Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doctoris rerum naturalium des Fachbereiches Material- und Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt Institut für Angewandte Geowissenschaften Betreuung: Prof. Dr. Stephan Kempe

"Aufklärung der tektonischen Struktur des Harz-Südrandes und dessen Genese seit dem Perm nach Erfassung der Geologie des Südharzer Zechsteins im Maßstab 1:10.000"

genehmigte Dissertation von

Dipl.-Ing. Hans-Peter Hubrich aus Lautertal/Odenwald hphubrich@t-online.de

22. Juli 2020

Hubrich, Hans-Peter: Aufklärung der tektonischen Struktur des Harz-Südrandes und dessen Genese seit dem Perm nach Erfassung der Geologie des Südharzer Zechsteins im Maßstab 1:10.000 Darmstadt, Technische Universität Darmstadt Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUprints: 2021 Tag der mündlichen Prüfung: 22.07.2020

Veröffentlicht unter CC BY 4.0 International https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Hans-Peter Hubrich

Dipl.-Ing. Hans-Peter Hubrich Am Langenmarkstein 31 64686 Lautertal Fernsprecher 06251 - 4285 E-Mail: hphubrich@t-online.de

Kurzlebenslauf

- Geboren 1934, verheiratet seit 1956
- Berufstätigkeit und tätigkeitsbegleitende Ausbildung im Steinkohlenbergbau an der Ruhr von 1951 bis 1959: Bergmännische Lehre, Hauer, Schießmeister, Besuch der Bergschule mit Abschluss als Gruben- und Tagessteiger 1958, zugleich Erwerb der fachgebundenen Hochschulreife. Tätigkeit als Schichtsteiger.
- Studium von 1959 bis 1964 an der RWTH Aachen, Fachrichtung Bergbau.
 Diplomarbeit: "Ausgasung und Schichtenkennzahlen für den Aachener Steinkohlenbezirk."
- Praktika im Kalibergbau Niedersachsens und Eisenerzbergbau Hessens.
- Berufstätigkeit von 1964 bis 1968 im Steinkohlenbergbau an der Ruhr als Reviersteiger, Fahrsteiger, später beauftragt mit Führungs- und Projektaufgaben in der Vor- und Herrichtung und Mechanisierung.
- Umorientierung wegen des Strukturwandels des deutschen Bergbaues: Berufstätigkeit von 1968 bis 1997 in einer Unternehmensberatung als Beratungsingenieur, später Geschäftsbereichsleiter und Geschäftsführer. Tätigkeitsschwerpunkte waren:
 - Projektmanagement in Forschung und Entwicklung, z.B.: Pharma, Pflanzenschutz und Baugruppenentwicklung.
 - Projektmanagement bei Investitions- und Instandhaltungsprojekten der Prozessindustrie (Chemie, Petrochemie, Zementfabriken, Zuckerfabriken, Energiewirtschaft)
 - Entwicklung, Anpassung und Einführung von Systematiken der Instandhaltungs- und Investitionsabwicklung.
 - Maßgebliche Beteiligung an Rationalisierungsprojekten der Chemie-Industrie und Energiewirtschaft.
 - Maßgebliche Beteiligung beim Abfassen von Betriebs- und Werkshandbüchern.
- Tätigkeit als selbständiger Berater von 1997 bis 1999 beim organisatorischen Aufbau der Technik-Funktionen eines mittelgroßen Chemieunternehmens in Bitterfeld.
- Studium der Angewandten Geowissenschaften an der TU Darmstadt seit dem Wintersemester 2002/03.
- Promotion zum Dr. rer. nat. am 22.Juni 2020

Aktivitäten in der Vergangenheit

- Referent bei Veranstaltungen von Prof. Dr. rer. pol. Wolfgang Männel, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- Referent in Veranstaltungsreihen der Technischen Akademie Esslingen
- Referent in Veranstaltungsreihen des Hauses der Technik, Essen

Arbeitsthemen

- Aufklärung der tektonischen Struktur und Lagerung des Südharzer Zechsteins und dessen Genese.
- Untersuchungen von Höhleninschriften.
- Geologische Öffentlichkeitsarbeit in der Felsbergregion des Geo-Naturparks Bergstraße-Odenwald.
- Historische Öffentlichkeitsarbeit der römischen Steinbrechertätigkeit auf dem Felsberg.

Kurzfassung

Der in Norddeutschland gelegene Harz wurde durch seine Hebung während der Oberkreide zu einem Horstgebirge aus paläozoischen Gesteinen mit einem Saum aus jüngeren Schichten. Das Bearbeitungsgebiet ist der Saum des Südharzes auf einer Länge von etwa 82 km und mit einer Breite von 1 bis 5 km. Er besteht aus Schichten der Zechsteinserien 1– 4 (Werra, Stassfurt, Leine und Aller, letztere steht nur in wenigen Aufschlüssen an), die im S des Saums unter den Unteren Buntsandstein abtauchen. Der Kupferschiefer, der liegende Pelit des Zechsteins, wurde jahrhundertlang bergmännisch im Tage- und Tiefbau gewonnen. Die hangenden Tone, Karbonate und Sulfate wurden in Steinbrüchen und die Salze im Tiefbau abgebaut. Die Salze der Serien sind oberflächennah subrodiert. Die Morphologie ist großflächig von Verkarstung geprägt.

Auf der Grundlage von neun Karten der Landesämter (einige Karten sind älter als 100 Jahre), etwa 40 Diplom-Kartierungen, zahlreichen Karten aus Kartierkursen und eigener Kartierungen wurde eine abgedeckte geologische Karte für eine Fläche von 338 km² erarbeitet. Sie erstreckt sich über Regionen dreier Bundesländer. Das Programm ArcGISTM ermöglichte es, die Karten georeferenziert im Maßstab 1:10.000 darzustellen. Die tektonische Struktur konnte an Hand von 150 Profilen modellhaft aufgeklärt werden. Ausgehend von der Hypothese gleichmäßigen S-Einfallens des Präzechsteins sind die konstruierten Profile zwischen 6° und 15° nach S fallend angelegt. Dieses Kartenwerk umfasst den Südharz von Förste bei Osterode bis zur Lokalität Mooskammer bei Morungen mit einheitlicher Legende und einheitlichen stratigrafischen Farben. "Blattrandverwerfungen" sind geklärt und ausgeglichen. Die derart gewonnene tektonische Karte erlaubt Interpretationen über Bearbeitungsgrenzen hinweg. Störungen wurden mit ihrer Spur dargestellt. Sie wurden in Stratigraphiestörungen, Erdfallstörungen, konstruierte und interpretierte Störungen unterschieden. Nach dem Sortieren und Glätten der kartierten Störungen konnten dominante Streichrichtungen in rheinischen, variszischen, herzynischen und eggischen, also den durchweg in Mitteleuropa anzutreffenden Richtungen abgeleitet werden. Sie zeigen annähernd gerade Verläufe mit Ausnahme der herzynischen, die die Krümmung der südharzer Grenze des Paläozoikums nachzeichnet. Aus den Störungsverläufen wurde das Schollenmosaik abgeleitet und mit Hilfe von Architektur-Elementen beschrieben.

Nach der Modellvorstellung der Inversionstektonik (Kley, 2013) ist der Harz während dreier tektonischer Phasen entstanden: Krustendehnung, Kompression und Extension.

Die Absenkung des Norddeutschen Beckens durch die Krustendehnung in der **1. Phase** schuf während des Perms und dem Mesozoikum einen mehrere Kilometer mächtigen Sedimentationsraum.

In der **2. Phase** verursacht die herzynisch gerichtete Kompression die Bildung von Störungsbegrenzten Bruchleisten und Horst-Graben-Folgen in Abständen von wenigen hundert Metern. Diese können als Strukturen interpretiert werden, die mit der Harz-Hebung entstanden sind. Die Kompression verursachte einige kleinmaßstäbliche Sättel, Aufwölbungen, regionale Versteilungen und großmaßstäbliche Flower-Strukturen. Eine Aufschiebung mit etwa 100 m Verwurf kann auf etwa 50 km Länge von Neuhof bis Morungen verfolgt werden.

Die **3.** Phase wird charakterisiert durch mit wenigen Kilometern Abstand wiederkehrende rheinisch und eggisch streichenden Störungen. Diese bilden u.a. Grabensysteme, so den Römerstein-Weißensee-Graben, den Bere-Graben und das Thyra-Tal.

Die Störungs-Systeme sind die wesentlichen Ursachen der hydrogeologischen Erscheinungen im Sulfat-Karst des Süd-Harzes: Bachschwinden, viele Erdfälle und zahlreiche Karstquellen, drei davon mit großer Schüttung (Salza-Spring bei Förste, Rhume-Quelle bei Rhumspringe und Salza-Quelle bei Nordhausen).

Abstract

The Harz in Northern Germany is a horst composed of variscan-folded Paleozoic rocks uplifted during the upper Cretaceous. It is surrounded by younger strata. The area of investigation comprises the South Harz Zechstein Belt, about 82 km long and 1 to 5 km wide. The lowermost four Zechstein Cycles (Werra, Stassfurt, Leine, Aller) are exposed of which Aller is found only at a few places. Towards the south, the Zechstein dips below the overlying thick strata of the Buntsandstein (lower Triassic). At the Zechsteinbasis, a marly pelite, the Copper-Shale, was mined for its copper content for centuries in open pits and mines. The overlying clays, carbonates and sulfate rock are quarried intensively today. The originally interspersed salts have been subroded and are now missing along the Zechstein Belt but are mined below the Buntsandstein to the south. The morphology of the Zechstein Belt is characterized by widespread karstification.

Nine published geological maps of the Geological State Surveys, some older than 100 years, and recent large-scale maps, obtained during about 40 diploma theses and many university mapping courses, combined with own field studies were used to construct a new, unified geological map of the Zechstein-Belt. It covers 338 km² between Förste near Osterode in the west and the location Mooskammer near Morungen in the east, running across three Federal States. The program ArcGIS was used to geo-reference all map details on a scale of 1:10,000. In addition, 150 geological profiles helped to deduce a tectonic model for the South-Harz. Faults are categorized as stratigraphical faults, faults deduced from sinkhole chains, and those that were needed to obtain plausible profile solutions and to connect adjacent profiles. These are based on the hypothesis, that the pre-Zechstein basis continues southwards with a dip of 6 to 15°. Faults turned out to follow the well-known rhenic, variscan, hercynian and eggian tectonic directions found throughout Central Europe. All stayed within a narrow direction margin, only the hercynian faults turn from NW-SE to SW-NE following the southern border of the Harz Paleozoic. The resulting tectonic mosaics and the general tectonic architecture is described.

The Harz is, according to the inversion tectonic (Kley, 2013), the result of three phases of crustal dilatation, compression and renewed extension.

Phase 1 is responsible for the sinking of the North German basin, providing the space for Permian and Mesozoic sediments, many kilometers thick.

Phase 2 caused the hercynian directed, compressional system of step faults and horst-graben sequences, recurring every few hundred meters. These can be interpreted as large-scale compressional flower-structures, associated with the uplifting of the Harz. The compression also causes a few small-scale open anticlines and compressional ridges and led to regional steepening of the dip. A more prominent fault of about 100 m thrust can be followed for about 50 km from Neuhof to Morungen.

Phase 3 is characterized by rhenic and eggian faults, recurring at distances of a few kilometers. Typical graben systems such as the Römerstein-Weißensee, the Bere-Valley and the Thyra-Valley Graben are interpreted as dilatational flower structures.

These fault systems are decisive in interpreting the hydrogeology of the sulfate karst of the South Harz that features a score of creek ponors and river sinking sites and many karstic springs, three of them of very large discharge (Salza-Spring at Förste, Rhume-Spring near Rhumspringe, and Salza-Spring near Nordhausen).

Schlüsselworte

Anhydrit Flower-Strukturen der Phase 2, Kompression Flower-Strukturen der Phase 3, Extension Gesteine des Zechsteins Gips Horst-Graben-Folgen Streichrichtungen der Störungen Schollenmosaik Schollentreppen Störungen Störungen Störungen Südharz überregionale W - E- streichende Abschiebung Übersicht über die Tektonik des Südharz z1K-Flächen z2K-Flächen Zechstein

Abkürzungsverzeichnis

A-M-S	Agnesdorf-Morungen-Störung
BA	Bachelor-Arbeit
CD	Compact Disk
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DK	Diplom-Kartierung
E	Osten
E`	östlicher
E``	östlichst
EFSt	Erdfallstörungen
ff	(und) Folgende
GIS	Geo-Informationssystem
GK	Geologische Karte
GK 1:10.000	mit Maßstab
GK 4227 GK	mit Blatt-Nr.
HPH	Hans-Peter Hubrich
i.d.R.	in der Regel
KK	Kartierkursus
Ma	10 ⁶ Jahre
m.W.	meines Wissens
Ν	Norden
N`	nördlicher
N``	nördlichst
N-B-S	Neuhof-Buchholz-Störung
NSG	Naturschutzgebiet
NHN	Normalhöhennull
S	Süden
S`	südlicher
S``	südlichst
St	Störung
StA	Studienarbeit
s.w.o.	siehe weiter oben
s.w.u.	siehe weiter unten
Sn	Schnitt
SM	Schollenmosaik
TK	topographische Karte
VER	veröffentlichte Kartierung
W	Westen
W	westlich
W``	westlichst
z.B.	zum Beispiel

Begriffserklärungen

Zur Gliederung

Cluster

ist ein Hilfsmittel der Erfassung. Das Kartenwerk des Untersuchungsgebietes ist im Maßstab 1 : 10.000 erfasst. Es ist in neun Cluster geteilt, die mit der dominanten Blattnummer des größten Anteils der geologischen Karten der Landesämter des jeweiligen Abschnittes gekennzeichnet sind.

Abschnitt

ist ein Hilfsmittel der Beschreibung. Das Untersuchungsgebiet wurde dazu in 18 beschreibbare Längenabschnitte geteilt. Die Abschnitte werden beschrieben u.a. mit

- Lage und Größe,
- Quartär-abgedeckter "Stratigraphie"-Karte,
- tektonischer Karte mit der Blockstruktur,
- tektonische Karte mit dem Schollenmosaik,
- einer oder mehreren geologischen Profilen,
- wahlweise Karten von Erdfallverteilungen, Steinbrüchen, Kupferschieferhalden ("Duckel") sowie Flussverläufen
- und einer Karte mit den Grenzen der benutzten Kartiergrundlagen.

Einfallen und Streichen

Das **Einfallen** ist der Winkel einer geneigten Schicht gegen die Waagrechte. Das **Streichen** ist die Richtung senkrecht zur Einfallrichtung.

In den Schnittkonstruktionen sind die Störungen mit 90° Einfallen dargestellt.

Winkelbereiche der Streichrichtungen (siehe auch Kapitel 4.2)				
NNE - SSW rheinisch $\sim 0^{\circ}$				
NE - SW	erzgebirgisch-variszisch	0° - 60°, 70° Teilbereich		
WNW - ESE	herzynisch	Streuung 85 – 125°		
NNW – SSE	eggisch	150°		

<u>Störungen</u>

Eine Störung ist ein Bruch im Gesteinsverband mit erkennbarem oder vermutetem Versatz der Schollen.

Störungen werden als Spuren mit Längen und Richtungen im Kartenwerk erfasst.

Die Störungen werden codiert

- mit der Kennung des Clusters 4NNN,
- mit der von ArcGISTM zugeteilten Identnummer NNN
- und mit einem oder mehrere(n) Merkmale(en) der Störungskategorie(n)

Merkmale der Störungskategorien (siehe Erläuterungen in Kapitel 3.11)

Störungskategorien:

reale Störungen:

- K Stratigraphiestörungen
- H Störungen aus Höhlenkartierungen
- E Erdfallstörungen

konstruierte Störungen:

- S Störungen aus der Schnittkonstruktion
- M Störungen aus Mosaik-Konstruktionen
- F verborgene Störungen unter Flüssen und Tälern
- **B** aus Bohrprofilen abgeleitete Störungen

Architektur-Elemente – Oberbegriff für tektonische Muster

Schollenelemente sind Schichtpakete, die durch Störungen begrenzt sind.

Die **Bruchleisten sind die häufigsten Schollenelemente** im Bearbeitungsgebiet. Bruchleisten sind in der Regel länger als breit. Veränderungen ihrer Charakteristik können sein:

- Das Element knickt das Streichen ändert sich wesentlich (Scharnierbildung),
- es wandelt sich von einer S-kippenden Scholle zu einer N-kippenden Scholle, und umgekehrt,
- es spaltet sich auf,
- es vereinigt sich mit der Nachbarscholle
- und es beginnt und endet.

Die **Kipprichtungen der Bruchleisten** sind in den Mosaik-Karten farblich markiert ("Darstellungsregeln"): Die Störung als Rand einer Bruchleiste wird in roter Farbe angelegt, wenn die Bruchleiste durch die Störung im Vergleich zum benachbartem Schollenelement gehoben wurde, in blauer Farbe, wenn sie abgesenkt wurde. Grabenbildende Bruchleisten erscheinen entsprechend in Blau, horstbildende Bruchleisten in Rot.

Herzynische Staffeln bestehen aus mehreren \pm parallel im herzynischen Streichen verlaufende Bruchleisten, die in der Regel länger als breit sind. Stellenweise bilden sie **Schollentreppen**.

Synthetische Schollentreppen bestehen aus Bruchleisten zwischen Aufschiebungen.

Antithetische Schollentreppen bestehen aus Bruchleisten zwischen Abschiebungen.

Eine Horst-Graben-Folge ist ein Muster aus herzynisch verlaufenden Bruchleisten mit Wechsel von Horst und Graben.

Gemischte Bereiche setzten sich aus Horst-Graben-Folgen im Wechsel mit Schollentreppen zusammen.

Blockstörungen sind Störungen, die "**Block**" genannte Partien herzynischer Staffeln oder Horst-Graben-Folgen begrenzen. Sie verlaufen meistens im Einfallen, überwiegend in rheinischen oder eggischen Richtungen.

Hockeyschläger-Störungen sind meist singulär auftretend, beginnen mit steilem, oft mehr als 130 ° Streichen und laufen mit herzynischem Streichen aus.

Pflaumenkern ist ein Hockeyschläger-Störungs-Paar, das ein spitzovales Areal umschließt.

Eine "Strukturzone" wirkt chaotisch wegen des Auftretens von Störungen unterschiedlicher Winkelbereiche.

Die "**z1K-Flächen**" sind Flächen, die von einem Schichtenpaket aus Zechsteinkonglomerat, Kupferschiefer und Zechsteinkalk bedeckt sind. Deren Gesamtmächtigkeit erreicht kaum mehr als 10 m. Das Einfallen schwankt von 0° bis 15° in wechselnden Richtungen. Es variiert entsprechend der unregelmäßigen Oberflächengestalt des Paläozoikums nach der Zechsteintransgression und der Hangendschichten des Rotliegend. Im östlichen Teil des Bearbeitungsgebietes eignen sich einige z1K-Flächen zur Ableitung von Referenzeinfallen.

Die "**z2K-Flächen**" sind Flächen ohne oberflächlich erkennbare Stratigraphie- und Erdfallstörungen. Eines ihrer Merkmale ist die großflächige Überdeckung des Werra-Anhydrits mit zerscherbtem Stinkkarbonat. Der Versuch, hier eine tektonische Struktur zu entwerfen, kann nur mit Hilfe verborgener Störungen (Kapitel 3.11) gelingen. Dabei ergeben sich überwiegend \pm herzynisch streichende Bruchleisten. Mögliche Störungen anderer Streichrichtungen werden meist nicht erkannt.

Flower-Strukturen

In Kapitel 3.15 wird die Darstellung von Flower-Strukturen erläutert.

Zum Kartenwerk

Geologische Karten (GK) werden von den geologischen Landesämtern veröffentlicht.

Topographische Karten (TK) werden von den für die Landesvermessung zuständigen Landesämter veröffentlicht.

Abgedeckte Karten zeigen die Geologie ohne Quartärbedeckung.

Stratigraphie

Stratigraphie ist die Abfolge der Formationen - insbesondere der vier im Südharz ausstreichenden Salinarzyklen des Zechsteins.

su	Unterer Buntsandstein		Trias	ältere Bezeichnung
74 4	Aller-Anhydrit			
Z4A	(Pegmatit-Anhydrit)		Aller-Zyklus	
z4T	Roter Salzton			
z3A	Leine-Anhydrit			zo2
z3K	Leine-Karbonat	ц	Leine-Zyklus	zo, zod, zok, zo1
z3T	Grauer Salzton	stei		
z2A	Staßfurt-Anhydrit	(ech		ф, G2, y2
z2K	Stink-Karbonat	Ζ	Staßfurt- Zyklus	zm, zm´, zm2
z2T	Braunroter Salzton		Zykius	
z1A	Werra-Anhydrit			A1, G´, G1, y, y1,
z1K	Zechsteinkalk		Werra-Zyklus	zu2
z1T	Kupferschiefer			zu, zu1
r/c/d	u.a. Rotl., Karb., Dev.	F	Prä-Zechstein	

Inhaltsverzeichnis

Kurzle Kurzf Abstra Schlüs Abkün Begrif Inhalt	ebenslauf assung act sselworte rzungsverzeichnis ffserklärungen sverzeichnis	ii iii iv v v vi ix
1	Aufgabenstellung und These	1
1.1 1.2 1.3 1.4	Aufgabenstellung These Vorgeschichte Gliederung der Arbeit	1 2 2 5
2	Geologische Einordnung des Arbeitsgebietes	5
3	Bearbeitungsgebiet im Südharz	6
3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 3.6 3.7 3.8 3.9 3.10 3.11 3.12 3.13 3.14 3.15	Der Harz Heraushebung des Harzes Gesteine des Zechsteins Verkarstung Paläogeographie Die Gesteine des Zechsteins im Bearbeitungsgebiet Karten und Kartiergrundlagen Geologische Karten Geologische Karten Geologische Schnitte Störungen Störungskategorien Schollenmosaik Schollen-Architektur-Elemente Verlauf der Störungen Flower-Strukturen	6 8 10 10 11 12 17 19 19 20 20 20 22 22 23 25
4	Ergebnisse	27
4.1 4,2 4.3 4.4 4.5 4.6 4.7	Voruntersuchung Streichen der Störungen Kartenwerk Abweichungen Dominante Streichrichtungen der Störungen Beschreibung der 18 Abschnitte Erdfälle unterstützen das Kartieren	27 27 28 29 29 30 105
5	Tektonische Beispiele aus anderen Gebieten und kritische Anmerkungen zu älteren geologischen Karten	106
5.1 5.1.1 5.1.2	Beispiele aus anderen Gebieten Fildergraben Grubenfeld Reichenberg	106 106 106
5.2 5.2.1 5.2.2 5.2.3	Kritische Anmerkungen zu älteren geologischen Karten (GK) Söhlige Lagerung in GK Das Hainholz nach A. Herrmann Das geologische Profil A - B, GK 4430, Zorgetal-Hörningen	107 107 108 108

6	Schlussfolgerungen und Diskussion	112
6.1	Zur Phase 1: Krustendehnung und Beckenbildung	112
6.2	Zur Phase 2: Einengung	112
6.2.1	Hebung	113
6.2.2	Versteilungen	113
6.2.3	Aufwölbungen	114
6.2.4	Uberregionale W - E streichende Störung von Neuhof bis Morungen	115
6.2.5	Schuppung	117
6.2.6	Bildung von Flower-Strukturen der Phase 2, Kompression	118
6.2.7	Harz-übergreifende Flower-Struktur	120
0.3	Zur Phase 3: Erneute Krustendennung (50 – 0 Ma)	120
0.3.1	Die Flower-Struktur des Romerstein-weibensee-Grabens	121
6.3.2	Die Flower-Struktur des Dele-Grabells	121
634	Tektonische Interpretation des Sangerhäuser Profils	122
64	Kritische Betrachtung der Schollenmosaik-Entwürfe mit	122
0.4	konstruierten Störungen	123
	konstruierten storungen	125
7	Der Südharz-Zechsteingürtel im Überblick	124
8	Schlussbemerkungen und Dank	125
9	The Permian Gypsum Karst Belt along the Southern Margin of the Harz- Mountains (Germany), Tectonic Control of Regional Geology and Karst-Hydrogeology.	
9.1	Abstract	126
9.2	Introduction	126
9.3	Geological situation	126
9.4	Methodes	132
9.5	Tectonic model	134
9.6	Regional tectonic models	136
9.6.1	The Osterodar Plateau	
9.6.2	The Osteroder Flateau	137
	Römerstein-Weißensee Graben	137 137
9.6.3	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley	137 137 138
9.6.3 9.6.4	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode	137 137 138 140
9.6.3 9.6.4 9.7	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode Discussion of Karst Hydrogeology of the South Harz Zechstein Belt	137 137 138 140
9.6.3 9.6.4 9.7	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode Discussion of Karst Hydrogeology of the South Harz Zechstein Belt in view of the regional tectonics	137 137 138 140 141
9.6.3 9.6.4 9.7 9.7.1	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode Discussion of Karst Hydrogeology of the South Harz Zechstein Belt in view of the regional tectonics The Salza Spring at Förste	137 137 138 140 141 141
9.6.3 9.6.4 9.7 9.7.1 9.7.2	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode Discussion of Karst Hydrogeology of the South Harz Zechstein Belt in view of the regional tectonics The Salza Spring at Förste The Hainholz-Beierstein Preserve	137 137 138 140 141 141 142
9.6.3 9.6.4 9.7 9.7.1 9.7.2 9.7.3	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode Discussion of Karst Hydrogeology of the South Harz Zechstein Belt in view of the regional tectonics The Salza Spring at Förste The Hainholz-Beierstein Preserve The Rhume Spring	137 137 138 140 141 141 142 143
9.6.3 9.6.4 9.7 9.7.1 9.7.2 9.7.3 9.7.4 0.7.5	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode Discussion of Karst Hydrogeology of the South Harz Zechstein Belt in view of the regional tectonics The Salza Spring at Förste The Hainholz-Beierstein Preserve The Rhume Spring The Fitzmühlen Spring Cave	137 137 138 140 141 141 142 143 143
9.6.3 9.6.4 9.7 9.7.1 9.7.2 9.7.3 9.7.3 9.7.4 9.7.5	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode Discussion of Karst Hydrogeology of the South Harz Zechstein Belt in view of the regional tectonics The Salza Spring at Förste The Hainholz-Beierstein Preserve The Rhume Spring The Fitzmühlen Spring Cave The Salza Spring at Nordhausen	137 137 138 140 141 141 142 143 143 143
9.6.3 9.6.4 9.7 9.7.1 9.7.2 9.7.3 9.7.4 9.7.5 9.7.6	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode Discussion of Karst Hydrogeology of the South Harz Zechstein Belt in view of the regional tectonics The Salza Spring at Förste The Hainholz-Beierstein Preserve The Rhume Spring The Fitzmühlen Spring Cave The Salza Spring at Nordhausen The reverse fault at Hainrode and its hydrogeological consequences Conclusions	137 137 138 140 141 141 142 143 143 143 145 145
9.6.3 9.6.4 9.7 9.7.1 9.7.2 9.7.3 9.7.4 9.7.5 9.7.6 9.8 9.9	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode Discussion of Karst Hydrogeology of the South Harz Zechstein Belt in view of the regional tectonics The Salza Spring at Förste The Hainholz-Beierstein Preserve The Rhume Spring The Fitzmühlen Spring Cave The Salza Spring at Nordhausen The reverse fault at Hainrode and its hydrogeological consequences Conclusions Acknowledgments	137 137 138 140 141 141 142 143 143 143 143 145 145
9.6.3 9.6.4 9.7 9.7.1 9.7.2 9.7.3 9.7.4 9.7.5 9.7.6 9.8 9.9	Römerstein-Weißensee Graben The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley The reverse fault at Hainrode Discussion of Karst Hydrogeology of the South Harz Zechstein Belt in view of the regional tectonics The Salza Spring at Förste The Hainholz-Beierstein Preserve The Rhume Spring The Fitzmühlen Spring Cave The Salza Spring at Nordhausen The reverse fault at Hainrode and its hydrogeological consequences Conclusions Acknowledgments	137 137 138 140 141 141 142 143 143 143 145 145 146

Anlagen Anhang: zwei Karten im DIN A 3 -Format Veröffentlichungen/Ausarbeitungen Literatur, Quellen CD mit wesentlichen Ergebnissen der Kartierung und der Bearbeitung

1 Aufgabenstellung und These

1.1 Aufgabenstellung

Ziel der Promotion, die Prof. Dr. Stephan Kempe aus dem Institut für Angewandte Geowissenschaften der TU Darmstadt betreut, ist es, eine GIS-basierte geologische Karte des Südharzer Zechsteins anzufertigen und dazu die geologischen Einzelheiten im Maßstab 1:10.000 zu erfassen. Der Südharz erstreckt sich auf etwa 95 km Länge zwischen Förste in Niedersachsen und Blankenheim am Hornburger Sattel in Sachsen-Anhalt (Abb. 1.1). Anschließend sollte ein Modell der tektonischen Struktur des Harz-Südrandes und dessen Genese seit dem Perm erarbeitet werden. Bei der Erarbeitung der geologischen Karte ging es nicht nur darum, die publizierten, teils über 100 Jahre alten Geologischen Karten im Maßstab 1 : 25.000 zusammen zu führen, sondern auch zahlreiche neuere Diplomarbeiten und Kartierkurskarten einzuarbeiten sowie durch eigene Geländebegehungen zu aktualisieren, zu ergänzen und zu vereinheitlichen. Erschwerend war, dass die Einzelkarten kaum Bezug auf die Nachbargebiete haben und eine gesamthafte Betrachtung des Südharzes nicht vorlag, die auch durch die deutsche Teilung verhindert worden war. Im zweiten Schritt war die Tektonik aufzuklären und ein plausibles Modell zu entwickeln.



Abb. 1.1: Die Ausdehnung der Zechsteinflächen (weiße Linie) im Südharz zwischen Gittelder Graben im Westen und Hornburger Sattel im Osten (Google Earth Image).

In der stratigraphischen Tabelle von Deutschland (Menning, 2017) ist der Zechstein synonym dem Oberperm, entsprechend international der Serie des Lopingium (260,5 bis 251 Ma) zugeordnet. Von den sieben Zechstein-Zyklen/Formationen sind die unteren drei (Werra, Staßfurt und Leine) im Südharz anstehend. An wenigen Stellen ist außerdem der geringmächtige Aller-Zyklus aufgeschlossen. Der Südharz ist der größte Zechsteinausbiss in Deutschland. Die dreifach charakteristische Abfolge von Tonen, Karbonaten und Sulfaten in jedem der Zyklen erlaubt die kleinräumige Aufklärung der Lagerung, verbunden mit der Erwartung, auch Störungen relativ kleiner Sprunghöhen erkennen zu können. Diese Strukturaufklärung ist in den darüber liegenden, petrographisch verhältnismäßig einförmigen Schichten des mächtigen Buntsandsteins unmöglich. Der Zechstein des Südharzes war nach "landläufiger Meinung" nur erschwert kartierbar, weil (1) sich hangende Schichten wegen der Auslaugung ehemaliger Salzlager setzten, (2) Sulfatschichten verkarsteten, (3) etwa 50 % der Zechsteinfläche von Quartär überlagert ist, (4) im Bereich des Stufenanstiegs des Buntsandsteins Fließerden die Bearbeitung erschwerten und (5) Störungen im Sulfat sich verheilend verschließen und nicht mehr erkennbar sind.

1.2 These

Der Vergleich der zu sehr verschiedenen Zeiten publizierten geologischen Karten des variszischen Harzes zeigen, dass dort die postvariszische Tektonik kaum von der der variszischen Orogenese zu trennen ist (s.w.u. Kapitel 3.2, Kommentar zu Abb. 3.5). Die dieser Promotion zugrunde liegende These ist es daher, dass die mit der postvariszischen, vor allem kreidezeitlichen Heraushebung des Harzes verbundene Tektonik am Südharz am besten zu analysieren sei. Letztlich geht es um eine Betrachtung der Tektonik, die früher als "saxonisch" bezeichnet wurde (Kley, 2013).

1.3 Vorgeschichte

Die Studenten Stephan Kempe, Martin Seeger und Firouz Vladi organisierten 1970 einen Kartierkurs (Kempe et al., 1970; Kempe & Seeger, 1972) und wählten das Hainholz (Düna/Osterode) als Gebiet aus. Deren Motivation und Absicht waren, die Geologie dieses wichtigsten Sulfat-Karstgebietes in Niedersachsen zu dokumentieren. Ziel war es, Argumente für die Aufrechterhaltung und Erweiterung des Naturschutzes des von der Gips-Industrie beanspruchten Gebietes zu gewinnen (Kempe, 1972). Die Betreuung übernahm damals Prof. Dr. Hans-Rudolf von Gaertner. Von Gaertner, Jahrgang 1906, hatte Zechsteinflächen des Blattes 4430 (Nordhausen (Nord)) vor 1930 kartiert und las als Direktor des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung "Regionale Geologie" am Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg. Diese studentische Kartierung (später ähnlich von Herrmann, 1981, publiziert) zeigte, dass der Zechstein, entgegen landläufiger Meinung sehr wohl kleinmaßstäblich kartiert werden kann und dass auch Störungen im Zechstein vorhanden und kartierbar waren. Aus dieser Erfahrung entstand das Projekt, das niedersächsische Zechsteinplateau im Rahmen von Diplomkartierungen der Studierenden des Geologisch-Paläontologischen Institutes bearbeiten zu lassen. Beginnend 1986 in Förste am Gittelder Graben und endend 1989 bei Walkenried an der damaligen Staatsgrenze wurden 36 Karten angefertigt, die, mit einigen Lücken, das Gebiet im Maßstab 1:10.000 darstellen. Die meisten der Arbeiten enthielten nicht nur die geologische Karte, sondern auch mindestens ein Profil und eine abgedeckte geologische Karte, in denen versucht wurde, die tektonischen Verhältnisse darzustellen.



Abb. 1.2: Sog. Kolonnenweg auf der östlichen Seite der ehemaligen innerdeutschen Grenze; Fahrspur der Fahrzeuge der Grenztruppen der Nationale Volksarmee der DDR (Foto Hubrich).

Nach der Wiedervereinigung wurden 1990 die Diplom-Kartierungen auf die Zechsteinflächen in

den neuen Bundesländern Thüringen und Sachsen-Anhalt ausgeweitet, wobei auch Erfahrungen des späteren Ing. Büros Völker (Reinhard und Christel Völker, vormals Leiter des Karstmuseums Heimkehle) einflossen. S. Kempe wurde 1994 an das Geologisch-Paläontologische Institut an der TH-Darmstadt (heute Institut für Angewandte Geowissenschaften an der TU-Darmstadt) berufen. Er setzte die Diplom- und später Bachelor-Kartierungen von Darmstadt aus fort. Außerdem wurden nun die Kartierkurse I (einfache Lagerung) und II (schwierige Lagerung mit komplexer Tektonik) wiederholt im Südharz durchgeführt, sodass einige Gebiete sogar mehrfach in hoher Auflösung abgedeckt werden konnten, z.B. die Gebiete um Questenberg und bei Groß-Leinungen.

Die Flächen im ehemaligen Sperrgebiet an der thüringischen Grenze (Abb. 1.2). konnten erstmals wieder bearbeitet werden. Insgesamt entstanden mehr als 50 Detailkarten des Südharzer Zechsteins zwischen Förste im Westen und Morungen im Osten.

Teile des Zechsteinplateaus sind inzwischen durch großflächige Naturschutzgebiete (Abb. 1.3. u. 1.4.) geschützt. So wurde das NSG Hainholz/Beierstein z.B. 2000 auf über 640 ha Fläche um ein Vielfaches der ursprünglichen Ausdehnung erweitert (Bordfeld, 2017). Außerdem wurde ein Karstwanderweg angelegt, der mit 240 km Wegen die Zechsteingebiete der drei Bundesländer erschließt (https://karstwanderweg.de) und mit zahlreichen Tafeln u.a. des Ing. Büros Völker auf die Geologie und den Karstcharakter des Zechsteins hinweist.





Abb. 1.3: Die Eule ist das Symbol für ein Naturschutzgebiet im Osten Deutschlands, K steht für Karstwanderweg (Foto Hubrich).

