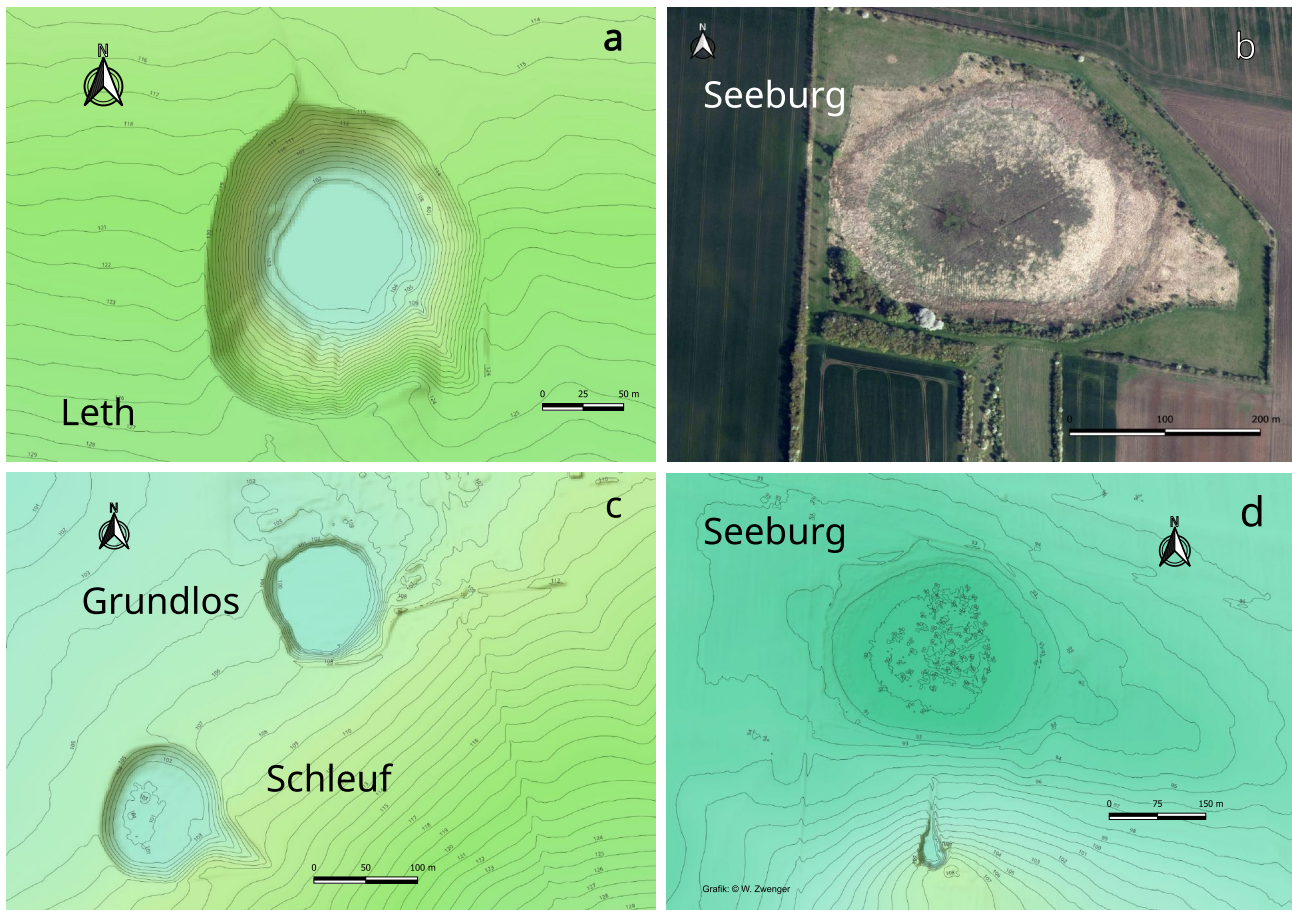


Abb. 4: Großerdfälle a) Leth-Erdfall (DGM); b) Seeburg-Erdfall (Orthofoto-Luftbild; Quelle: VermGeo © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA); c) Grundlos- und Schleuff-Erdfall (DGM); d) Seeburg-Erdfall (DGM). In der Tabelle 1 sind die Dimensionen der großen Erdfälle im Oberen Muschelkalk zwischen Gröningen und Heynburg aufgeführt. Die Achs- und Flächenmaße wurden anhand des DGM im Bereich der angegebenen Höhenordinaten ermittelt. Die Wassertiefen beziehen sich auf die Angaben von GROSS et al. (1982).

Flurname	Höhenordinate in m NHN	längste Achse in m	Fläche in m^2	Wassertiefe in m
Seeburg	92	450	97000	
Breiter See	96-100	230	82000	
Luttersee	88	300	43000	5
Breites Loch	88	160	29000	28
Leth	115-127	190	29000	
Schützensee	92	150	17000	
Schleuf	105-111	171	16000	
Grundlos	103-107	132	13000	48
Salzensee	89	144	12228	
Fauler See	87	113	8270	
Rundes Loch	88	104	7455	20

Tab. 1: Dimensionen der großen Erdfälle im Oberen Muschelkalk zwischen Gröningen und Heynburg.

Außer den großen wassergefüllten Großerdfällen gibt es eine Vielzahl von kleineren Erdfällen im Hakel. Anhand des digitalen Geländemodells konnten 227 Senkungsmulden im Bereich der triassischen Gesteine ermittelt werden, wobei hier kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird.

Die durch Subrosion entstandenen Senkungstrichter im DGM der Hakel-Struktur sind sehr ungleichmäßig verteilt. Die Tabelle 2 weist die Anzahl (n) der Erdfälle pro Quadratkilometer (n/A) nach geologischen Formationen geordnet aus.

Formation	Anzahl n	Fläche (A) in km^2	Anzahl n pro km^2 (n/A)
Unterer Keuper	9	6,96	1,29
Oberer Muschelkalk	63	37,46	1,68
Mittlerer Muschelkalk	0	3	
Unterer Muschelkalk	123	23,96	5,13
Oberer Buntsandstein (Röt)	32	1,86	17,02

Tab. 2: Anzahl von Subrosionssenken in den lithostratigraphischen Einheiten des Hakels.

3.1 Oberer Buntsandstein (Röt-Formation)

Tagesaufschlüsse im Röt des Hakels bestehen derzeit nicht. Die Schichtenfolge des Röts ist in undifferenzierter Form aus älteren Bohrungen ablesbar. Danach bestehen die bis 17,5 m mächtigen 1 – Zechsteinsalz; 2 – Unterer Buntsandstein; 3 – Mittlerer Buntsandstein; 4 – Röt-Steinsalz; 5 – Röt/Oberer Buntsandstein; 5 – Myophorienschichten/Oberer Buntsandstein; 7 – Unterer Muschelkalk; 8 – Mittlerer Muschelkalk; 9 – Trochitenkalk/Oberer Muschelkalk; 10 – Ceratitenkalk/Oberer Muschelkalk; 11 – Unterer Keuper; 12 – Quartär

Myophorienschichten aus Wechsellagerungen von graugrünen Kalkmergelsteinen und Tonmergelsteinen mit Einschaltungen von Kalk- und Dolomitbänken. Das unterlagernde Pelitröt wird von Wechsellagerungen aus roten und violetten Ton- und Schluffsteinen bestimmt, in welche Anhydrit- und Gipslagen eingeschaltet sind. Diese Obere Violettfolge (so 4; Gleina-Subformation) war südlich von Heteborn in der Bohrung GL 8 - 4133 etwa 98 m mächtig. Darunter wurden 27,4 m feste, dickbankige Gipse erbohrt (Abb. 4a). Am südöstlichen Rand des Hakels sind im Röt zusammen mit dem Gips auch noch Steinsalzlager erhalten. In der Bohrung GL 2186 - 4134 östlich von Kochstedt war das Rötsteinsalz 83,6 m mächtig und besaß einen 23 m starken Anhydritthut. Am Nordrand der Hakel-Struktur konnte in der Bohrung GL 374 – 4033 östlich von Gröningen ab –396 m GOK ein immerhin noch m mächtiges Steinsalzlager im Röt nachgewiesen werden. Die Subrosionssenken im ausstreichenden

Röt östlich der Domburg stehen in direktem Zusammenhang mit der Auslaugung der Salinargesteine im Röt. Mit einer Ausdehnung von $1,86 \text{ km}^2$ hat das oberflächennahe Röt im Vergleich mit anderen Formationen einen geringeren Flächenanteil an der Hakel-Struktur. Der Quotient aus Subrosionssinken pro Quadratkilometer (n/A) ergibt für das Röt mit 15 m den höchsten Wert im Vergleich mit den anderen Formationen.

Die Oberfläche des Röt-Gipses (Sulfat 4) liegt im Wassertal etwa bei 120 m und 140 m unter Flur (vgl. Abb. 5a). Durch die darin eingeschalteten Evaporitlagen ist diese Gebirgseinheit selbst subrosionsgefährdet. Die hydrogeologische Situation an diesem Areal begünstigt den Subrosionsprozess, denn die Grundwasseroberfläche liegt im Wassertal nach der Hydrogeologischen Grundkarte (HK50-1 Blatt Halberstadt-Egeln; Blatt Nr. 1004 1/2) bei 150–160 m NN. Das Wassertal befindet sich etwa 500 m östlich der NNW- SSE-streichenden Scheitelstörung des Hakels. Außerdem zweigt eine Querstörung ca. 350 m nordwestlich des Wassertales von der Scheitelstörung ab. Man darf davon ausgehen, dass die Gesteinsfolgen in diesem Bereich intensiv geklüftet sind. Dieser Umstand begünstigt die Wasserwegsamkeit im Gebirge. Aufgrund der bankigen Ausbildung der Röt-Gipse ist nach REUTER et al. (1979) bevorzugt mit horizontal gerichteter Korrosion sowie Ausbildung von Hohlräumen im Untergrund zu rechnen. Wenn die Tragfähigkeit der Deckschichten über Hohlräumen nicht mehr ausreichend ist, kommt es zum Herunterbrechen des Deckgebirges (vgl. MEIER und MEIER, 2007). Die Gesteine des Unteren Muschelkalkes haben eine deutlich größere einaxiale Druckfestigkeit als die auslaugungsgeschädigten Tonsteine des Röts. Letztere haben außerdem geringere Scherfestigkeitsparameter und neigen daher leicht zum Hochbrechen über Auslaugungshohlräumen (vgl. ADERHOLD, 2005; STRAUSS, 1995). Die Bruchtektonik hat an dieser Stelle die Gebirgs- und Verbandsfestigkeit des triassischen Deckgebirges stark reduziert. Das hatte an zahlreichen Stellen ein multiples schlotartiges Hochbrechen bis zur Oberfläche des Wellenkalks zur Folge. Durch die Ausbildung von Einsturzdolinen wurde der ursprünglich hangende Wellenkalk sukzessive bis in das Stockwerk des Röts verfrachtet. Die erosiv überformten Reste der ehemaligen Schlotfüllungen sind als Schutthügel an den Rändern des Wassertales noch erhalten. Diese allochthonen Muschelkalkhügel inmitten des Röts stellen eine geologische Besonderheit dar. Sie wurden erstmals von WEISSERMEL (1926a) beschrieben. Diese Hügel mit 15–25 m Durchmesser sind in dem dicht bewaldeten Gelände des Wassertals nicht einfach zu finden. Im DGM sind es hingegen sehr auffällige Oberflächenstrukturen (Abb. 6). Erosion und Verwitterung haben eine Reliefumkehr der ursprünglichen Einsturzkegel verursacht. Der Skelettboden der Einsturzhügel besteht vornehmlich aus den typischen Mergelsteinen, Kalklutiten und Bioklastruditen des Unteren Wellenkalks (muI). Diese Gesteine stehen oberhalb der Eintalung an. Die eingestürzten Deckschichten aus Wellenkalk können anhand von Geländeprofil-schnitten aus dem DGM auf eine Mächtigkeit von 15–20 m geschätzt werden. Das in sich mehrfach gegliederte Tal führt rezent nur periodisch Wasser. Es handelt sich um ein für Karstgebiete typisches Trockental mit einem vorwiegend unterirdischen Abfluss.