Abb. 1.4: Der Adler ist das Symbol für ein Naturschutzgebiet im Westen Deutschlands (Foto Hubrich).

Die Gewinnung der Gesteine des Zechsteins in Gips-, Anhydrit-, Dolomit- und Kalkbrüchen ist zwar mit wirtschaftlichem Vorteil verbunden aber geht trotz Rekultivierungsmaßnahmen einher mit der dauerhaften Zerstörung der Karstoberfläche (z.B. die Planungen für einen Abbau in der Rüdigsdorfer Schweiz, dem letzten ungestörten Gipskarstgebiet in Thüringen (KNU, 2020). Der Paradigmenwechsel wird erkennbar durch die Einrichtung des 30.000 ha großen Biosphärenreservats ungestörter Flächen der Vorrang des Erhalts ungestörter Flächen und Auflagen für den Gips-Gewinnungsbetrieb (http://www.bioreskarstsuedharz.de/).

Zu den schrecklichsten Nutzungen des Südharzes zählte die unterirdische Produktionsanlage von V1- und V2- Raketen des KZ Dora im Werra-Anhydrit am Kohnstein bei Nordhausen, heute eine Gedächtnisstätte. In Stollen bei Osterode, am Himmelsberg und in der Heimkehle wurden vom Nazi-Regime weitere unterirdische Kriegsproduktionen eingerichtet und bis Ende des Zweiten Weltkrieges betrieben.

An den Kartierkursen war auch der Verfasser, zunächst als Student, später als Mitbetreuer, beteiligt und es entstand die Idee, die gesamten Karten und Daten des Südharzes in einer Dissertation zusammenzufassen. Als Rentner und ehemaliger Bergmann wurde die Idee von ihm sowohl begeistert als auch zögerlich aufgegriffen, einerseits weil der Harz ein unerschöpfliches montanistisches Thema ist und andererseits, weil die zeitlichen Konsequenzen des Engagements nicht deutlich erkennbar waren. Neugier, fachliches Interesse und die Vorstellung, die nächste Zeit mit dem Feldbuch im Gelände zu verbringen, führten dann

zur positiven Entscheidung, sodass die Zeit des Feldbuches im Frühjahr 2007 begann. Anfänglich mussten die Genehmigungen, sich in Naturschutzgebieten abseits der Wege bewegen zu dürfen, eingeholt werden, topographische und geologische Karten beschafft werden und vor allem die für das Projekt notwendigen GIS -Kenntnisse erworben werden.

Das Projekt fand seinen Reiz auch in der Tatsache, dass "Zechstein" der vermutlich älteste noch verwendete "Formations-" Begriff ist, geht er doch auf die bergbauliche Gewinnung des Kupferschiefers unter dem "zähen" (mundartlich "zachen") Zechsteinkalk zurück. Die Einrichtungen der "Zeche", standen auf dem Kalk (dem z1K des Werra-Zyklus) über dem kupferhaltigen Flöz (dem z1T des Werra-Zyklus). Einrichtungen waren der Haspelstand und bei größeren Schächten Huthaus und Schachtkaue. Dieser "Kupferschiefer" wurde vermutlich seit der Bronzezeit zunächst übertägig und dann im Mittelalter und in der frühen Neuzeit untertägig und großflächig entlang des südlichen Harzrandes abgebaut. Mit Schiefer wurde im bergmännischen Sprachgebrauch jeder laminierte Stein bezeichnet, unabhängig von seiner Genese. Die häufigen und gut erhaltenen Ganoidschupper der Gattung Paleoniscum gehören zu den ersten abgebildeten Fossilien überhaupt, sodass der Zechstein nicht nur zum Beginn des systematischen Bergbaus, zur stratigraphischen Begriffsbildung, sondern auch zu Beginn der paläontologischen Forschung beigetragen hat. Der Fisch, der salopp mit "Kupferschieferhering" bezeichnet wird, wurde zum Wappentier des Kupferschiefers. Zückert (1763) stellte in seinen Beschreibungen den Kupferschiefer als "Mannsfeldischer Fischschiefer" vor. Freiesleben (1815:154 ff) verweist auf die "häufig vorkommenden Versteinerungen im Kupferschiefer und publizierte die erste Karte, die den Zechstein im Ostharz darstellte. Blainville (1818) benannte die Art und Agassiz (1833-45) bestimmte die Gattung. Seit 1917 wird das Fossil unter dem Namen Palaeoniscum freieslebeni geführt (z.B. Kuhn, 1964); es macht 90% der Fischfossilien aus.

Das Projekt fand auch seinen Reiz in der Historie der seit mehr als einhundert Jahre währenden schrittweise entwickelten und auch wechselnden Interpretation der Harzhebung. Mit Beginn der Neuzeit wurde der Harz wegen seiner Erze und Quellen Thema in Forschung und Literatur. Georg Agricola (1576) berichtete nicht nur in seinem "DE RE METALLICA LIBRI XII" über Bergbauliches und Hüttenmännisches, sondern auch über Geologisches. Es verwendetet den Begriff Streichen (das in dieser Ausarbeitung eine Schlüsselrolle spielt!) möglicherweise in der Literatur als erster. Berghauptmann Löhneyss (1552 – 1622) sprach bereits von Streichen und Einfallen. Im 17. Jahrhundert wurden von Eckstorm (1620) und von Scheffer (1697, aus Mohr 1978) die Harzer Höhlen thematisiert. 1703 beschäftigte sich Behrens in seinem Buch "Hercynia Curiosa" mit den Höhlen, Erdfällen, Bergwerken, Hütten, Felsen und anderen Merkwürdigkeiten. Das späte 18. Jhdt. war wegen der Zunahme lagerstättenkundlicher Erkenntnisse auch die Zeit des Zuwachses an geologischem Wissen. Walter Schriel (1954) sprach davon, dass "die Geschichte der geologischen Erforschung des Harzes im Anfang eine des Bergbaues war". Bergrat Lehmann fasste das Wissen 1756 in der ältesten wissenschaftlichen Abhandlung über die Geologie des Harzes zusammen. In der Gliederung der gesamten Harzgesteine von Lasius (1789) wurde der Kupferschiefer eingeordnet. Am Ende des 18. Jhdt. begann eine Periode der Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse, z.B. ordnete der Freund Goethes und Bergvicehauptmann v. Trebra den Kupferschiefer dem "Flözgebirge" und nicht dem Grundgebirge zu. Das Themenspektrum öffnete sich vom Bergbau zunehmend in Richtung Geologie. Richtungsangaben wurden wie im Bergbau mit der Uhr festgestellt und in "Stunden" angegeben. Von Agricola bis zur Mitte des 19. Jhdt. waren bereits etwa 180 Fach-Arbeiten erschienen (Mohr, 1978:2ff). Die erste Karte, die die Verbreitung des Zechsteins im Ostharz darstellte, wurde von Johann Carl Freiesleben 1815 publiziert. Die systematische Kartierung des südlichen Harzrandes begann 1870 mit den Aufnahmen u.a. der Blätter Ellrich, Nordhausen, Stolberg und Zorge durch die Preußische Geologische Landesanstalt. Mit Beginn des 20. Jahrhunderts wurde der Begriff "Saxonische Tektonik" geprägt. Er bezeichnete alle Deformationsereignisse, die sich in Mitteleuropa und Teilen von Westeuropa von der Trias bis heute abgespielt haben (frei nach Kley, 2013). Die ursprüngliche Vorstellung, dass die Hebung des Harzes durch einen einzigen Akt der Gebirgsbildung verursacht wurde, wurde im Laufe der Zeit revidiert. Stille (1902) beobachtete im Lias der Egge Schichtenverschiebungen und im Neocom, in der Unterkreide - also deutlich später - die Spuren weiterer Verstellungen. Er definierte die kimmerische Faltung als vorkretazische Deformation - also bereits im Jura beginnend. Schuh (1922ab) berichtet über einen Vortrag mit Diskussion und zitiert die Stille`schen Faltungs-Phasen im Kimmeridge, Frühsenon, Alt- und Jungtertiär. In der Diskussion wurde deutlich, dass verschiedene Vorstellungen über Gleichzeitigkeit und Flächen-Verkleinerung oder -Vergrößerung abgeglichen werden mussten. Im Ergebnis stand fest, dass es im Kimmeridge zu tangentialer Zerrung mit Flächenvergrößerung und im Frühsenon zur Faltung mit geringer Flächenverringerung kam. Zugleich mit der Diskussion um die Harzhebung wechselten Begriffe und Deutungen. Kley (2013) fasste die bisherigen Überlegungen zur Harzbildung zusammen, und beschrieb sie als "Inversionstektonik" (s.w.u.). In der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts wurden durch die Erdölindustrie zusätzliche Impulse zur weiteren Aufklärung der Inversionstektonik gegeben. Bei der Heraushebung des variszischen Harzes in der Oberkreide durchbrach er seine Deckschichten. Dabei müssten diese nachweisbare tektonische Verstellungen erlitten haben.

Durch die Wahl angemessener Maßstäbe für die Darstellungen der stratigraphischen Kartierung und der Geländeschnitte zur Suche oberflächennaher tektonischer Sachverhalte sollten - so die Erwartungshaltung - die tektonischen Spuren der Harzheraushebung im Südharz zu finden und darstellbar sein.

1.4 Gliederung der Arbeit

Die Arbeit umfasst neun Hauptabschnitte:

- Hauptabschnitt 1: Aufgabenstellung, These und der Vorgeschichte, die zu dieser Studie führte.
- Hauptabschnitt 2: Geologische Einordnung des Bearbeitungsgebietes in Deutschland.
- Hauptabschnitt 3: Bearbeitungsgebiet im Harz.
- Hauptabschnitt 4: Ergebnisse, dazu gehört das Kartenwerk und insbesondere die Beschreibung des in 18 Abschnitte gegliederten Bearbeitungsgebietes.
- Hauptabschnitt 5: Auffälligkeiten bei der Bestandsaufnahme.
- Hauptabschnitt 6: Schlussfolgerungen und Diskussion.
- Hauptabschnitt 7: Der Südharz-Zechsteingürtel im Überblick.
- Hauptabschnitt 8: Schlussbemerkungen.
- Hauptabschnitt 9: The Permian Gypsum Karst Belt along the Southern Margin of the Harz-Mountains (Germany), Tectonic Control of Regional Geology and Karst-Hydrogeology. (by Hans-Peter HUBRICH and Stephan KEMPE)
- Anlagen
- CD mit wesentlichen Ergebnissen der Kartierung und Bearbeitung.

2 Geologische Einordnung des Bearbeitungsgebietes

Die Geologie von Deutschland kann von N nach S in drei Zonen unterschiedlicher Bedeckung und unterschiedlichen Aufbaus geteilt werden (Geologische Karte von Deutschland). Das Bearbeitungsgebiet wird in diese Übersicht eingeordnet:

- (1) Der N Deutschlands wird von Sedimenten der Mitteleuropäischen Senke bedeckt. Mächtige, ungefaltete Schichten aus mesozoischen und känozoischen Sedimenten bedecken das kaledonische Grundgebirge. Seine südliche Grenze verläuft etwa auf der Linie Niederrhein - Hannover - Dresden. Das Norddeutsche Becken ist der zentrale Abschnitt der Mitteleuropäischen Senke (Walter, 1995:75ff). Ein Teil davon, das Germanische Becken, ist das große Sedimentationsgebiet, das sich im Perm und in der Trias von England im Westen bis an die Ostgrenze Polens erstreckte.
- (2) Deutschlands Mitte wird von der Süddeutschen Großscholle eingenommen. Hier verlaufen die W-E streichenden Zonen der Kossmat´schen Gliederung des Variszikums mit teilweiser Bedeckung von mesozoischen und känozoischen Schichten. Seine südliche Grenze verläuft etwa auf der Linie Basel - Passau.
- (3) Deutschlands S wird vom Molasse-Becken bedeckt. Ihm schließt sich nach S das Alpen-Orogen an.

Der Harz und sein Vorland liegen auf der Grenze zwischen den Zonen 1 und 2. Er besteht aus Gesteinen des herausgehobenen Variszikums, die von Schichten des Mesozoikums und Känozoikums umgeben sind. Das Bearbeitungsgebiet im Südharz erstreckt sich auf Teilen des Zechsteinbeckens, dessen über dem Harz liegende Ablagerungen abgetragen wurden. Im oberen Rotliegend begannen die zunehmende Eintiefung des Norddeutschen Beckens und die allgemeine Ausweitung des Sedimentationsgebietes. Am Ende des oberen Rotliegend wurde das Norddeutsche Becken vom Zechsteinmeer überflutet. Die Gesteine des Variszikums und die ungefalteten Schichten des obersten Karbons (Stefanium) im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes wurden transgrediert. Die Sedimente des Zechsteins lagerten sich in Zyklen ab. Im Süden werden sie vom mächtigen unteren Buntsandstein überlagert, bevor sie weiter nach Süden abtauchen. Der Buntsandstein schützt die Salzschichten des Zechsteins vor der Ablaugung, so dass die Mächtigkeit des Zechsteins nach Süden erheblich ansteigt. Dadurch erscheint der Buntsandstein flacher zu liegen als die permische Transgressionsbasis, die weiter in Richtung Göttingen und in die Sangerhäuser

Mulde abfällt. Die post-oberkarbonischen Gesteine Deutschlands, die nicht mehr von der variszischen Orogenese erfasst wurden, unterlagen wechselnden tektonischen Belastungen, die in der älteren Literatur als "saxonisch Bruchfaltentektonik" bezeichnet wurden. Kley (2013) regt an, die Begriffe Bruchfaltentektonik und Saxonische Tektonik für die Deformationen zwischen Tornquist-Linie und der Deformationsfront der Alpen als überholt anzusehen. Er schlägt vor, von "Inversionstektonik" zu sprechen, die drei grundlegend verschiedenen tektonische Regime/Phasen zusammenfasst:

- (1) Krustendehnung in mindestens zwei Phasen unterschiedlicher Extensionsrichtungen von der frühen Trias bis in die frühe Kreide, die den Raum für die mächtigen mesozoischen Sedimentablagerungen schuf (251 140 Ma).
- (2) Vorwiegend NE-SW-gerichtete Einengung vor allem in der späteren Kreide, die zu einer Verkleinerung der Sedimentationsbecken führte (100 - 65 Ma).
- (3) Erneute Extension mit räumlich und zeitlich wechselnden Richtungen und Anlage des mitteleuropäischen Riftsystems (bei Kiersnowski, 2008:541 "Lower Saxony Rift System") seit dem Eozän, mit der Folge, dass die tertiären Ablagerung zunehmende kontinental werden und die vereinzelten Becken füllen (50 - 0 Ma).

3 Bearbeitungsgebiet im Südharz

3.1 Der Harz

Der Harz ist das höchste norddeutsche Mittelgebirge (Abb. 3.1). Es erstreckt sich ca. 90 km in WNW-ESE-Richtung und ca. 30 km in NNE-SSW-Richtung und erreicht mit dem Brocken 1142 m NHN. Als Pultscholle überragt der Harz vor allem deutlich das nördliche Vorland während es nach Süden relativ flach einfällt. Seine Hochflächen sind vergleichsweise eben, wobei deren Entwässerung durch tief eingeschnittene Flüsse erfolgt, die heute meist aufgestaut sind. Der Harz ist ein vielgipfliges Waldgebirge, dessen Wälder den Umriss des Gebirges gut erkennen lassen (Abb. 1.1). Nur wenige Flächen werden landwirtschaftlich, meist zur Weidewirtschaft, genutzt (z.B. Möbus, 1966:117 und 129).

In der geologischen West-Ost-Gliederung kommt die Vielfalt paläozoischer Gesteinskomplexe zum Ausdruck. Schriel (1954:9) teilte die Geologie des Harzes in drei Einheiten:

- (1) Den Oberharz mit der von Devon und Kulm gebildete Hochfläche im W,
- (2) den Mittelharz mit der Acker-Bruchberg-Zone, dem Brockenmassiv und der Sieber-Andreasberger Hochfläche
- (3) und den flächenmäßig größten Unterharz mit der Region östlich des Brockenmassivs mit der großflächig ausgebildeten Harzgeröder Faltenzone und der Südharzdecke und Selkedecke.



Abb. 3.1: Der Harz geographisch.

(http:/pload. Wiki media/commons/8/ 86Harz, map.png) Der größte Teil der Gesteine des Harzes mit Grauwacken, Schiefern, Kieselschiefern, Diabasen und Riff-Komplexen wurde während der variszischen Gebirgsbildung gefaltet (Abb. 3.2). Diese für Deutschland wichtigste Orogenese entstand durch die Kollision von Laurussia im Norden mit Gondwana im Süden unter Beteiligung von einzelnen Terranen und Terrankomplexen (Armorika, Avalonia, Norika) an der Pangäa-Bildung.

Der Zechstein bildet den West-, Süd- und Ostrand des Harzes, kommt aber auch isoliert im Nordharz vor. Im Liegenden dieser Randstreifen stehen paläozoische Grauwacken und Schiefer sowie Rotliegend- und Oberkarbon-Ablagerungen an. Das Hangende des Zechsteins wird von Tonen und Sandsteinen des Unteren Buntsandsteins gebildet. Eine weitergehende Einteilung der West-Ost-Gliederung nimmt Walter (1995:186 ff) vor, die sich von West nach Ost reiht (Abb. 3.2). In den Randstreifen stehen paläozoische Grauwacken und Schiefer wie Oberkarbon-Ablagerungen an.

Die NW-SE gerichtete Einengung schuf NW-vergente Faltenzüge mit dem charakteristischem NE-SW (variszischen) Streichen der Faltenachsen und Schichten (z.B. Mohr, 1978:140). Die sedimentärmagmatische und tektonisch-metamorphe Entwicklung verlief zonenweise verschieden (Walter, 1995:15). Der größte Teil des Harzes gehört zur Rhenoherzynischen Zone der KOSSMAT'schen Gliederung des Variszikums (Kossmat, 1927). Im Harz gehört lediglich die grünschieferfazielle Wippraer Zone an seinem SE-Rand zur nördlichen Phyllitzone. Im späten Variszikum kam es zur Platznahme der Intrusiva (Oker-, Brocken-, Ramberg Granite) im inneren Harz. Anschließend wurde der Harz peneplenisiert und abgesenkt.



Abb. 3.2: Geologische Übersichtskarte des Harzes, verändert nach der Geologischen Karte Harz, 1:100.000.

Während des Oberkarbons und Rotliegend setzte regional Beckenbildung ein. Es kam zu Eruptionen von Porphyren, Melaphyren und Rhyolithen, die vor allem im Ilfelder Becken große Flächen bedecken (Walter, 1995:192). Vulkane dieser Zeit waren der Auerberg im Unterharz, der Ravensberg und der Staufenbüttel bei Bad Sachsa, aber auch kleine Rhyolith-Kegel in der Lokalität Harzfeld (GK 4431). Im Osten transgrediert die oberkarbonische Molasse (u.a. Hornburger Sattel). Im Westen und Süden transgredieren

Rotliegend-Vulkanite und -Sedimente und die Salinarzyklen des Zechsteins, wobei der Zechstein auch in überkippter Lagerung Teile des Harz-Nordrandes bildet (Abb. 3.2).

Das Zechsteinbecken ist Teil des Norddeutschen Beckens. In diesem lagerten sich permische bis känozoische Sedimente über dem gefalteten variszische Untergrund ab. Zu Beginn des oberen Rotliegend begannen die zunehmender Eintiefung des Norddeutschen Beckens und der allgemeine Zuwachs des Sedimentationsgebietes. Zum Ende des oberen Rotliegend wurde es vom Zechsteinmeer überflutet, das im Süden das variszische Grundgebirge transgredierte und Tonsteine, karbonatische Gesteine, Sulfate, Steinsalz, Kali- und Magnesiumsalze in zyklischen Folgen ablagerte (z.B. Walter, 1995:84). Im Bearbeitungsgebiet stehen die drei unteren Folgen an, eine vierte ist nur an wenigen Stellen aufgeschlossen.

Die Region des Harzes war bis zur saxonischen Heraushebung von mesozoischen Schichten überlagert. Während der Oberen Kreide, nach dem Turon, setzt die pultschollenartige, mehrphasige Heraushebung und Schrägstellung des Harzes ein (z.B. Walter, 1995:198). Von Osterode bis Ilfeld besteht das Liegende des Zechsteins aus Diabasen und Grauwacken. Südlich des Ilfelder Beckens liegt der Zechstein auf dem Rotliegend (Abb. 3.3), östlich davon, z.B. im Thyratal, liegt der Zechstein unmittelbar auf Grünschiefern und Phylliten der Wippraer Zone (Abb. 3.4). Weiter östlich bedeckt der Zechstein das geringmächtige Rotliegend und darunter die Mansfelder-Schichten des obersten Karbons (Stefan).



Abb. 3.3: Sedimente des Perm und der Trias nach der Schrägstellung, Lagerung des Zechsteins auf dem Rotliegend. Schnitt aus der Geologischen Karte Harz, 1:100.000, Nachdruckerlaubnis vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (20.08.2018).

Abb. 3. 4: Lagerung des Zechsteins auf dem Grundgebirge, aus Wagenbreth & Steiner (1982:68).

3.2 Heraushebung des Harzes

Die Heraushebung des Harzes zum Mittelgebirge erfolgte während mehrerer Phasen. Vor allem der nördliche Harzrand zeigt die Spuren dieser tektonischen Prozesse. Ursache der Heraushebung in der Phase 2 ist ein isostatischer Ausgleich im oberen Mantel, gekoppelt an die Bildung einer Moho-Verwerfung (Brink, 2012). Damit lässt sich auch die Hebung um 5



km erklären (Franzke, 2006). Das Spannungsfeld zwischen Iberia-Briançonnais und Baltica (Kley & Voigt, 2008:841) führte zur Bildung von Zonen zerbrochenen Gesteins der postpermischen Schichten und zu Schollentreppen. Die hochdrängende Harzscholle brach durch die Schichten des Deckgebirges. Am Südharz und am Südkyffhäuser taucht das permische Schichtpaket nach wenigen Kilometern Ausstrichbreite unter jüngere triassische Schichten ab. Im Gebiet des eigentlichen Harzes sind - abgesehen von pleistozänen und holozänen Ablagerungen - ungefaltet nur Rotliegend-Sedimente und -Vulkanite erhal-

ten. Alle mesozoischen Gesteine sind abgetragen, nur an wenigen Stellen gibt es Reste möglicher tertiärer Ablagerungen.

Um sich über Richtungen schnell verständigen zu können, verwendet der Verfasser die traditionellen Bezeichnungen für signifikante Streichrichtungen mangels anderer prägnanter Begriffe oder unpraktischer, breitgefächerter Zahlenbereiche, auch wegen starker Streuung signifikanter Häufungen. Deshalb werden hier nach Carlé (1955) im Zusammenhang mit dieser Ausarbeitung Winkelbereiche festgelegt (Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: Winkelbereiche der Streichrichtungen			
NNE - SSW	rheinisch	~ 0°	
NE - SW	erzgebirgisch – variszisch	40° - $60^\circ,70^\circ$ Teilbereich	
WNW - ESE	herzynisch	Streuung 85° - 125°	
NNW - SSE	eggisch	150°	

In Verbindung mit der Erörterung hydrothermaler Mineralogie spricht Franzke (2012) von einer initialen Bruchphase "*mit Bildung eines wirren, teilweise nach vorhandenen Kluftvorzeichnungen ausgerichteten Netzwerkes von Rissen und Klüften … ohne dass dabei nennenswerten Verschiebungen (Verwerfungen, Abscherungen) eingetreten wären. Sie entwickelten sich über Hauptstörungen auch in das Deckgebirge hinein…*". Diese Charakterisierung wird beim Studium des einschlägigen Kartenwerks bestätigt. Die geologischen Karten des Harzes zeigen Störungen unterschiedlicher Richtungen und unterschiedlichen *Alters, die häufig Mosaikstrukturen bilden. Das Beispiel aus der geologischen Übersichtskarte des Harzes* (Ausschnitt Abb. 3.5) zeigt in der Harzgeröder Zone (grauer Bereich im NE der Karte: Silur, Devon und Unterkarbon, überwiegend Tonschiefer) ein Mosaik aus herzynisch und eggisch streichenden Störungen. Im Ilfelder Becken (roter Bereich im W der Karte) sind es überwiegend Porphyrit und Rotliegend-Sedimente.

3.3 Gesteine des Zechsteins

Sowohl Lithostratigraphie als auch Chronostratigraphie zeichnen sich in den im Untersuchungsgebiet anstehenden Zyklen mit typischer Abfolge der kartierfähigen Formationen ab. Über dem Ton stehen, nach steigender Löslichkeit, Kalk im Wechsel mit Dolomit sowie Sulfate als Anhydrit mit oberflächennahem Gips an. Stein- und Kalisalze sind aus Bohrungen und Grubenaufschlüssen bekannt, aber durch Subrosion oberflächennah verschwunden. Ihre Lösungsreste stehen als karbonatische Residuale an.

Die Gesteine der Schichten des Zechsteins und seines unmittelbaren Liegenden werden und wurden für verschiedene Zwecke in Tagebauen gewonnen:

- Ton zum Ziegelbrennen, z.B. ehemals bei Osternhagen,
- Kalk und Dolomit für Schotter sowie Kalk- und Zementherstellung, z.B. bei Ührde, Scharzfeld und Nüxei,
- Sulfate, insbesondere Gips als Einsatzstoff zum Brennen des Baugipses und als Zuschlag bei der Zementherstellung, z.B. am Himmelsberg, bei Osterode, am Lichtenstein bei Förste, bei Tettenborn, bei Neuhof auf dem Sachsenstein, bei Walkenried und Ellrich, am Kohnstein bei Niedersachswerfen und bei Rottleberode im Alten Stolberg.

Im bergmännischen Tiefbau werden z.B. in Sondershausen gewonnen:

- Steinsalz zur Nutzung als Kochsalz, Auftausalz und als Rohstoff für chemische Prozesse
- und Kalisalze für die Kunstdüngerherstellung.

Historisch war der Kupferschiefer die wichtigste Schicht, die entlang des Hauptteils des Zechsteingürtels und flächenhaft in der Sangerhäuser Mulde bis 1990 zur Buntmetallgewinnnung abgebaut wurde.



Abb. 3.5: Schollenmosaik im südlichen Harz, Region NE´Nordhausen mit dem Ilfelder Rotliegendbecken, Ausschnitt aus der Geologischen Karte Harz, 1:100.000.(Nachdruckerlaubnis vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt 25.07.2018).

3.4 Verkarstung

Die Morphologie des Untersuchungsgebietes ist großflächig von Verkarstung geprägt. Karst bildet sich in Gebieten mit löslichen Gesteinen aus Karbonaten und Evaporiten. Beides sind Schichten der im Südharz aufgeschlossenen Zyklen des Zechsteins. Eine wesentliche Voraussetzung für die Verkarstung ist die Zufuhr ungesättigten Wassers. Die Karstausprägungen im Südharz sind vor allem in den mächtigen Sulfatschichten zu finden, mit Nachbrüchen in deren Hangendschichten und kaum im Karbonat. Die vergleichsweise schwache und vom Verfasser im Bearbeitungsgebiet nicht beobachtete Karstbildung im Karbonat ist das Ergebnis der Reaktion von Karbonat mit Kohlendioxid in wässerigem Milieu. Die Löslichkeit des Karbonats in Wasser beträgt 14 mg/l. Das steigert sich bei Anwesenheit von CO₂ bis zum 100-fachen, also bis 1,4 g/l. Die Verkarstung des Sulfats findet vor allem im wasserlöslichen Gips und weniger im Anhydrit statt. Die Löslichkeit des Sulfats ist unabhängig von der CO₂-Konzentration. Sie beträgt für Gips 2,4 g/l und für Anhydrit 1,9 g/l (z.B. Kempe, 1998). Sie wird durch fremdionige Zusätze, z.B. Halit erhöht. Die Verkarstung im Sulfat wirkt auf drei Flächenarten: Durch Niederschlagswässer an der Oberfläche frei liegender Sulfatflächen, durch Sickerwässer auf den Grenzflächen zwischen Kalken und Sulfaten und durch die aus den liegenden Kalken aufsteigenden Grundwässer an der Unterfläche der Sulfatgesteine. Dieses führt zu einer Vielzahl von oberflächennahen Dolinen und Höhlen und tief im Grundwasser liegenden, von den Bergleuten als Schlotten bezeichneten Hohlräumen, z.B. zur Wimmelburger Schlotte in der Nähe von Eisleben (z.B. Freiesleben, 1809; Fulda, 1912; Kempe, 1996; Kupetz & Brust, 1996; Völker & Völker, 1983; Völker, 2011). Diese erweitern sich durch Fortsetzung der Lösung durch nachströmende Gips-ungesättigte Wässer. Sie können sich durch Nachbruch bis zur Erdoberfläche zum Erdfall und bei der Nachzeichnung von Störungen durch Erdfallketten zu Uvalas entwickeln. Häufig wird das Bild der Landschaft durch großflächige Verbrüche über Karsthöhlen bestimmt. Karsthöhlen bildeten sich im Leine-Sulfat beispielsweise im Hainholz (Kapitel 4.6.3) und im Werra-Sulfat mit der

Trogstein- und der Himmelreichhöhle (Kapitel 4.6.11/12). Die Einhornhöhle steht im Dolomit, sie ist mit ihrer Gesamtlänge von mehr als 500 m die größte Schauhöhle des Westharzes (Kapitel 4.16.8) (z.B.: Herrmann, 1976; Vladi, 2004). Erdfälle sind sowohl in den Karten der Landesämter als auch in den Karten der Diplomkartierungen unvollständig und unsystematisch erfasst. Jedoch konnten für den thüringischen Teil des Untersuchungsgebietes und den niedersächsischen Landkreis Osterode Erdfallkataster ausgewertet werden. Diese wurden freundlicherweise vom Ingenieurbüro Völker (Uftrungen) zur Verfügung gestellt.

3.5 Paläogeographie

Nach der variszischen Orogenese setzte im obersten Karbon die flächenhafte Abtragung ein, die zu mächtigen Molasse-Ablagerungen südlich des Harzes im Stefan führte (Mansfelder Schichten). Sie sind heute im SE des Harzes und im Kyffhäuser in großer Mächtigkeit aufgeschlossen. Im Rotliegend setzte die großflächige Senkung der Kruste mit Bildung des Germanischen oder Norddeutschen Beckens ein. Vulkanismus begleitete diesen Prozess. Schertektonik und die damit verbundene Dilatation formten und gliederten das Gebirge sodass die Oberfläche durch Senken und Schwellen profiliert wurde, z.B. durch die variszisch streichende Saar-Saale-Senke. Diese wird durch die Hunsrück-Oberharz-Schwelle¹ gequert. Ein Teilabschnitt dieser Schwelle ist die Eichsfeld-Altmark-Schwelle (Paul, 2013:201). Ein Teil der kontinentalen Rotliegend-Ablagerungen sind im W-E-gestreckten 25x5 km² großen Ilfelder Einbruchsbecken mit bis zu 800 m Mächtigkeit erhalten. Im W herrschen Klastika vor, in der Mitte überwiegen klastische Gesteine mit Kohlenlagen und Tuffen während im E intermediäre und saure Vulkanite erhalten sind (Paul, 2012:206). Im Rotliegend kam es dann bereits zu den ersten marinen Ingressionen von Norden, die zu ersten Salzlagern im Zentrum des Norddeutschen Beckens führten (Kiersnowski et al., 2008:575ff). Weitere Vulkane brachen auf der variszischen Landfläche aus, deren Rümpfe heute noch als Berge erhalten sind und die bei der anschließenden Überflutung des Zechsteinmeeres Inseln bildeten. An einigen von ihnen sind noch die Riffe dieses Meeres des nachfolgenden Zechsteins erhalten (z.B. am Staufenbüttel bei Bad Sachsa). Härtlinge des variszischen Gebirges bildeten morphologisches Rippen oder Kuppen (z.B. Diabas bei Buchholz). Eine dieser variszisch streichenden Hochgebiete, die bereits genannte Eichsfeldschwelle (Abb. 1.1, Abb. 4.6.9.6), ragte über 100 m hoch auf und teilte zunächst das Becken des Werra-Zyklus in ein westliches, die Hessische Senke, und östliches, die Thüringische Senke (Abb. 3.6) (Herrmann, 1956; Franke, 2011). Sie ist im Südharz zwischen Scharzfeld und Bartolfelde etwa 10 km breit. Erst während des Leine-Zyklus war die Schwelle weit genug abgesunken und überlagert, dass sie ihre paläogeographische Bedeutung verlor. Zu Beginn der Zechsteinzyklen ähnelte die Geländeoberfläche einer Mittelgebirgslandschaft, sie war nur z.T. peneplainisiert. Die Rekonstruktion der Landoberfläche ist wegen der durch Klimawechsel bedingten Rötung der Landoberfläche möglich. Primäre Höhenunterschiede der Oberfläche, des Reliefs sind nicht tektonisch begründet, sondern das Ergebnis unterschiedlicher Verwitterungsresistenz, die dazu führte, dass Grauwackenflächen die morphologischen Höhen und Tonschieferflächen die morphologischen Tiefen bildeten. Die Entwicklung des rezenten Entwässerungsnetzes wurde wahrscheinlich durch die bereits im Perm gestaltete Morphologie beeinflusst (z.B. Paul, 1987:195ff).



Abb. 3.6: Stark überhöhter Prinzipschnitt durch die Eichsfeldschwelle und deren Einfluss auf den Sedimentationsraum des Südharzes. (Zeichnung S. Kempe nach Kulick, 1987) (Abkürzungen siehe Abb. 3.7 und Steinsalz z2Na).

¹ Anmerkung: Paul, 2013 verwendet diese Bezeichnung synonym zur Eichsfeldschwelle.

Mit Beginn des Zechsteins war das Norddeutsche Becken teilweise bis unter den Meeresspiegel abgesunken, so dass eine erneute Ingression schnell große Teile des Germanischen Beckens überflutete. Es bildete nun als Zechsteinbecken die Basis eines großen Senkungsgebietes, das etwa 200 Ma bis in die Kreide aktiv war. Die Schichten des Perms sind mit starken regionalen Unterschieden bis zu 2.500 m mächtig (Kiersnowski et al., 1995:120). Jankowski (1963) ermittelt für den Zechstein der Sangerhäuser Mulde mehr als 1.300 m Mächtigkeit. Im Zentrum des Beckens wurden bis zu sieben Evaporationszyklen abgelagert (Walter, 1985:84), von denen im Untersuchungsgebiet lediglich die unteren vier anstehen.

Das Becken war durch horizontale Faziesunterschiede gekennzeichnet. In den südlichen, flacheren Arealen waren Kalke und Dolomite dominierend während im Beckeninneren sehr mächtige Salzlager entstanden. Mit Beginn der Überflutung und als Einleitung des ersten Zyklus, des Werra-Zyklus, wurden als erstes das Zechsteinkonglomerat und der Kupferschiefer abgelagert (Abb. 3.8). Je nach Gebiet transgredierten diese Formationen auf dem Variszikum dem Oberkarbon oder dem Rotliegend (z.B. Walter, 1995:197). In älteren Rinnen kann das Zechsteinkonglomerat bis über zwei Meter mächtig werden. Auf den Untiefen des Zechsteinmeeres konnten sich in den frühen Zyklen des Zechsteins Stromatolithen- und Bryozoenriffe entwickeln, z.B. beim Römerstein (Behme, 1909:117), Eulenstein (Paul, 1998:12) und den Westernsteinen (Paul, 1989).