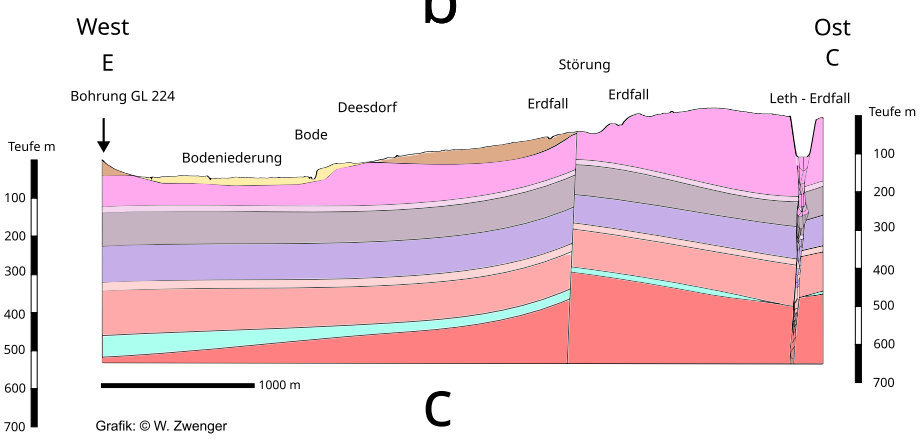
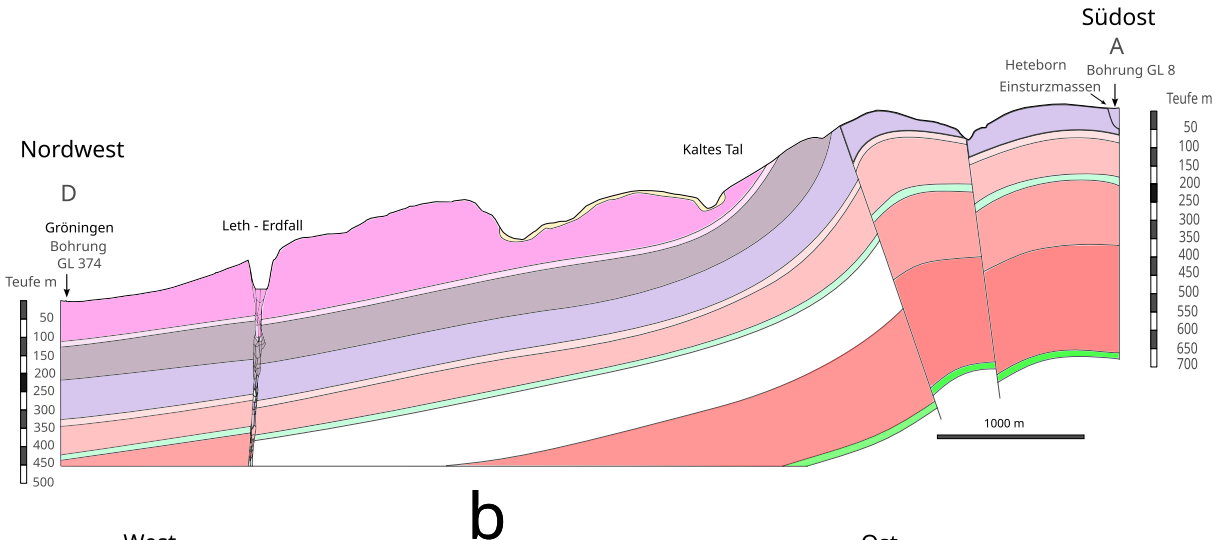
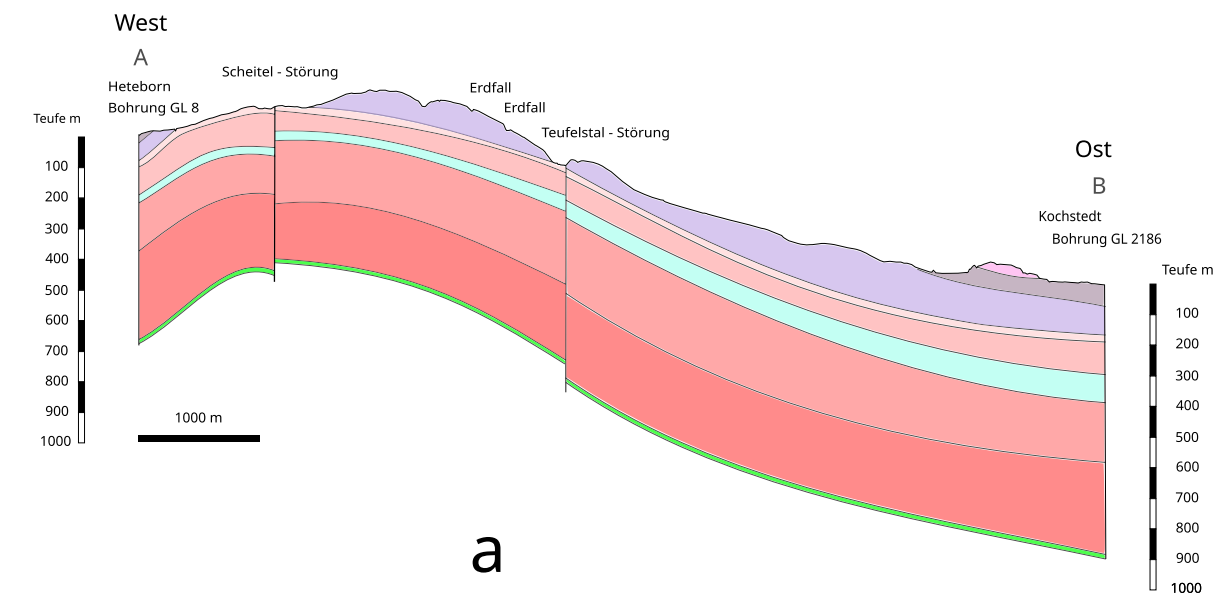


Abb. 5: Geologische Profilschnitte durch die Hakel-Struktur a) Profil AB: Heteborn–Kochstedt; b) Profil AD: Heteborn–Gröningen; c) Profil EC: Bodetal–Leth (LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESSEN (LAGB SA), 2020)

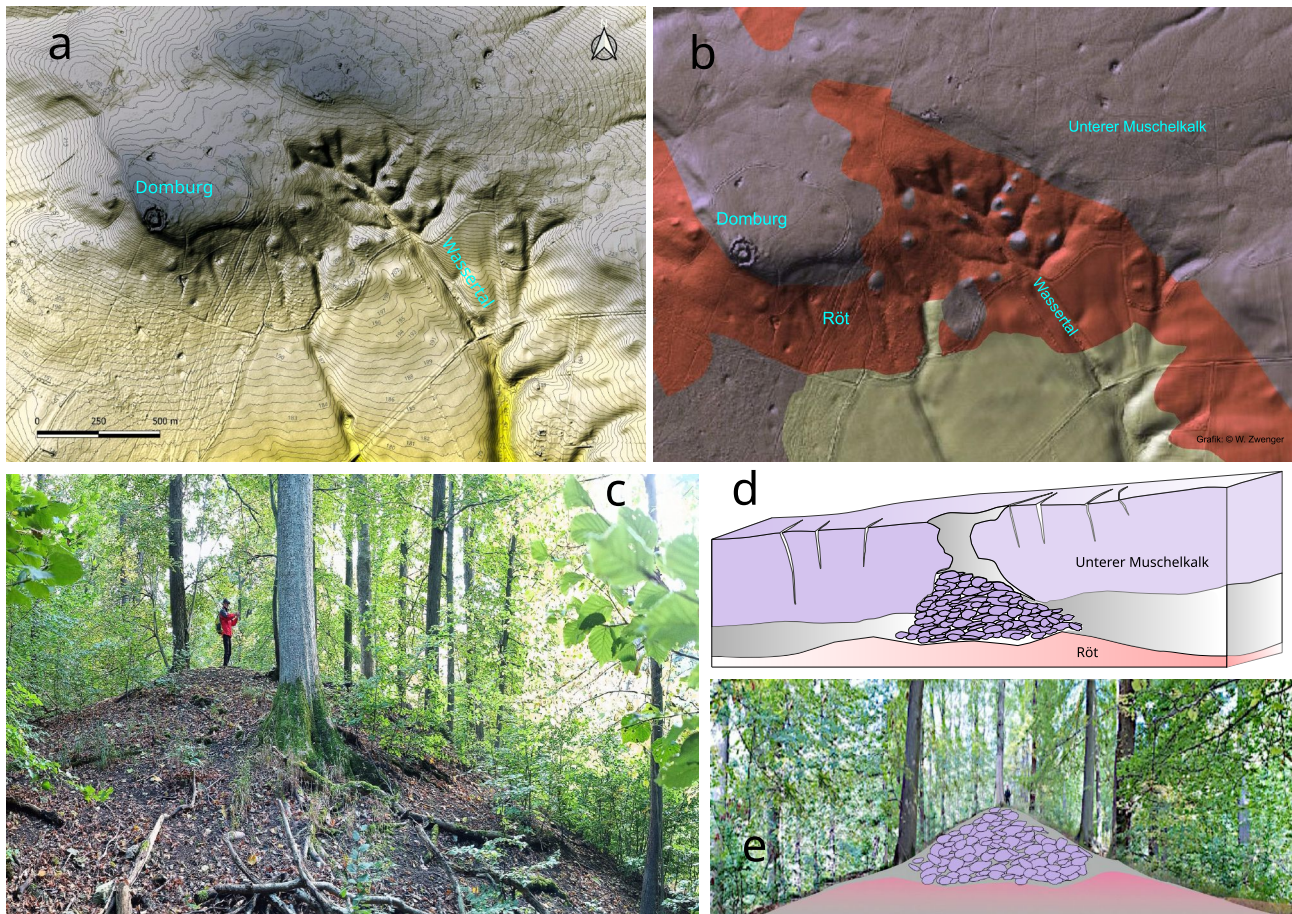


Abb. 6: Einsturzdolinen im Wassertal. a) Höhenplan des Wassertales (DGM); b) Geologische Übersicht des Wassertales (DGM); c) Einsturzhügel aus Unterem Muschelkalk über ausstreichendem Röt im Wassertal; d) Model einer Einsturzdoline im Unterem Muschelkalk über einem Lösungshohlraum im Röt; e) Model eines Einsturzhügels aus Unterem Muschelkalk über ausstreichendem Röt

3.2 Unterer Muschelkalk (Jena-Formation)

Die Mächtigkeit des Unterem Muschelkalks (Jena-Formation; muJ) im Betrachtungsraum kann auf 90-105 m veranschlagt werden. Die klassische Bankzonengliederung durch Oolith-, Terebratel- und Schaumkalkbänke lässt sich auch im Hakel anwenden (Abb. 6). Der Untere Wellenkalk (muI) ist ca. 40,5 m mächtig. Die darüber folgende Oolithbanksubformation (muJOo) erreicht eine Gesamtmächtigkeit von 6,5–8 m. Die basale Oolithbank α ist 2–2,5 m stark und besteht aus grobbankigen Kalkareniten. Die Oolithbank β erreicht nur 1,2–1,5 m Mächtigkeit. Im Zwischenmittel aus plattigen Kalkmergelsteinen treten gelblich verwitternde dolomitische Kalke auf, analog zu den „eigelben Kalken“ im Thüringer Becken. Der Mittlere Wellenkalk (muII) aus Kalkmergelsteinen und Kalklutiten erreicht im Hakel etwa 12 Profilmeter. Die Untere Terebratelbank (τ_1) ist 1,8–3,5 m stark, während die Obere Terebratelbank (τ_2) 2–2,5 m erreicht und aus dickbankigen Kalkarenitsequenzen besteht. In beiden Bankzonen treten mehrere Hartgrundsequenzen auf. Die untere Bank τ_1 ist mikrofaziell stärker strukturiert. Der Anteil von Bioklastruditen und Intraklastruditen ist größer als in τ_2 . Das Wellenkalkzwischenmittel zwischen beiden Bankzonen beträgt etwa 1,5 m. Aufgrund ihrer Mächtigkeit und Widerstandsfähigkeit bilden die Gesteine der Terebratelbanksubformation (muJTe) die Kammlagen der inneren Hakelhochfläche. Der Obere Wellenkalk (muIII) umfasst dort etwa 12 Profilmeter.

Die Schaumkalk-Subformation (muJSk) nördlich von Dalldorf ist im stillgelegten Steinbruch Kroppenstedt-Süd aufgeschlossen. Die Untere Schaumkalkbank ist dort 1,35–1,55 m stark, während die obere Bank 1–1,2 m mächtig ist. Das Zwischenmittel aus plattigen Kalklutiten und Kalkmergelsteinen weist dm-starke Bioklast- und Intraklastrudite auf.

Der ausstreichende Untere Muschelkalk des Hakels umfasst eine Fläche von 23,96 km². Darin wurden 123

Subrosionssenken im DGM registriert, was eine Anzahl von 5,13 pro km^2 in dieser Formation ergibt. Die Mehrzahl der rezent sichtbaren Einsenkungen im Unteren Muschelkalk geht auf Massendefizite bzw. Lösungshohlformen im Untergrund zurück. Auf der zentralen Hochfläche des Hakels wurden in der Nähe der Scheitelstörung 14 Subrosionssenken pro Quadratkilometer gezählt. Dieser Quotient entspricht etwa dem Dreifachen des für die Gesamtfläche des Unteren Muschelkalks ermittelten Wertes (vgl. Tab. 1). Im Schichtenverzeichnis des Bohraufschlusses GL 8- 4133 südlich von Heteborn wurden Einsturzmassen aus Muschelkalkgesteinen bis in eine Tiefe von -36 m GOK notiert (Abb. 4b). Auch in den benachbarten Bohrungen Heteborn GL 9 und GL 15- 4133 wurden Hinweise auf Subrosionssenken bis -17 m GOK festgestellt. Die drei vorgenannten Bohrungen liegen unmittelbar östlich der NW-SE - streichenden Ascherslebener Störung. In der Nähe dieser subsalinaren Störung muss mit irregulärer Auslaugung der Rötgipse gerechnet werden. Die Oberfläche der massiven Rötgipsbänke liegt in den o. g. Bohrungen bei 163 m bzw. 170 m unter Flur und die Grundwasseroberfläche bei + 145 m NN (nach HK 50-1, Blatt Halberstadt/Egeln, 1004 1/2). Somit befindet sich die Grundwasseroberfläche deutlich über den Sulfathorizonten. Die Mächtigkeit des Deckgebirges aus Unterem Muschelkalk kann im südlichen Bereich des Hakels auf 70 – 110 m veranschlagt werden. Die Oberfläche der für die Subrosionssenken verantwortlichen Rötgipse fällt nach Norden ein. Im Bereich des Steinbruchs Kroppenstedt-Süd ist der Abstand der Röt-Gipse zur Geländeoberfläche (205–220,5 m NHN) um 40–50 m angewachsen. Aufgrund der größten Überdeckungshöhe bzw. der gewachsenen Auslaugungstiefe von der Hakelhochfläche zum nördlichen Rand der Hake-Struktur nimmt die oberflächennahe Erdfallhäufigkeit im Unteren Muschelkalk ab.