Der Kupferschiefer, ein eng laminierter Mergelstein, wurde unter anaeroben Bedingungen abgelagert. Dieses zeigt, dass die Becken schnell und so tief mit Meerwasser gefüllt wurden, dass sich sulfidische Verhältnisse unter der Wellenbasis einstellen konnten. Die auf dem Top der Eichsfeldschwelle durch Evaporation gebildeten Gips-Mudden wurden durch die Wellen an dessen Flanken transportiert. Dort bildeten sie mächtige Ablagerungen, die auf Grund der steileren Lagerung zum Teil instabil wurden und als aquatische Rutschungen west- und ostwärts in die Becken abglitten. So bildeten sich an den Flanken der Eichsfeldschwelle bis zu 300 m mächtige "Sulfatwälle" der Werra- und Staßfurt-Zyklen (Abb. 3.6) Werra- und Staßfurt-Anhydrit fehlen im Zentrum der Eichsfeldschwelle. Sie werden vom Hauptdolomit vertreten. Erst das Karbonat des Leine-Zyklus transgrediert die Schwelle. In den Steinbrüchen zwischen den Lokalitäten Oderberg und Bühberg wird der Hauptdolomit abgebaut. Die Klippen Eulenstein bei Osterhagen und die Westersteine bei Bartolfelde stehen im Hauptdolomit, dem regional so bezeichneten Staßfurt-Karbonat über der Eichsfeldschwelle. Auch die Einhornhöhle und die Höhle Steinkirche sind in diesen Karbonaten angelegt (z.B. Vladi, 2004).

su	Unterer Buntsandstein einschl. Brö- ckelschiefer	
z4A	Aller-Anhydrit	Aller- Syklus
z4T	Roter Salzton 0 - 10 m	⁻ N
z3A	Leine-Anhydrit 50 m	ne-Zyklus
z3K	Leine-Karbonat - Plattendolomit 0 - 35	r Leii
z3T	Grauer Salzton 0 - 10 m	
z2A	Staßfurt-Anhydrit 20 - 100 m	aßfurt-Zyklus
z2K	Staßfurt-Karbonat Stinkkarbonat 10 - 50 m	Ň
z2T	Braunroter Salzton 0 - 10 m	
z1A	Werra-Anhydrit 30 - 250 m	
z1K	Zechsteinkalk, als Dolomit auf der	
	Schwelle, 5 - 25 m	
z1T	Kupferschiefer <1m	
210	Zecnsteinkongiomerat 0 - 3 m	
r/c	Rotliegend Stefan Oberkarbon morph	Präzechstein
r/c	Rotliegend Stefan Oberkarbon gefaltet und meist meta- morph	

3.6 Die Gesteine des Zechsteins im Bearbeitungsgebiet

In Anlage 2 und Abb. 3.7 werden die Gesteine wiedergegeben, die nennenswerte Flächen einnehmen oder für die regionale Gliederung des Zechsteins von Bedeutung sind. Die Mächtigkeitsangaben sind orientierend und stark streuend, z.B. für andere Regionen: Die Mächtigkeit des aufgeschlossenen Zechsteins im Städte - Dreieck Schleswig - Erfurt - Bromberg (Bygoszcz) wird von Spackeler (1957:14 und 17) für die vier untersten Zyklen (Werra bis Aller) mit 494 bis 632 m angegeben.

Abb. 3.7: Vereinfachtes Säulen-Profil der im Bearbeitungsgebiet anstehenden Gesteine. Residuale sind mit z1R und z2R gekennzeichnet.

Gesteine des Werra-Zyklus z1

Der unterste Zyklus, der Werra-Zyklus, beginnt mit dem Zeugen der Zechstein-Transgression, dem im Gelände gut ansprechbaren, aber nicht überall vorzufindenden **Zechsteinkonglomerat.** Es besteht aus überwiegend gerundeten Milchquarzen, Grauwacken und Vulkaniten aus Harzgesteinen mit karbonatischer Matrix. Oft kommen Beläge aus Azurit, Malachit und Manganoxid vor, infiltriert aus dem darüber lagernden Kupferschiefer, die auch manchmal zusammen mit dem Kupferschiefer abgebaut wurden.

Das Tongestein des Werra-Zyklus ist der **Kupferschiefer**. Es handelt sich um einen großflächig ausgebildeten, feinlaminierten, karbonatischen und fossilreichen Pelit (Mergel) mit bis zu 30 cm Mächtigkeit und hohem Gehalt an feinverteilten sulfidischen Erzen und Organik (Abb. 3.8). Der Kupfer-Anteil kann mehr als 5 % betragen.



Abb. 3.8: Kupferschiefer (Foto Hubrich).

Der Kupferschiefer ist ein guter Leithorizont und fast in der ganzen Mitteleuropäischen Senke nachweisbar. Er ist bekannt für seine reichen Vorkommen fossiler Fische, allen voran dem Ganoidschupper *Palaeoniscum freieslebeni*, der 90% der Funde ausmacht (Agassis, 1829) (Ab. 3.9).



Abb. 3.9: Palaeoniscum freieslebeni (Foto Kempe).



Abb. 3.10: Aufschluss im gut gebanktem Zechsteinkalk Nähe Höhe 356,0 m W´ Flanke des Ahrendsberges N´ von Osterhagen (Foto Hubrich).

Der **Zechsteinkalk** überlagert den Kupferschiefer und schützt ihn vor Verwitterung. Er ist feinkörnig und zeigt muscheligen Bruch. Der Werra-Anhydrit kann bis über 250 m mächtig werden. In oberflächennahen Bereichen ist es zu Gips umgewandelt (z.B. Paul, 1998). Die Aufschlüsse sowie das Verfahren der Lesesteinkartierung ließen die Unterteilung in mehrere Teillager nicht zu. In Höhlen, z.B. in der Barbarossa-Höhle, und in Bohrungen lassen sich bis zu 14 Horizonte, genannt Texturtypen (A1 α bis A1 ν) unterscheiden (Jung, 1958; Völker & Völker, 1984:40; Kupetz & Knolle, 2019). Einige der Schichten sind feinlaminiert, in internen Becken kommt auch eine Abfolge mit prominenten Alabaster-Kugeln vor, die auch oberflächig vorkommen, z.B. an den Steilwänden des Tales der Nasse (s.w.u. Abb. 4.6.17.13). Bei Neustadt wurden die Kugeln in kleinen Gruben untertägig gewonnen, um sie als Rohmaterial für Schnitzarbeiten zu vermarkten. Im Bereich der Eichsfeldschwelle, zwischen Herzberg und Bartolfelde, ist der Werra-Anhydrit nicht bis kaum ausgebildet. Seine geringmächtigen Residuale liegen oft auf dem Zechsteinkalk in Form von losen Zell-kalken in mergeliger Matrix.

Gesteine des Staßfurt-Zyklus z2

Die Bezeichnung des wenige Dezimeter mächtigen **Braunroten Salztons** leitet sich aus den Gebirgsprofilen der Salzbergwerke ab, in denen er den Salzlagern benachbart aufgeschlossen ist. Im Untersuchungsgebiet ist er mehrfach anzutreffen.

Das **Staßfurt-Karbonat** steht z.T. kalkig (z2K) z.T. dolomitisch (z2K-D) an. Über der Eichsfeldschwelle (Abb. 3.6) ist er mehr als 20 m mächtig.

Abb. 3.10: Gips-Neubildungen auf Stinkschiefer (Fundpunkt 2004:4) (Foto Kempe).

Es ist abseits der Eichsfeldschwelle im euxinischen Milieu entstanden, seine organischen Bestandteile riechen beim Anschlag nach Mineralöl. Die schwefelhaltigen Abbauprodukte (Merkaptane) verursachen den typischen Ge-



ruch dieser als "Stinkschiefer" gut kartierbaren Schicht (z2K-S). Er ist damit ein wichtiger Leithorizont für die Kartierung, mit dessen Hilfe Werra- und Staßfurt-Anhydrit eingeordnet werden können.

Wegen der partiellen Ablaugung des liegenden Werra-Anhydrits und der restlosen Ablaugung der Werra-Salze ist das Staßfurt-Karbonat in der Regel zerscherbt. Es legt sich deckenartig über die angelaugte Oberfläche des Werra-Anhydrits, oder sogar direkt auf den Zechsteinkalk. Das Staßfurt-Karbonat ist großflächig vertreten und wegen der kleinstückigen Zerscherbung meist ackerbaulich nutzbar.

Der **Staßfurt-Anhydrit** ist bis zu 50 m mächtig. Es besteht aus zwei Lagen, Basal-Anhydrit und Sangerhäuser Anhydrit, deren Zwischenmittel, das Staßfurt-Steinsalz oberflächennah weggelöst wurde. Der Sangerhäuser Anhydrit ist das für Industriezwecke wertvollste Sulfat, da es nur wenige Verunreinigungen enthält. Ein Hinweis auf Sulfat-gesättigte Oberflächenwässer sind Gipsneubildungen auf dem Stinkschiefer (Abb. 3.10).

Gesteine des Leine-Zyklus z3

Der bis zu 10 m mächtige **Graue Salzton** bedeckt große Flächen und schützt den darunter liegenden Staßfurt-Anhydrit vor Auflösung. Gelegentlich finden sich helle Feinsandlagen, vor allem im östlichen Bearbeitungsgebiet. Der Salzton führt zu matschigen Feldern, rutschigen Feldwegen und wird von Wildschweinen zum Suhlen genutzt, alles hervorragende Kartierindizien. Auch hier leitet sich die Bezeichnung Salzton aus den Gebirgsprofilen der Salzbergwerke ab.

Das Leine-Karbonat erscheint in kalkiger, dolomitischer und klastischer Ausprägung. Regional wird es Plattendolomit genannt. Wie der "Stinkschiefer", ist auch der Plattendolomit nicht als feste Bank anstehend, sondern liegt in Platten und Stücken, häufig auch als Rauhwacke (s.w.u.) vor.

Der Leine-Anhydrit ist bis zu 50 m mächtig und wird auch als "Hauptanhydrit" bezeichnet. Er zeichnet sich durch hohe Nebengesteinsanteile aus. Mineralogische Analysen des Hauptanhydrits im Hainholz zeigten, dass sowohl Calcit, als auch Dolomit und Magnesit vorhanden sind (Brandt et al.1976). Die Karbonate können als kleine Bioherme ausgebildet sein.

Gesteine des Aller-Zyklus z4

Der **Rote Salzton** steht im nordwestlichen Teil des Bearbeitungsgebietes mit wenigen Dezimetern Mächtigkeit an. Die Bezeichnung Salzton leitet sich auch hier aus den Gebirgsprofilen der Salzbergwerke ab. Der **Aller-Anhydrit** ist als sog. **Pegmatit-Anhydrit** (Abb. 3.11) auf dem Rosenberg, südöstlich von Ührde zu finden. Es ist im Vergleich zu den mächtigen Sulfaten der älteren Zyklen mit nur einem Meter geringmächtig (Spackeler, 1957:17).



Abb. 3.11: Pegmatit-Anhydrit vom Rosenberg, Wegrandaufschluss am sog. Neuen Weg (Fundpunkt 2008: 6.3) (Foto Hubrich).

Andere Gesteine

Residuale werden auch als Rauhwacken. Rauchwacken. Residualbreccien oder Zellkalke bezeichnet (Abb. 3.12). Es sind die weniger löslichen Bestandteile, die bei der oberflächigen Auflösung oder unterirdischen Ablaugung vor allem der Karbonat-haltigen Sulfate zurückbleiben. Im Gelände sind es irreguläre Klasten in mergeliger Matrix, die ackerbaulich gut nutzbar sind. Ihre Zuordnung zu Edukten ist fast nur mit Hilfe ihrer stratigraphischen Lage möglich. Bei der Konstruktion der Schnitte wurde die Zuordnung gewählt, die die geringsten Ungereimtheiten zur Folge hatte. Entsprechend sind in den Schnitten und Karten mit z1R oder z2R gekennzeichnet.

Abb. 3.12 Zellkalk (Fundpunkt 2004:22) (Foto Kempe).

Der **Bröckelschiefer** ist die unterste Schicht des Unteren Buntsandsteins (Walter, 195:212). Er ist von tonig-sandiger Konsistenz und kann bis zu einigen 10 m mächtig werden. Er lässt sich von Schichten höherer Zyklen des Zechsteins schwer unterscheiden. Er wurde nur unsystematisch kartiert.

Der Verfasser fand den **Unteren Buntsandstein** selten im Gebirgsverband anstehend, meistens im Zustand fortgeschrittener Verwitterung. Es trat dünnbankig in brauner bis braunroter Färbung auf. Oberhalb des Bauerngrabens war durch Windwurf ein Paket gebleichten Buntsandsteins aufgeschlossen (Abb. 3.13). Die Bleichung wird durch die oxidierende Einwirkung verwitternden Pyrits hervorgerufen, der dreiwertiges Eisen zu zweiwertigem wandelt.



Abb. 3.13: Gebleichter Buntsandstein (Fundpunkt 2011: 40, 28) (Foto Hubrich).

Fließerden wurden in fast allen Gebieten erfasst. Sie nehmen 3,6 %, entsprechend 12,2 km² der Gesamtfläche des Bearbeitungsgebietes ein. Ihr Anteil an den Clusterflächen (siehe Kapitel 3.7) schwankt zwischen 0,1 bis 11,9 % (Anlage 2).

Die Flächen des **Lösses**, des "eiszeitlichen Staubes", und des **Terrassenschotters** sind nicht gesondert erfasst, sondern in den Flächen des Quartärs enthalten.

3.7 Karten und Kartiergrundlagen

Für das Untersuchungsgebiet wurde ein Kartenwerk im Maßstab 1:10.000 angelegt. Es ist in neun Cluster entsprechend der Karten-Nummerierung geteilt. Im Kartenwerk werden insbesondere Stratigraphie und Störungen auf der Grundlage der Kartierergebnisse und Auswertung des vorhandenen Kartenwerkes dargestellt (siehe Kapitel 3.8 ff).

Hilfsmittel der zeichnerischen Darstellung und der Flächenermittlungen ist das Geoinformationssystem ArcGISTM von ESRI. Es ist das System eines amerikanischen Software-Hersteller, zuletzt in der Version 10.5.1. Die Projektdateien wurden von Anbeginn der Studie auf dem PC SAMSUNG Modell NP300E5A erarbeitet und gespeichert. Sie hatten zuletzt einen Umfang von etwa 13.000 Dateien bei einer Größe von etwa 18 GB. Für die regelmäßige Datensicherung wurde eine External Harddisk PHILIPS SPE3051CC/00 verwendet. Der Verfasser arbeitete auf folgenden Programmebenen (Anlage 3):

- Basis mit den Topographischen Karten als Referenz für die Übernahme der Kartierungen,
- Karten der Kartierergebnisse nach Georeferenzierung,
- Themenkarten nach Auswertung der Kartierergebnisse,
- Themenkarten nach tektonischer Interpretation.

Als Ergebnis liegen vor:

- (1) geologische Karten mit Quartär-Überdeckung,
- (2) abgedeckte stratigraphische Karten
- (3) und tektonische Karten mit Schollen-Mosaiken.

Das geologische und topographische Kartenwerk des Untersuchungsgebietes stand georeferenziert im Maßstab 1:25.000 zur Verfügung. Es ist am Deutschen Hauptdreiecksnetz orientiert. Dieses ist das übergeordnete Triangulationsnetz der Bundesrepublik Deutschland, dessen Fundamentalpunkt im TP (Trigonometrischen Punkt) Helmertturm bei Potsdam liegt und zur Bezeichnung "Potsdam Datum" führt. Die topographischen Karten wurden für ihre Verwendung als Basis für Themenkarten entfärbt, d.h. farblich einheitlich auf einen dunklen Grauton eingestellt. Damit wurden missverständliche Farbüberschneidungen mit stratigraphischen Karten verhindert, ohne deren Lesbarkeit zu schmälern.

Niedersachsen:

Geologie:	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)		
Topographie:	Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN)		
Sachsen-Anhalt:			
Geologie:	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)		
Topographie:	Landesamt für Vermessung und Geoinformation (LVermGeo)		

Thüringen:

Geologie:	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG)
Topographie:	Landesamt für Vermessung und Geoinformation (TLVG)

Die Bearbeitung der gedruckten geologischen Karten liegt bis zu mehr als 100 Jahre zurück (Tabelle 3.2).

Tabelle 3.2: Alter der GK				
Blatt- Nr.	Karte	Bearbeiter	Jahr der Bearbeitung	Jahr der Publikation
4227	Osterode	Beushausen et al.	1908	
4227	Osterode	H. Jordan	1976	1976
4327	Gieboldehausen	O. Speyer	1878	
4328	Bad Lauterberg	W. Schriel	1930	1939 2.Aufl.
4428	Weißenborn/Lüderode	K. v. Seebach, O. Speyer	1868/1879	1884 (?)
4429	Bad Sachsa	W. Schriel	1930	1934
4430	Nordhausen (Nord)	W. Schriel, R. v. Gaertner	1930	1934
4431	Stolberg (Harz)	F. Dahlgrün	1929	1934
4433	Sangerhausen/Wippra	F. Dahlgrün, G. Fischer, E. Schröder	1930	1934
4532	Kelbra	R. Schriel, K. v. Bülow	1919 - 1921	1925

Die flächige Erfassung der Stratigraphie und Ableitung von Störungsverläufen beruhen zu etwa 90 % auf Lesesteinkartierungen in einem Gelände, das zu 43% von Quartär bedeckt wird. Kritische Vorbehalte über die Genauigkeit der Darstellungen und zur Zulässigkeit von geologischen Schlussfolgerungen sind gerechtfertigt und für der Verfasser Grund für vorsichtige Interpretationen. Der Verfasser befindet sich mit dieser Positionierung in bester Gesellschaft: Carlé (1988) wird von Clay (2013: 302) zitiert mit "*Hinter vorgehaltener Hand versichern erfahrene Kartierer, dass das so problemlos erscheinende Umlenken eines Bruches in einen anders streichenden eine reine Ermessenfrage ist, solange sich die Bodenkrume über den Gebirgsbau legt.*"

Der Verfasser stellte nach der Auswertung der Kartierungen und der GK fest, dass die Angaben, insbesondere Störungsverläufe, für die tektonische Auswertung unzureichend sind. Ursachen für die Unergiebigkeit sind die vermutlich geringen Versatzmaße, die geringe Zahl von Aufschlüssen im Anstehenden, das zerscherbtes Stinkkarbonat, verheilte Störungen im Sulfat und die Bedeckung mit Quartär und Fließerden. "Die Geländeoberfläche gab nicht mehr her!" Erst mit der Einbeziehung von Störungen aus den Schnitt- und Mosaik-Konstruktionen (s.w.u. Kapitel 3.11) und weiterer geologischer Elemente (Kapitel 4.6.13) konnte ein plausibles Bild der die Tektonik erarbeitet werden.

Für die Darstellung der Stratigraphie sind Kürzel und Farben in der Anlage 4 definiert. Die Kürzel wurden dem Symbolschlüssel Geologie (LBEG 1/2001) in vereinfachter Form entnommen und die Farben nach der Petrographie gewählt.

3.8 Geologische Karten

Die Flächen wurden in unterschiedlicher "Arbeitsteilung" kartiert. Der Verfasser bearbeitete die gesamte Fläche (Anlage 5) redaktionell, um eine umfassende Karte nach den gleichen Kriterien zu erstellen. Dabei mussten verschiedene "Auffassungen" aufgelöst werden. Das beginnt mit den in der Geologie gut bekannten "Blattrandverwerfungen". Diese sind Ungereimtheiten und widersprüchliche Darstellungen benachbarter Kartierungen, die auf unzureichenden Abgleich zurückzuführen sind. Diese und nicht kleinmaßstäblich erfasste Flächen zwischen den Kartiergebieten wurden vom Verfasser ergänzend kartiert und auf die gleichen stratigraphischen Einheiten normalisiert. Zum Beispiel wurde bei einer Kartierung die Residuale ausgehalten, bei der benachbarten aber nicht. Schon die Einteilung des Zechsteins in Zyklen ist bei den älteren GK nicht vorhanden, damals wurden lediglich zwischen Jüngerem und Älterem Gips unterschieden (Anlage 4, "alte Gliederung"). Letzteres Problem wurde in den meisten Fällen durch die Diplomkartierungen aufgelöst. Auch die Beurteilung, welche Flächen durch geringmächtiges Quartär oder Löss bedeckt sind, und welche nicht, ist zwischen Kartierern sogar der gleichen Flächen, verschieden. Es ist daher unvermeidbar, dass Differenzen bei der Form und Größe solcher Flächen auftreten. Je nach Qualifikation der Bearbeiter können sogar Fehler bei der stratigraphischen Zuordnung auftreten. Alle diese Probleme sollten gelöst werden. Wenn die Flächen noch nicht kartiert waren, oder es durch Vergleich der verschiedenen Karten keine Lösung gab, ging der Verfasser selbst ins Gelände. Dabei wurde Listen mit fraglichen Stellen abgearbeitet. Außerdem gab es die Möglichkeit, die Kartierkurse entsprechend auf die noch nicht so gut bekannten Flächen zu legen, wobei je nach Schwierigkeit die Gebiete größer oder kleiner gefasst oder erfahrene Studierende in komplexen Gebieten eingesetzt wurden (Tabelle 3.3). Bei einem Werk, das über Jahrzehnte erarbeitet wurde, konnten naturgemäß nicht immer nach den gleichen Vorgaben gearbeitet werden (siehe auch Erläuterungen, Anlage 6). Die Summe der Flächenanteile ist wegen Doppelbearbeitung und Überschneidungen der Kartiergebiete größer als 100 %.

Tabelle 3.3: Flächenanteile			
Bearbeitungsmerkmale	Flächenanteile [%]		
Übernahme aus Diplomkartierungen	DK	34,2	
Übernahme aus Geologischen Karten	GK	15,6	
Eigene Kartierung	HPH	10,3	
Ergänzung der GK durch eigene Kartierungen	GK/HPH	13,6	
Ergänzungen der DK durch GK	DK/HPH	0,6	
Bearbeitung u. Ergänzung der Karten der Kartierkurse	KK/HPH	26,7	
Übernahme aus veröffentlichter Kartierung	ÜVK	0,8	
Übernahme aus Bachelor- und Studienarbeiten	BA/StA	4,7	
Summe		106,5	

3.9 Geologische Schnitte

Um die geologische Struktur des Zechsteingürtels aufzuklären, wurden etwa 150 Schnitte durch das Bearbeitungsgebiet im Abstand von 500 m in Einfallrichtung angelegt (Karten HSa4NNN zeigen die Schnittspuren). Die topographischen Karten waren Grundlagen der Schnittkonstruktion. Neben der Darstellung des Geländeprofils, wurden die Störungen mit angenommenem seigerem Verlauf eingezeichnet. Aus der Stratigraphie der geologischen Karte wurden Schichtfolge und -verläufe unter Berücksichtigung bekannter oder angenommener Mächtigkeiten und Einfallen ("Verborgene Störungen", Kapitel 3.11) konstruiert. Aus der Betrachtung benachbarter Schnitte konnte die Ausdehnung und Orientierung der Schollenelemente abgeleitet werden. Im Allgemeinen schafft die Bruchtektonik Abfolgen von Staffelbrüchen sowie Horst- und Grabenstrukturen. Synthetische Staffelbrüche können durch Aufschieben die Ausstrichbreite von Schichten verkürzen, während antithetische Staffelbrüche die Ausstrichbreite vergrößern können. Die zwischen solchen Störungen liegenden Schollen werden mit "Bruchleisten" bezeichnet. Horst- und Grabenstrukturen können an ihren Flanken von Staffelbrüchen begleitet sein. Einfallen und Mächtigkeiten ließen sich im Untersuchungsgebiet nur höchst unbefriedigend messen, weil einerseits durch Verstellung und Ablaugung die Werte stark schwanken und andererseits bei quartären Überdeckungen Messungen am festen Gestein nicht möglich waren. Um bei Schnittkonstruktionen zu befriedigenden Profilen zu kommen, mussten Annahmen zu Einfallen und Mächtigkeit (s.w.u.) getroffen werden. Profile sah der Verfasser als ausreichend zutreffend an, wenn stratigraphische und durch Erdfallmuster begründete Störungen sowie stratigraphische Verläufe übernommen werden konnten. Die Präzechsteinoberfläche hat die Form eines "verbeulten Bleches" (z.B. Herrmann, 1956 "Mittelgebirgslandschaft"; Lotze, 1971:80). Der Ansatz, aus größeren Flächen des Zechsteinkalks Referenzeinfallen zu konstruieren, führte nur in wenigen Fällen zum Erfolg, da nicht nur wenige ausreichend große und gleichmäßig einfallende Flächen anstanden, sondern die Flächen z.T. totsölig waren oder das Einfallen drehte. Für Schnittkonstruktionen wurden - sofern keine weiteren Angaben vorlagen - folgende Zahlenpaare zugrunde gelegt:

- 6° und 100 m Mächtigkeit für den Werra-Anhydrit
- 6° und 50 m Mächtigkeit für den Staßfurt-Anhydrit
- 6° uns 50 m Mächtigkeit für den Leine-Anhydrit.

Diese Größen ermöglichten in den meisten Fällen befriedigenden Lösungen. Andernfalls wurden Einfallen oder Mächtigkeit variiert.

3.10 Störungen

Der Harz als variszisches Gebirge ist bestimmt durch NW-vergente Faltung, begleitet von Überschiebungen, die z.T. in Deckenüberschiebungen übergehen. Zusätzlich gibt es AC-Störungen, quer zu den NW-SE streichenden B-Faltenachsen. Solche Störungen schneiden z.B. die Sättel der Oberharzer Devon-Antiklinoriums nach S ab. Interessanterweise zeigen die einzelnen geologischen Karten des Harzes ganz unterschiedliche Störungsmuster und -häufigkeiten. Es ist daher zu vermuten, dass die Bearbeiter unterschiedliche Strukturauffassungen hatten (Abb. 3.5, Kapitel 3.2). Der Südharz sollte im Wesentlichen außer bei reaktivierten Störungsmuster sollte aber andersherum auch im Harz erkennbar sein. Das in dieser Arbeit erarbeitete Störungsmuster sollte aber andersherum auch im Harz erkennbar sein, denn diese Störungen betreffen nicht nur die ungefalteten Deckschichten, sondern müssen auch das variszische Grundgebirge betreffen. Die Tektonik des Südharzes erzeugte Muster, die vorrangig rheinisch und herzynisch orientiert sind. Neben "regulär" wirkenden Störungs-Mustern gibt es unübersichtliche Störungs-Häufungen. Für diese übernimmt der Verfasser gerne den von König (1991) geprägten Begriff "Strukturzonen". Da die Störungen nur mit ihrer oberflächigen Spur erfasst und in den Schnitten mit 90° Einfallen gezeichnet werden, ist eine weitergehende tektonische Differenzierung nicht möglich.

3.11 Störungskategorien

Im Rahmen diese Arbeit wurden folgende Störungskategorien definiert: Die Kategorien "realer" Störungen sind:

- K Stratigraphiestörungen
- H Störungen aus Höhlenkartierungen
- E Erdfallstörungen

Die Kategorien konstruierter Störungen umfassen immer verborgene Störungen. Ihnen ist gemeinsam, dass sie konstruktiv ermittelt und nach der Prüfung auf Plausibilität fixiert wurden.

S Störungen aus der Schnittkonstruktion

M Störungen aus Mosaik-Konstruktionen

- F verborgene Störungen unter Flüssen und Tälern
- B aus Bohrlöchern abgeleitete Störungen

Der Übergang zwischen den Kategorien kann fließend sein.

Stratigraphiestörungen K liegen vor

- wenn atypische Materialwechsel vorliegen, z.B. Werra-Anhydrit gegen Rotliegend grenzt,
- wenn dextrale oder sinistrale Versetzungen erkennbar sind
- oder wenn sich "falsche" Höhenlagen zeigen, z.B. wenn der Zechsteinkalk unter Berücksichtigung des Schichteneinfallens höher liegt als der Werra-Anhydrit.

Von den insgesamt etwa 350 kartierten Stratigraphiestörungen mit insgesamt etwa 300 km Störungslängen konnten lediglich bei nur einer (in Klettenberg, 4429 54KM) "die Hand auf die Störungskluft gelegt werden".

Störungen aus Höhlenkartierungen H

Auf eine weitere, 4429 58HM, könnte in der derzeit unzugänglichen Großen Trogsteinhöhle auch die "Hand aufgelegt" werden. Sie wurde von Reinboth (1976) eingemessen. Leider hat der angrenzende Steinbruch den Höhleneingang schon vor Jahren verschüttet.

Erdfallstörungen E

Erdfälle können auf Störungen deuten,

- wenn mehrere Erdfälle in Reihe fallend in oder entlang einer Erosionsrinne erkennbar sind (streichende Erdfallketten wurden wegen des Verdachtes auf hangparallelen Oberflächenabfluss und Versickerung entlang von Schichtgrenzen nicht berücksichtigt),
- wenn im Erdfallkataster Erdfälle einer Uvala zugeordnet sind
- und wenn wenigstens fünf Erdfälle in annähernd gerader Linie im Oberflächenkarst erkennbar sind.

Störungen aus der Schnittkonstruktion S

Diese Störungen sind notwendig, um das gleichmäßige Einfallen der Schichten im Schnitt sicherzustellen. Da aber im Prinzip Mächtigkeiten und Einfallen nicht bekannt sind, ist es die Problematik einer Gleichung mit zwei Unbekannten. Durch die Annahme eines stetigen S-Einfallens ist zumindest einer der Unbekannten eingeengt. Diese Annahme leitet sich aus der Überlegung ab, dass das Präperm stetig nach S einfällt. Dann sind noch die möglichen Mächtigkeiten zu berücksichtigen und es ist zu prüfen, an welchen Stellen Störungen überhaupt ohne Widerspruch eingezeichnet werden können und ob sie auch sinnvoll für die Nachbarschnitte an dieser Position sind. Es gilt, aus den Lösungsmöglichkeiten eine plausible und mit der geologischen und morphologischen Umgebung verträgliche Antwort zu finden. In der Regel sind die so gewonnenen Störungen nicht im Gelände erkennbar. Einerseits sind an der Oberfläche von Gips und Anhydrit sichtbare Spuren von Störungen kaum zu erwarten, da sie im Regelfall verheilt sind. Anderseits ist es aber auch nicht zu erwarten, dass diese Gebiete störungsfrei sind. Ausgehend von konstruktiv abgeleitetem Referenzeinfallen oder angenommenen Wertepaaren aus Einfallen und Mächtigkeit (Kapitel 3.9) lassen sich Störungen mit Richtung quer zum Einfallen geometrisch konstruieren.

Störungen aus Mosaik-Konstruktionen M

In Verbindung mit der Interpretation der geometrischen Gegebenheiten wurden **Schollen-Mosaike** konstruiert. Dabei werden Störungen ergänzt, verändert und neue kreiert, um so ein plausibles Störungsmuster zu erzeugen. Deren Verlauf und Länge kann aus benachbarten Mustern von Störungsverläufen und Bruchleisten abgeleitet werden. Ein Beispiel für Ergänzungen sind rheinisch streichende Störungen, die zwischen Schnitten verlaufen (können), d. h. durch die N - S gerichteten Schnitte nicht erkennbar werden (Beispiel: Störung 4327 24M in der Abb. 4.6.2.1 zwischen Schnitten 4327 M1 und 4327 M2 im Abschnitt 2 (Kapitel 4.6.2). Sofern benachbarte Störungen nach kritischer Betrachtung bis an die frisch kreierte herangeführt und ergänzt werden, erhalten sie neben der Codierung, ihrer "Herkunftkennung" (z. B. NNN K) ein zusätzliches **M**.

Für den Interessierten gibt es aber eine weitere Möglichkeit, eine Störung, wenn auch mit kleinem, nicht kartenrelevantem Verwurf, zu besichtigen: Im Schaubergwerk Lange Wand (Walter & Kappler, 2014) ist auf 100 m Länge eine Störung, aufgeschlossen, die das Kupferschieferflöz um ca. 1 m (S-gehoben) ver-

setzt. Im Bergbau wurden solche Störungen als "Rücken" bezeichnet und waren eine relativ alltägliche Komplikation beim Stollenbau und bei der Wasserhaltung des Kupferschieferbergbaus (z.B. Ziegler, 2011).

Verborgene Störungen F

Diese Störungen umfassen mehrere Arten. Sie werden konstruktiv und/oder kreativ ermittelt und nach der Plausibilitätsprüfung fixiert.

Dazu gehören die unter dem Quartär der Talauen verborgenen Störungen. Sie sind auch unter Flusstälern zu erwarten, wo im Saum von Störungen das Gebirge verruschelt, also durch Störungsbegleitgefüge geschwächt ist, sodass sich Flüsse dort entwickeln und vertiefen konnten. Eine derartige Störung kann oft ergänzend mit versetzten Verläufen oder unsymmetrischer Abfolge stratigraphischer Wechsel begründet werden. Ein treffendes Beispiel dafür ist der Verlauf der Uffe/des Mühlbaches entlang der "Klettenberger Verwerfung", (4429 54KM), die zwar in der Literatur erwähnt und skizziert wird (Haase, 1936), in der GK 4429 nicht eingezeichnet ist (Schriel, 1934), sich aber konstruktiv ableiten lässt.

Aus Bohrprofilen abgeleitete Störungen

Aus den Daten der Profile von Bohrungen im Alten Stolberg und im Thyratal (Dahlgrün, 1929/1934, Erläuterungen) lassen sich Störungen ableiten, Codierung mit **B**.

3.12 Schollenmosaik

Ein Schollenmosaik vermittelt gelegentlich den Eindruck, der Verfasser könne mit Röntgenblick - oft durch das Quartär hindurch - Strukturen erkennen. Dieser Eindruck trügt. Er verfügt nicht über Informationen aus Steinbrüchen, Bohrlöchern, Bergwerken und geophysikalischen Untersuchungen, die seine vergleichsweise spärlichen Oberflächen-Befunde für weitergehende Untersuchungen bis hin zum Entwurf eines Schollenmosaiks und mit Schlussfolgerungen ergänzen könnten. Aber ein Schollenmosaik wird erkennbar, wenn tektonische Elemente benachbarter Schnitte in Beziehung gesetzt und interpretiert werden können. Es setzt sich aus Schollenelementen zusammen. Diese sind entweder unregelmäßig begrenzt oder haben Leistenform (Bruchleiste) bezeichnet.

3.13 Schollen-Architektur-Elemente

Unter den Annahmen, dass alle großmaßstäblichen Erscheinungsformen der Tektonik auch in kleinem Maßstab anzutreffen sind wird der Zechstein des südlichen Harzrandes auf diese Erscheinungen überprüft. Wiederkehrende, prägnante Muster werden analog zu den "Architektur-Elementen" der Sedimentologie mit dem Begriff "**Schollen-Architektur-Elemente**" bezeichnet:

Herzynische Staffeln bestehen aus mehreren \pm parallel im herzynischen Streichen verlaufende Bruchleisten. Stellenweise bilden sie Schollentreppen.

Mit Horst-Graben-Folge wird ein typisches Muster aus herzynisch verlaufenden Bruchleisten im Wechsel von Horst und Graben bezeichnet.

Gemischte Bereiche aus Horst-Graben-Folgen und Schollentreppen werden als "gemischt" bezeichnet.

Hockeyschläger-Störungen sind meist singulär auftretend, beginnen mit steilem, oft mehr als 130° Streichen und laufen mit herzynischem Streichen aus.

Blockstörungen sind Störungen, die Partien herzynischer Staffeln oder Horst-Graben-Folgen begrenzen. Sie verlaufen meistens im Einfallen, überwiegend in rheinischen oder eggischen Richtungen, und wurden deswegen nur in Ausnahmefällen bei den Schnittkonstruktionen erkannt.

Mit **Pflaumenkern** wird ein Hockeyschläger-Störungs-Paar bezeichnet, das ein spitzovales Areal umschließt.

Die "Strukturzone" wirkt chaotisch wegen des Auftretens von Störungen unterschiedlicher Winkelbereiche.

Die "**z1K-Flächen**" sind Flächen, die von einem Schichtenpaket aus Zechsteinkonglomerat, Kupferschiefer und Zechsteinkalk bedeckt sind. Deren Gesamtmächtigkeit erreicht kaum mehr als 10 m. Das Einfallen schwankt von 0° bis 15° in wechselnden Richtungen. Es variiert entsprechend der unregelmäßigen Oberflächengestalt des Paläozoikums nach der Zechsteintransgression und der Liegendschichten des Rotliegend. Im östlichen Teil des Bearbeitungsgebietes eignen sich einige z1K-Flächen zur Ableitung von Referenzeinfallen.