3.2.1 Mittlerer Muschelkalk (Anhydrit-Folge)

Der Mittlere Muschelkalk kommt in grabenartigen Einsenkungen zwischen der Hake-Hochfläche aus Unterem Muschelkalk und der äußeren Umwallung aus Oberem Muschelkalk vor. Er tritt aber kaum zutage, sondern wird zumeist mit Deckschichten aus Lösslehm und Hangschutt überlagert. Lediglich im auflässigen Steinbruch Kroppenstedt-Süd sind oberhalb der Schaumkalkzone etwa 2 m der Orbicularisschichten aufgeschlossen. Diese dünnplattigen Dolomitkalke gehören zum Dolomit 1 (Unteres Karbonat; (Karlstadt-Formation)), welcher in der Bohrung GL 374 – 4033 bei -196,2 m GOK beginnt und ca. 13,2 m mächtig ist (Abb. 4b). Die unteren Rückstandsbildungen, welche bei -183 m GOK einsetzen, bestehen aus einer 16,2 m mächtigen Wechselfolge. Letztere setzen sich aus dolomitischen Residualtonen, Anhydrit sowie Dolomit mit drusenartigen Hohlräumen zusammen. Sie sind ein Äquivalent für das basale Salinar der Karlstadt-Formation, welches von BRÜCKNER-RÖHLING und LANGBEIN (1993) in der benachbarten Bohrung Hakeborn 211 (4033-GL798) beschrieben wurde. Dort konnten Steinsalzresiduale nachgewiesen werden. Im Profil von GL 374 - 4033 wurde das Steinsalz komplett subrodiert. Im nachfolgenden Mittleren Karbonat dominiert Dolomitfazies. Die oberen Rückstandsbildungen sind mit 19,5 m etwas mächtiger und faziell deutlicher ausgebildet als die unteren Rückstandsbildungen. Die hängenden Karbonatzyklen mit den Dolomiten 5 und 6 (oberes Karbonat) werden der 13,4 m mächtigen Diemel-Formation zugerechnet. Das Gesamtprofil des Mittleren Muschelkalks umfasst in der Bohrung GL 374 bei Gröningen 86,8 m. Setzt man diesen Wert ins Verhältnis zur geschätzten Gesamtmächtigkeit von 120 m für nicht ausgelaugte Profile des Mittleren Muschelkalks (vgl. PATZELT, 2003; RADZINSKI, 2008), dann ergibt sich im Gröninger Profil ein subrosionsbedingter Mächtigkeitsverlust von 28 %.

3.3 Oberer Muschelkalk (Hauptmuschelkalk-Folge)

In den Gesteinen des Oberen Muschelkalkes haben sich die größten Erdfälle gebildet (Abb. 2). Die Anzahl der Subrosionssenken /Erdfälle pro Quadratkilometer (n/A) ist in dieser Formation mit 1,68 dreimal kleiner als die Anzahl der Erdfälle/ Subrosionssenken im oberflächennahen Unteren Muschelkalk.

Etwa 3 km südwestlich der Seeburg wurde die Bohrung GL374 niedergebracht. Darin waren 103 Profilmeter des Oberen Muschelkalks aufgeschlossen (Abb. 4b). Das Liegende besteht aus einer 2 m mächtigen Wechsellagerung aus Kalklutiten und Kalkmergelsteinen. Ähnlich, wie in der von BRÜCKNER-RÖHLING und LANGBEIN (1993) beschriebenen Bohrung Hakeborn 211, ersetzt hier eine rein karbonatische Lithofazies die aus Thüringen bekannten Gelben Basisschichten. Darüber folgen der 13,6 m mächtige Trochitenkalk sowie 90 Profilmeter Ceratitenkalk. Die Oberfläche des ersten Grundwasserleiters liegt am Bohrpunkt GL374 nach der Hydrogeologischen Grundkarte HK 50-1, Blatt Halberstadt/Egeln, 1004 1 / 2, bei + 90 m NN. Die Unteren und die Oberen Rückstandsbildungen (Heilbronn-Formation) befinden sich dort im Teufenintervall von -37,6 bis -87 m GOK, also im unmittelbaren Einflussbereich des Grundwassers.

Etwa 1,3 km südlich der Bohrung L374 befindet sich innerhalb der Ceratitenschichten der eindrucksvolle Leth-Erdfall, welcher im Geotopkataster des LABG unter Nummer 4033-03 registriert ist. Die Oberkante des Leth liegt bei 127 m NN (Abb. 4a; Abb. 5b u. Abb. 5c). Das DGM weist die Wasseroberfläche im Leth-Erdfall bei 102 m HNH aus (- 22 m GOK). Die Grundwasseroberfläche befindet sich dort bei +120 m NN (nach HK501, Blatt Halberstadt/Egeln, 1004 1/2). Die Sohle des Erdfalls liegt ca. 60 m über den Unteren Rückstandsbildungen.

Die Halit- und Sulfatsubrosion im Mittleren Muschelkalk führten zur Auflockerung des Gesteinsverbandes und zu Hohlraumbildungen im Untergrund. Das hat über den Subrosionsherden zu einem sukzessiven Nachsacken und

Nachbrechen der Deckschichten geführt. Davon waren insbesondere die stark geklüfteten harten Deckschichten aus Dolomiten und Kalksteinen betroffen. Vergleichbare Auslaugungsprofile, bei denen Mittlerer und Oberer Muschelkalk in ähnlicher Weise beteiligt sind, wurden u. a. aus Niedersachsen (vgl. BALZER et al., 2023; PRINZ, 1980) sowie aus Baden-Württemberg beschrieben (vgl. PLUM, 2008).

Die hier betrachteten Areale liegen im Einflussbereich der Ascherslebener Störung und deren Querstörungen (Abb. 2). Man darf davon ausgehen, dass in der Nähe dieser Hauptstörung ein großer Durchklüftungsgrad herrscht, welcher eine irreguläre Auslaugung tieferer Horizonte ermöglicht. Die im Mittleren Muschelkalk entstandenen Hohlräume können noch bis zu einer Tiefenlage von etwa 150 m an die Oberfläche durchbrechen (vgl. PRINZ und STRAUSS, 2018). Bei vorhandener Überdeckung durch Gesteine des Oberen Muschelkalks bzw. des Unterkeupers zeigen die aus dem Mittleren Muschelkalk hochbrechenden Einsturztrichter meist sehr steile bis nahezu senkrechte Wände (vgl. WOLFF, 1987). Das Leth ist ein Musterbeispiel für diesen Erdfalltyp, was das DGM (Abb. 3a) sowie die geologischen Schnitte (Abb. 4b und Abb. 4c) verdeutlichen. Das Leth erreicht eine Öffnungsweite von 209 m und eine maximale Hangneigung von 60 - 69 %. Es liegt über ursprünglich mächtigen Sulfatlagern des Mittleren Muschelkalks und des Röt. Außerdem befindet es sich im Kreuzungsbereich einer Parallel- und einer Querstörung der Ascherslebener Störung. Deren Zerrüttungszonen haben das Eindringen von Wasser bis zu den Sulfatlagern als auch das schlotförmige Hochbrechen ermöglicht. Auffällig steil fallen auch die Einsturzwände des Grundlos (Hangneigung max. 63 %) und des Schleuf (Hangneigung max. 49,7 %). Diese Großerdfälle liegen 0,8 bzw. 1,1 km nordöstlich eines Abzweigs der Ascherslebener Störung (vgl. Abb. 2).

3.4 Keuper

Die Gesteine des Unteren und Mittleren Keuper konzentrieren sich auf die äußeren Randbereiche der Hakel-Struktur. Sie sind zumeist unter Deckschichten aus Geschiebelehm-/Mergel oder Löss verborgen und treten daher kaum zutage. Die geringste Erdfallsuszeptibilität im Betrachtungsraum weisen die Gesteine des Keupers auf ($n/A = 1,29$). Im ausstreichenden Unteren Keuper zwischen Gröningen und Deesdorf lassen sich neun Subrosionssenken feststellen. Eine davon gehört zum Erdfallereignis vom 29. Mai 1798. Der Einsturz ist aktenkundlich belegt und liegt ca. 850 m östlich von Deesdorf im Lettenkeuper LANDESARCHIV SACHSEN-ANHALT, 1798. Der Lettenkeuper (Erfurt-Formation) besteht dort aus Wechsellagerungen von Tonen mit Einschaltungen von dünnen Bänken toniger Sandsteine und Kalksteine. In der Bohrung GL124 – 4033 westlich von Deesdorf ist der Untere Keuper 30 m mächtig (Abb. 2; Abb. 4c). Das nachfolgende Schichtenpaket vom Oberen bis zum Unteren Muschelkalk weist eine Gesamtmächtigkeit von 280 m auf. Die Myophorienschichten und die Obere Violettfolge beanspruchen 151,5 Profilmeter. Im unteren Abschnitt des Rötprofils ist ein 5,1 m mächtiger Salinarhorizont mit erhaltenem Steinsalz eingeschaltet. Das basale Rötsteinsalz ist 25 m mächtig und reicht bis in eine Teufe von –520 m GOK. Der Untere Gipskeuper wird etwa 1 km östlich von Deesdorf von einer NW-SE-streichenden Störung gegen den Oberen Muschelkalk verworfen. Die Störung wird von 7 Erdfällen im Ausstrich des Keupers begleitet. Unmittelbar vor der Störung befindet sich der o. g. Erdfall von 1798. Hangaufwärts, ebenfalls in Störungsnähe, befindet sich ein weiterer im Ceratitenkalk. Beide Subrosionssenken liegen offenbar über Zerrüttungszonen im Oberen Muschelkalk. Die im Störungsbereich stark geklüfteten Gesteine des Oberen Muschelkalks haben eine sehr gute Wasserdurchlässigkeit, so dass Sickerwasser dort leicht eindringen kann. Die weichen Keuperdeckschichten wurden vom Oberflächenwasser ausgespült, bis schließlich die im Oberen Muschelkalk vorhandenen Subrosionsschote zur Oberfläche durchbrechen konnten. Das Erdfallereignis im Jahre 1798 fand nach den o.g. Aufzeichnungen während eines Gewitterregens statt. Der brunnenartige Schacht hatte einen Durchmesser von 8 bis 10 Fuß und eine Tiefe von 172 Fuß (53,98 m).

4 Postgenetische Sedimentfüllungen in Subrosionssenken

Bei der Kartierung der Geologischen Karten 1:25.000, Blätter Wegeleben und Kochstedt, haben WIEGERS (1932) und WEISSERMEL (1926b) in einzelnen Erdfällen des Unteren Muschelkalks der Hakelhochfläche Füllungen mit tertiären Sedimenten festgestellt (Abb. 2). In Handbohrungen wurden weiße und bräunliche Sande sowie weiße Tone beobachtet, welche dem Eozän zugeordnet wurden. Es ist etwas schwierig, im unwegsamen Hakelwald die in den geologischen Messtischblättern eingetragenen Erdfälle mit tertiären Füllungen wiederzufinden.

Die Abbildung 7 zeigt eine Sondierbohrung ca. 850 m nordöstlich der Ortslage von Heteborn. Das Sondierprofil ergab Deckschichten aus humosem Oberboden sowie ockerfarbenem Lösslehm ab – 1,84 m GOK wurden weißer mittelsandiger Feinsand festgestellt. Das entspricht den Beschreibungen der tertiären Sedimentfüllungen von WIEGERS (1932) für diesen Standort. Das DGM weist benachbart mehrere Subrosionssenken mit Durchmessern von 20–30 m auf. Zum überwiegenden Teil sind diese mit Löss gefüllt. Etwa 1700 m südwestlich von Heteborn wurden in der Bohrung GL15-4033 unter den holozänen und pleistozänen Deckschichten in 13,4 bis 15,2 m Tiefe tertiäre Schluffe über Unterem Muschelkalk beobachtet. Im Schichtenverzeichnis der 250 m östlich von GL15 gelegenen Bohrung GL8 wurde ein bis 36,10 unter Flur reichendes Einsturzgebirge aus Muschelkalk vermerkt. Die beiden Aufschlüsse liegen im Nahbereich der Ascherslebener Störung, so dass man mit der Zerrüttung

des Deckgebirges und der Ausbildung von aufgeweiteten Klüften und Spalten mit Karrenbildungen sowie Subrosionssenken rechnen darf.