Die "**z2K-Flächen**" sind Flächen ohne oberflächlich erkennbare Stratigraphie- und Erdfallstörungen. Eines ihrer Merkmale ist die großflächige Überdeckung des Werra-Anhydrits mit zerscherbtem Stinkkarbonat. Der Versuch, hier eine tektonische Struktur zu entwerfen, kann nur mit Hilfe verborgener Störungen (Kapitel 3.11) gelingen. Dabei ergeben sich überwiegend \pm herzynisch streichende Bruchleisten. Mögliche Störungen anderer Streichrichtungen werden meist nicht erkannt.

Streichen der Störungen

Störungen im rheinischen Streichen:

Murawski & Meyer (2004:169) bezeichnet die Richtung NNE -SSW als "rheinische Streichrichtung" mit dem Mittelwert von 15°. Wunderlich (1957:402) gibt für das rheinische Streichen einen Bereich von 10° bis 20° an. Metz (1957:195) richtet die "rheinische", als eine der sog. tektonischen Hauptrichtungen mit NNE - SSW aus. Für den dem Untersuchungsgebiet benachbarten Leinetalgraben erkennt er lokal noch stärkere Streuungen. Stille (1923-1925:127) spricht von der rheinisch gerichteten Randzone des Zechsteinmeeres. Schriel (1954:282) beruft sich u.a. auf Cloos, Stille sowie Richter-Bernburg. Er orientiert das Streichen auch am angrenzenden, "rheinisch charakterisierten" Leine-Graben.

Störungen im variszischen Streichen:

Metz (1957:195) richtet mit der "erzgebirgischen" (sein synonym verwendeter Begriff für die variszische Richtung) eine der sog. tektonischen Hauptrichtungen mit ENE - WSW aus. Die Hauptfaltung des Harzes erfolgte in der sudetischen Phase des Variszikums. Dieser schlossen sich die asturische und saalische Abklingphasen an (Schriel, 1954:280 ff). Während dieser Zeit, bis 300 Ma, wurden die variszisch streichenden Störungen angelegt und während der Zeit der Inversionstektonik reaktiviert. Wunderlich (1957:402) gibt für den variszischen Untergrund des benachbarten Leinegrabens Richtungen von 30° bis 70° an. Stille (1923-1925:127) ordnet die erzgebirgische Richtung mit NE - SW ein.

Störungen im herzynischen Streichen:

Murawski & Meyer (2004:88) geben für das herzynische Streichen SE - NW an. Metz (1957:195) richtet die "Herzynische", einer der sog. tektonischen Hauptrichtungen, mit NW - SE aus. Schuh (1922b:149) legt die Zeit der Inversionstektonik mit Entwicklung der herzynischen und rheinischen Richtungen ins Jura und in die Kreide. Walter (1995:331) bezeichnet in Verbindung von Dehnung und Pressung die Richtungen der Bruchlinien mit NW - SE (herzynisch) und NNW - SSE (eggisch). Stille (1930) hält in vielen Fällen eine Trennung von "rheinisch" und "erzgebirgisch" nicht für sinnvoll und nennt Fälle abgelenkter Richtungen "renegat".

Störungen im eggischen Streichen:

Murawski & Meyer (2004:42) geben für das eggische Streichen die Richtung mit NNW-SSE an. Walter (1995:331) nennt in Verbindung von Dehnung und Pressung die Richtungen der Bruchlinien mit NW - SE (herzynisch) und NNW - SSE (eggisch).

3.14 Verlauf der Störungen

Die unterschiedlich geformten blockbegrenzenden Typen von Störungsverläufen (Blockstörungen) werden unterscheiden in:

- Typ 1 mit annähernd parallelen und welligen Verläufen,
- Typ 2 mit bauchigen und schleifenförmigen Verläufen.

Die annähernd parallelen Blockstörungen des **Typs 1** der Abschnitte 1 und 2 verlaufen parallel zur Grabenschulter des Gittelder Grabens in Richtung NNE - SSW. Sie können der komplexen Tektonik des

Leinetalgrabens zugerechnet werden (Carlé, 1938). Die annähernd parallelen Blockstörungen des Abschnittes 12 verlaufen NNE - SSW und entsprechen damit der bevorzugten Richtung der Eichsfeldschwelle. **Typ 2** -Verläufe sind bauchige und schleifenförmige Störungsverläufe (Beispiel Abb. 3.14), die sich aus der tektonischen und stratigraphischen Analyse sowie Talverläufen und Quellen ergeben (Kempe, 1996:212: "*The consequent valleys.... mostly follow tectonic structures*").



Abb. 3.14: Beispiel eines schleifenförmig begrenzten Blocks, Cluster 4430, Abschnitt 13.

Diese Verläufe waren zunächst unerwartet aber offenbar nicht unbekannt, wie das Zitat von Mohr zeigt (1978:178). Er räumt ein, dass "der Verlauf der Störungen nicht, wie es meist die einschlägigen geologischen Kartenblätter zeigen, geradlinig ist, sondern wie neuere Spezialuntersuchungen beweisen, sowohl im Streichen als auch im Einfallen in sich stark "schaufelblattartig" gebogen ("listrische Flächen") sein kann". Auch Arp et al. (2011:4) bringen die Geometrie ins Spiel: "Neben den oben beschriebenen Hauptstörungszonen stellen NNW (eggisch) streichende, schmale und im Auslaufbereich z.T. sigmoidal (Sigmoid-Funktion, Schwanenhals-Kurve) verbogene Gräben ein weiteres charakteristisches Strukturelement dar". Da sich die Störungen nicht unendlich in der Teufe fortsetzen, sondern listrische Formen annehmen, sind gekrümmte Störungsverläufe zu erwarten.

Aber auch Konstruktionen mit Referenz-Einfallen und -Mächtigkeiten bis hin zu Konstruktionen auf der Grundlage knapper/rudimentärer Hinweise (z.B. Flussläufe, Morphologie, Lösungsfronten) ergänzen den Werkzeugkasten des Geologen. Das alles setzt voraus, dass Vorstellungen und Erwartungen existieren, die konfliktarm zu plausiblen Lösungen führen.

Eine eigene modellhafte, reflektierende Vorstellung zur Ursache "ungewohnter" Verläufe lautet: Das Gebirge ist durch mehrere Trennfugensysteme stark gegliedert, die praktisch keinen nennenswert durch Zugkräfte mechanisch beanspruchbaren Gesteinsverbund hinterließen: Die Gebirgszugfestigkeit kann deswegen als vernachlässigbar angesehen werden. Die zerrenden Kräfte werden jeweils an den schwächsten Partien wirksam, der erste Riss ist zugleich der Keim für dessen Verlängerung in den benachbarten schwächsten Bereich und führt damit zur Entwicklung von Störungen, deren Verlauf mehr der Zufallsverteilung der schwächsten Partien entspricht als einer gleichmäßig wirkenden Spannung auf ein homogenes Material.

Ein von Drozdzewski (1988) vorgestelltes Störungsbild (Abb. 3.15) aus dem nordwestlichen Ruhrgebiet zeigt ebenfalls ungerade Störungsverläufe. Mit der Akzeptanz der Typ-2-Störungen ergibt sich eine deutliche Erweiterung der Systematik des Kartierens und der Schnitt-Konstruktionen. Die idealen Bedingungen des Kartierens bei anstehendem Gestein sind nicht überall gegeben. In zunehmendem Maße werden weniger exakte Informationen, z.B. aus der Lesesteinkartierung einbezogen.

Gebogene Störungsverläufe: Die Störungen setzten sich nicht unendlich in die Tiefe fort, sondern biegen in der Tiefe um und laufen zusammen (Schaufelflächen, listrische Flächen). Sie können an der Oberfläche zu gebogenen Störungsverläufen führen.



Abb. 3.15: Brüche im Karbon, frei nach Drozdzewski (1988).

3.15 Flower-Strukturen

Flower-Strukturen sind Mosaik-Muster aus Bruchleisten und Störungen in geregelter Abfolge. Die Struktur-Prinzipien der Bruchleisten in einer Flower-Struktur und deren Nomenklatur werden von Duffy (2018) übernommen (Abb. 3.16):

In synthetischen Flower-Strukturen (Abb. 3.16-rechts) sind die Abfolgen im einfachsten Fall:

Flanke: Master thrust und synthetic thrust,

Kernleiste: Horst,

Gegenflanke: Antithetic backthrust.

Die "synthetischen" Schollentreppen ausgebildeter Flanken bestehen aus Bruchleisten zwischen Aufschiebungen.

In antithetischen Flower-Strukturen (Abb. V1-links) sind die Abfolgen im einfachsten Fall:

Flanke: Synthetic normal fault und master normal fault

Kernleiste: Keilscholle: Graben

Gegenflanke: Antithetic normal fault.

Die "antithetischen" Schollentreppen ausgebildeter antithetischen Flanken bestehen aus Bruchleisten



zwischen Abschiebungen

Die Kernleisten können als Staffel und als Mischung mit Bruchleisten ausgebildet sein.

Abb. 3.16: Prinzipskizzen mit Nomenklatur der Flower-Strukturen nach Duffy (2018).

Die Farbmuster der Schollenmosaike dieser Prinzipskizzen ergeben gemäß Darstellungsregel (s.w.o.) Farbreihungen wie in Abb. 3.17.

Abb. 3.17: Farbreihung der Schollenmosaike der Prinzipskizzen nach Abb. 3.16.
4 Ergebnisse

4.1 Voruntersuchung

In einer Voruntersuchung sollte die Verteilung der Streichrichtungen ermittelt und die beiden Kategorien der stratigraphischen Störungen und Erdfall-Störungen beispielhaft verglichen werden. Sie ergab, dass die Störungen der beiden Störungkategorien im Cluster 4431 ähnlich verteilt sind, woraus der Schluss gezogen werden darf, dass die tektonischen Bildungsbedingungen für beide Störungskategorien gleich waren. Die Störungen verlaufen weder streng geordnet - noch völlig ungeordnet. Die Analyse (Anlage 7) der Richtungen der Störungen zeigt fünf deutliche Häufungen, die in verdichteter Form in der Tabelle 4.1 für beide Störungskategorien gegenübergestellt sind. Diese nachfolgend aufgeführten Richtungen und Häufigkeiten wurden zeitlich vor der tektonischen Bearbeitung auf der Grundlage der Kartierergebnisse ermittelt.

Stratigraphie-Störungen		Erdfall-Störungen			Bezeichnung nach Carlé	
Zahl der Störungen	Anteil der Störungs- meter in [%]	Richtung [°]	Zahl der Störungen	Anteil der Störungs- meter in [%]	Richtung [°]	
5	13,6	0	5	3,6	0	rheinisch
3	5,1	40	5	5,4	50	variszisch
4	7	70	4	6,8	70	variszisch, nur im Clus- ter 4431
19	62 (Streuung)	106 (90 - 120)	28	55,6 (Streuung)	109 (90 - 120)	herzynisch
1	3,4	160	5	9,8	154	eggisch
5	8,9	Sonstige	19	18,8	Sonstige	
37	100	-	66	100	-	

4.2 Streichen der Störungen

Die Verwendung konventioneller Richtungsnamen nimmt generell ab. Die Meinungen und Festlegungen der nachfolgend zitierten Autoren zeigen Unschärfen entsprechend der Vielfalt und Streuung der geologischen Realität. Der Verfasser verwendet die traditionellen Bezeichnungen für dominante Streichrichtungen mangels anderer prägnanter Begriffe oder unpraktischer, breitgefächerter Zahlenbereiche; auch wegen starker Streuung innerhalb markanter Häufungen. Zum Beispiel ist es einfacher und verständlicher, die Blockstörungen in Abschnitt 13 (Abb. 4.6.13.7) mit "rheinisch streichend, mit fließendem Übergang zum eggischem Streichen gekrümmt" verlaufen zu lassen als dieses mit Zahlenangaben zu versuchen. Der Verfasser übernimmt die Begriffe von Carlé (1955) und legt im Zusammenhang mit dieser Ausarbeitung die Winkelbereiche fest:

Tabelle 4.2: Winkelbereiche der Streichrichtungen			
NNE - SSW	rheinisch	~ 0°	
NE - SW	erzgebirgisch-variszisch	0° - 60° , 70° Teilbereich	
WNW - ESE	herzynisch	Streuung 85 – 125°	
NNW – SSE	eggisch	150°	

Merkmale der Störungen im rheinischen Streichen,

Die Richtungen streuen wenig.

Sie sind mit etwa 7 % an den Störungslängen in nur einer Streichwinkeldekade und mit 7,3 % an den kartierten Störungen beteiligt (Anlage 8).

Merkmale der Störungen im variszischen Streichen

Es stellt sich tendenziell steigernd von W mit 40° nach E mit 60° dar, ein ausgewähltes Teil-Kollektiv mit 70° ist dem Zufall geschuldet. Der Durchschnitt beträgt 50°. 13,8 % der Längen von Stratigraphie-Störungen sind in diesem Bereich anzutreffen.

Sie sind mit 14,5 % an den kartierten Störungen beteiligt (Anlage 8).

Merkmale der Störungen im herzynischen Streichen

Sie sind mit 62,0 % an den Längen der Stratigraphie-Störungen in fünf Streichwinkeldekaden beteiligt. Richtung nach Analyse: 106°.

52,4 % der Längen der kartierten Stratigraphiestörungen sind in diesem Bereich anzutreffen. Deren Richtungen streuen stark in den Winkeldekaden von 80° bis 125° (Anlage 8). Die Streuung spiegelt die Erscheinungen des gesamten Untersuchungsbereichs vereinfacht wider: Die Schwerpunkte dieses Störungsrichtungsbündels "drehen" vom Cluster 4227 (Osterode) mit 125° bis Cluster 4433 (Sangerhausen/Wippra) mit 85°. Sie laufen parallel zum Südrand des Präzechsteins (Kapitel 4.5, Abb. 4.1).

Merkmale der Störungen im eggischen Streichen

Sie werden mit 3,4 % als Stratigraphie-Störungen mit 160° erfasst.

In den drei östlichen Clustern sind sie mit 150° nachgewiesen. (Abb. 4.1, Anlage 8) und mit 4,1 % an den Störungslängen in einer Streichwinkeldekade beteiligt.

4.3 Kartenwerk

Das Kartenwerk wird als Übersicht in der Anlage 9 und auf einer CD im Anhang vorgestellt. Es ist nach Clustern und Themen gegliedert. Die Karten sind durch Kürzel gekennzeichnet. Diese unterscheiden nach Karten, die vom Verfasser erstellt oder bearbeitet wurden: mit Kürzelbeginn "H". Übernahmen von Karten, Kartenteilen und Dateien von anderen: mit Kürzelbeginn "F". 4NNN steht für das Cluster. Für die Darstellung der Stratigraphie sind Abkürzungen und Farben in der Anlage 4 definiert.

Tabelle 4.3: Dateinamen der thematischen Karten.		
HSa	Stratigraphie u. Störungen, abgedeckte Karte, nach tektonischer Klärung	
HQu	Quartär	
HSy	Störungen nach tektonischer Klärung	
НСа	Karbonate	
HVS	Versturz	
FSK	Stratigraphie und Störungen nach Kartierung	
FFe	Fließerde und Quartär	
FEK/FET	Erdfälle nach Kataster und TK	
FCv	Lage der Höhlen nach TK	
FPD	Gruben, Steinbrüche und Duckel nach TK	
SN	Schnitte	

In der beigefügten CD sind Karten zu folgenden Themen enthalten (Tabelle 4.3):

4.4 Abweichungen

In großem Umfang konnten die Kartierungen der Vergangenheit durch aktuelle Erfassungen bestätigt werden, wobei die alten stratigraphischen Einteilungen in jüngere überführt und dabei den Zyklen z1 bis z4 zugeordnet wurden (Anlage 4).

Zur Erinnerung: Seit den Kartierungen von Dahlgrün und Schriel verging fast ein Jahrhundert. Pflug und Egge bewegten, mischten jährlich und zunehmend tiefgründiger die Krume von Quartär und Zechstein. Umwidmungen des Bodens taten ihr Übriges. Kleinteilige geologische Differenzierungen und Grenzen landwirtschaftlich genutzter Flächen wurden dadurch verwischt. Beispiel: Lokalität Reinholdgrund N´ Branderode (Cluster 4429, Region Bad Sachsa).

In mehreren Fällen konnten Abweichungen der stratigraphischen Zuordnung in den GK festgestellt werden: z.B.:

- Die Lokalität Weingartenloch ist in der GK noch als z3-z6T markiert, es ist jedoch in den Staßfurt-Gips (z2A) zu stellen.
- Der Römerstein ist in den Zechsteinkalk (z1K) zu stellen. Es ist in der GK 4429 von 1934 als "zm" dem Stinkkarbonat z2K-S zugeordnet.
- Im Bach, NW 'vom Bahnhof Tettenborn, steht bis in die Tiefe des Bachgrundes Paläozoikum an und nicht nach der GK 4429 von 1934 der Zechsteinkalk "zu2".

4.5 Dominante Streichrichtungen der Störungen

In der Tabelle 4.4 sind die stark und am stärksten besetzten Winkeldekaden der stratigraphischen Störungen aller Cluster zusammengestellt und in der Abb. 4.1 zeichnerisch dargestellt. Um den Charakter der Verläufe der Störungen sichtbar zu machen, werden die Streichwerte geglättet. Konstanz oder Veränderungen werden dadurch erkennbar. Die Glättung wurde durch die Mittelung mit den jeweils beiden benachbarten Werten bei den innen liegenden Clustern erreicht. Die außen liegenden wurden mit jeweils einem Nachbarwert gemittelt übernommen (Anlage 10).

Tabelle 4.4: Geglättete Cluster-Werte				
Cluster	rheinisches	variszisches Strei-	herzynisches Strei-	eggisches
	Streichen	chen	chen	Streichen
4227	0°	40°	125°	./.
4327	0°	40°	125°	./.
4328	0°	60°	130°	./.
4428	0°	50°	100°	./.
4429	5°	50°	100°	./.
4430	5°	50°	100°	./.
4431	0°	50°	90°	150°
4532	0°	./.	85°	150°
4433	175°	60°	85°	150°
Die Werte des rheinischen Streichens werden in der Abbildung 4.1 um 90° vergrößert,				

um eine verständliche Zeichnung zu ermöglichen.

Abbildung 4.1: Dominante Streichrichtungen der Störungen aller Cluster.

4.6 Beschreibungen der Abschnitte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Erfassungen aufgeführt. Das Untersuchungsgebiet wurde dazu in 18 beschreibbare Längenabschnitte geteilt. Die Abschnitte werden beschrieben u.a. mit

(1) Lage und Größe.

(2) Einer Quartär-abgedeckten "Stratigraphie"-Karte, die entsprechend der Stratigraphischen Tabelle eingefärbt ist. Sie zeigt auch die Störungen (schwarze Linien) aller Kategorien mit Nummer und Kategorie-Kürzel, sowie Profillinien und deren Kürzel.

(3) Einer tektonischen Karte mit der Blockstruktur. Die Blöcke sind in den Abschnitten jeweils von W nach E nummeriert,

(4) Eine tektonische Karte mit dem Schollenmosaik aus den Bruchleisten.

(5) Ggf. ein oder mehrere geologische(s) Profil(e) mit Einfärbungen und Kürzeln der Stratigraphischen

Wirkliche Werte des heinischen Streichens rheinisches Streichen mit α+90° 0° 0° 0° 0 5° 5° 0° 0° 175° Osterode 4327 C. 432 Cluster_4429 C 4430 Hainrode C. 4431 50 4433 C. 4532 Nordhausen Sangerhausen eggisches sches Strei Streichen mit 125 Variszis herzynisches Streichen mit 85° - 125° 85 40 C = Cluster

Tabelle. Ihr Verlauf ist in den Stratigraphie-Karten eingezeichnet.

(6) Wahlweise Karten von Erdfallverteilungen, Steinbrüchen, Kupferschieferhalden ("Duckel") und Flussverläufen.

(7) Eine Karte mit den Grenzen der benutzten Kartiergrundlagen.

Die Ausführungen entstammen einem Prozess "CUM MENTE ET MALLEO". Wobei mit mente nicht nur der reine Verstand gemeint ist, sondern auch gelegentlich Emotionen eingeschlossen sind, denn in den untersuchten Regionen fanden sich neben der Geologie auch andere berichtenswerte Sachverhalte.

Die Abb. 4.2 vermittelt einen Überblick über das Bearbeitungsgebiet mit seinen Abschnitten, seine wichtigsten Gliederungen und geographischen Positionierungen. Es ist in 18 Längenabschnitte geteilt, mit der sich aus dem Abstand zwischen Präperm und Buntsandstein ergebenden unterschiedlichen Breite.

Im Anhang zeigen zwei im Format DIN A3 vorliegende Übersichtskarten die Stratigraphie und die Tektonik des Bearbeitungsgebietes im Südharz.



Abb. 4.2: Tektonik des Südharzes in der Übersicht.

4.6.1 Abschnitt 1, Cluster 4227

Der Abschnitt 1 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁵ 81570	H ⁵⁷ 37530
R ³⁵ 80510	H ⁵⁷ 33010
R ³⁵ 84660	H ⁵⁷ 34490
R ³⁵ 87130	H ⁵⁷ 32400

Er misst in der Länge 2,5 km und in der Breite im Mittel 4,1 km und reicht vom Sösetal im N bis zum Tal des Ürder Mühlenbachs. Die Kartiergebiete sind in Abb. 4.6.1.6 (s.w.u.) dargestellt.

Zur Stratigraphie

Die abgedeckte geologische Karte (Abb. 4.6.1.1) zeigt vereinfacht von NE nach SW folgende stratigraphische Abfolge:

Der großflächig ausgebildete Dolomit des Stinkkarbonats wird im W durch den Buntsandstein des Gittelder Grabens begrenzt. Im E steht der Werra-Anhydrit entlang der Geländestufe zwischen Sösetal und Plagenberg-Papenberg-Hochfläche. S´ des Hellenbergs erstrecken sich nach S der Stinkdolomit, der Sangerhäuser Anhydrit, das Leine-Karbonat, der Leine-Anhydrit, der Rote Salzton und der Untere Buntsandstein mit zA4-Anhydrit-Fenstern.



Abb. 4.6.1.1: Stratigraphie des Abschnitts 1, abgedeckte geologische Karte.

Zur Tektonik

Im N liegt die von kartierbaren Störungen ungegliederte etwa 16 km² große z2K-Fläche. Sie wird durch zwei konstruierte Störungen im herzynischen Streichen geteilt. Die östliche Grabenschulter des Gittelder Grabens ("Harzwestabbruch") im W steht als Störung (4227 38K und 39K) mit einem Versatz von 600 m zum Buntsandstein an (Jordan, 1976:86). Ob es sich um den Unteren oder Mittleren Buntsandstein handelt, lässt sich aus dem Profil nicht eindeutig schließen (Pegler 1989). Die z2K-Flächen der S` Partien sind durch zahlreiche kartierte, z.T. konstruktiv ergänzte und aus der Mosaikbildung resultierenden Störungen gegliedert.

Eine herzynische Staffel bildet eine gemischte Schollentreppe mit sieben südfallenden Bruchleisten einschließlich eines Horstes und einem Graben (Abb. 4.6.1.2 und 4.6.1.3).



Abb. 4.6.1.2: Schnitt 4227-M1, mit Schollentreppe.



Eine rheinische Störung steht \pm parallel zum Gittelder Graben. Der dadurch gebildete Block ist ostfallend, in der Staffel verläuft die Aufwölbung Hellenberg im Stinkkarbonat (Ehrenstein, 1988). Der Gittelder Graben mit seinen Zeichen der Krustendehnung, von Parallelverschiebungen und abermaliger Extensionen wird als ein Teil der komplexen Tektonik des Leinetalgrabens angesehen (Carlé, 1938:60).

Der Graben erstreckt sich zwischen Leinetalgraben und der Harzscholle. Er wurde im Jungkimmeridge mit Versatz von ursprünglich mehr als 1.000 m angelegt (Lotze, 1971:297) Seine derzeitige größere Sprunghöhe hat sich auf 600 m verringert. Er ist jetzt von quartären Schichten überdeckt. Die Aufwölbung Hellenberg ist wie der Langenberg (im Kapitel 4.6.2) eine von wenigen, in der Morphologie sichtbaren Spuren der Einengung während der Heraushebung des Harzes (siehe auch Kapitel 6.2.3).

Abb. 4.6.1.3: Schollenmosaik, Abschnitt 1.

Aufschlüsse und Bergbau

Der Werra-Anhydrit ist mehrfach aufgeschlossen (Abb. 4.6.1.4). Er steht von der markanten Geländestufe an den Ost-Flanken der Abschnitte 1 und 2, zum Tal der Söse an, mit bis zu 70 m Höhenunterschied. In den Steinbrüchen von Förste und Lichtenstein (Abb. 4.6.1.5) werden Staßfurt- und Leine-Anhydrit gewonnen.



Abb. 4.6.1.4: Aufschlüsse im Abschnitt 1.



Abb. 4.6.1.5: Gipsbruch Lichtenstein (Google Earth).

Lichtensteinhöhle

Westrand Am der Gipsbedeckung, am SE' Hang des Sösetals, unterhalb des 260,9 m NHN hohen Lichtensteins liegt die erst 1972 entdeckte Lichtensteinhöhle (Lage in Abb. 4.6.1.1). Es ist eine für den Südharz seltene

im

Die

Cañonhöhle

Hauptanhydrit.

sehr enge, ca. 110 m lange Höhle ist epigen, vados durch einen Bach entstanden, der Fließfacetten und Hohlkehlen hinterlassen hat. Die Höhenlage über dem heutigen Talboden zeigt, dass die Höhle vor der



Niederterrasse entstanden sein muss. Die Höhle folgt den Hauptkluftrichtungen und verläuft NE - SW. Gipssinter überziehen die Wände (Kempe, Flindt in & Vladi 1988). In einem Teil der Höhle wurden menschliche Knochen ausgegraben, die zeigen, dass die Höhle für Sekundärbestattungen in der späten Bronzezeit genutzt wurde (FLINDT & HUMMEL, 2019). DNA-Analysen zeigen, dass die Höhle von mehreren Familien genutzt wurde, deren Nachfahren noch heute im Ort Förste nachweisbar sind. Dort entspringt das Flüsschen Salza aus Quellen mit bis zu 4 g/l Salz, so dass vermutet wird, dass in Förste bereits in der Bronzezeit Salz gewonnen wurde.

Abb. 4.6.1.6: Kartiergebiete im Abschnitt 1, siehe Einleitung Kapitel 4.6.1.

4.6.2 Abschnitt 2, Cluster 4227/4327

Der Abschnitt 2 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁵ 84660	H ⁵⁷ 34490
R ³⁵ 87130	H ⁵⁷ 32400
R ³⁵ 83260	H ⁵⁷ 30270
R ³⁵ 85700	$H^{57}29000.$

Er misst in der Länge im Mittel 3 km und in der Breite im Mittel 3,5 km. Er reicht vom Tal des Ührder Mühlenbachs bis an eine Linie entlang des Hackenbaches. Die Kartiergebiete sind in Abb. 4.6.2.3 (s.w.u.) dargestellt.

Abb. 4.6.2.1: *Stratigraphie des Abschnitts* 2, *abgedeckte Karte.*

Zur Stratigraphie

Die abgedeckte geologische Karte (Abb. 4.6.2.1) zeigt vereinfacht von NE nach SW folgende stratigraphisch ansteigende Abfolge: der Werra-Anhydrit, Stinkdolomit, der Sangerhäuser Anhydrit, das Leine-Karbonat, der Leine-Anhydrit mit Dolomit-Fenstern, der Rote Salzton, der Untere Buntsandstein mit dem z4A-Pegmatit-Anhydrit-Fenster auf dem Rosenberg.





Zur Tektonik

Zwei rheinisch streichende Störungen (4221 24M und 4221 20K) begrenzen einen Block aus sieben südfallenden Bruchleisten als Schollentreppe. Sie verlaufen unter dem Mühlbach und dem Hackenbach. Die N´´ Leisten-Störung 4221 23KS wurde kartiert und konstruktiv ergänzt. Die nächste S´ streichende Störung ist aus der Mosaikbildung abgeleitet. Im S´ Teil der z2K-Fläche verläuft die Aufwölbung des Langenberg. Die kartierte Störung 4221 13K passt nicht überzeugend in das Schema der markanten Streichrichtungen (Kapitel 4.5).

Abb. 4.6.2.2: Schollenmosaik Abschnitt 2.



Mit der Annahme, dass sich das Gebirge generell drehte, kann ein extrem verlaufendes eggisches Streichen vermutet werden, denn das lokale rheinischen Streichen (Störung 4221 20K) misst ~ 30° , statt des durchschnittlichen mit ~ 0° (Abb. 4.1). Vier weitere Störungen ähnlichen Streichens im benachbarten Abschnitt 3 unterstützen diese Überlegung (Störungen 4327 78K/87 KM, 4327 11KM und 4327 10K). Die Aufwölbung Langenberg ist wie der Hellenberg im Abschnitt 1 eine von wenigen, an der Oberfläche sichtbaren, Spuren der Einengung während der Heraushebung des Harzes (siehe auch Kapitel 6.2.3).

Abb. 4.6.2.3: Kartiergebiete Abschnitte 2 + 3, siehe Einleitung Kapitel 4.6.2.

4.6.3 Abschnitt 3, Cluster 4227/4327

Der Abschnitt 3 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁵ 83260	H ⁵⁷ 30270
R ³⁵ 85700	H ⁵⁷ 29000
R ³⁵ 90250	H ⁵⁷ 29660
R ³⁵ 87270	$H^{57}27660.$

Der Abschnitt 3 misst in der Länge 3 km und in der Breite 3,2 km und reicht von einer Linie NW´ des Hackenbaches bis zu einer Linie Lokalität Forsthaus Rehhagen - Südflanke Lokalität Krücker. Die Kartiergebiete sind in Abb. 4.6.2.3 (s.w.u.) dargestellt.

> Abb. 4.6.3.1: Stratigraphie des Abschnitts 3, abgedeckte Karte.

Zur Stratigraphie

Die abgedeckte geologische Karte (Abb. 4.6.3.1) zeigt vereinfacht vom NE nach SW folgende stratigraphische Abfolge: Nicht näher definiertes Karbon, Zechsteinkalk, Werra-Anhydrit, Stinkdolomit, Sangerhäuser Anhydrit - nur im W Grauer Salzton, Leine-Karbonat, Leine-Anhydrit und su-Fenstern im Grauen Salzton und



Leine-Anhydrit. Die Abschnitte 3 und 4 umfassen das Naturschutzgebiet Hainholz bei Düna und seine Umgebung mit Beierstein und Rötzel. Beide Abschnitte bilden eine Mischstrukturzone. Der Beierstein besteht aus vergipstem Hauptanhydrit. Zahlreiche Höhlen zeugen von karstbildenden hydrologischen Bedingungen. Der hier anstehende Leine-Anhydrit ist ein großes Gipsmassiv, der in einem Graben zwischen den Störungen 4327 64M und 4327 11KM mit bis zu 80 m Mächtigkeit lagert (Brandt et al. 1976). Diese Mischstrukturzone wird SE´ von zwei Hockeyschlägerstörungen begrenzt (Schnitte 4327 W4 bisW6), die einen

eggisch gerichteten Pflaumenkern als Horst bilden. Der Rötzel ist eine Sattelstruktur. Die Abschnitte sind durch zwölf herzynische, z.T. engständige Bruchleisten, mit zwei Horsten und zwei Gräben gegliedert. Die Breite der Bruchleisten verringert sich stellenweise bis unter 100 m. In der Mitte und im N stehen z2K-Flächen mit drei konstruierten herzynisch streichenden Störungen an. Der Hackenbach verläuft über einer rheinischen Störung. Die Sattelstruktur der Erhebung des Rötzels steht im Stinkkarbonat. Der Beierstein ist eine Erhebung im Hauptanhydrit und die südlich davor liegende Beiersteinsenke ein vernässtes Abtragungs- und Auslaugungsgebiet (Weinberg, 1983). Das Naturschutzgebiet Hainholz liegt zum Teil auf und neben einer Grabenstruktur zwischen der Düna-Hochfläche und dem Unteren Buntsandstein der Lokalität Krücker (Brandt et al. 1976; Kempe et al. 1976; Hermann, 1981). Dieses ist mehr als 20 m in einem Graben abgesenkt.



Zur Tektonik

Abb. 4.6.3.2 zeigt die tektonischen Verhältnisse des Abschnittes 3, das größtenteils mit dem Gebiet des Hainholz/Beierstein NSG zusammenfällt. Auf Grund der Bohrungen der Gipsindustrie hat Herrmann (1981) Profile gezeichnet, die z.T. sogar Einfallen nach N zeigen (siehe Diskussion Kap. 5.2.2). Drei Störungen, 4327 130KM, 4327 13K und 4327 14K streichen rheinisch. 4327 78/87K und 4327 11KM begrenzen den bereits erwähnten Pflaumenkern. Die herzynischen Störungen: 4327 27K / 52M und 4327 28K / 64M begrenzen den Horst um den Rötzel. Von S stoßen auf diese Konfiguration steilherzyner Bruchleisten mit den Störungen 4327 53M und 4327 73M / 603E. Diese Situation kann als besondere Ausprägung der Kompression angesehen werden.

Abb. 4.6.3.2: Schollenmosaik Abschnitt 3.

Fast alle weiter S' verlaufenden Störungen ergaben sich überwiegend aus Mosaik-Konstruktionen. Der N' Teil des Abschnitts wird durch konstruierte Störungen gegliedert (Abb. 4.6.3.3).



Abb. 4.6.3.3: Schnitt 4327 W2 durch das Hainholz.

Zur Hydrogeologie

Anfang der 1970iger Jahre war das Gebiet Hainholz-Beierstein mit seinen Gipsvorkommen Objekt der Begierde der Gipsindustrie (Kapitel 1.2). Um die Unterschutzstellung als Naturschutzgebiet abzusichern und zu erweitern, wurden von der Arbeitsgemeinschaft Niedersächsische Höhlen (Kempe et al., 1972; Kempe & Seeger, 1972) Kartierungen, speläologische und hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt. Berechnungen des Abflusses und Messungen der Sulfatgehaltes der Karstquellen zeigen eine Gesamtverkarstungsbilanz von 4,4 m des unter- und oberirdischen Abtrags in 10.000 a (Brandt et al., 1976; Kempe, 1982).



Abb. 4.6.3.4: Höhlen (in Auswahl) im Hainholz und Umgebung, mit Tektonik.

In einem Gutachten stellte Vladi (1978) den Formenschatz der Verkarstung vor. Im NSG Karstlandschaft Hainholz-Beierstein sind drei größere Gipshöhlen, Jettenhöhle, Marthahöhle und Klinkerbrunnen sowie zahlreiche weitere Kleinhöhlen bekannt (Kempe et al., 1972) (Abb. 4.6.3.4 und 4.6.3.5). Die Jettenhöhle wurde bereits 1308 urkundlich erwähnt. Sie ist zusammen mit ihren Verzweigungen etwa 750 m lang (Kempe & Helbing, 2000), von den etwa 160 m bequem begehbar sind (Abb. 4.6.3.6.).

Abb. 4.6.3.5: Höhlen (in Auswahl) im Hainholz und Umgebung, mit Stratigraphie und Störungen.

Die stratigraphische Abfolge wird mit Grauem Salzton, Plattendolomit und der vollständig vergipste Leine-Anhydrit beschrieben. Kempe stellt in einer Prinzipskizze die Grabensituation des Hainholzes als Beispiel einer Karstenentwicklung in einem tektonischen Graben dar

(1998:27). Sein idealisierter Graben wird im Schollenmosaik von einer Horst-Graben-Folge von zwei Gräben und einem eingeschalteten Horst ersetzt (Abb. 4.6.3.3 und 4.6.3.4) Die eingezeichneten Höhlen stehen im N' Graben im Leineanhydrit (Abb. 4.6.3.5).

Aufschlüsse: Rötzel Steinbruch, Beierstein, Hainholz.



Jettenhöhle.

4.6.4 Abschnitt 4, Cluster 4327

Der Abschnitt 4 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁵ 90250	H ⁵⁷ 29660
R ³⁵ 87270	H ⁵⁷ 27660
R ³⁵ 92930	H ⁵⁷ 72840
R ³⁵ 92840	H ⁵⁷ 72840.