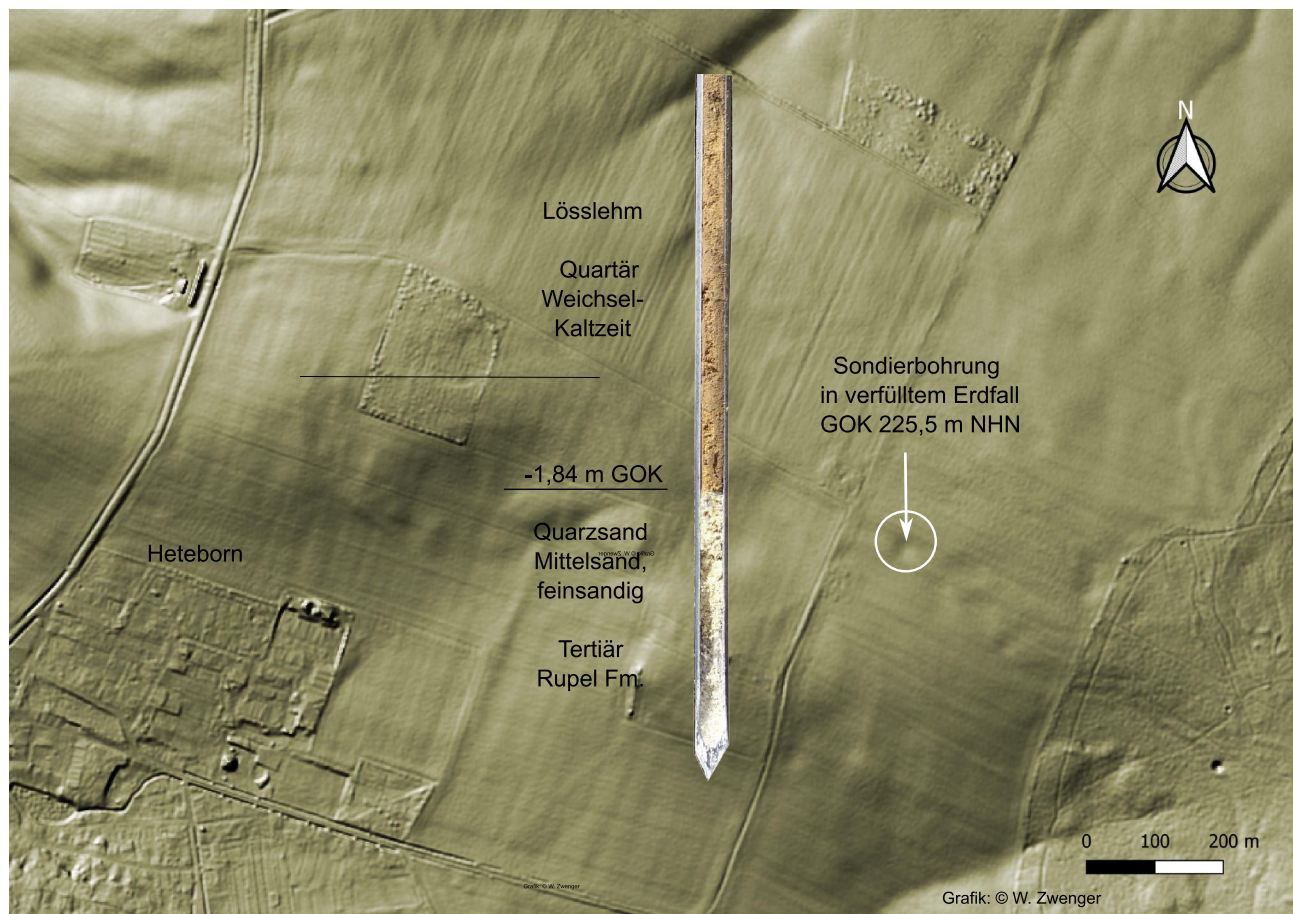


Abb. 7: Sondierbohrung in einem mit tertiären Sedimenten gefüllten Erdfall nördlich von Heteborn.

BALASKE (1999) hat bei der Bearbeitung des Tertiärs von Nachterstedt die tertiären Sedimentfüllungen von Erdfällen im Hakel als transgressive Folge der Rupel-Schichten (Oligozän) eingestuft. Am nördlichen Harzrand bei Thale und Wienrode gibt es Nachweise von marinem Unteroligozän auf einem Höhenniveau von 213 m NN (KÖNIG, 2008; KÖNIG et al., 2011). Das entspricht in etwa dem Höhenniveau der mit tertiären Sedimenten gefüllten Erdfällen im Unteren Muschelkalk der Hakelhochfläche. Die Ausbildung von Subrosionssenken und Karstschlotten auf den Muschelkalkoberflächen des Hakels könnte im Alttertiär oder bereits in der Oberkreide stattgefunden haben. Auf Grund der Erdfall-Füllungen mit eozänen oder unteroligozänen Sedimenten kann folglich die Hebung der Hakel-Struktur erst nach der marinen Phase im Oligozän stattgefunden haben. Das würde einhergehen mit den von KARPE (1994) postulierten Hebungen der Hakel-Struktur während des Pliozäns.

Literatur

- ADERHOLD, G., 2005. *Klassifikation von Erdfällen und Senkungsmulden in karstgefährdeten Gebieten Hessens: Empfehlungen zur Abschätzung des geotechnischen Risikos bei Baumaßnahmen* **online** = Geologische Abhandlungen Hessen 115. Wiesbaden: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, S.100.
- BALASKE, P., 1999. *Marine-influence sediments in the eocenes lignites of open-cast-mine Nachterstedt-Schadeleben in the eastern Subhercynian depression - sedimentology, facies and stratigraphic position* **online** Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften. Beiheft 9. Halle (Saale): Selbstverl. Fachbereich Geowiss. d. Univ. Halle, S.92.
- BALZER Dirk; Fuchs, M. et al., 2023. *Erdfälle in Deutschland, Teil I: Beiträge zur inventarbasierten Analyse, zur lokalen physikalisch-geometrischen Modellierung und zur regionalen Modellierung der Empfindlichkeit* **online** Hannover, S.210.
- BEHRENS, G.H., 1703. *Hercynia Curiosa, oder Curiöser Hartz-Wald/ Das ist Sonderbahre Beschreibung und Verzeichnis Derer Curiösen Hölen/ Seen/ Brunnen/ Bergen/ und vielen andern an- und auff dem Hartz vorhandenen Denckwürdigen Sachen : mit unterschiedenen Nützlichen und Ergetzlichen Medicinischen/ Physicalischen und Historischen Anmerckungen*. Nordhausen: Neuenhahn, S.200.
- BRÜCKNER-RÖHLING, S. und LANGBEIN, R., 1993. Lithostratigraphie des Mittleren Muschelkalks in der Bohrung Hakeborn-211 (Subherzynes Becken) und Logkorrelation zwischen Thüringer Becken, Subherzyn und Norddeutschem Becken. In: *Muschelkalk*. Hrsg. von H. HAGDORN, Sonderbände der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg. Stuttgart, Korb: Goldschneck-Verl. Weidert, S.105–110.
- GROSS, A. et al., 1982. Geschützte und schützenswerte geologische Objekte im Bezirk Magdeburg. *Naturschutzarbeit in den Bezirken Halle und Magdeburg*, 15(2), S.25–49.
- HINZE, K., 1958. *Geologie des Hakel (Subherzynes Becken) unter besonderer Berücksichtigung der Feinstratigraphie des Unteren Muschelkalkes*. Diplom-Arbeit, Humboldt Universität zu Berlin, S.100.
- KARPE, W., 1994. Zur Dynamik halokinetischer Randsenken auf der Subherzynen Scholle. *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften*, 16, S.79–93.
- KÖNIG, W., 2008. *Zeitliche und genetische Einordnung von tertiären Sedimentvorkommen im Mittelharz und im Harzvorland : ein Beitrag zur Reliefentwicklung und zur Karstmorphogenese im Harz*. Dissertation. Martin Luther Universität, S.148.
- KÖNIG, W. et al., 2011. Die marine Beeinflussung der Subherzynen Senke und der Mittelharz- hochfläche im Oligozän – Biostratigraphische und sedimentpetrographische Analysen tertiärer Sandvorkommen. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, 39(5/6), S.387–431.
- LEUCKFELD, J.G., 1710. *Johann Georg Leuckfelds Antiquitates Gröningenses, Oder Historische Beschreibung Der Vormahligen Bischöflichen Residentz Gröningen/ In itzigem Fürstenthum Halberstadt : Worinnen von derer rechten Benennung/ Lage/ alten Halberstädtischen Bischöffen/ itzigen höchsten Landes-Herren/ Eintheilung in Schlos- Haus- Wester- Süd- und Nord-Gröningen ... und denen zu solchem gehörigen Weichbildern Croppenstädt/ Wegeleben/ Schwanebeck/ Cockstedt/ auch Clöstern Hadmersleben und Adersleben ... u.s.w. gehandelt wird ; Alles aus bewehrten Scribenten und alten Documenten zusammen getragen, auch mit nöthigen Diplomatis, Brieffen, Kupffern und Registern versehen*. Quedlinburg: Calvisius, S.296.
- MEIER, G. und MEIER, J., 2007. Erdfälle und Tagesbrüche – Möglichkeiten einer numerischen Modellierung. *Bulletin für angewandte Geologie*, 12(1), S.91–103.
- PATZELT, G., 2003. *Nördliches Harzvorland: (Subherzyn), östlicher Teil*, = Sammlung geologischer Führer 96. Berlin; Stuttgart: Borntraeger, S.182.
- PLUM, H., 2008. *Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg*, = LGRB-Informationen 20. Freiburg: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (LGRB), S.106.
- PRINZ, H., 1980. Erscheinungsformen des tiefen Salinarkarstes an der Trasse der DB-Neubaustrecke Hannover-Würzburg in Osthessen. In: *Baugeologie, Felsbau, Erdbeben und rezente Tektonik, Mechanisierung im Tunnelvortrieb, Risikenverteilung im Felsbau* **online** hrsg. von L. MÜLLER. Wien: Springer, S.23–33.
- PRINZ, H. und STRAUSS, R., 2018. *Ingenieurgeologie* **online** Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S.899.

- RADZINSKI, K.-H., 2008. Trias. In: *Geologie von Sachsen-Anhalt*. Hrsg. von G.H. BACHMANN et al. Stuttgart: Schweizerbart, S.180–230.
- REUTER, F. et al., 1979. Zur Zusammenarbeit von Geotechnik und Geophysik bei der Untersuchung von Karstproblemen. *Neue Bergbautechnik*, 9, S.503–507.
- STRAUSS, R., 1995. Geotechnische Untersuchungen an sulfatkarstgeschädigten Tonsteinen der Röt-Folge (Oberer Buntsandstein) in Nordhessen. *Geologisches Jahrbuch Hessen*, (124), S.47–66.
- VLADI, F. et al., 2017. Erdfälle im Geopark Harz - Braunschweiger Land – Ostfalen. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Karstkunde Harz*, 38(1/2), S.17–38.
- WEISSERMEL, W., 1926a. *Blatt Kochstedt : Gradabteilung 57, Nr. 17 (Lieferung 217)*, Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern. Berlin, S.61.
- WEISSERMEL, W., 1926b. *Blatt Wegeleben : Gradabteilung 56, Nr. 12 (Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Lfg. 217 = [Alte Nr. 2308] = [Neue Nr. 4133])*. Berlin, S.54.
- WIEGERS, F., 1932. *Blatt Gröningen*, = Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Lfg 308 = [Alte Nr. 2235, Neue Nr. 4033]. Berlin: Preußische Geologische Landesanstalt, S.41.
- WOLFF, G., 1987. Subrosionserscheinungen im mittleren Kocher-Jagst-Gebiet (Hohenlohe, Nordwürttemberg). *Jahreshefte Geologisches Landesamtes Baden-Württemberg*, 29, S.269–282.
- ZWENGER, W., 1983. *Profilaufnahme des Muschelkalktagebaus der VEB Sodawerke in Förderstedt bei Staßfurt (unveröff.)*. Rietz-Neuendorf, GEOCON GmbH, S.5.

Karten/Archivalien/Internetquellen

DANCKERTS, J., 1707. *Ducatus Brunsvicensis in eiusdem tres Principatus Calenbergicum Scilicet et Grubenhagenensem (Sub Electoro B. L. Hannoverano) et in Guelpherbitanum (Sub Duce B. L. Guelpherbitano) Distincte Divisi. Episcopatus Hildesiensis Principatus Halberstadiensis et Comitatum Schawenburg, Hohnstein, Rheinstein, Blankenberg, Stolberg et Wernigerodae Nova Tabula; cum Privilegio* **online** Map.

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESSEN (LAGB SA), 2020. *Landesbohrdatenbank*. <https://www.lagb.sachsen-anhalt.de/service/geofachinformation/landesbohrdatenbank/>. Zugriff vom 20.1.2020.

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESSEN (LAGB SA), 2025a. *Geotopkataster Sachsen-Anhalt*. <https://lagb.sachsen-anhalt.de/geologie/geotope/geotopkataster>. Zugriff vom 23.07.2025.

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESSEN (LAGB SA), 2025b. *Tektonische Übersichtskarte, C 4330*. <https://webs.idu.de/lagb/lagb-default.asp?thm=tek400&tk=C4330>. Zugriff vom 23.7.2025.

LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION (LVERMGEO LSA), 2025c. *Digitale Orthophotos*. <https://www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de/de/gdp-digitale-orthophotos.html>. Zugriff vom 23.7.2025.

LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION (LVERMGEO LSA), 2025d. *Kostenfreies Digitales Geländemodell mit einer Rasterweite von 2 m (DGM2) - landesweit*. <https://www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de/de/gdp-dgm2-landesweit.html>. Zugriff vom 23.7.2025.

LANDESARCHIV SACHSEN-ANHALT, 1798. *Der zwischen Gröningen und Deesdorf am 29. Mai 1798 entstandene große Erdfall (LASA), A 17 III, Nr. 1452*. <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/GJRRD-JIMZJRP72EEFP4Z7ANK6W3WNZN3>. Zugriff vom 23.7.2025.

VISSCHER, C.J., 1659. *Ducatus Brunsvicensis Fereque Lunaeburgensis : Cum adjacentibus Episcopatibus, Comitatus et Dominatibus etc. nova locupletissima Descriptio Geographica*. <https://vufind.mzk.cz/Record/MZK03-001059798/Citation#tabnav>. Zugriff vom 23.7.2025.