Er misst in der Länge 3 km und in der Breite 3 km. Er reicht von der Linie Lokalität Forsthaus Rehhagen -Südflanke Lokalität Krücker bis zur Linie Lokalitäten Silberhai-Nüllberg. Die Kartiergebiete sind in Abb. 4.6.4.3 (s.w.u.) dargestellt.



Zur Stratigraphie

abgedeckte geologische Die Karte (Abb. 4.6.4.1) zeigt vereinfacht von NE nach SW folgende stratigraphische Abfolge: Karbon, Zechsteinkalk, Werra-Anhydrit, Stinkdolomit, Grauer Salzton, Leine-Anhydrit. Roter Salzton mit z3A-Fenstern und Unterer Buntsandstein stehen nicht in der vollen Abschnittsbreite an. Das Sangerhäuser Anhydrit fehlt E´ des Beiersteins.

Abb. 4.6.4.1: Stratigraphie der Abschnitte 4 und 5, abgedeckte Karte

Der S des Abschnitts 4 ist großflächig in der Talaue der Sieber vom Quartär bis zum Unteren Buntsandstein bedeckt. Darin konnten zwei Fenstern mit Stinkdolomit und Rotem Salzton kartiert werden. Deren Anschluss an die N' kartieren Flächen kann nicht zweifelsfrei hergestellt werden. Im N, beim Weiler Mühlenberg, steht im Präperm eine Störungsgruppe aus neun, z.T. variszisch und z.T. rheinisch streichenden kartierten Störungen an. Die Störung 4327 107S ergab sich aus der Schnittkonstruktion. Der N´ Teil ist von z1K- und z2K-Flächen bedeckt.



Abb. 4.6.4.2: Schollenmosaik Abschnitte 4 und 5.

Zur Tektonik

Im N' Teil verlaufen drei Bruchleisten in variszischer Richtung (Abb. 4.6.4.2). Bemerkenswert ist die Veränderung der Richtung dieser Bruchleisten: E' von Düna verändern sie ihre Richtungen aus dem herzynischen in das variszische Streichen. Sie stoßen im W auf einen Pflaumenkern aus zwei rheinischen Störungen. Im E gliedern zwei Gräben und ein Horst das Gelände. Im NE steht eine herzynisch begrenzte Störungsstaffel im Karbon.

Abb. 4.6.4.3: Kartiergebiete Abschnitte 4 und 5, siehe Einleitung Kapitel 4.6.4.

4.6.5 Abschnitt 5, Cluster 4327

Der Abschnitt 5 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

H ⁵⁷ 72840
H ⁵⁷ 28430
H ⁵⁷ 26110
$H^{57}24500.$

Er hat eine Fläche von etwa 0,5 km Breite mit einer Länge etwa 3,0 km. Er reicht von der Linie Lokalität Silberhai-Nüllberg bis zur Linie SE´ Herzberg. Er ist ein schmaler Streifen mit nur wenigen erkennbaren Störungen. Die Kartiergebiete sind in Abb. 4.6.4.3 dargestellt.

Zwischen Bruchleisten sind nur zwei herzynisch streichende und zusammen 2,0 km lange Störungen erfasst (Abb. 4.6.4.2). Bei Schnitt E1 streicht ein im Karbon stehender Horst N - S. Der sich S' anschließende Bereich um die Sieber liegt unter Quartärbedeckung (GK 4328). Die Sieber verläuft vermutlich über dem Störungsbegleitgefüge der Störung 4327 128F. Die abgedeckte Geologie (Abb. 4.6.4.1) zeigt von NE nach SW folgende Abfolge (GK 4327 und 4328): Karbon, Zechsteinkalk, Stinkdolomit. Im Quartär sind Fenster von Stinkdolomit und Rotem Salzton kartiert. Deren unmittelbare Nachbarschaft lässt auf einen Versatz von ggf. mehr als 100 m (Abb. 4.6.4.1) oder starker Ablaugung der Sulfate schließen. Ein Schollenmosaik ist ein diesem Abschnitt nicht konstruierbar.



4.6.6 Abschnitt 6, Cluster 4328

Der Abschnitt 6 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

 $\begin{array}{rrrr} R^{35}94430 & H^{57}26110 \\ R^{35}93500 & H^{57}24500 \\ R^{35}95880 & H^{57}25130 \\ R^{35}94730 & H^{57}23160. \end{array}$

Er misst in der Länge 1,7 km und in der Breite 2,0 km und reicht von einer Linie SE' Herzberg bis zu einer Linie über der Lokalität Eichelngraben. Die Kartiergebiete sind in Abb. 4.6.6.3 (s.w.u.) dargestellt.

Abb. 4.6.6.1: Stratigraphie Abschnitte 6 und 7, abgedeckte Karte.

Zur Stratigraphie

Die abgedeckte geologische Karte (Abb. 4.6.6.1) zeigt folgende stratigraphisch aufsteigende Abfolge: Präzechstein mit wechselnden Bereichen aus Karbon und Devon, Zechsteinkalk und Stinkdolomit. Die sich SW´ anschließende Fläche ist von Quartär bedeckt.

Zur Tektonik

Der Abschnitt umfasst eine herzynisch streichende Schollentreppe mit südkippenden Bruchleisten überwiegend unter einer z2K-Fläche (Abb. 4.6.6.2). Sie besteht aus einer kartierten und zwei konstruierten Störungen. Im NE sind vier Störungen eines Staffelbruches im Präzechstein mit $57^{\circ} \pm 15^{\circ}$ Streichen aufgeschlossen.

Die Kartiergebiete sind in Abb. 4.6.6.3 dargestellt.

> Abb. 4.6.6.2: Schollenmosaik Abschnitte 6 und 7.





Abb. 4.6.6.3: Kartiergebiete der Abschnitte 6 und 7, siehe Einleitung Kapitel 4.6.6.

4.6.7 Abschnitt 7, Cluster 4328

Der Abschnitt 7 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁵ 95880	$H^{5/25130}$
R ³⁵ 94730	$H^{57}23160$
R ³⁵ 96700	$H^{57}24960$
R ³⁵ 94170	H ⁵⁷ 21060.

Er reicht von der Lokalität Eichelngraben bis zur Linie der Lokalitäten Brandkopf - Eliasfeld. Er ist 1,0 km lang und 4 km breit. Die Bearbeitungsgebiete bei der Kartierung sind in Abb. 4.6.6.3 dargestellt.

Zur Stratigraphie

Dieser Abschnitt bildet die W´Flanke der Eichsfeldschwelle ab. Morphologisch ist sie die Elbe-Weser-Wasserscheide im Südharz. Die Südgrenze des Präperm in der geologischen Karte springt vermeintlich etwa 2,5 km nach SSW. Die oberflächliche Stratigraphie täuscht damit eine Blattverschiebung vor. Er ist eine z1K-D-Fläche mit einem z2K-Fenster. Der S ist

von Quartär bedeckt (Abb. 4.6.6.1). Der Abschnitt ist frei von erkennbaren oder konstruierbaren Störungen (Abb. 4.6.6.2).

4.6.8 Abschnitt 8, Cluster 4328

Die Eichsfeldschwelle ist in den Abschnitten 8, 9 und 10 eine N - S verlaufende geomorphologische Struktur. Ihr Rücken erstreckt sich etwa 10 km lang als Hochlage zwischen der Lokalität Mönchtal W´ Scharzfeld, und der Lokalität Branntweinseiche E´ Osterhagen.

Die Bearbeitungsgebiete der Kartierung sind in Abb. 4.6.8.5 (s.w.u.) dargestellt.

Der Abschnitt 8 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁵ 96700	$H^{57}24960$
R ³⁵ 94170	H ⁵⁷ 21060
R ³⁶ 00020	H ⁵⁷ 23180
R ³⁵ 97650	H ⁵⁷ 19900.

Er reicht von der Linie der Lokalitäten Brandkopf - Eliasfeld bis zur Linie der Lokalitäten Gläsertal und Beberteich. Er hat eine Länge von etwa 3,4 km und eine Breite etwa 3 km.

Zur Stratigraphie

Die abgedeckte geologische Karte (Abb. 4.6.8.1) zeigt vereinfacht von N nach S folgende stratigraphische Abfolge: Großflächiges Präperm auf der Eichsfeldschwelle. Es wird flächig überlagert von Zechstein- und Stinkdolomit-Fenstern. Es folgen dolomitisierter Zechsteinkalk, Stinkdolomit, Grauer Salzton und Unterer Buntsandstein mit Fenstern der Leine Serie.



Abb. 4.6.8.1: Stratigraphie Abschnitt 8, abgedeckte Karte.

Abb. 4.6.8.2: Schollenmosaik Abschnitt 8.

Im Abschnitt 8 sind nur wenige Störungen aufgeschlossen (Abb. 4.6.8.2). Ein ausgeprägter herzynischer Störungszug auf der Eichsfeldschwelle, an der S-Grenze des

Hauptdolomits erstreckt sich bis in den Abschnitt 9 hinein (Störung

4328 72S). Er ist mehr als 5 km lang und vermutlich mehrfach durch nicht erkennbare rheinische Störungen unterbrochen. Die wenigen rheinisch streichenden und westsenkenden Störungen lassen keine Mosaik-Konstruktionen zu. Im E beginnt eine Horst-Graben-Folge die sich im Abschnitt 9 fortsetzt. Paul (1987:195) hebt die Besonderheit der Querung der Eichsfeldschwelle hervor: "...Es ergibt sich die im Zechsteinbecken einzigartige Gelegenheit in einer Geotraverse den Übergang von einem Nebenbecken (Südharzbecken) über den Top einer Schwelle bis an den Hangfuß des Hauptbeckens (Norddeutsch - Polnisches Becken) vorzuführen...".



Aufschlüsse und Bergbau

In den Steinbrüchen S' Scharzfeld wird der mehr als 20 m mächtige Hauptdolomit (Stink-Dolomit, z2K-D) abgebaut (Abb. 4.6.8.3). N' von Barbis wurde Grauwacke gewonnen.

Abb. 4.6.8.3: Kiesgrube und Steinbrüche im Abschnitt 8.

Karst

Die Einhornhöhle steht im Dolomit des Leine-Karbonats (Abb. 4.6.8.1). Sie ist eine Schauhöhle (Abb. 4.6.8.4). Etwa 500 m der Höhle sind zugänglich. In vier großen Hallen erweitert sich die Höhle. Sie ist ein Fundort von etwa 70 Arten der eiszeitlichen Fauna. Ausgrabungen ergaben, dass vor mehr als 100.000 Jahren Neandertaler die Höhle nutzten (Nielbock & Veil,2004).



Abb. 4.6.8.4: Eingang zur Einhornhöhle. (https://www.harzlifede/harzrand//einhornhoehle.html)



Abb. 4.6.8.5: Kartiergebiete Abschnitt 8, siehe Einleitung Kapitel 4.6.8.

4.6.9 Abschnitt 9, Cluster 4328

Der Abschnitt 9 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁶ 00050	H ⁵⁷ 23160
R ³⁵ 97910	H ⁵⁷ 20330
R ³⁶ 01840	H ⁵⁷ 21860
R ³⁶ 00508	H ⁵⁷ 18310.

Er misst in der Länge 2,7 km und in der Breite 3 km. Er reicht von der Linie der Lokalitäten Gläsnertal - Beberteich bis zur Linie der Lokalitäten Kirchberg - Mühlenberg - Anger (Bartolfelde). Die Kartiergebiete sind in Abb. 4.6.9.7 (s.w.u.) dargestellt.

Abb. 4.6.9.1: Stratigraphie Abschnitt 9, abgedeckte Karte.

Zur Stratigraphie

Die abgedeckte geologische Karte (Abb. 4.6.9.1) zeigt vereinfacht eine Dreiteiliung:

(1) Im N steht Präperm mit Zechsteinkalk-Fenstern an. (2) In der Mitte dominieren Zechsteinkalk, Stinkdolomit und Grauer Salzton. Mehrere Präzechstein-Fenster sind an der Oberfläche zu finden: N der Lokalität Dreymannsmühle erstreckt sich ein von rheinischen Störungen begrenzter Präzech-



steinhorst. Das Stromatolithen-Riff der Westernsteine bei Bartolfelde (Abb. 4.6.9.2) sitzt auf devonischer Grauwacke auf (Paul, 1989); es ist gut zugänglich. (3) Im S überlagert der Untere Buntsandstein den Zechstein.



Abb. 4.6.9.2: Blick von den Westernsteinen nach E auf die Geländestufe zwischen Dolomit (z2K-D) "unten" und Zechsteinkalk "oben" (z1K).

Die Westernsteine (Abb. 4.6.9.3) sind die herausragenden Partien eines umfangreichen Riffs in Form von Dolomitklippen aus Stromatolithen.

Abb. 4.6.9.3: Umriss, Riffund Fazies - Zonierung des Westerstein-Riffs. Der allergrößte Teil ist von Stink-Dolomit bedeckt, lediglich die Riffteile im NW ragen aus dem Gelände (Paul, 1989).

An der Grenze zum Abschnitt 10 ist ein Brandungskliff der Zechstein-Transgression in der Grauwacke durch einen ehemaligen Steinbruchbetrieb freigelegt (Abb. 4.6.9.4).

Abb. 4.6.9.4: Brandungskliff, Steinbruch Bartolfelde, (Paul, 2013:210).

Zwei aus dem Unteren



Buntsandstein kommende Bäche enden in der Ortslage Bartolfelde in Ponoren. Der Ponor 1 versickert an der Störung 4328 147KM. Diese Störung trennt den Zechsteinkalk vom Stinkdolomit z2K-D (Abb. 4.6.9.2).

Der Ponor 2 liegt im Abschnitt 10. In beiden Fällen wird das Wasser im Untergrund vermutlich in die Oder im Taltiefsten geleitet.



Abb.4.6.9.5: Schollenmosaik Abschnitt 9.

Zur Tektonik

Die Tektonik (Abb. 4.6.9.5 und 4.6.9.6) ist von abwechslungsreicher Abfolge und von der sulfatfreien Eichsfeldschwelle geprägt. Im Vergleich zu den beiden W´ benachbarten Abschnitten ist ein deutliches Schollenmosaik erkennbar:

- Im NE: Horst-Graben-Folge aus vergleichsweise schmalen Bruchleisten mit zwei Horsten und zwei Gräben,

- aus dem Abschnitt 8 kommend zwei breite Bruchleisten von etwa 1 km Breite, die sich nach E hin auflösen, die S´´ Horstleiste setzt durch,

- wenige rheinisch streichende, kürzere rheinische Störungen, die auch mit der GK 25 nicht befriedigend interpretiert werden können,

- im S: Fortsetzung der 5 km langen herzynischen Störung 4328 72S von Abschnitt 8,

- eine rheinisch streichende Störung
4328 147 KM trennt sie Abschnitte
9 und 10.





Abb. 4.6.9.6: Schnitt 4328 E1 NNE-SSW durch den Rücken der Eichsfeldschwelle.

Aufschlüsse

Westernsteine, Ponor 1 und Grauwacken-Steinbruch.

Abb. 4.6.9.7: Kartiergebiete Abschnitt 9, siehe Einleitung Kapitel 4.6.9.

4.6.10 Abschnitt 10, Cluster 4428

Der Abschnitt 10 erstreckt sich von der Linie Lokalitäten Kirchberg -Mühlenberg - Anger (Bartolfelde) bis zur Linie W' Lokalitäten Steina – Weingartenloch zwischen den Koordinaten:

R ³⁶ 01840	H ⁵⁷ 21860
R ³⁶ 00450	H ⁵⁷ 18310
R ³⁶ 04820	H ⁵⁷ 19040
$R^{36}00420$	H ⁵⁷ 18340.

Er ist 3,4 km lang und 3,0 km breit, nach E mit abnehmender Breite. Die Kartiergebiete sind in Abb. 4.6.10.6 (s.w.u.) dargestellt.

> Abb. 4.6.10.1: Stratigraphie Abschnitt 10, abgedeckte Karte.

Zur Stratigraphie

In der abgedeckten geologischen Karte (Abb. 4.6.10.1) ist die Stratigraphie aufgeschlossen. Vom NE nach SW umfasst sie:

Zechsteinkalk toniges Werra-Residual, Stinkkalk, Störung 4428 1S Zechsteinkalk, Grauer Salzton, Leinekarbonat, SW´ Roter Salzton, Unterer Buntsandstein mit einer Leinekarbonat-Fenster, E´ der Höhe 306,0 m NHN ragt ein Präpermsporn von etwa 450 m Länge als Horst im Stinkkalk.

> Abb. 4.6.10.2: Eulenstein (Foto Hubrich).



Der Eulenstein ist ein Stromatolithenriff, das dem Stinkdolomit aufsitzt (Abb. 4.6.10.2).

Der Steinbruch an der W´ Grenze des Abschnitts wurde in Abschnitt 9 erwähnt. Der Ponor 2 liegt an der Störung 4428 35K. Diese Störung verläuft an der Oberfläche des Stinkdolomits an der Grenze zum Unteren Buntsandstein.

Zur Tektonik

Die Tektonik (Abb. 4.6.10.3) -ist die Verlängerung der Struktur des Abschnitts 9 mit fünf teils endenden als auch sich fortsetzenden herzynischen Brüchen. Diese Struktur geht über in eine gemischte Horst-Graben-Folge aus - im NE beginnend - einem Graben, einer südkippenden Bruchleiste und einem Horst. Im Schnitt (Abb. 4.6.10.4) treten erwartungsgemäß nur Kalke über dem Grundgebirge auf.

Abb. 4.6.10.3: Schollenmosaik Abschnitt 10.

Der Abschnitt 10 liegt auf der E-Flanke der Eichsfeldschwelle (Abb. 4.6.10.1). In der Abb. 3.6 wird die Besonderheit des regionalen Profils deutlich,

- kein Rotliegend auf dem Schwellen-Scheitel,
- kein Werra-Anhydrit auf dem Schwellen-Scheitel,
- kein Staßfurt-Anhydrit auf dem Schwellen- Scheitel,
- Verdickung Staßfurt-Dolomit auf dem Schwellen- Scheitel,
- Verkarstung und Riffbildung im Zechsteinkalk und
- Verdickung Werra-Anhydrit an der Flanke.





Abb. 4.6.10.4: Schnitt 4428/E1 durch die Ostflanke der Eichsfeldschwelle.

Aufschlüsse Eulenstein Ponor 2 Steinbruch an der W´ Grenze des Abschnitts Präpermsporn an Höhe 306,0 m NHN Zechsteinaufschluss Nähe Einmündung K11/K32 N´ Bartolfelde (Abb. 4.6.10.5) Zechsteinaufschluss Nähe Höhe 356,0, W´ Flanke des Ahrendsberges N´ von Osterhagen (Abb. 3.10)



Abb. 4.6.10.5: Zechsteinaufschluss Nähe Einmündung K11/K32 N´Bartolfelde (Foto Hubrich).



Abb. 4.6.10.6: Kartiergebiete Abschnitt 10, siehe Einleitung Kapitel 4.6.4.10.1.

4.6.11 Abschnitt 11, Cluster 4429

Der Abschnitt 11 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁶ 04820	H ⁵⁷ 19040
R ³⁶ 00420	H ⁵⁷ 18340
R ³⁶ 06940	H ⁵⁷ 19310
R ³⁶ 06090	H ⁵⁷ 13980.

Es ist im Mittel 2,5 km lang und 5,0 km breit und reicht von der Linie der Lokalitäten Steina - Weingartenloch bis zur Linie Erhebung Lokalitäten Brand - Sülzensee. Die Kartiergebiete sind in Abb. 4.6.11.11 (s.w.u.) dargestellt.

Zur Stratigraphie

Die abgedeckte geologische Karte zeigt nach den schwachen Ausprägungen der Stratigraphie des Zechsteins über der Eichsfeldschwelle wieder Formationen aus dem sich vervollständigenden stratigrafischen Inventar. Dominante geographische und geologische Elemente in diesem Abschnitt sind Römerstein und Staufenbüttel sowie der rheinisch streichende Römerstein-Weißensee-Graben. Dieser reicht mit seiner Erdfall-Landschaft von Steina bis an die Ichte. Er ist etwa 3,5 km lang und schwankend breit bis zu 500 m.



Abb. 4.6.11.1: Stratigraphie Abschnitt 11 mit Römerstein-Weißensee-Graben, abgedeckte Karte.

Grabenblock Der (Abb. 4.6.11.1) enthält eine Schichtenfolge vom Präperm bis zum Unteren Buntsandstein, mit transgredie-Konglomerendem rat/Zechsteinkalk bis Leine-Anhydrit zum und seiner Bedeckung vom Unteren Buntsandstein und der Oberterrasse des Ouartärs.

Von N nach S baut sich im Graben folgende Gesteinsfolge auf, beginnend in der Höhe des Staufenbüttels - mit abgedeckter Stratigraphie (Abb. 4.6.11.1):

- Stinkkalk, der zusammen mit dem Zechsteinkalk den Rhyolit des Staufenbüttels zirkular umgibt (Dehne, 2009),

- Präperm,

- N` des Bahndammes ist das Zechsteinkonglomerat nachgewiesen (Wrobel, 1997),

- Zechsteinkalk.

- Die Erdfälle lassen auf den Werra-Anhydrit schließen, in denen heute die Steina nach kaum mehr als 100 m Abstand vom Bahndamm in der Regel versickert (Haase, 1936).

- Da bereits südlich der Bahn Erdfälle liegen, muss der Grabenblock relativ steil nach S einfallen oder durch eine südsenkende E-W-Störung unterbrochen sein. Die Römersteinbohrung (Paul, 1987) reicht bis in die liegende Grauwacke, auf der der Römerstein aufsitzt. Sie durchörtert eine etwa 60 m mächtige Kalkund Dolomit-Abfolge. Somit ist der Römerstein in den Zechsteinkalk zu stellen Er ist auf der Geologischen Karte noch als Stinkkarbonat signiert. Anhydrit wurde nicht erbohrt.

- Im Graben schließt sich die Lokalität Nüxei-Polje an, die die terminale Senke für die heutige Steina war (Priesnitz. 1969). Diese ursprüngliche Funktion beruht vermutlich im abgesenkten Unteren Buntsandstein, der als Wassersteuer wirken kann.

- Priesnitz weist an der S-Wand der Senke Gips nach, der dem Leine-Anhydrit zuzuordnen wäre.

- "Fast gegenüber" an der E-Wand der Senke sind große Dolomitblöcke freigelegt, die dem Stinkkarbonat zuzuordnen sind. Sie fehlen an der S-Wand, sodass der Gips dort in den Leine-Anhydrit gehören kann, über dem kein Dolomit mehr vorkommen sollte. Die Weißensee-Störung streicht also entlang der E-Wand der

Senke. Das Wasser versinkt offenbar im Leine-Anhydrit und verschwindet in E´ Richtung unter die Tettenborner Hochfläche, sein Austritt ist unbekannt.

- In der südlichen Verlängerung der Schulter-Störungen wird das Ichte-Tal W´Mackenrode gequert. Die Erdfälle beiderseits der Ichte-Störung zeigen Anhydrit nahe der Oberfläche an.



Abb. Abb. 4.6.11.2: Schnitt 4429 W4 durch den Römerstein-Weißensee-Graben.

Beiderseits des Grabens erstrecken sich die Schichten in unterschiedlicher Ausprägung: im W:

Präperm Zechsteinkalk Stinkkalk Grauer Salzton Leine-Karbonat Roter Salzton Abdeckung durch Unteren Buntsandstein.

im E:

Präperm Werra-Anhydrit Stinkkalk mit zahlreichen Erdfällen Leine-Karbonat Roter Salzton Abdeckung durch Unteren Buntsandstein.

In der Nachbarschaft des Weingartenlochs ist kein Anhydrit kartiert. Dieser wird vom Grauen Salzton überdeckt und ist vor Ablaugung geschützt.

Der Staufenbüttel ist ein rhyolithischer Vulkankegel, der der Südharz-Grauwacke aufsitzt und von Zechsteinkalk an den Flanken zirkular umgeben ist (Dehne, 2009; Geologische Karte Harz, 1998) und durch Störungen von seiner geologischen Umgebung getrennt ist.

Der Römerstein ist ein Bryozoenriff im Dolomit (Behme, 1909:117) der vermutlich einer Rotliegend-Vulkan-Kuppe aufsitzt und von Zechsteinkalk und dem Sangerhäuser-Dolomit zirkular umgeben ist (Röhling, 2004). Der Römerstein ist heute bewaldet und zeigt sein markantes Profil nur Abschnittsweise. Zu "Schriels" Zeiten (Schriel, 1954:294/5) war der Römerstein nur spärlich bewachsen



(Abb. 4.6.11.3).

Abb. 4.6.11.3: Römerstein (Foto Schriel, 1954).



Karst

Das sagenumwobene Weingartenloch (Reinboth, 1995; Kempe & Rosendahl, 2008:16) öffnet sich im Karst. (Abb. 4.6.11.4).

Abb. 4.6.11.4: Sangerhäuser Anhydrit oberhalb des Weingartenlochs (Foto Hubrich).

Die im Weingartenloch aufgeschlossene Höhle steht im Karbonat des Staßfurt-Zyklus (Reinboth, 1976), die unter dem Grauen Salzton vor Ablaugung geschützt sind. Das Weingartenloch liegt in einem Geländeabschnitt mit vielen Verbrüchen und Erdfällen (TK

4429, Abb. 4.6.11.5). Es wurde 1720 erstmalig beschrieben. Es ist eine labyrinthische Höhle von etwa 300 m Gesamtlänge im Staßfurt-Dolomit Der Eingang ist aus der Vertiefung des Versturzes erreichbar. Im untersten Raum der Höhle ist der Dolomit aufgeschlossen. Es ist vermutlich die Folge eines Versturzes über einem Teil einer ursprünglich größeren Höhle im Bereich des Werra-Anhydrits.



Abb. 4.6.11.5: Lage des Weingartenloches (TK 4429).



Die flachen Teiche zwischen Weingartenloch und Osterhagen sind auf dem Grauen Salzton angelegt (Abb. 4.6.11.6).

Abb. 4.6.11.6: Teiche auf dem Grauen Salzton (Foto Hubrich).

Abb. 4.6.11.7: Schollenmosaik Abschnitt 11, Römerstein-Weißensee-Graben.

Zur Tektonik

Im Abschnitt 11 sind im Schollenmosaik zwei sich überlagernde Strukturen erkennbar, wie sie sich auch in den folgenden E´ Abschnitten zeigen: Herzynisch streichende Bruchleisten und eine Struktur aus rheinischen Blockstörungen, die den Römerstein-Weißensee-Graben umschließen (Abb. 4.6.11.7). Dieser reicht von Steina bis an die Ichte mit etwa 3,5 km Länge und schwankender Breite bis zu 500 m.

Die Konstruktion der begrenzenden Blockstörungen des Römerstein-Weißensee-Grabens und seiner Füllung gelang aus der Kombination von Ansätzen der alten geologischen Karten (Schriel Erläuterungen, 1935:28), Diplomkartierungen, Karten aus Kartierkursen und Hinweisen aus der Literatur (Priesnitz, 1969; Haase, 1936:27). In der E´ des Römersteins verlaufenden Störung (St 4429 76KM) ist die W´ Graben-



schulter zu sehen. Der Versatz beträgt mindestens 100 m, resultierend aus 60 m Karbonaten gemäß Römersteinbohrung (Paul, 1987) und mindestens 40 m Mächtigkeit des Werra-Anhydrits. Die Störung der E´ Grabenschulter (St 4429 75KM) läuft E´ des Weißensee, einem Erdfallsee, vorbei und ist auf der geologischen Karte als Weißenseestörung eingezeichnet. Etwa 300 m E´ erhebt sich der Trogstein, der in der Großen Trogsteinhöhle entlang der Trogsteinstörung die Oberkante des Zechsteinkalkes als Dolomit etwa bei 280 m NHN aufschließt (Reinboth, 1976a). Dieses lässt den Schluss zu, dass die zweite Grabenschulter ebenfalls einen Versatz um die 100 m besitzt (Versatz vermutlich etwas geringer als derjenige der Römersteinschulter). Die Römersteinstörung kann abknickend in das Steina-Tal verlängert werden, im dem offenbar auch der W-Rand gehoben wurde. Die den Römerstein-Weißensee-Graben E` und W` benachbarten Bruchleisten sind nur in der S´ Hälfte in gleichartiger Folge orientiert (Abb. 4.6.11.7). Das sich im W anschließende Schollenmosaik setzt z.T. die Störungen aus dem Abschnitt 10 fort, im E zeichnet sich bei den Bruchleisten ein Übergang zu den Strukturen des Abschnittes 12 ab. Die benachbarten Bruchleisten sind nur in der S´ Hälfte in gleichartiger Folge orientiert.

Die beiden Graben-bildenden Blockstörungen laufen vermutlich im N in der Steinatal-Störung zusammen



und gehen im S in die Ichte-Störung über (Abb. 4.6.11.8).

Abb. 4.6.11.8: Blockstruktur des Abschnitts 11 und des W´Teil des Abschnitts 12.

An der Ostflanke der Eichsfeldschwelle, E´ der Lokalität Branntweinseiche und etwa entlang des Steina-Tales wandelt sich die Haupt-Einfallsrichtung. Sie dreht um etwa 30° von etwa 210° nach etwa 180°. Ziemlich abrupt wechseln auch die Muster der Störungsverläufe: Westlich des Grabens dominieren Schollenmosaike aus Schollentreppen im Wechsel zu

z.T. chaotisch anmutenden Mischstruktur-Bereichen mit relativ wenigen Elementen rheinisch-eggischer Richtungen. Östlich bestimmen Blockstrukturen das Bild. Die Blockstörungen verlaufen in rheinisch-eggischen Richtungen, die Blöcke setzen sich aus herzynisch ausgerichteten Bruchleisten zusammen, die aus sowohl als synthetische Schollentreppe daherkommen als auch als Horst-Graben-Folgen.

Zur Hydrographie des Südharzes

Der Südharz wird durch das Fluss-System der Helme entwässert. Die Helme entspringt bei Stöckey im SW des Abschnittes 11. Sie ist ein Nebenfluss der Unstrut. "*Die Helme ist der Saumfluss für alle Harzflüsse, die südwärts nach der Elbe hin entwässern*" (Haase, 1936: 11). Einer der W² Zuflüsse ist die bei Pützlingen einmündende Ichte. Diese sammelte die Abflüsse der Steina und des Mühlbachs mit der Uffe, seinem Oberlauf. Diese Bäche haben sich z.T. über Blockstörungen entwickelt (Abb. 4.6.11.8). Auf ihrem Weg nach Nordhausen fließen der Helme weitere Bäche zu, der Steinbach, der Hochstedter Bach, der Herreder Bach und die Salza.

Bergbau und Aufschlüsse

Im Abschnitt 11 wurde und wird in zahlreichen Steinbrüchen Dolomit abgebaut (Abb. 4.6.11.9 und

4.6.11.10). Die häufige Bezeichnung "Kalk" ist irreführend, weil damit nicht das gewonnene Mineral, sondern das Endprodukt nach dem Brennvorgang benannt wird. S´ des Weingartenlochs wurde in der Vergangenheit Gips zur Kalkgewinnung abgebaut.

Abb. 4.6.11.9: Steinbrüche im Abschnitt 11.





Abb. 4.6.11.10: Dolomitbruch Wolfskuhle, S´ des Weingartenlochs (Foto Hubrich).

Die GK weist S´ des Bahndammes Schichten des 1. und 2. Zyklus aus, damit bleibt offen, ob der Gips des Werra-Anhydrits oder Sangerhäuser Anhydrits gewonnen wurde. Weitere Aufschlüsse sind der Staufenbüttel, der Römerstein, der E´ von zwei Zehn-Gärten-Bächen W´ Bahnhof Tettenborn und das Weingartenloch.

Abb. 4.6.11.11: Kartiergebiete Abschnitt 11, siehe Einleitung Kapitel 4.6.11.



4.6.12 Abschnitt 12, Cluster 4429

Der Abschnitt 12 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁶ 06940	H ⁵⁷ 19310
R ³⁶ 06090	H ⁵⁷ 13980
R ³⁶ 14600	H ⁵⁷ 18300
R ³⁶ 16300	H ⁵⁷ 13400.

Der Abschnitt ist 10 km lang und 5,0 km breit. Seine W-Grenze verläuft von der E´ Schulter des Römerstein-Weißensee-Grabens bis zur Linie Lokalitäten Galgenberg - Kleiner Steinberg bei Gudersleben. Es ist ein überdurchschnittlich großer Abschnitt. Die Kartiergebiete sind in der Abb. 4.6.12.16 (s.w.u.) dargestellt.

Zur Stratigraphie

Die abgedeckte geologische Karte (Abb. 4.6.12.1) zeigt vereinfacht folgendes Bild:

Im W, in den Blöcken 1 und 2 (siehe Abb. 4.6.12.2), zeigt sich im N beginnend folgende Abfolge:

Präperm

lückenhafter Zechsteinkalk

Werra-Anhydrit

Stinkkalk mit Inseln Grauen Salztons

Unterer Buntsandstein mit Fenster des 3. Zyklus.

E´ der rheinisch streichenden Störung 4429 54KM im mittleren Teil, in den Blöcken 2 und 3 bis zur Störung 4429 4KM:

Rotliegend Zechsteinkalk Werra-Sulfat Stinkschiefer mit einem Graben des Unteren Buntsandsteins Leinekarbonat Unterer Buntsandstein,

E' der Störung 4429 4KM, im 5. Block:

Rotliegend

Kupferschiefer Zechsteinkalk Residual Werra-Anhydrit mit Stinkkalkinseln Stinkkalk Wiederholung Werra-Anhydrit Stinkkalk Leine-Anhydrit z3A und abermals Stinkkalk Unterer Buntsandstein.

Zur Tektonik

In diesem Abschnitt ist ein Schollenmosaik mit zwei sich überlagernden Strukturen aufgeschlossen: E´des im Abschnitt 11 beschriebenen Römerstein-Weißensee-Grabens beginnt eine durch NNW - SSE streichende Blockstörungen gegliederte Blockstruktur (Abb. 4.6.12.2) und eine innerhalb der Blöcke erkennbare Struktur aus überwiegend herzynisch streichenden Bruchleisten und Horst-Graben-Folgen (Abb. 4.6.12.3). Er ist ein gutes Beispiel für ein Muster aus mehrfachem Wechsel von Horst und Graben innerhalb der Blöcke und Fortsetzung der Muster über die Grenzen der Blöcke hinweg.

Der Abschnitt gliedert sich in fünf Blöcke, die durch vier 150° bis 170° streichende, mehr als 4 km lange Störungen begrenzt sind. Die Blöcke 1, 2, 3 sind E-fallend, der 4. Block ist ein Horst und der 5. Block ein Graben. Die Blöcke werden wie folgt charakterisiert (von W nach E):



Abb. 4.6.12.1: Stratigraphie Abschnitt 12, abgedeckte Karte.



Abb. 4.6.12.2: Blockstruktur im Abschnitt 12.



Abb. 4.6.12.3: Schollenmosaik Abschnitt 12.

1. Block

- S` der Störung 4429 28KM (Abb. 4.6.12.3) bilden fünf herzynische, südhebende Störungen eine Schollentreppe und einen Graben,

- In der jetzt wegen des Gipsbruchbetriebes nicht zugänglichen Trogsteinhöhle im Trogsteingebiet ist die Störungskluft 4429 58HM auf einer Länge von etwa 100 m aufgeschlossen und zeigt die Nachbarschaft von Dolomit der abgesunkenen Scholle und Gips der gehobenen Scholle (Reinboth, 1976). Der 1. Block wird nach E durch die Störung 4429 16KM begrenzt.

2. Block

- Eine Staffelbruchzone liegt im Rotliegend im N´ des Schwiebaches,

- acht Bruchleisten bilden eine Horst-Graben-Folge.

Der 2. Block wird nach E durch die Klettenberg-Störung 4429 54KM begrenzt, diese verläuft u.a. unter dem Flussbett der Uffe. Im Schnitt der Abb. 4.6.12.4 erscheint die Neuhof-Buchholz-Störung erstmalig in den Karten dieser Studie (s.w.u. im Kapitel 6.2.4).

3. Block

Acht Bruchleisten bilden eine Horst-Graben-Folge. In der Mitte verläuft ein N-S-Graben mit Unterem Buntsandstein. Der 3. Block wird nach E von der unter dem Schaftal verlaufenden Störung 4429 42KM begrenzt.

4. Block

Sieben Bruchleisten bilden eine Horst-Graben-Folge, mit ähnlichen Folgen von Horst und Graben wie im 3. und 5. Block. Der Block ist ein Horst. Der 4. Block wird nach E durch die unter der Wieda verlaufende Störung 4429 4KM begrenzt.

5. Block

Sieben Bruchleisten bilden eine Horst-Graben-Folge. Sie ähnelt der Folge von Horst und Graben wie im 3. und 4. Block. Im N ist der Kupferschiefer-Ausbiss doppelt gelagert.



Abb. 4.6.12.4: Schnitt 4429 M4 Neuhof-Klettenberg durch die Blöcke 2 und 3, ein Horst-Graben-Folge mit dem W[^] Beginn der N-B-S = Neuhof-Buchholz-Störung (s.w.u. Kapitel 6.2.4).

Aufschlüsse

Am Rainberg - S´ der Straße Walkenried Ellrich - steht das Weißliegende, ein Sand des Rotliegend an. Im Abschnitt 12 ist der Gips weit verbreitet. Die meisten der in der Abb. 4.6.12.5 gezeigten Gips-Brüche sind aufgelassen. Auch hier, wie im Abschnitt 11 erwähnt, ist die lokale Bezeichnung "Kalk" häufig irreführend, weil damit nicht das gewonnene Mineral, sondern das Endprodukt nach dem Brennvorgang benannt wird.



Abb. 4.6.12.5: Steinbrüche im Abschnitt 12.

Vier Gipsbrüche werden beispielhaft vorgestellt:

Am Berg "Kahle Kopf" steht der Werra-Anhydrit mit großer Mächtigkeit an. Er wird abgebaut (Abb.4.6.12.6).



Abb. 4.6.12.6: Luftbild Gipsbruch Kahle Kopf. (https://walkenriedernachrichten.files.wordpress.com/2015/01/kahlerkopf.jpg).

Der aktive Gipsbruch Juliushütte wird auch Steingrabenklippe genannt (Abb. 4.6.12.7). Das Gewässer am linken Bildrand ist der Pontelteich, ein von Walkenrieder Zisterzienser-Mönchen angelegter Teich in Karst-gebiet "Himmelreich".



Abb. 4.6.12.7: Luftbild Gipsbruch Juliushütte. (https://walkenriedernachrichten.files.wordpress.com/2015/01/steingrabenklippe.jpg).

Der Gipsbruch Meholz (Abb. 4.6.12.8) ist in Betrieb und wird erweitert. Der Gips wird zur Kutzhütte geliefert, einem Betrieb der Compagnie de Saint Gobain, einem Dämmstoff-Hersteller.



Abb. 4.6.12.8: Luftbild Gipsbruch Meholz. (https://walkenriedernachrichten.files.wordpress.com/2015/01/meholz.jpg).

Der Gipsbruch Röseberg (Abb. 4.6.12.9) ist in Betrieb und wird erweitert. Ältere Abschnitte des Steinbruchgeländes werden rekultiviert.



Abb. 4.6.12.9: Gipsbruch Röseberg. (https://walkenriedernachrichten.files.wordpress.com/2017/05/kutschweg.jpg).
Neben den zahlreichen Aufschlüssen im Gips geben die Heubergkerbe und das östliche Wiedaufer bei Walkenried gute Einblicke in die regionale Stratigraphie (Abb. 4.6.12.1). Nahe der Lokalität Heidelberg, S´ der L604, oberhalb des Schwiebaches, ist am Wegrand der Kupferschiefer aufgeschlossen (Abb. 4.6.12.10).



Abb. 4.6.12.10: Kupferschiefer im Aufschluss (Foto Hubrich).



W[´] des Bahnhof Bad Sachsa ist in einer Kiesgrube gemäß lokaler Informationstafel eine bis 70 m mächtige Ablagerung der Oberterrasse aus der Elstereiszeit aufgeschlossen (Abb. 4.6.12.11).

Abb. 4.6.12.11: Quartäre Ablagerungen der Oberterrasse in Schrägschichtung und schlechter Sortierung (Foto Hubrich).

Karst Heubergkerbe

N' von Klettenberg verlief die Uffe in der sog. Heubergkerbe (Hubrich & Kempe, 2014), in einem künstlich angelegten Bett durch eine Uvala. Die Uffe führt heute in diesem Bereich kein Wasser mehr, da das Wasser-stauende Wehr an ihrem Oberlauf nicht mehr existiert und Niederschlagswasser im verkarsteten Untergrund abgeführt wird. Die Heubergkerbe führt nur noch nach Starkregen und Schneeschmelze Wasser, das in einem Ponor (Abb. 4.6.12.12) im Untergrund verschwindet. An den Flanken der Uvala steht stellenweise Sangerhäuser Gips an (Abb. 4.6.12.13).



Ab. 4.6.12.12: Ponor in der Heuberg-Kerbe (Foto Hubrich).



Abb. 4.6.12.13: Gips an der Flanke der Heuberg-Kerbe (Foto Hubrich).

Abb. 4.6.12.14: Mundloch des Hauptentwässerungsstollens der Himmelreichhöhle. (<u>https://www.</u> Reviersteiger. com/s/cc_ images/cache_33436622.jpg?t =1443359235).

Himmelreichhöhle

Die Himmelreichhöhle wurde 1868 beim Bau des Walkenrieder Eisenbahntunnels entdeckt (Lage in Abb. 4.6.12.1). Die sog. Haupthalle hat die Maße 170 m x 85 m x 15 m. Sie steht im Werra-Anhydrit, dessen Oberfläche mit Lappenbildung vergipst. Über der ausgebauten



Tunnelröhre ist von einem in der Höhe angelegten Stollen ein Schuttpuffer aufgefüllt, der die Tunnelröhre vor den Folgen eines Versturzes behüten soll. Der früher durch die Höhle fließende Bach wird durch einen parallel zur Tunnelröhre verlaufender Hauptentwässerungsstollen (Abb. 4.6.12.14) geleitet, sodass die Höhle vor weiterer Unterlaugung ihrer Wände geschützt ist (Reinboth, 1970).

Trogsteinhöhle

Inschriften von 1869 sind die ältesten Zeugnisse der Erforschung der großen Trogsteinhöhle. Die Höhle vom Typ Schichtgrenzhöhle ist ein Sonderfall exogenen Höhlen. Sie ist in der Hauptstrecke 230 m lang (Reinboth, 1976a: *Vom gerade verschütteten Eingang bis zur Schotterhalle*). Ein großer Teil verläuft entlang der Störung 4429 58HM. Diese Störung senkt die NE´ Scholle mit anstehendem Werra-Anhydrit gegen die SW` mit Zechsteinkalk in dolomitischer Ausprägung. In den unterschiedlich ausgebildeten Abschnitten der Höhle sind Phasen der Entstehung erkennbar: Laugfuge, Schichtgrenzenrinnen, Erweiterung durch Verbruch, Verengung durch Verbruch und Erdfälle (Reinboth, 1976a) (Lage in Abb. 4.6.12.1). Die beiden Eingänge sind durch den Gipsbruchbetrieb verschüttet.

Erdfall

Bei Obersachswerfen, in der Nähe der Lokalität Igelsumpf entwickelt sich ein Erdfall (Abb. 4.6.12.15).

Abb. 4.6.12.15: Ein Erdfall bricht ein, der sich entwickelnde Rand ist erkennbar (Foto Hubrich).

Fossilien

Im Plattenkalk E der Burg Klettenberg fand der Verfasser Fossilien der *Nucula*, eine seit dem Silur bekannte Bivalven-Gattung.







4.6.13 Abschnitt 13, Cluster 4430

Der Abschnitt 13 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁶ 14600	H ⁵⁷ 18300
R ³⁶ 16300	H ⁵⁷ 13400
R ³⁶ 26100	H ⁵⁷ 17400
R ³⁶ 24400	H ⁵⁷ 11800.

Der Abschnitt reicht von der Linie E-Flanke Lokalitäten Galgenberg - Kleiner Steinberg bei Gudersleben bis zu einer Linie Hangen - Petersdorf. Er misst in der Länge 10,6 km mit einer Breite von 5,0 km. Die Kartiergebiete sind in der Abb. 4.6.13.14 (s.w.u.) dargestellt.

Zum Kohnstein

Der Kohnstein ist mit 334,9 m NHN die höchste Erhebung eines Höhenzuges nördlich von Nordhausen. Er besteht überwiegend aus Anhydrit mit oberflächennahem Gips und teilweiser Dolomit-Bedeckung.



Abb. 4.6.13.1: Gips-Tagebau Kohnstein, der sich über mehr als 2 km N-S-Richtung erstreckt. (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fc/Ausblick_Burgruine_Hohnstein%2C_Neustadt_-_Harz_-_panoramio.jpg/800px-Ausblick_Burgruine_Hohnstein%2C_Neustadt_-_Harz_-_panoramio.jpg).

Das Sulfat wird seit 100 Jahren übertage und untertage gewonnen (Abb. 4.6.13.1). Stollen und Kammern wurden aber nicht nur für die Mineralgewinnung, sondern auch für andere Zwecke aufgefahren: Zwischen zwei Phasen der kommerziellen Nutzung - 1917 bis 1936 und von 1949 bis heute – waren die Stollen Teil des KZ Dora-Mittelbau. Dazu sei eine kurze Chronik vorgestellt (frei nach https://de.wikipe-dia.org/wiki/Kohnstein, Abgriff 14.02.2018):

- Ab 1917 Gewinnung von Sulfatgestein durch die Leuna-Werke Merseburg.
- 1936 bis 1943 Herstellung und Nutzung eines untertägigen Treibstofflagers im Sulfat.
- Bis März 1945 wurden das System der Stollen und Kammern "Dora Mittelbau" als Konzentrationslager ("KZ") und für die Produktion von Rüstungsgütern erweitert. Diese waren insbesondere die sog. Vergeltungswaffen V1 und V2. Deren Zweck war die Vernichtung von Menschen und Sachen. Die Häftlinge waren zur Zwangsarbeit mit der billigenden Inkaufnahme deren Todes durch unmenschlicher Lebens- und Arbeitsumstände eingesetzt.
- Das Stollensystem stand 1945 bis 1947 zuerst unter amerikanischer, dann unter sowjetischer Verwaltung. Die Stollenzugänge sind teileweises zerstört.
- Das Stollensystem war bis zur Wiedervereinigung 1989 nur eingeschränkt zugänglich. Während der Zeit der DDR wurden Teile des Kammer-Systems als Gemüse- und Getreidelager genutzt. Der Tagebau wurde von den Leunawerken weiterhin betrieben, die es seinerzeit auf 45 % der Anhydrit-Förderung der Welt brachten.
- Nach der politischen Wende ging der Kohnstein nach einer Übergangszeit von der Fa. Wildgruber in den Besitz von Knauf Gips KG über.
- Ab Ende 1991 begann die Neugestaltung der Gedenkstätte KZ-Lager Dora-Mittelbau.

Zur Stratigraphie

Die abgedeckte geologische Karte (Abb. 4.6.13.2, s.w.u.) zeigt vom N nach S folgende - vereinfacht - stratigraphische Abfolge:

Rotliegend fast durchgängig Zechsteinkalk Werra-Anhydrit Stinkkalk E´der Bere Staßfurt-Anhydrit Unterer Buntsandstein mit Unterbrechungen E´von Niedersachswerfen Störung 4430 230M Wiederholung Werra-Anhydrit Stinkkalk und Residual W´ der Bere Unterer Buntsandstein mit Fenstern der Staßfurt- und Leine-Serie.



Abb. 4.6.13.3: Störungskarte Abschnitt 13 nach Kartierung.

Zur Tektonik

Bei den bisher vorgestellten Abschnitten gaben die kartierten Störungen zufriedenstellende Hinweise auf Lösungsansätze zur Aufklärung der Tektonik. Das setzte sich im Abschnitt 13 nicht fort. Die mit der Kartierung gewonnenen Störungskarten lieferten nur Weniges für die Interpreder Tektonik tation (Abb. 4.6.13.3). Erst mit dem Einbeziehen weiterer Elemente, z.B.: stratigraphische Grenzen ohne erkennbare Störungen, Morpholo-

gie, Flussverläufe, vermutete Lösungsfronten und Quellen konnten plausible Lösungen abgeleitet werden. Die Verläufe der Blockstörungen zeigen im Vergleich zu denen der W´ Abschnitte ein verändertes Bild: Statt \pm parallel verlaufender Blockstörungen wie im Abschnitt 12, zeigen sie bauchige, z.T umlaufenden Streichrichtungen und keilförmige, nach S zeigende Einschübe (Abb. 4.6.13.5). Das Bild der weiter westlich (im Abschnitt 12) ideal ausgebildeten Horst-Graben-Folge setzt sich nicht fort, sondern geht in gemischte Strukturen über, d.h., dass die Folge Horst-Graben durch südfallende Bruchleisten mehrfach unterbrochen wird (Abb. 4.6.13.6). Der Bere-Graben verläuft im N in NE-SW´ Richtung und schwenkt im S in NW-SE´ Richtung. Die Blockstörungen drehen im S in eggische Richtungen. An den kleineren Schollen im Bere-Graben an den Störungen 4430 297M, 4430 231M und 4430 230M, verändert sich die Bruch-Charakteristik von ostfallend/westgehoben nach westfallend/ostgehoben. Die Bere fließt in einem geologischen Graben von 700 – 1000 m Breite.



Abb. 4.6.13.2: Stratigraphie Abschnitt 13, abgedeckte Karte.

Die W^{''} der Blockstörungen (Abb. 4.6.13.5) könnte als "Sammler" fungieren, die das am Harzrand quer zur Störung versickernde Wasser dem System der mehr als zwölf Salza-Quellen zuführt (Haase 1936:151, "Randstörung Mauderode – Salza-Spring"). Die S-senkende Störung 4430 263KM setzt der Werra-Anhydrit neben die Wasser-stauenden tonigen und lettigen Schichten des Unteren Buntsandstein und leiten das Kluftwasser in Richtung SE zu den Quellen (Abb. 4.6.13.5 und 4.6.13.7).

Der Name "Salza-Quelle" deutet darauf hin, dass die Quelle früher merkliche Mengen Halit geführt haben könnte. Es könnte aus dem Blöcken N´ der Quellen stammen, die in der Tiefe noch Reste der Salzlager unter dem schützenden Unteren Buntsandstein enthalten können.



Abb. 4.6.13.4 Schnitt 4430 N, nördlich der Salza-Quelle.



Abb. 4.6.13.5: Blockstruktur des Abschnittes 13.



Abb. 4.6.13.6: Schollenmosaik des Abschnitts 13.

Abb. 4.6.13.7: Hauptquelle (,,Quell-Teich") der Salza-Quellen. (https://upload. wikimedia .org/wikipedia/ commons/thumb/6/61/ Salzaspring.jpg/800px-salzaspring. jpg).

Beschreibung der Blöcke (Abb. 4.6.13.5 und 4.6.13.6):

1. Block

Er ist ein schmaler, als Horst ausgebildeter Block, mit sieben Bruchleisten in einer gemischten Horst-Graben-Folge. Die begrenzenden Störungen 4430 263KM und



4430 262KM enden zusammen mit der weiter E´ verlaufenden Störung 4430 25M in den Salza-Quellen (Abb. 4.6.13.7).

(Anmerkung: in Teilen der Literatur wird die Salza-Quelle als Salza-Spring bezeichnet.) Diese ist mit durchschnittlich 440 l/s Spende im Harz die zweitgrößte Karstquelle nach der Rhumequelle ((Haase, 1936:142; Völker & Völker, 2016).

Neben der Hauptquelle, der Kohnsteinquelle speisen weitere Quellen, mit Namen Euter, Stiefel und Tabaksbeutel in den Hauptquellteich. Weiter im S, nach 70 m kommt eine weitere Nebenquelle, das "Grundlose Loch" hinzu (Haase, 1936:143). Er gibt die Größe des Einzugsgebietes mit 36,5 km² an. Der Verfasser bestätigt gem. Kartenwerk die Größenordnung mit 40 km².

2. Block

Dieser Block ist ein Grabenblock mit acht Bruchleisten in einer gemischten Horst-Graben-Folge.. Er läuft wie der 1. Block in den Salza-Quellen aus. Er umschließt eine gemischte Horst-Graben-Folge (Abb. 4.6.13.6; Abb. 4.6.13.8).

3. Block

Der 3. Block ist ein keilförmiger, ostfallender Einschub als Horst-Graben-Folge aus je einem Horst und Graben. Die begrenzenden Störungen verlaufen unter den Gewässern Sülze und Zorge (Abb. 4.6.13.9).



Abb. 4.6.13.8: Schnitt 4430 W3 als Beispiel für ein gemischte Horst-Graben-Folge. N-B-S = Neuhof-Buchholz-Störung.



4. Block

Der 4. Block ist ein keilförmiger, ostfallender Einschub mit vier Bruchleisten in einer gemischten Horst-Graben-Folge. Beide begrenzenden Störungen verlaufen unter den Gewässern Zorge und Ellerbach (Abb. 4.6.13.9).

Abb. 4.6.13.9: Flüsse über Störungen.

5. Block

Der 5. Block ist ein Horst mit acht Bruchleisten in einer gemischten Horst-Graben-Folge. Die begrenzenden Störungen verlaufen unter den

Gewässern Ellerbach/Zorge, Fuhrbach im W und Fuhrbach/Trockental W´ des Naturschutzgebietes Mühlberg.

6. Block

Er ist ein keilförmiger, westfallender Block mit vier Bruchleisten in einer gemischten Horst-Graben-Folge. Die begrenzenden Störungen verlaufen unter dem Gewässer Fuhrbach sowie dem Trockental W´ des Naturschutzgebietes Mühlberg und an der Ostflanke der Lokalität Bemmelholz, z.T. an der Lösungsfront des Leimbachs an der Lokalität Bemmelholz. Es steht im Rotliegend. Seine E´ Randstörung ist eine Störung der Bruchstaffeln des Bere-Tals.

7. Block

Der 7. Block ist ein schmaler, nach S auskeilender, westfallender Block mit vier Bruchleisten in einer gemischten Horst-Graben-Folge. Er umfasst im N die Talaue der Bere und S die E´Ausläufer des Mühlberges. Die begrenzende W´ Störung verläuft im N an der Lösungsfront des Leimbachs am Bemmelholz und im S durch das Trockental W´ des Naturschutzgebietes Mühlberg. Die begrenzende E´ Störung ist unter der Bere zu suchen.

Das Schollenmosaik der Blöcke 1-7 (Abb. 4.6.13.6) zeigt eine gemischte Horst-Graben-Folge.

8. Block

Der 8. Block ist ein schmaler, nach N auskeilender Streifen unter der Bere mit zwei Bruchleisten im N. Seine W-begrenzende Störung liegt unter der Bere und im N entlang der Lokalität Lange Wand. Seine E´ Begrenzung ist mit seinem N´ Teil konstruktiv ermittelt und im S´ Teil als Störung an der Lösungsfront angesehen worden. Die Lange Wand (Abb.4.6.13.10) ist eine steile Abbruchkante an der Bere gegenüber von Ilfeld am Mühlberg.

Die Bere zeichnet den Verlauf der Störung im Graben nach:

- im N: von Ilfeld bis zum Zusammenfluss der Bere mit der Zorge über der rheinisch streichenden Störung St 4430 231M,
- in der Mitte: vom Zusammenfluss bis der unter dem Quartär vermuteten Zorge-Störung St 4430 39T
- und im S: Verlauf über der rheinisch streichenden Störung St 4430 230M.

Abb. 4.6.13.10: Die "Lange Wand" bei Ilfeld steht am östlichen Ufer der Bere, am ehemaligen Bergwerk auf Kupferschiefer. Der dünnbankige, pelitische Kupferschiefer liegt zwischen dem hangenden Zechsteinkalk und dem Rotliegend. Er ist oberflächennah herausgewittert. (http://www.harzregion.de/ fles/ rvh/downloads/geopark infotfeln/Landmarke/lm6/lm6 g7 1.jpg)



9. Block

Der 9. Block ist annähernd spitzoval begrenzt und enthält sieben Bruchleisten in einer gemischten Horst-Graben-Folge. Er erstreckt sich ostfallend von der Langen Wand und Bere bis zu rheinisch streichenden Störungen im Rotliegend. Die Rotliegend-Partien korrespondieren mit dem Rotliegend des 6. Blockes.

10. Block

Der 10. Block läuft im N aus. Er enthält fünf Bruchleisten in einer Horst-Graben-Folge. Er schließt die Serie der im Vergleich mit Abschnitt 12 "atypischen" Blöcke ab. Der Bere-Graben wird durch drei rheinische Störungen abgebildet. Die westlichsten St 4430 297M und E^{\prime} St 4430 230M laufen ± parallel. Sie streichen drehend von ~50° im N und ~120° im S. Die mittlere der Störungen St 4430 231M verläuft vom E^{\prime} Ortsrand Ilfeld diagonal durch den Graben bis zum W^{\prime} Ortsrand von Niedersachswerfen. Sie verändert ihre Charakteristik von N nach S von W-senkend auf E-senkend. Die N^{\prime} Teil der E^{\prime} Störung ist vermutlich an der steil stehenden sog. "Langen Wand" aufgeschlossen.

An den Block 10 begrenzenden Störungen (E´ des Bere-Grabens) liegen drei weitere Quellen. Die Störungsmuster der herzynisch streichenden Störungen auf den beiden Grabenschultern sind ungleich, Spiegelbildlichkeiten und Fortsetzungen über den Graben hinweg sind nicht erkennbar. Vier Schnitte quer durch den Graben zwischen Ilfeld und Niedersachswerfen zeigen keinen stratigraphischen Unterschied zwischen den Schultern. Die stratigraphische Ausbildung der Grabenschultern ermöglichen den Schluss auf die Graben-Tiefe von ≥ 60 m.



Abb. 4.6.13.11: Erdfälle im Abschnitt 13.

Karst

Im Abschnitt 13 wurden vom Ingenieurbüro Völker zahlreiche Erdfälle eingemessen (Abb. 4.6.13.11). Die Karst-Vertiefung Kelle (4.6.13.12) ist **Beispiel** ein für schnelle morphologische Veränderungen im Gipskarst, weil über sie seit

dem Beginn der Neuzeit berichtet wurde. Seit dieser Zeit entwickelte sich aus einer wassergefüllten Riesenhalle von 85 m Länge ein Erdfalltrichter als halboffene Grotte unter einer Naturbrücke mit einem Restsee (Reinboth, 1989).

Abb. 4.6.13.12: Kelle, Grottenöffnung unter einer Naturbrücke. (https://www.karstwanderweg.de/kelle.htm)

Aufschlüsse

In zahlreichen aufgelassenen und aktiven Gipsbrüchen steht Gips und Anhydrit an. In den Brüchen bei den Lokalitäten Appenrode und Mauerode, vermutlich Kalk gewonnen (Abb. 4.6.13.13). An der "Langen Wand" (Abb. 4.6.13.10) und deren Umgebung stehen in Aufschlüssen Rotliegend, Kupferschiefer und Werra-Anhydrit an.



Abb. 4.6.13.13: Steinbrüche im Abschnitt 13.



Abb. 4.6.13.14: Kartiergebiete Abschnitt 13, siehe Einleitung Kapitel 4.6.13.

4.6.14 Abschnitt 14, Cluster 4431

Der Abschnitt 14 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁶ 26100	H ⁵⁷ 17400
R ³⁶ 24400	H ⁵⁷ 11800
R ³⁶ 34000	H ⁵⁷ 11700
R ³⁶ 37100	$H^{57}07600.$

Der Abschnitt reicht von einer Linie E' Harzungen - Petersdorf bis zur Lokalität Stempeda - Untermühle. Der Abschnitt ist im Mittel 10 km lang und 4,5 km breit. Er ist überwiegend bewaldet und umfasst die Naturschutzgebiete "Alter Stolberg" und "Rüdigsdorfer Schweiz". Die Kartiergebiete sind in der Abb. 4.6.14.15 (s.w.u) dargestellt.

Zur Stratigraphie

In der abgedeckten geologischen Karte (Abb. 4.6.14.1) wiederholen sich die stratigraphischen Abfolgen z.T. vom Präzechstein bis zum Buntsandstein: Um den Überblick zu ermöglichen wird die Fläche des Abschnitts am Schnitt 4431 M2 zweigeteilt.

Vereinfachte stratigraphische Abfolge im Teil West:

Rotliegend mit Schwerspat (Abb. 4.6.14.2), W` des Berges ohne Namen mit 344,1 m NHN, N´ der Lokalität Rasenteich, vom Pflug vermutlich von einem Gang-Ausbiss unter der Ackerkrume an die Oberfläche gebracht. Zechsteinkonglomerat und Kupferschiefer Zechsteinkalk

abermals nach Störungen 4431 289KM, 270KM Zechsteinkonglomerat und Kupferschiefer

Zechsteinkalk Werra-Anhydrit Stinkschiefer Residual R mit Staßfurt-Anhydrit-Inseln Grauer Salzton Leine-Anhvdrit 2x Unterer Buntsandstein-Inseln im 1. Block (Abb. 4.6.14.5) Neuhof-Buchholz-Störung Staßfurt-Anhydrit Grauer Salzton Leine-Karbonat Leine-Anhydrit Unterer Buntsandstein Vereinfachte stratigraphische Abfolge im Teil Ost: Devon-Karbon Zechsteinkonglomerat und Kupferschiefer Zechsteinkalk Stinkschiefer Quartär des Thyra-Tales Abermals nach Störungen 4431 281KM, 251KM, 211K Devon-Karbon Zechsteinkonglomerat und Kupferschiefer Zechsteinkalk Werra-Anhydrit Residual Unterer Buntsandstein im 4. Block (Abb. 4.6.14.4) Neuhof-Buchholz-Störung Stinkschiefer

Werra-Anhydrit Stinkschiefer Staßfurt-Anhydrit Grauer Salzton Leine-Anhydrit Unterer Buntsandstein



Abb. 4.6.14.1: Stratigraphie Abschnitt 14, abgedeckte Karte.



Abb. 4.6.14.2 Schwerspat in dünntafeliger Ausprägung, Nebengestein: Rotliegend. (Fundpunkt 2004, 38, Foto Kempe).



Abb. 4.6.14.3: Erdfall bei Buchholz, dessen Randstörung ist am linken, unteren Bildrand kaum erkennbar.(https://www.karstwanderweg.de/buchh_1.htm)



Abb. 4.6.14.4: Profil durch den Buchholzer Erdfall und das Diabas-Vorkommen, Entwurf, freundliche Mitteilung R. Völker.



Abb. 4.6.14.6: Störungskarte Abschnitt 14 nach Kartierung, DK Krakow und GK 4431.

Zur Tektonik

Wie im Abschnitt 13 gab die mit der Kartierung gewonnene Störungskarte (Abb.4.6.14.6) nur unbefriedigende Ansätze für die tektonische Aufklärung. Erst mit der Einbeziehung weiterer Elemente, wie im Abschnitt 13 beschrieben, konnten plausible tektonische Lösungen abgeleitet werden.

Die Verläufe der Störungen zeigen im Vergleich zum Abschnitt 13 ein verändertes Bild: Die bauchigen Störungen werden durch wellige Blockstörungen abgelöst (Abb. 4.6.14.7). Die gemischte Horst-Graben-Struktur dominiert, d.h., dass die Folge Horst-Graben durch südfallende Bruchleisten mehrfach unterbrochen wird. (Abb. 4.6.14.8).



Abb. 4.6.14.7: Blockstruktur des Abschnitts 14.



Abb. 4.6.14.8: Schollenmosaik des Abschnitts 14.

In diesem und im Abschnitt 15 wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts insgesamt 19 Bohrungen z. T. bis unter die Grenze zum Präperms niedergebracht, davon acht zwischen den Lokalitäten Buchholzer Berg und Steigerthal (Dahlgrün, 1934) (Anlage 11).

Diese korrespondieren widerspruchsfrei mit den tektonischen

Konsequenzen des Schollenmosaiks. (Siehe Bohrungen 12, 13, 14 und 15 in Abb. 4.6.14.9). Sechs weitere Bohrungen wurden im Abschnitt 15 niedergebracht.

Der Abschnitt 14 wird durch fünf rheinisch streichende, W-senkende/E-hebende Störungen in Blöcke gegliedert. Sie sind z.T. unter Bächen positioniert.

1. Block

Die Wechsel von Horst und Graben aus Abschnitt 13 klingen aus. Sechs herzynisch streichenden Bruchleisten, davon ein Horst und ein Graben, gliedern den 1. Block (Abb. 4.6.14.7). Die im W, im Bereich des Bere-Grabens vorherrschende Horst-Graben-Struktur, ist deutlich aufgelöst.

2. Block

Neun Bruchleisten bilden eine gemischte Horst-Graben-Folge. Das Muster setzt sich vereinfachend bis an das Thyratal fort. Auffällig ist die engständige, eggisch streichende Störungsschar um den Buchholzer Erdfall (Abb.4.6.14.3). Wegen Karst-bedingter Schwächung des Gebirges und Bergbau auf Kupferschiefer im 18. Jahrhundert brach das Gelände um etwa 30 m ein und bildete den Buchholzer Erdfall.

3. Block

Schmaler Block mit zwölf Bruchleisten, die drei Horste und zwei Gräben bilden eine gemischte Horst-Graben-Folge.

4. Block

Der Block enthält zehn Bruchleisten, die eine gemischte Horst-Graben-Folge bilden. In der Nähe der Lokalität Stempedaer Marktweg verläuft eine Aufwölbung, der Schellenbergsattel (Abb. 4.6.14.10). Sie streicht bis in den 5. Block. Krakow (1998) beschreibt Flexuren in dieser Region ohne diese geographisch zu positionieren.



Abb.4.6.14.9: Schnitt 4431 W8 mit Bohrungen, N-B-S = Neuhof-Buchholz-Störung.



5. Block

Im 5. Block verringert sich die Zahl der Bruchleisten auf sechs, die eine gemischte Horst-Graben-Folge bilden. Die Bruchleisten verengen sich im 5. Block und enden am E' Abbruch des Alten Stolbergs.

Abb. 4.6.14.10: Schellenbergsattel, Ausschnitt aus Kartierung.

Karst

Im Abschnitt 14 sind die vom Ingenieurbüro Völker eingemessenen zahlreichen Erdfälle mit ihrer Lage dargestellt. Daraus abgeleitete Erdfallstörungen zeigen oft den gleichen Verlauf wie die interpretierten Störungen (Abb. 4.6.14.11). Im 5. Block liegt die Heimkehle, mit 1780 m Gesamtganglänge eine der größten Gipshöhlen Deutschlands (Lage in Abb.4.6.14.11) davon sind 750 m begehbar (Völker, 1981). Sie wurde 1357 urkundlich erwähnt. Sie ist eine phreatische Laughöhle mit Versturzdecken und beispielhaft ausgebildeten Laugnäpfen (Kempe, 1998). In der Heimkehle war während des 2. Weltkrieges ein Rüstungsbetrieb untergebracht, in dem Häftlinge des KZ Dora-Mittelbau (siehe auch Abschnitt 13) eingesetzt waren. Die Grenze zwischen Sachsen-Anhalt und Thüringen verläuft durch die Höhle.



Abb.: 4.6.14.11: Erdfälle und Erdfallstörungen.

Aufschlüsse

Die aufgelassenen und aktiven Steinbrüche sind Aufschlüsse im Gips, Anhydrit und Diabas (Abb. 4.6.14.4). Die Fa. Knauf betreibt in Rottleberode einen Gipsbruch und einen Verarbeitungsbetrieb (Abb. 4.6.14.12, 4.6.14.13 und 4.6.14).



Abb. 4.6.14.12: Gipsbrüche im Abschnitt 14.



Abb. 4.6.14.13: Der Knauf-Betrieb in Rottleberode, im Hintergrund der Gipsbruch (Foto Fa. Knauf-Gips).



Abb.4.6.14.14: Der Leine-Gips im Knauf-Betrieb in Rottleberode (Foto Kempe).

Abb. 4.6.14.15: Kartiergebiete Abschnitt 14, siehe Einleitung Kapitel 4.6.14.



4.6.15 Abschnitt 15: Cluster 4431/4532, Thyratal

Der keilförmige Abschnitt 15 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

R ³⁶ 34000	H ⁵⁷ 11700
R ³⁶ 37100	H ⁵⁷ 07600
R ³⁶ 39100	H ⁵⁷ 09900
R ³⁶ 37700	H ⁵⁷ 07600.

Der Abschnitt liegt sich zwischen der W-Grenze: Linie Stempeda - Lokalität Untermühle und der E-Grenze: Linie E Uftrungen - Lokalität Untermühle. Die Kartiergebiete sind in der Abb. 4.6.15.5 (s.w.u.) dargestellt.



Abb. 4.6.15.1: Stratigraphie und Störungen im Abschnitt 15, Thyratal, abgedeckte Karte. Zahlen an den Bohrungen: Bohrung Nr. und Höhe NHN des Unteren Buntsandstein (siehe Anlage 11).

Zur Stratigraphie

Die stratigraphische Abfolge ist an beiden Flanken des Thyratales ähnlich (Tabelle 4.3) (Abb.4.6.15.1). Die Ausstrichbreiten gleicher Schichten sind unterschiedlich.

Abb. 4.3 Stratigraphische Abfolgen am Thyratal	
W` Thyra	E` Thyra
c/d	c/p
z1CT	z1CTK bzw
z1K	z1CT u. z1K
z1A	z1A
z2K-S	z2K-S
z2A/z3A	z2A
su	su



Abb. 4.6.15.2: Schollenmosaik Abschnitt 15.

Zur Tektonik

SE' von Rottleberode wurden im Bereich der GK 4431 zwei Inseln des Unteren Buntsandsteins kartiert (Abb. 4.6.15.1). Die in der Talaue ver-Bruchleiste mutete aus Unterem Buntsandstein ist mit einem möglichen, hüllenden Störungsverlauf skizziert (Abb. 4.6.15.1 und 4.6.15.2). Von den im Abschnitt 14 erwähn-

ten Bohrungen wurden zwischen den Lokalitäten Stempeda und Uftrungen (Dahlgrün 1935) (Erläuterungen Anlage 11) fünf Bohrungen z. T. bis in das Präperm niedergebracht. In drei dieser Bohrungen wurde der Untere Buntsandstein als Anstehendes und in einer als Gerölle erbohrt. Die kartierten su-Inseln und Bohraufschlüsse lassen auf einen su-Graben schließen, wie er bereits von Dahlgrün 1935 erwähnt wurde. Aus diesen lassen sich folgende Störungen ableiten (siehe Abb. 4.6.15.1):

- Die Bohrung 4 steht im Zechstein Unterer Buntsandstein ist nicht aufgeschlossen. In der Bohrung 5 liegt der Unterer Buntsandstein bei 94 m NHN, Dieses kann mit der Verlängerung der W´Talrandstörung 4431 307MB in die Talaue hinein bis zwischen die Bohrungen 4 und 5 erklärt werden.
- 2. Eine südhebende Störung (4431 310B) streicht S´der Bohrungen 5, 6 und 7.
- 3. Eine nordhebende Störung (4431 309B) streicht N' der su-Inseln und der Bohrung 8.
- 4. Bei der Suche nach einer die Bruchscholle nach E begrenzenden Störung schied die E´ Talrandstörung (4532 195M) aus, weil eine mögliche Verlängerung nach N aus der Topographie nicht ableitbar war. Stattdessen wurde eine Störung (4431 308MB) durch das Haselbachtal angenommen, die auch die Spur einer Blattverschiebung sein kann.

Das in der Talaue der Thyra erbohrte Vorkommen des Unteren Buntsandsteins hat eine Erstreckung und eine mögliche Struktur, die der su-Struktur am Alten Stolberg ähnelt. Die Betrachtung der Höhenkoten zeigt, dass zwischen den Bohrungen 6 und 7 der Höhenunterschied des Unteren Buntsandstein etwa 12 m und zwischen den Bohrungen 7 und 8 etwa 24 m beträgt. Daraus wird geschlossen, dass je eine osthebende und eine ostsenkende Störung die Bruchscholle gliedert. Hinweise auf Streichrichtungen dieser beiden Störungen sind nicht erkennbar. Die Suche nach einer "großen" Thyratal-Störung führt zur Haselbachstörung. In Höhe der Lokalität Klosterholz kann aus der Topographie eine dextrale Blattverschiebung abgeleitet werden: Die stratigraphischen Grenzen zwischen Unterem Buntsandstein und Zechstein verschieben sich dextral um etwa 750 m, wobei Unsicherheit über das Maß möglicher Ablaugungen herrscht und in wieweit die Gleichsetzung von Leine-Sulfat im W mit dem Staßfurt-Sulfat im E zu einer wesentlichen Verzerrung führen kann.

Die Störungen in den benachbarten Abschnitten bilden herzynische Bruchleisten. Eine Verknüpfung der Tektonik über die Thyra hinweg erscheint möglich, wenn die Störung 4431 239EM im Alten Stolberg nach E bis zur verborgenen Haselbachstörung verlängert wird. Sie stößt mit Versatz von etwa 770 m nach S auf den N-Rand des Unteren Buntsandstein unter der Annahme, dass die Störung 4532 187M (auf der E-Seite der Thyra) mit der Störung 4431 239 EM (auf der W-Seite der Thyra) korrespondiert.



Bergbau

Anhäufungen von Duckeln zeugen vom oberflächennahen Bergbau auf Kupferschiefer. (Abb. 4.6.5.3).

Abb. 4.6.15.3: Duckel im Abschnitt 15.



Der N´ von Rottleberode stehende Kreiselberg (Abb. 4.6.15.4) war im 19. Jahrhundert Stätte des Bergbaus. An der N´ Flanke steht oberflächennah Kupferschiefer an, der vermutlich flächig gewonnen wurde, denn eine Karte von 1850 weist hier eine Pinge aus. An der N-Flanke des Kreiselberges wurde Gips gebrochen.



Abb. 4.6.15.5: Kartiergebiete Abschnitt 15, siehe Einleitung Kapitel 4.6.15.

Kartierung

Relevante Kartiergebiete aus den Abschnitten 14 und 16 sind in der Abb. 4.6.15.5 als Abschnitt 15 zusammengefasst.

4.6.16 Abschnitt 16, Cluster 4532

Der Abschnitt 16 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

H ⁵⁷ 09900
H ⁵⁷ 07600
H ⁵⁷ 10200
$H^{57}07500.$

Der Abschnitt reicht vom Thyratal bis zur Linie E´ Agnesdorf - Roter Kopf. Er ist 8 km lang und 2,2 km breit. Die Kartiergebiete sind in der Abb. 4.6.16.11 (s.w.u) dargestellt.

Zur Stratigraphie:

In der abgedeckten stratigraphischen Karte (Abb. 4.6.16.1) lassen sich drei Teilabschnitte mit unterschiedlichen Abfolgen unterscheiden:

(1) Vereinfachte W´ stratigraphische Abfolge von der Thyra bis zur Störung 4532 149KM: Präperm (Tonschiefer, Silur, Devon und Unterkarbon) Zechsteinkonglomerat und Kupferschiefer Zechsteinkalk Werra-Anhydrit Stinkkarbonat Residual Staßfurt-Anhydrit

Unterer Buntsandstein

(2) Vereinfachte mittlere stratigraphische Abfolge von der Gladebacher Störung 4532 149KM bis zu den Störungen 4532 174M und 183KM:

Präzechstein (Devon mit Wissenbacher Schiefer) Zechsteinkalk südhebende Störung 4532 172K Werra-Anhydrit Stinkkarbonat Staßfurt-Anhydrit Grauer Salzton Unterer Buntsandstein

(3) Vereinfachte E´ stratigraphische Abfolge von der Störung 4532 174M / 183KM bis zur Störung 4532 179M:

Präzechstein Zechsteinkalk z1K Werra-Anhydrit Stink-Karbonat Grauer Salzton Leine-Anhydrit *südhebende Störung 4532 193M* Werra-Anhydrit *Störung 4532 76K* Präperm Zechsteinkalk Werra-Anhydrit Stinkkarbonat Staßfurt-Anhydrit Leine-Anhydrit Unterer Buntsandstein



Abb. 4.6.16.1: Stratigraphie Abschnitt 16, abgedeckte Karte.

Mit der Störung 4532 149KM verändert sich das optische Bild der Stratigraphie deutlich: Die Schichtenfolge verändert sich von stärkerem Wechsel der Formationen zu größeren Ausstrichbreiten. Der 3. Block wird gegen den 2. Block abgesenkt (Abb. 4.6.16.2).

Zur Tektonik

Aus den Störungen der Kartierung (Abb. 4.6.16.3) konnte kein Schollenmosaik entworfen werden. Dieses gelang aber wie im Absatz 13 beschrieben, mit anderen einbezogenen Elementen. Es konnten damit plausible Strukturen abgeleitet werden.



Abb. 4.6.16.2: Blockstruktur des Abschnittes 16.



Abb. 4.6.16.3: Störungskarte Abschnitt 16 nach Kartierungen.

Der Abschnitt wird durch acht rheinisch streichende Störungen mit wechselnden Hebungen/Senkungen in sieben Blöcke gegliedert (Abb. 4.6.16.3). Die Zahl der herzynisch streichenden Bruchleisten ist nicht konstant - sie schwankt zwischen drei und fünf. In den Blöcken 3, 4 und 5 steht eine Horst-Graben-Folge mit Horst, Bruchleiste, Graben und Horst an. Diese Folge ist in den randlichen Blöcken 1, 6 und 7 in der gemischten Horst-Graben-Folge weniger konsequent ausgebildet (Abb. 4.6.16.4). Die drei Schnitte zeigen Abfolgen der Bruchleisten (i) mit einer Horst-Graben-Folge (Abb. 4.6.16.5), (ii) einer gemischten Horst-Graben-Folge (Abb. 4.6.16.6) und (iii) möglicherweise konvexen Oberfläche des Präperm (Abb. 4.6.16.7).



Abb. 4.6.16.4: Schollenmosaik Abschnitt 16.



Abb. 4.6.16.5: Schnitt 4532 MW1 durch den Jägersberg mit gemischter Horst-Graben-Folge.



Abb. 4.6.16.6: Schnitt 4532 MW2 durch eine Horst-Graben-Folge mit möglicherweise konvexer Oberfläche des Präzechsteins.



Abb. 4.6.16.7: Schnitt 4532 ME2 durch eine Horst-Graben-Folge, A-M-S =Agnesdorf-Morungen-Störung.

In den N $\$ Bruchleisten der Blöcke 2 und 3 ist das Paläozoikum mit Silur und Devon aufgeschlossen. Es schließt im 2. Block eine komplizierte, eggisch streichende und abgesenkte Pflaumenkernstruktur aus dem Werra-Zyklus ein (Abb. 4.6.16.8). Im östlich von Uftrungen beginnenden breiten Rücken S' des Trockentals im 2. Block ist der Kupferschiefer doppelgelagert.



Abb. 4.6.16.8: Einzelheit aus der DK Rätzer, Stratigraphie, abgedeckte Karte.

Karst

Der Bauerngraben im 5. Block (Abb. 4.6.16.9) ist ein periodischer See als Bachschwinde über einer Lösungsdoline. Das Schwindenbecken ist etwa 250 m x 100 m groß. Sein Wasserstand wechselt in Abhängigkeit (1) von der Wassergängigkeit des Ponors unter der Steilkante des S´anstehenden Leine-Anhydrits, (2) von der niederschlagsabhängigen Füllung des Glasebachs und (3) vom wechselnden Grundwasserstand (Völker & Völker, 1983). Unter dem Bauerngraben verläuft die herzynisch streichende Störung 4532 177K.



Abb. 4.6.16.9: Bauerngraben mit dem Restsee (hinten links, hellgrün), im Hintergrund der Leine-Anhydrit (Foto Hubrich).



Der Leine-Anhvdrit (Abb. 4.6.16.10) ist in den Blöcken 1 und 2 durch zahlrei-Erdfälle che gekennzeichnet. Im Staßfurt-Anhydrit ist im Block 5 eine Erdfall-Häufung kartiert.

Abb. 4.6.16.10: Erdfälle nach TK im Abschnitt 16.

Bergbau und Aufschlüsse:

Bergbau auf Kupferschiefer ging u.a. im 18. Jahrhundert beiderseits des Trockentals zwischen Uftrungen und Breitungen um (Völker & Völker, 1983; Völker & Völker, 1987). Auf der stark geneigten Südflanke des Agnesdorfer Kopfes zeugen bis zum Tal-tiefsten Pingen, Halden und Bauteile aus der Vergangenheit vom Abbau des Kupferschiefers. In einem Situationsplan von Rupstein und Bock (1760) heißt der Trockenbach "Breitunger Hüttengraben". Er weist eine Besonderheit auf: Er hat keine Quelle, sondern speist sich aus Sickerwässern oder aus Gerinnen der drei unmittelbar aus N einmündenden Nebentäler. Sein Scheitelpunkt liegt etwa 1,5 km E´ des Austritts in die Talaue. Das Wasser fließt erkennbar in zwei Richtungen ab.

Abb. 4.6.16.11: Kartiergebiete Abschnitt 16, siehe Einleitung Kapitel 4.6.16.

4.6.17 Abschnitt 17, Cluster 4433



Der Abschnitt 17 erstreckt sich zwischen den Koordinaten:

 $\begin{array}{rrrr} R^{36}39100 & H^{57}09900 \\ R^{36}37700 & H^{57}07600 \\ R^{36}46000 & H^{57}10200 \\ R^{36}46200 & H^{57}07500. \end{array}$

Der Abschnitt reicht von der Linie E´Agnesdorf - Lokalität Roter Kopf bis zur Linie Lokalität Eichenberg - Großleinungen. Der Abschnitt ist 6,8 km lang und im Mittel 2,0 km breit. Die Kartiergebiete sind in der Abb. 4.6.17.19 (s.w.u.) dargestellt.

Zur Stratigraphie

In der abgedeckten stratigraphischen Karte (Abb. 4.6.17.1, s.w.u.) lassen sich zwei Teilabschnitte mit unterschiedlichen Abfolgen unterscheiden:

(1) Vereinfachte stratigraphische Abfolge im W´Abschnitt von der Störung 4433 179KM bis zur eggisch verlaufenden Störung 4433 150K:

Präperm lückenhaft Kupferschiefer Zechsteinkalk Residual lückenhaft Werra-Anhydrit Stinkkarbonat Staßfurt-Anhydrit lückenhaft Unterer Buntsandstein Agnesdorf-Morungen-Störung lückenhaft Stinkkarbonat Staßfurt-Anhydrit Grauer Salzton Leine-Anhydrit Unterer Buntsandstein im Nassetal: Präperm (2) Vereinfachte stratigraphische Abfolge im E´ Abschnitt von der Störung 4433 150K bis zur Störung 4433 121KW:

Präzechstein Kupferschiefer Residual Stinkkarbonat Agnesdorf-Morungen-Störung lückenhaft oberes Stefan Zechsteinkalk Stinkkarbonat Quartär, Talaue lückenhaft Staßfurt-Anhydrit lückenhaft Leine-Karbonat Unterer Buntsandstein Der Werra-Anhydrit ist weggelöst.

Zur Tektonik

Aus der mit der Kartierung gewonnenen Störungskarte (Abb. 4.6.17.2) konnten keine ausreichenden Ansätze für ein Schollenmosaik abgeleitet werden. Wie im Absatz 13 beschrieben, konnten aber mit anderen einbezogenen Elementen befriedigende Strukturen entwickelt werden.



Abb. 4.6.17.2: Störungskarte Abschnitt 17 nach Kartierungen.

Acht rheinisch streichende Blockstörungen gliedern den Abschnitt in neun Blöcke mit gemischter Horst-Graben-Folge (Abb. 4.6.17.3).

Die sinistral wirkende Reesenbachstörung, St 4433 150K / St 4433 136M, zwischen den Blöcken 5 und 6 (Abb. 4.17.4) verläuft mit 120° in steilherzynischer Richtung. Er versetzt den 6. Block gegen den 5. Block orientiert an der Hainroder Störung - ein Abschnitt der Agnesdorf-Morungen-Störung - um etwa 0,7 km nach NE. Die Blockgrenzen sind undeutlich ausgeprägt und damit unsicher, durch mehrere, kleinere Störungen unterbrochen und in der Stratigraphie mehrdeutig (Abb. 4.6.17.1). Abtragungen legen im N das Karbon frei. Der Versatz kann als Hinweis für eine N-fallende Überschiebung angesehen werden.



Abb. 4.6.17.1: Stratigraphie Abschnitt 17, abgedeckte Karte.



Abb. 4.6.17.3: Blockstruktur im Abschnitt 17.



Abb. 4.6.17.4: Schollenmosaik Abschnitt 17.

Der Abstand zwischen dem Präperm und dem Unteren Buntsandstein nimmt deutlich von 2,0 km im W auf 1,2 km im E ab, ebenso die Zahl der Bruchleisten von W nach E von sechs auf vier. Drei Bäche, Nasse, Dinster und Reesenbach fließen über Blockstörungen.

Fenster

E´ von Hainrode sind vier Präzechsteinfenster aufgeschlossen. Das karbonische Gestein (oberes Stefan, Mansfelder Schichten) ist von Gesteinen der unteren beiden Zechstein-Zyklen umgeben (Abb. 4.6.17.5). Schriel (1954:244) erklärt das Erosionsfenster im Schoppenbachtal bei Ilfeld (Abb. 4.6.17.6) mit gleicher Ausprägung - älteres Gestein in jüngerer Umgebung - mit "früher primärer Transgression".



Abb. 4.6.17.5: Fenster des oberen Karbons, Einzelheit aus Abb. 4.6.17.1.



Abb. 4.6.17.6: Erosionsfenster im Schoppenbachtal nach Schriel (1954:245).



Abb. 4.6.17.7: Wege des Wassers bei Hainrode.

Das Wasser findet seinen Weg.

Die Talaue zwischen Hainrode und Großleinungen ist nicht das Ergebnis tektoni-Vorgänge, sondern scher eine typische Ausprägung südharzer Karstes: des Blockstörungen und Bruchleistenstörungen zwischen Hainrode und Großleinungen leiten das aus dem Harz zufließende Wasser vorrangig in die sich E-W erstreckende Talaue Hainrode -

Lokalität Ohmischer Berg mit den Flüssen Reesenbach und Leine. Die südhebende Hainroder Störung, als Teil der Agnesdorf-Morungen-Störung, versetzt Schichten des untersten Zechsteinzyklus gegen paläozoische Schichten, die damit zur hydrologischen Barriere werden. Das Wasser findet seinen Weg nach S durch die rheinischen Blockstörungen bis an die dritte Bruchleistenstörung, die den Zechstein gegen den Unteren Buntsandstein der Lokalität Ankenbergs versetzt (Abb. 4.6.17.7). Das Wasser sammelt sich im Reesenbach. Dieser sucht sich im Unterlauf den Weg unter der dann von Oberflächengewässer freien Talaue. Er fließt dann zum Leine-Durchbruch Großleinungen-Drebsdorf durch Subrosionskanäle unter Bildung von Erdfällen und Schlotten (Völker & Völker, Heft 12, 1985). Bei Wasserüberschuss fließt das Wasser bis zur Ankenbergschwinde, die letztendlich die Leine speist.

Schnitte durch die Blöcke:

Der Schnitt Abb. 4.6.17.8 schneidet das E-W-Tal zwischen Hainrode und Questenberg über der Störung 4433 78K. Die Schnitte Abb. 4.6.17.9, 4.6.17.10 und 4.6.17.11 ziehen sich durch gemischte Horst-Graben-Folgen und zeigen das Verwurfsmaß der Agnesdorf-Morungen-Störung, die in diesem Abschnitt als Hainroder Störung bekannt ist. Sie lassen die wasserstauende Barriere des Präperm an der Agnesdorf-Morungen-Störung in den Abb. 4.6.17.10 und 4.6.17.11 erkennen.



Abb. 4.6.17.8: Schnitt W4 durch eine gemischte Horst-Graben-Folge. A-M-S =Agnesdorf-Morungen-Störung.



Abb. 4.6.17.9: Schnitt 4433 MW4 durch den 5. Block mit gemischter Horst-Graben-Folge. A-M-S =Agnesdorf-Morungen-Störung.



Abb. 4.6.17.10: Schnitt 4433 M2 durch Hainrode, durch eine gemischte Horst-Graben-Folge. A-M-S =Agnesdorf-Morungen-Störung. Abb. 4.6.17.11: Schnitt 4433 M4.



A-M-S = Agnesdorf-Morungen-Störung.

Aufschlüsse und Bergbau

Das Nasse-Tal öffnet sich S´ der präpermischen Barriere aus Tonschiefern und Grauwacken (Abb. 4.6.17.12) und engt die Nasse (rechts der Straße) auf das Format eines Straßengrabens ein.



Abb. 4.6.17.12: Nasse-Durchbruch (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/80/.)

Von N - aus dem Nasse-Tal, aus dem Harz kommend - trifft man auf Questenberg, einem Ort historischen Bergbaus auf Kupferschiefer. Es ist wegen seiner Queste, einem rituell bedeutsamen Eichenstamm mit Radkreuz auf hohem Felsen, bekannt. In der steilen Gips-Wand aus Werra-Anhydrit in Höhe der Ortsmitte von Questenberg sind Alabaster-Linsen erkennbar (Abb. 4.6.17.13). Zum Zeichen der ehemaligen niederen Gerichtsbarkeit steht ein hölzerner Roland in der Dorfmitte (Abb. 4.6.17.14).



Abb. 4.6.17.13: Alabasterlinsen im Werra-Anhydrit in Questenberg, die deutlich Südfallen zeigen (http://www.kupferschiefer.de/questenberg.jpg).

Die Verbindungsstraße von Questenberg nach Hainrode führt an die Dinsterbachschwinde. Der Abstieg durch eine Klamm im z1K beginnt am ehemaligen Suchstollen nach Kupferschiefer am Straßenabzweig (Abb. 4.6.17.14). Das Wasser rinnt im oberen Teil der Klamm auf der liegenden Grauwacke. Nach etwa 500 m endet die Klamm abrupt am Bruch über der Schwinde, einem beeindruckendem Ponor (Abb. 4.6.17.15). Der Bach verschwindet im Staßfurt-Anhydrit, der von Grauem Salzton überlagert ist. Der Eingang zur Schwindhöhle ist zur Zeit verbrochen.



Abb. 4.6.17.14 Mundloch des ehemaligen Suchstollens nach Kupferschiefer. (http://www.raymondfare.com/Karst 17_Wickerode_Queste_43.JPG).



Abb. 4.6.17.15: Versturz im z2A über der Dinsterbachschwinde. (https://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/7442526.jpg).


Abb. 4.6.17.16: Karst und Bergbau bei Agnesdorf.

Ausgebrannte Halde

In der Gemarkung Agnesdorf - Questenberg sind Zeugnisse der Verkarstung und des Kupferschiefer-Bergbaus aufgeschlossen (Abb. 4.6.17.16). Die Verkarstung führte zu wassergefüllten Senken, zur größten (160 m x 35 m) in der Ortslage Agnesdorf. Drei Duckel oder die Halden der Teufarbeiten für Lichtlöcher sind erkennbar. In unmittelbarer Nachbarschaft finden sich Reste von Konstruktions-Bauteilen einer verfallenen Schachtöffnung. Bemerkenswert ist eine Halde aus Material, das überwiegend aus Abraum des Kupferschieferabbaus besteht. Nach Auskunft eines Bewohners von Agnesdorf hat die Halde jahrelang im Inneren gebrannt und mit ihren Schwelschwaden die Luft verpestet Die Sulfide des Kupferschiefererzes neigen bei den geringen Luftströmungen durch das Haldenmaterial zur Selbstentzündung (Abb. 4.6.17.17). Das haben sie gemeinsam mit den Kohleresten in den Halden der Steinkohlenzechen der Ruhr, die auch jahrzehntelang schwelten. Die Temperature bei der Selbstentzündung mag bei kaum mehr als 100°C liegen. Aber beim Haldenbrand können sich Temperaturen bis über dem Gesteinsschmelzpunkt ergeben (Abb. 4.17.18).



Abb. 4.6.17.17: Verschwelter Kupferschiefer aus dem Haldenbrand bei Agnesdorf (Foto Hubrich).



Abb. 4.6.17.18: Angeschmolzener Kupferschiefer aus dem Haldenbrand bei Agnesdorf (Foto Hubrich)..



Abb. 4.6.17.19: Kartiergebiete Abschnitte 17 und 18, siehe Einleitung Kapitel 4.6.17.

4.6.18 Abschnitt 18, Cluster 4433

Der Abschnitt 18 erstreckt sich zwischen Koordinaten:

R ³⁶ 52300	H ⁵⁷ 10700
R ³⁶ 53200	H ⁵⁷ 09100
R ³⁶ 55900	H ⁵⁷ 11400
R ³⁶ 55900	$H^{57}10400.$

Der Abschnitt ist 3,3 km lang und im Mittel 1,1 km breit. Er reicht von der Linie Lokalität Eichenberg - Großleinungen bis zur Linie Lokalität Kleiner Kuhberg - Mooskammer. Die Kartiergebiete sind in der Abb. 4.6.17.21 (s.w.u.) dargestellt.

Zur Stratigraphie

Vereinfachte stratigraphische Abfolge: Präperm Kupferschiefer Zechsteinkalk Residual Agnesdorf-Morungen-Störung Zechsteinkalk mehrfach Residual Quartär der Talaue des Auslaugungstals Leine - Erlbach mit Ankenbergschwinde Stinkkarbonat sporadisch Staßfurt-Anhydrit Grauer Salzton Leine-Karbonat Leine-Anhydrit Unterer Buntsandstein Der Werra-Anhydrit ist weggelöst.



Abb. 4.6.18.1: Stratigraphie Abschnitt 18, abgedeckte Karte.



Der Abstand in der Karte zwischen Präperm und dem Unteren Buntsandstein beträgt in diesem Abschnitt weniger als ein km.

Abb. 4.6.18.2: Schollenmosaik Abschnitt 18.

Tektonik

Die kartierten Störungen sind eine gute Grundlage für die Konstruktion des Schollenmosaiks. Die geologischen und tektonischen Verhältnisse ähneln denen des Abschnittes 17. Die "üppige" Tektonik der W´ Abschnitte mit vielen Bruchleisten hat sich auf

eine mit Horst-Charakter verringert (Abb. 4.6.18.2). Die einfache Blockstruktur (Abb. 4.6.18.3) besteht aus einem W-fallenden Block, einem Graben-Block und drei E-fallenden Blöcken. Die von Kempe (1998:27, Abb. 2C) skizzierte Transversalstörung konnte aus Stratigraphie und Tektonik nicht bestätigt werden.



Abb. 4.6.18.4: Schnitt 4433 E1. A-M-S = Agnesdorf-Morungen-Störung.

Hydrogeologie

Die aus dem Harz kommenden Wässer werden zum Erlbach in der Talaue geführt. Der Erlbach strömt in den Blöcken 4 und 5 an der NW⁻ Flanke der Mooskammer entlang. Er umströmt weiter W⁻ den Ohmischen Berg und wird von der Leine aufgenommen (Abb. 4.6.18.1).

In der Vergangenheit wurde die Karst-Geologie mit ihren Schlotten und der Hydrogeologie in Verbindung mit dem Bergbau auf Kupferschiefer intensiv aufgeschlossen (Völker, 2011). Eine anspruchsvolle Herausforderung war die Beherrschung der zusitzenden Wässer. Ein System von Wasserlösestollen entwässerte die Gruben nach E zur Gonna und durch den querschlägig verlaufenden Teil des Seegen-Gottes-Stolln nach S ebenfalls zur Gonna, dort lag das Mundloch bei etwa 150 m NHN (Völker & Völker, 1983/1984/1984; Ziegler, 2011).

Bergbau und Aufschlüsse

Um Hainrode herum und zwischen Ohmischen Berg und E´ Morungen zeichnen Duckel und Halden der Schächte auf Kupferschiefer die Erstreckung der Grubenfelder nach (Abb. 4.6.18.5).



Abb. 4.6.18.5: Duckel.

Röhrigschacht in Wettelrode

Der Röhrigschacht liegt außerhalb des Bearbeitungsgebietes, am E´ Rand. Aber die durch den Bergbau aufgeschlossene Struktur des Grubenfeldes zwischen Röhrigschacht und Bernhard-Koenen-II-Schacht, trägt wesentlich zum Verständnis der regionalen Stratigraphie und Tektonik bei.

Der Bergbau auf Kupferschiefer gehört zu den ältesten Bergbau-Aktivitäten in Deutschland. Er lässt sich bis in die Bronzezeit zurückverfolgen. Seit etwa 1200 ist er mit den Bergleuten Nappian und Neucke personifiziert. Im Sangerhäuser Revier wurde bis 1990 Kupferschiefer gewonnen. Der Röhrigschacht war einer der letzten "aktiven" Schächte als Wetter- und Fluchtschacht der Großschachtanlage Thomas Münzer. Von hier aus sind die Elisabethschächter und die Hilfe Gottes Schlotten zugänglich. Diese häufig anzutreffenden hypogenen Laughöhlen sind bei ihrem Zusammenbruch Ursache der Erdfalllandschaften des Südharzes. Heute ist der Röhrigschacht als Schaubergwerk mit Bergbaumuseum eingerichtet (Abb. 4.6.18.6). Das Museum setzt sich im Freigelände fort. Für das Schaubergwerk wurde 1991 die 1. Sohle des Grubengebäudes hergerichtet.



Abb. 4.6.18.6: Röhrigschacht. (http://www.harzregion.de/files/rvh/downloads/geopark_infotafeln/Landmarke/lm12/lm12 _g4_1.jpg).

4.7 Erdfälle unterstützen das Kartieren

Die Karsterscheinungen im Bearbeitungsgebiet sind Gegenstand der Darstellungen in der Peer Review Veröffentlichung (Hubrich & Kempe, 2020, Kapitel 9). Für die Kartierung waren die oberflächlich feststellbaren Spuren des Karstes, die Muster von Erdfallhäufungen von Bedeutung. Im Kapitel 3.11 war die Erwartungshaltung formuliert worden, dass die Muster von Erdfall-Häufungen Hinweise auf Störungen sein können. Diese Erwartung erfüllte sich in unterschiedlicher Intensität.

In den **Clustern 4227, 4327 und 4430** wurden vereinzelt Reihen von Erdfällen als Erdfallstörungen definiert (Anlage 17) und in die Mosaik-Konstruktionen aufgenommen.

Im **Cluster 4431** sind vom Ingenieurbüro Völker mehr als 1000 Erdfälle (Datei FEK 4431) eingemessen worden (Abb. 4.6.14.11), die zahlreiche interpretierbare Muster zeigen. Einige Erdfallhäufungen lassen sich zweifelsfrei nach den Überlegungen gem. Kapitel 3.11 definierten Störungen zuordnen.

Beispiele für Mosaik-Störungen: St 4431 221 EM, St 4431 227 EM und St 4431 250 KEM.

Beispiele für Blockstörungen: St 4431 242 KM, St 4431 263 KEM, ST 4431 281 KM.

Bei konkurrierenden Interpretationen bevorzugte der Verfasser tektonische (Mosaik- und Block-) Überlegungen.

Zwei kartierte Störungen sind unter **Ponoren** positioniert: Ponor 2, unmittelbar N´ der Ortslage Bartolfelde St 4328 28 KES, Abb. 4.6.9.1 und unter der Heubergkerbe St 4429 66 ES, Abb. 4.6.12.1 und 4.6.12.12.

5 Tektonische Beispiele aus anderen Gebieten und kritische Anmerkungen zu älteren geologischen Karten

5.1 Beispiele

5.1.1 Fildergraben

Die in dieser Studie vorgestellten Strukturen desSüdharzes sind sicher nicht singuläre, sie finden sich auch in anderen Regionen er Mitteleuropäischen Platte. So z.B. im Bruchsystem des Fildergrabens in Baden-Württemberg (Carle´ 1955) (Abb. 5.1). Dieser ähnelt dem Mosaik in Abschnitt 16, Abb. 4.6.16.4). In beiden Gebieten begrenzen herzynisch streichende Störungen Horst-Graben-Folgen, die von NE-SW streichenden Störungen gekreuzt werden. Der Fildergraben kann auch als große antithetische Flower-Struktur interpretiert werden.



Abb. 5.1: Schollenmosaik Fildergraben (Carlé, 1955): Der Fildergraben wird als Keilscholle, das Rems-Bruchfeld, die Sindelfinger Verwerfung und die Hildrizhauser Verwerfung werden als Flanken einer antithetischen Flower-Struktur gedeutet.

5.1.2 Grubenfeld Reichenberg

Das Grubenfeld Reichenberg im Sontraer Kupferschiefer-Revier (Abb. 5.2) ist ein Beispiel für die Zechstein-Tektonik außerhalb des Südharzes. Die Grube wurde wegen eines unbeherrschbaren Wassereinbruchs 1950 aufgegeben (Fürer 2009:111ff). Der Grundriss des Grubenfeldes zeigt ein Schollenmosaik ähnlich dem des Südharzes:

(1) Eine rheinisch verlaufende Störungszone kann als Blockstörung angesehen werden. Sie versetzt den E´Block mit der herzynisch streichenden Störung um etwa 10 m nach S.



(2) Die herzynische Störung hebt den Block des Grubenfeldes ("südhebend").

(3) Parallel zur Blockstörung streichen im W zwei aus Grubenriss-Ansätzen abgeleitete westhebende Störungen. Im E´Block streichen in Abständen zwischen 10 und 20 m vier Störungen und bilden eine rheinisch ausgerichtete Horst-Graben-Folge. Dessen Ausrichtung gleicht nicht denen des Südharzes, sie ist engständiger strukturiert. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Blockstörung als Störungsschar auftritt.

Abb. 5.1: Schollenmosaik des Kupferschiefer-Grubenfeldes Reichenberg (Fürer, 2009).

(4) Die Störungsgruppierungen in der Störungszone können als Hinweise auf Störungsbegleitgefüge angesehen werden. Der Verfasser erinnert sich (1950er Jahre), dass bei der Durchörterung

des Thyssen-Hauptsprungs im Grubenfeld Friedrich Thyssen 4/8 in Duisburg-Hamborn die Richtstrecke der 8. Sohle nach E etwa 500 m im gestörten Gebirg stand.

(5) Das herzynische Streichen der Mulden- und Sattelachsen korrespondiert mit den Überlegungen zur Einengung der Phase 2.

5.2 Kritische Anmerkungen zu älteren geologischen Karten

5.2.1 Söhlige Lagerung in Geologischen Karte

Über weite Strecken ist in Schnitten der GK unter dem Zechstein ± söhlige Lagerung angenommen. Dieses führte dazu, dass Störungen nicht erforderlich wurden, um dem Einfallen gerecht zu werden. Beispiele von langen Bereichen ohne dokumentierte Störungen:

(Anmerkung: St = Störung, Zählung in der GK von W nach E.)

- GK 4227: Bereich zwischen SW Blattrand und Knick im Schnitt = 5 km, Einfallen = 8°, Überdeckung Unterer Buntsandstein, Quartär, Leine-Anhydrit, Stinkkarbonat,
- GK 4430: Bereich zwischen SW-Blattrand und St 1 = 1,9 km, Einfallen $= 6^{\circ}$, Überdeckung Unterer Buntsandstein,
- GK 4430: Bereich zwischen St 1 und St 2 = 4,2 km, Einfallen im Mittel $= 6^{\circ}$, Überdeckung Unterer Buntsandstein,
- GK 4430: Bereich zwischen St 6 und St 7 = 2,7 km, Einfallen = 7° ,

Überdeckung Löss und Stinkkarbonat,

- GK 4431: Bereich zwischen SW-Blattrand und St 4 = 1,8 km, Einfallen =10°, Überdeckung Unterer Buntsandstein,
- GK 4431: Bereich zwischen St 4 und St 5 = 1,3 km, Einfallen $= 1^{\circ}$, Überdeckung Staßfurt-Anhydrit und Unterer Buntsandstein,
- GK 4431: Bereich zwischen SW Blattrand und St 1 = 1,3 km, Einfallen $= 3^{\circ}$, Überdeelung Worre Anbudrit und Stinkkerbonst

Überdeckung Werra-Anhydrit und Stinkkarbonat,

Die aufgeführten Beispiele erfüllen die in der Literatur formulierte Erwartungshaltung von Einfallen zwischen 5° und 15° nicht. Die Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass von Störungen in geringeren Abständen, also von Schollentreppen auszugehen ist.

5.2.2 Das Hainholz nach A. Herrmann

Das Gebiet des Hainholzes (GK 4327) hat nach Herrmann (1981) ein Einfallen von $\pm 0^{\circ}$ (Abb. 5.3, oberes Profil). Er kann dadurch ein störungsfreies Profil erzeugen. Die Rückrotierung der Harzhebung ergibt aber ein unplausibles Einfallen von <0°. Ohne eine Abfolge von Bruchleisten und der sie begrenzenden Störungen kann so ein geringes Einfallen über größere Strecken vorgetäuscht werden.

Im Gegensatz zu dem von Herrmann angesetzten geringen Einfallen ergibt sich bei Annahme einer Schollentreppe eine ebenso glauhafte Lösung wie bei einer flachen Lagerung bei Herrmann und dieses auch unter Berückstichtigung aller Bohrergebnisse.



Abb. 5.3: Einfallen unter dem Hainholz: oberes Profil mit flacher, kaum gestörter Lagerung von Herrmann (1981) mit Lage der Bohrungen; unteres Profil: Lösung als Schollentreppe.

Eine Schollentreppe kann aus drei angenommenen und freihändig in Abständen von 160 m bis 200 m positionierten Störun-

gen mit Verwurfsmaßen von 15 – 20 m konstruiert werden (Abb. 5.3, unteres Profil) (Anmerkung: Im Hainholz sind die Bruchleisten weniger breit als die orientierend angegeben 200 - 1000 m. Siehe auch Kapitel 6.3 w.u.). Die tiefsten Lagen der Bohrungen in diesem Profil verbleiben im Plattendolomit und im Grauen Salzton. Inwieweit der Staßfurt-Anhydrit noch vorhanden ist, konnte durch die Bohrungen nicht nachgewiesen werden.

5.2.3 Das geologische Profil A - B, GK 4430, Zorgetal - Hörningen

Der Profilschnitt A - B der GK 4430 bietet Ansatzpunkte für eine Diskussion, weil er einige "Ungereimtheiten" enthält. Der W´ Teil (Abb. 5.4) zeigt eine Partie flacher Lagerung. Der mittlere Teil bildes eine großmaßstäbliche Aufwölbung ab (Abb. 5.5), die auf Einengung (NE - SW) hinweist. Im Profilschnitt sind insgesamt 13 Störungen eingezeichnet, wovon acht nachfolgend erwähnt werden.



Abb. 5.4: Schnitt A - B der GK 4430, Teil West



Abb. 5.5: Schnitt A - B der GK 4430, Teil Mitte.

Der Verfasser diskutiert drei Sachverhalte: (1) Erdfälle zwischen Helme und Hochstedt (2) Aufwölbung und (3) Unterdrückung von Anhydrit.

Abb. 5.6: GK 4430, Ausschnitt Hochstedt.

Zu (1): Im Schnitt A - B der GK 4430 ist kein Steinsalz eingezeichnet, das aber unter dem Schutz des Unteren Buntsandsteins erhalten sein sollte, denn die sechs Erdfälle bei der Lokalität Hochstedt (Abb. 5.6) können als Subrosions-



senken über dem abgelaugten Steinsalz angesehen werden. In der Bohrung Hochstedt wird kein Steinsalz erschlossen (Abb. 5.4). D.h., dass die Störung 1 nicht wie im Schnitt A - B SW` der Bohrung, sondern zwischen der Bohrung und den vier S` Erdfällen (Abb. 5.6) zu positionieren ist. NE` der Störung ist das Profil mit einem Steinsalz -Keil zu ergänzen. Die beiden Erdfälle N´ Hochstedt

können aus der Wiederholung des Salzkeiles NW² durch eine weitere Störung 1A (Abb. 5.7) resultieren. Dieser Ansatz wird durch folgende Überlegung unterstützt: Die Scholle zwischen Störung 1 (Abb. 5.4) und Störung 2 (Abb. 5.5) (mit Abstand von 4,2 km und Schichteinfallen 6°), ist ohne Zwischen-Störungen dargestellt. Das ist nach den Überlegungen und Ergebnissen dieser Studie, die ein viel engeres Störungsnetz nachweist, nicht plausibel.



Abb. 5.7: unmaßstäbliche Skizze zum Salzkeil.

(2): Die im Schnitt A - B der GK, Abb. 5.5 postulierte kompressive Aufwölbung zwischen den Störungen 2 und 6 ist durch keine zusätzliche Tatsache oder veröffentlichte Beobachtung begründet. Die Störung 3 ist nicht bis an die Oberfläche durchgezeichnet. Dieses impliziert, dass sie zwischen Rotliegend und Zechstein angelegt wurde. Dieses ist aus dem Kartenbild nicht ableitbar. NE´ der Störung 3 ist mächtiger Porphyrit eingezeichnet, während SW´ das gegliederte Untere Rotliegend anzustehen scheint. Dieses scheint eine Transformstörung anzudeuten, die aber nicht in den Erläuterungen der GK erwähnt und begründet wird.

Die Scholle zwischen Störung 6 und Störung 7 mit Abstand von 2,7 km und Schichteinfallen 7° ist ohne Zwischen-Störungen dargestellt (Abb. 5.5). Das ist nach den Überlegungen und Ergebnissen dieser Studie, die ein viel engeres Störungsnetz annimmt, nicht plausibel.

Zu (2): Die Störungen 2 bis 6 sind als Abschiebungen gezeichnet (Abb. 5.5). Bei dieser stark kompressiv ausgeprägten Aufwölbung wären flankenparallele Aufschiebungen zu erwarten und keine Abschiebungen.



Abb. 5.8: Region Nordhausen (Nord) 4430, Schnitt W6.

In der Abb. 5.5 ist der Bereich zwischen dem Zorgetal und der Dorfstelle Bischofferode als ein sehr flacher Sattel (Himmelberg) mit einer Mulde im Zorgetal dargestellt. Dieser Konstruktion ist das Profil (Schnitt 4430 W6) dieser Studie gegenübergestellt (Abb. 5.8). Der Verfasser interpretiert es als kompressiv entstandene Flower-Struktur mit einer im N beginnenden Abfolge aus synthetischen Störungen mit einer eingeschalteten Horst-Graben-Folge zwischen Himmelberg und Zorge-Tal. Diese Auffassung führt zur gleichen oberflächennahen Geologie und Morphologie, wie sie in der

GK abgebildet ist und passt zur Bruchleisten-Struktur des Südharzgebietes. Der vorgeschlagenen Interpretation mit einem su-Graben ist damit der Vorzug zu geben.

Zu (3): In der Senke des Zorgetales ist unter dem Quartär der Untere Buntsandstein eingetragen (Abb. 5.5). Ein kleiner Referenzaufschluss ist am Punkt BW (Bahnwärter?) SW´ von Niedersachswerfen kartiert (Abb. 5.9). Die beiden Rücken Himmelberg - Mühlberg und Sattelkopf - Kohnstein - Birkenkopf sind von Werra-Anhydrit und Stinkkarbonat bedeckt. Unter dem weiter S´ anstehenden großflächigen Unteren Buntsandstein sind Leine-und Staßfurt-Anhydrite postuliert. Analog dazu

müsste um den Referenzaufschluss ein Saum dieser Anhydrite erscheinen und es müssten diese auch im Schnitt unter dem Zorgetal (Abb. 5.5) unter dem Unteren Buntsandstein eingezeichnet sein. Das ist aber nicht der Fall.

> Abb. 5.9: Aufschluss im Unteren Buntsandstein (schwarzer Pfeil).



6 Schlussfolgerungen und Diskussion

Das ehemalige post-oberkarbonische Deckgebirge ist über dem Harz abgetragen. Lediglich im Südharz ist die Sedimentationsfolge des Rotliegend und Zechsteins (z1 - z4) bis zum Unteren Buntsandstein oberflächennah erhalten und in Aufschlüssen zugänglich. Der Südharzer Zechsteingürtel ermöglicht es daher, das Störungssystem an der Basis des postvariszischen Stapels zu erfassen, weil dort die Störungsmuster von der Salztektonik unbeeinflusst sind.

Der Verfasser ging der Frage nach, ob die von Kley (2013) beschriebene Phasen am Südharz erkennbar sind.

- 1. **Phase 1: Krustendehnung** in mindestens zwei Phasen unterschiedlicher Extensionsrichtungen von der Permo-Trias bis in die frühe Kreide mit **Beckenbildung**.
- 2. Phase 2: Vorwiegend NE SW-gerichtete Einengung vor allem in der späteren Kreide.
- 3. **Phase 3: Erneute Extension** seit dem Eozän mit räumlich und zeitlich wechselnden Richtungen und Anlage des mitteleuropäischen Riftsystems.

6.1 Zur Phase 1: Krustendehnung und Beckenbildung (250-140 Ma)

Für den Südharz verbirgt sich hinter der Krustendehnung eine lang andauernde Phase von Sedimentation über einer sich absenkenden, großen Beckenregion. Europas Gliederung, Unterbau und Grenzen waren festgelegt. Das variszische Orogen war bis auf geringe morphologische Rücken (wie die Eichsfeldschwelle) tief abgetragen und z.T. peneplenisiert. Südlich des Harzes begann bereits im Stefan die über ca. 200 Ma anhaltende Absenkung der zentraleuropäischen Scholle.

Mächtige Molasse-Sedimente, die Mansfelder Schichten, sind im Kyffhäuser und im Hornburger Sattel erhalten. Im Bearbeitungsgebiet gibt es noch einzelne Bereiche von Mansfelder Schichten, die direkt auf metamorphen Gesteinen aufliegen und andere, die das Rotliegend bzw. den Zechstein unterlagern. Letztere fehlen westlich der Lokalität Dinsterbach (zwischen Hainrode und Questenberg).

Im unteren Perm ereigneten sich die letzten vulkanischen Ausbrüche, deren Vulkanbauten dem Gebirgsrumpf aufsaßen (z.B. Ravensberg und Auerberg), bzw. flächenhafte Rhyolithdecken im Ilfelder Becken hinterließen. Damit war die vulkanische Tätigkeit bis zum Tertiär in Deutschland beendet. Die Absenkungen erweitern sich immer weiter nördlich und westlich, sodass im Rotliegend und dann im Zechstein große Becken absanken, die geflutet wurden.

Die Absenkungen gingen in der Trias weiter, wobei terrestrische bis flachmarine Sedimentfolgen mit vielfältigem Fazieswechsel in wechselnder Mächtigkeit und unterschiedlicher regionaler Ausdehnung (z.B. Lützner & Kowalczyk, 2012) abgelagert wurden. Der Buntsandstein wird von mächtigen, terrestrischen, klastischen Ablagerungen repräsentiert, die große Flächen des Südharzes bedecken. Eingeschaltet, und noch im Untersuchungsgebiet aufgeschlossen, sind Sabka-Ablagerungen mit flözartigen Lagen aus Oolithen (Rogensteinbänke), die nördlich des Harzes auch Stromatolithe enthielten (Kalkowski 1903). Die Sedimente der anschließenden marinen Ingression des Muschelkalkes stehen nur in einigen Gräben (z.B. Gittelder Graben) an. Sonst sind sie erst weiter südlich im Thüringer Becken zusammen mit den darüber lagernden Keupersedimenten erhalten. Die Jura- und Unter-kreide-Ablagerungen sind im Südharz vollständig abgeräumt und nur in Mulden und im Nordharz mächtig erhalten.

6. 2 Zur Phase 2: Einengung (100-65 Ma).

Ursache der Einengung ist die Kollision des Iberia-Briançonnais-Komplexes mit Baltica (Kley & Voigt, 2008). Die Einengung inkompatibler Gesteinspakete führt zu **Hebung, Versteilung, Aufwölbungen, Schollentreppen, Flower-Struktur, sowie zu horizontalen Bewegungskomponenten an Störungen** (Wrede, 1988:108, spricht in diesem Fall von "*Schleppungen an dextralen* *Horizontalverschiebungen"*). Diese Prozesse führen teils zu einer Verkürzung der Ausstrichbreite eines Schichtenpaketes zugleich mit Versteilung bzw. zu deren Verbreiterung (bei antithetischen Schollentreppen). Meist fallen diese Prozesse zusammen und bewirken insgesamt eine Krustenverkürzung.

Die Kartierungen (Beispiel Abb. 6.1) als auch der dokumentierte Gebirgsbau aus dem Kupferschiefer-Bergbau (s.w.u. Abb. 6.7) belegen den Charakter als Bruchschollengebirge. Serien aufgeschobener Bruchleisten mit Horstund Graben-Strukuren führen zur Krustenverkürzung, aber auch zur Wiederholung der Schichtfolgen.

Abb. 6.1: Stratigraphie und Störungen nach KK 1999, Gebiet von Questenberg und Nasse-Durchbruch, ohne Maβstab,

6.2.1 Hebung

Hebung ist die Reaktion der Kruste auf lateralen Druck. Im Falle des Harzes beträgt diese Hebung viele Kilometer gerechnet von der Basis der subherzynen Senke bis zur Höhe des Brockens plus die Mächtigkeiten der abgetragenen Schichten von Zechstein (mit seinen Salzlagern), Trias, Jura und Kreide dürfte sich die Bewegung an der N-Harz Überschiebung auf etwa 10 km addieren. Mohr (1978:173)

schreibt: "An der NE-Randstörung hebt sich das Harzrumpfgebirge wohl um rd. 2000 bis 3000 m heraus". Im Umkehrschluss kann das bedeuten, dass das Deckgebirge über dem Harz die gleiche oder größere Mächtigkeit hatte. Diesem Wert ist die Mächtigkeit der abgetragenen Gesteine des Variszikums hinzuzufügen, die über dem Brocken-Pluton einige km betragen haben dürfte. Dazu zeigen Eynatten et al. (2019) eine Überdeckung des Brocken-Lakkolith bis zur unterpermischen Landoberfläche vor 295 Ma von 6 km (Anlage 16). Wrede (1988:104) geht allerdings davon aus, dass im Gegensatz zum Harzvorland nur eine geringmächtige mesozoische Schichtenfolge abgelagert worden sein kann. Tanner et al. (2010) halten dagegen: "Thermische Mo-

dellierungen ergaben..., dass seit der Oberkreide ca. 5 km

hangendes Gestein abgetragen worden sind..." Ähnliche Hebungsbeträge ergeben sich auch für die Kyffhäuser-Überschiebung im Süden des Südharzes.

6.2.2 Versteilungen

Die Harzhebung ist die Ursache der Schrägstellung des Deckgebirges. Es sind also messbare Winkel zu erwarten. Diese Erwartung geht aber nur dann in Erfüllung und ist durch Messungen nachweisbar, wenn (1) die Zechsteinschichten nicht mehr vom Deckgebirge (Unterer Buntsandstein) überlagert sind, (2) das einzumessende Einfallen sich nicht unter zerscherbtem Stinkkarbonat und Quartär verbirgt oder (3) die Schichten einmessbare Schichtflächen aufweisen. Die Abdachung des Harzes nach S beträgt heute auf der Linie Brocken - Nordhausen 1°40′ (Anlage 16). Mit einer Überdeckung des Brockens von 6 km (Franzke, 2019) kann die Neigung der Unterperm-Landoberfläche mit 12°



Tabelle 6.1: Legende		
violette Linien	z2K	
graue Linien	z3T	
grüne Schattierungen	Anhydrit-Schich- ten	
rote Flächen	su	
+++	Elster-Moränen	
	Residuale	
	Fließerde mit su	
	Fluss-Terrassen	

rekonstruiert werden (Anlage 16). Damit ist das "Literatur"-Einfallen mit 5°-15° in nachvollziehbare Nähe gerückt.

Der Zechsteinkalk ist die einzige Formation des Zechsteins, dessen Einfallen nicht durch Salzauslaugung oder subaquatische Rutschungen verstellt ist. Er zeigt entlang des gesamten Südharzes fast immer SSW´ und S´ Einfallen, lediglich die Schichten E´ der Thyra, Abschnitte 17 und 18, fallen nach SSE ein. Lokale Variationen betreffen die primäre Morphologie der karbonischen Peneplain.

Der Bergbau auf Kupferschiefer in der Sangerhäuser Mulde zeigt, dass sich dieses Einfallen nach Süden bis zum Erreichen der Kyffhäuser-Überschiebung fortsetzt. Bei der Konstruktion der Schnitte legte der Verfasser überwiegend (etwa 80 % der Schnitte) ein Einfallen von 6° zu Grunde. Das führte i.d.R. zu plausiblen Schnittbildern. Hermann (1981) benutzt für das Hainholz söhlige Lagerung, um ein störungsfreies Profil zu erzeugen (Siehe Kapitel 5.2.2). Bei einigen Schnittkonstruktionen musste stellenweise das Einfallen erhöht werden, um der kartierten Stratigraphie zu ihrem Recht zu verhelfen, aber 90 % Lesesteinkartierung und 43 % Quartär bremsen die Variations- und Interpretationslust. Diese Erhöhungen des Einfallwinkels reichen aber nicht als Beweis für regional höhere Einfallswerte.

Versteilungen und Mächtigkeitsanomalien an den Randlagen zum Grundgebirge könnten sich damit erklären, dass späte Phasen der permischen Beckenbildung und der Sedimentation gleichzeitig abliefen. Versteilungen sind in einigen Schnitten der geologischen Karten erkennbar:

(Anmerkung: St = Störung, Zählung in der GK von W nach E)

GK 4431 am NNE Ende der Südharzmulde, Scholle zwischen St 2 und St 3, Einfallen = 33° GK 4431 NE[´] der Bohrung 3, Flanke des Ritterbergs, Einfallen = 28°

GK 4433 Bereich N' Röhrig-Schacht, Einfallen = 38°

6.2.3 Aufwölbungen

Durch Kartierungen sind vier **kleinmaßstäbliche Aufwölbungen** erfasst: **Hellenberg, Langenberg, Rötzel** und **Schellenberg.** Die Streichrichtung dieser Aufwölbungen (Abb. 6.2 und 6.3) lässt auf Pressungen aus NE - SW und N - S Richtungen schließen (Kley, 2013:202, NE - SW).

Zu den ersten drei Strukturen schreibt Wrede (1988): "Die Dolomit-Sättel sind die unmittelbare Folge tektonischer Beanspruchung. Er führt sinngemäß an, dass die Südharzrandbrüche ganz ähnlich der Harznordrandstörung gebaut sein dürften". Möglicherweise gehörten die Aufwölbungen zu einem Wrench-Fault-System". Zur Genese vom Langenberg sieht der Verfasser eine zweite Möglichkeit: Die Aufwölbung verläuft \pm parallel SW[°] einer Bruchleisten-Störung. Die Konfigurationen von Aufwölbungen und Störungen unterscheiden sich: Die Aufwölbung des Hellenbergs wird wie beim Rötzel beidseitig von Störungen begleitet, beim Langenberg trifft dieses nicht zu. Er kann damit die gehobene Nordseite der südfallenden Bruchleiste ein.

Auch im **Alten Stolberg** findet sich eine flache Sattelstruktur. Sie verläuft zwischen dem Schellenberg und der Lokalität Sieben Gründen (Kapitel 4.6, Abschnitt 14, Krakow 1998) in herzynischer Richtung. Sie wird wie beim Rötzel und Hellenberg von Störungen begleitet. Die Stratigraphie der Sattelstruktur ist deutlich durch die Symmetrie des Werra-Anhydrits und dessen Hangendschichten entlang der Sattellinie belegt. Die Streichrichtung der Aufsattlung lässt auf den Druck aus NNE - SSW schließen.

Dagegen erklärt Paul dazu (2016:37ff): "Die Deformation setzte früh ein, bevor das darüber liegende Staßfurt-Karbonat vollständig lithifiziert war und dauerte vermutlich bis zum oberen Zechstein an. Ursache der Deformation sind sowohl die Entwässerung des Gips-Schlammes als auch das bei der Umwandlung von Gips in Anhydrit freiwerdende Kristallwasser". Er sieht daher auch eine andere Genese für diese Deformationen als z.B. tangentialen Schub (Paul 1998:79), nämlich: …." Die an der Oberfläche kartierten Sättel und Mulden setzen sich nach unserer Ansicht nicht in den Untergrund fort. Die Strukturen beruhen im Wesentlichen auf Mächtigkeitsunterschieden der beteiligten Gipsfolgen".



Abb. 6.2; Tektonik der Region Hellenberg, Langenberg und Rötzel (v.r.n.l.) (siehe auch Textabschnitt 4.6.2 und Ehrenstein, 1988).

Die Geologische Karte 4431, Stolberg/Harz zeigt im Schnitt A-B **Zorgetal - Hörningen** eine großmaßstäbliche Aufwölbung, die auf eine Einengung (NE -SW) zu deuten scheint. Die Existenz diese Aufwölbung ist fraglich und wurde deshalb gesondert im Kapitel 5.2.3 besprochen.



Abb. 6.3: Stratigraphie und Tektonik des Schellenbergsattels, mit spiegelbildlichen Flächen des Werra-Anhydrits und Stinkkarbonats entlang einer flachen Aufsattelung.

6.2.4 Die überregionale W - E streichende Störung von Neuhof bis Morungen.

Eine W - E streichende Störung von Neuhof (Abschnitt 12) bis Morungen (Abschnitt 18) lässt sich über 37 km verfolgen. Sie wird durch das Thyratal in zwei Abschnitte geteilt. Deren W' Teil wird mit **Neuhof-Buchholz-Störung** und der E' Teil mit **Agnesdorf-Morungen-Störung** benannt. Die Störung ist in den Abb. 4.2, 6.4, 6.5, 6.6 und 6.7 rot markiert. Sie wirkt S-hebend und begrenzt S-kippende Bruchleisten und Horste. Sie wird mehrfach von rheinisch und eggisch streichenden Störungen unterbrochen und versetzt. Die Störung streicht im W mit 125° abnehmend auf 80° im E, im geschätzten Mittel mit 100°. Ihr an der geologischen Karte abzuleitendes Verwurfsmaß beträgt im Gegensatz zu den meist schwach ausgebildeten herzynisch streichenden Störungen stellenweise mehr als 100 m. Sie "tarnt" sich als Bruchleistenstörung. Sie verläuft \pm parallel zum herzynischen Streichen (Kapitel 4.5). Einige Eigenschaften beider Störungsabschnitte unterscheiden sich:



Abb. 6.4: Neuhof-Morungen-Störung.



Die **Neuhof-Buchholz-Störung** (Abb. 6.5 und 6.5) besteht aus zehn deutlich ausgebildeten Störungsabschnitten. Sie endet mit einem undeutlichen Teil an den Thyratal-Störungen.

Abb. 6.5: Neuhof-Buchholz-Störung, Teil West, in den Clustern 4429, Region Bad Sachsa und 4430, Region Nordhausen, ihre Spur findet sich in fünf Blöcken.

Ihr Hauptmerkmal ist der mehrfach erkennbare, jeweils S-hebende Versatz vom Werra-Anhydrit zum Unteren Buntsandstein. Ihr Verwurfsmaß mit \geq 100 m leitet sich aus einer geschätzten Mächtigkeit des Schichtenpaketes der Zyklen z1-z3 ab.



Abb. 6.6: Neuhof-Buchholz-Störung, Teil Ost, in den Clustern 4430, Region Nordhausen, und 4431, Region Stolberg, sie zieht sich durch fünf Blöcke und das Thyra-Tal.

Abb. 6.7 Die Agnesdorf-Morungen-Störung im Cluster 4433, Region Sangerhausen, verläuft durch zehn Blöcke.

Die Agnesdorf-Morungen-Störung beginnt E´ der Lokalität Agnesdorf und endet vor Morungen (Abb. 6.7) Sie besteht

aus zehn Störungsabsmaß ist aus der strati-

schnitten, wovon die beiden E^{''} nur schwach ausgeprägt sind. Das Verwurfsmaß ist aus der stratigraphischen Folge nur ungenau ableitbar, weil die Mächtigkeit des Werra-Anhydrits wegen Ablaugung und Ersatz durch Residuale nicht näher bestimmt werden kann. Sie kann zwischen 50 m und mehr als 100 m liegen. Ihr Verlauf ist weniger gut rekonstruierbar als ihr W['] Pendant. Sie verläuft im E['] Teil im N des Zechsteinstreifens und hebt S['] der Störung mehrfach den Präzechstein wieder an die Oberfläche. Im W und E['] der Lokalität Ohmischer Berg (Abb. 6.7) wird sie undeutlich. Der Störungsabschnitt im Abschnitt 17, Block 6, ist identisch mit der Hainroder Störung. An der z.T. eggisch streichenden Blockstörung 4433 136M / 4433 133M zwischen den Blöcken 5 und 6 wird die E['] Scholle auffällig um etwa 400 m nach NW versetzt. Die Abtragung legte im N das Karbon frei.

6.2.5 Schuppung

Das dominante Muster-Element der Schuppung ist die Bruchleiste. Beispiele für Serien-Schuppungen in Form der Schollentreppen geben die Abschnitte 2 (Abb. 4.6.2.2) und 3 (Abb. 4.6.3.2) in den NE´ Teilen der Abbildungen wieder. Die Abb. 6.8 zeigt ein Profil durch das Sangerhäuser Kupferschiefer-Revier aus etwa 25 Bruchleisten mit Schollentreppen und Horst-Graben-Folgen. Die Bruchstörungen verlaufen vorzugsweise NW-SE und teilweise NE-WS, ihre Stprunghöhen varieren von wenigen Zentimetern bis mehrere 100 m (frei nach Stedingk et al., 2006:253). Bei der Verwendung des Begriffes "Schollentreppe" wurde in den Abschnittbeschreibungen nicht nach "synthetisch" oder "antithetisch" unterschieden, weil Einfallen und Fallrichtungen bei der Kartierung nicht erfasst werden konnten und damit Unterscheidungskriterien nicht zur Verfügung stehen.



Abb. 6.8: Bruchleisten mit Schollentreppen und Horst-Graben-Folgen (Stedingk et al., 2006).

Im Profil der Abb. 6.8 sind neben den Störungen zwischen den Bruchleisten mit geringen Verwurfsmaßen drei auffällige

Störungen dargestellt: Zwei südhebende mit etwa 100 m und eine am Bernard-Koenen-II-Schacht mit mehr als 500 m Verwurfsmaß. Das Profil macht deutlich, dass das Einfallen-bedingte Abtauchen der durch den Kupferschiefer an der Basis markierten Zechstein-Schichten in erheblichem Umfang durch die Störungen zwischen den Bruchleisten der Schollentreppen kompensiert wird (Anlage 14). Der Schacht Bernhard Koenen I müsste beim ("Literatur"-) Einfallen von 6° - 15° bis zu einer Teufe von - 914m ggf. bis - 2542m niedergebracht werden, um das Kupferschiefer-Flöz zu erreichen. In der Realität reicht er bis - 556m. Die Teufen-vermindernde Schollentreppe ermöglichte den Bergbau auf Kupferschiefer in Gebirgspartien mit beherrschbarem Gebirgsdruck und erträglichen Gebirgstemperaturen.

6.2.6 Bildung von Flower-Strukturen in der Phase 2, Kompression

Das Kartenbild der Horst-Graben-Folge zusammen mit Bruchleistenserien kann als Flower-Struktur interpretiert werden. In der Anlage 15 sind etwa 50 Abschnitte und Block-Unterteilungen mit festgestellten Flower-Struktur der Kompression schematisch aufgeführt (siehe auch Kapitel 3.15). In fast allen Positionen der kompressiven Struktur-Abfolgen sind Horste erfasst. Ausnahmen sind die W´ Rampe der Eichsfeldschwelle, die W´ Partien auf der Eichsfeldschwelle (Abschnitte 7 und 8, Kapitel 4.6.7 und 4.6.8). Das Thyra-Tal mit seinen Quartärbedeckungen blieb mangels Einblicke außerhalb dieser Überlegungen. In vielen Fällen sind die Flanken der Flower-Struktur nur unvollständig erkennbar, weil sie am S´ Rand vom Unteren Buntsandstein überlagert und am N´ Rand abgetragen sein können.

Ein geologischer Horst zwischen spiegelbildlich ausgerichteten Bruchleisten (siehe Abb. 3.17) wird als Indiz für eine (synthetische) Flower-Struktur der Kompression angesehen. Die Kernleisten sind in den meisten Fällen als Staffel ausgebildet, deswegen sind neben den Horsten auch Gräben und eingeschaltete Bruchleisten fast die Regel.



Abb. 6.9: Schematischer Schnitt durch eine Flower-Struktur im Schollenmosaik der Abb. 4.6.17.4.

Das Mosaik-Kartenbild der Abb. 6.9 kann als synthetische Flower-Struktur mit gestaffeltem Kern und einer Flanke aus N-senkenden Aufschiebungen angesehen werden.



Die Abb. 6.10 zeigt das Mosaik-Kartenbild einer gemischten Horst-Graben-Folge. Es kann als eine Flower-Struktur mit einem gestaffelten Kern und mit eingeschalteten unterschiedlich fallenden Bruchleisten interpretiert werden.

Abb. 6.10: Schematischer Schnitt durch eine Flower-Struktur im Schollenmosaik, Ausschnitt aus Abb. 4.6.13.8.

6.2.7 Harz-übergreifende Flower-Struktur

In der der Erörterung des nördlichen Harzrandes verweist Wrede (1988:109) auf Flower-Strukturen, u.a. auf die Tektonik der Schimmerwald-Scholle. Seine Überlegungen regen an, eine große, den Harz übergreifenden Flower-Struktur (Abb. 6.11 und 6.12) zu suchen und zu konzipieren.

Abb. 6.11: Unmaßstäbliche Skizze der Harz-übergreifenden Flower-Struktur.



Für einen Entwurf stehen sechs Stuktur-Elemente zur Verfügung: Nordflanke:

(1) Drei S-hebende, S-konkave Störungen (Brink, 2012:15).

Kern:

(2) S-hebende, S-konkave Nordharz-Randstörung als "master thrust" (z.B. Wrede, 1988).

(3) N-hebende, N-konkave Hauptstörung (Brink, 2012:22),

Südflanke:

- (4) S-hebende, N-konkave Neuhof-Morungen-Störung, (diese Studie).
- (5) Drei S-hebende, N-konkave Störungen im Sangerhäuser Becken, (Stedingk et al., 2006).
- (6) Die S-hebende und N-konkave Kyffhäuser-Nordrand-Störung ist als große N-fallende Störungsfläche in der Numburger Höhle aufgeschlossen (Z.B. Völker & Völker, 1991).



6.3 Zur Phase 3: Erneute Krustendehnung (50 - 0 Ma), Extension

Die Ursache der Krustendehnung ist die Öffnung des Atlantiks. Schon Carlé (1938:37) spricht vom "Zerrungscharakter rheinisch und erzgebirgisch streichenden Verwerfungen", die zu Brüchen führen. Ausprägung der Krustendehnung im Bearbeitungsgebiet sind Grabenbildungen, Blockstörungen und antithetische Flower-Strukturen. Das Gebirge wird durch die Störungen in Blöcke geteilt. Abstände und Streichrichtungen der Blockstörungen unterscheiden sich deutlich von den Störungen, die die Bruchleisten begrenzen (Tabelle 6.1). Die Breite der letzteren streut außerhalb des Bearbeitungsgebietes von unter 50 m bis über 2000 m (Sperling 1971in Mohr, 1978:85).

Tabelle 6.1: Abstände und Streichen.			
	Bruchleisten	Blöcke	
Breite	200 m - 1000 m	800 m -	
	(im Hainholz kleiner)	2000 m	
Streichen der		rheinisch	
begrenzenden	herzynisch	und eggisch	
Störungen			

Größere geographische, "trockene" Gräben (ohne ausgeprägten Fluss) sind der Römerstein-Weißensee-Graben (Kapitel 4.6.11, Abschnitt 11) und der Trockenbachgraben (Abb. 6.7). "Nasse" geographische Gräben (mit Flüssen) sind der Bere-Graben im Cluster 4430, Region Nordhausen, (Kapitel 4.6.13 und 4.6.15) und das Thyratal (Abb. 4.2) zwischen den Clustern 4431 und 4532, Regionen Stolberg und Kelbra. In der Anlage 15 sind die Abfolgen der drei erkannten Flower-Strukturen der Extension schematisch aufgeführt.

6.3.1 Die Flower-Struktur des Römerstein-Weißensee-Grabens

Ein geologischer Graben zwischen spiegelbildlich ausgerichteten Bruchleisten wird als Indiz für eine (antithetische) Flower-Struktur der Extension angesehen (siehe Abb. 3.17). Die drei Struktur-Abfolgen aus der Phase der Extension zeigen das in unterschiedlicher Intensität (Anlage 15). Der Römerstein-Weißensee-Graben im Abschnitt 11 stellt als enge Flower-Struktur dar. Es besteht aus einem Graben und zwei E-hebenden Block-Störungen an der E-Flanke (Abb. 6.13).

Abb. 6.13: Blockstruktur und Flower-Struktur des Römerstein-Weißensee-Grabens, Abschnitt 11.



6.3.2 Die Flower-Struktur des Bere-Grabens

Eine Flower-Struktur erstreckt sich in den Abschnitten 12 und 13. Sie ist kompliziert strukturiert. Der Kern ist mit drei Gräben und drei Horsten gestaffelt (Abb. 6.14). Sie erstreckt sich von Uffe/Mühlbach bis Harzungen. Sie ist etwa 10 km beit. Die E-Flanke besteht aus sechs E-hebenden Block-Störungen (Abb. 4.6.14.7). Die Süd-Abschnitte der Blockstörungen des Kerns schwenken nach E wie auch die Blockstörungen des Abschnitts 11 (Abb. 6.13 und 6.14). Im E' Graben fließt der Fluss Bere. Der Bere-Graben ist durch Blockstörungen begrenzt. Eine W-Flanke fehlt; die sich W' anschließenden zwei E-hebenden Blockstörungen gehören wegen ihrer E-hebenden Charakteristik zur Flower-Struktur des Römerstein-Weißensee-Graben.



Abb. 6.14: Schematischer Schnitt durch das Blockmosaik des gestaffelten Kerns des Bere-Grabens interpretiert als Flower-Struktur aus Blöcken, die von augeprägt listrischen Flächen begrenzt sind.

6.3.3 Die Flower-Struktur in den Abschnitten 16, 17 und 18

Neben diesen beiden Flower-Strukturen (Römerstein-Weißensee-Graben und Bere-Graben) wird eine dritte, ausgedehnte, komplizierte Flower-Struktur der Extension vorgestellt. Sei reicht von der Thyra bis vor Morungen mit 18 km Länge. Der Kern besteht aus fünf Gräben und fünf Horsten mit eingeschalteten unterschiedlich ausgerichteten Blöcken (Abb. 6.15). Eine W-Flanke ist nicht erkennbar. Die E-Flanke wird aus drei E-hebenden Block-Störungen gebildet.



Abb. 6.15: Schematischer Schnitt durch das Blockmosaik der Flower-Struktur in den Abschnitten 16, 17, und 18, interpretiert als Flower-Struktur aus Blöcken die von augeprägt listrischen Flächen begrenzt sind.

Bei allen drei Flower-Strukturen der Extension fehlen W-Flanken.

6.3.4 Tektonische Interpretation des Sangerhäuser Profils

Flower-Strukturen sind nicht nur in den Aufschlüssen des schmalen Saumes des südharzer Zechsteins zu erkennen, sondern auch in der Teufe unter dem Deckgebirge verfolgbar. Die Aufschlüsse des Kupferschieferbergbaus des Sangerhäuser Profils (Abb. 6.8) ermöglichen die tektonische Interpretation (Abb. 6.16).



Abb. 6.16: Tektonische Interpretation des Sangerhäuser Becken, rote Pfeile = Abschiebungen, blauer Pfeile = Aufschiebungen (verändert nach Stedingk).

6.4 Kritische Betrachtung der Schollenmosaik-Entwürfe mit konstruierten Störungen

Der Verfasser entwarf die Schollenmosaike unter folgenden Annahmen:

(1) Der Zechstein steht im Bruchschollengebirge aus Schollentreppen mit Bruchleisten an. Belege für diese Annahme sind:

- Kartierung Abb. 4.6.14.1, Bereich W4 bis W6
- Kartierung Abb. 4.6.17.1, Bereich W1 bis W4 u. Abb. 6.1
- Bruchleisten im Sangerhäuser Profil Abb. 6.8

(2) Der Zechstein des Südharzes fällt (abgesehen von einigen steileren Nord-Flanken der Schichten) in südliche Richtungen unter gleichbleibendem Winkel ein.

Der Verfasser ging der Frage nach, welche Konsequenzen konstruierte Störungen haben, wenn sie von der unbekannten Realität abweichen? Geht die Plausibilität verloren? Die grundsätzliche Vorstellung, dass es sich um ein Schollengebirge aus Bruchleisten handelt, bleibt dabei unberührt. Verändern können sich unter dieser Prämisse der Abstand der Störungen und damit die Breite. Benachbarte Bruchleisten, die in einer Folge von Horsten oder Gräben eingeschaltet sind, können konsolidiert werden.

Die Suche nach konfliktarmen und plausiblen Erklärungen der Muster der Schollenmosaike war im Oktober 2018 erfolgreich: Die Erkenntnis wurde gewonnen, dass viele auffällige Muster die Kartenbilder von Flower-Strukturen sind.

Zur Erhärtung der Interpretationen der Muster als Schollentreppe und Flower-Strukturen verweist der Verfasser auf zwei Sachverhalte:

Bestätigung der Interpretation vom Mustern als Schollentreppe: Bohrungen 11, 12 13 und 14 im Abschnitt 14 in der Gemarkung Steigerthal, Abb. 4.6.14.9, Daten der Bohrungen in Anlage 11. Die Interpretation von Mustern als Kartenbilder von Flower-Strukturen wird bestätigt durch den Nachweis von Struktur-Abfolgen, die der Systematik der Struktur-Prinzipien (Kapitel 3.15) gehorchen. Mehr als 50 durch Kompression verursachte Flower-Strukturen sind erkennbar und drei durch Extension verursachte. (Anlage 15).

7 Der Südharz-Zechstein-Gürtel im Überblick

Das Untersuchungsgebiet des "Südharz-Zechsteins" erstreckt sich über 81 km in W-E Länge (Abb. 4.2). Es lässt sich in drei Teilgebiete gliedern:

Das **westliche Teilgebiet** von etwa 25 km Länge reicht vom Ostrand des Gittelder Grabens bis zur Ostflanke der Eichsfeldschwelle an der Lokalität Mühlberg und umfasst die Abschnitte A1 bis A10. Es beginnt mit einer Flower-Struktur und einer antithetischen Schollentreppe zwischen den Blockstörungen des Typs 1, geht in die Mischstrukturzone Hainholz über, erstreckt sich über die aufschlussarmen Talauen von Sieber und Oder ohne kartierte und konstruierte Störungen, einer Mischstrukturzone südlich Bad Lauterberg und endet in einer schwach ausgebildeten Schollentreppe zwischen den Blockstörungen des Typs 1.

Das **mittlere Teilgebiet** ist etwa 38 km lang und umfasst die Abschnitte A11 bis A15 vom Römerstein-Weißensee-Graben bis zum Thyra-Tal. Er umfasst eine Region mit ausgeprägten Mosaiken aus Blockstörungen der Typen 1 und 2 mit schleifenförmigen und bauchigen Verläufen. Teilweise verschwenken die Störungen aus der rheinischen Richtung in die eggische. Diese speisen die Salza-Quelle (Abb. 4.6.13.8).

Das östliche Teilgebiet umfasst die Abschnitte A16 bis A18. Es beginnt an der Thyra und setzt sich mit etwa 18 km Länge bis vor Morungen mit Bruchleisten zwischen den Blockstörungen des Typs 1 fort. In den E^{''} Abschnitten vereinfachen sich die Strukturen: Die Zahl der herzynischen Bruchleisten verringert sich von neun auf drei. Der Abstand zwischen Präzechstein und unterem Buntsandstein von 5 km am Römerstein-Weißensee-Graben verringert sich auf 1 km vor Morungen.

Die **Übersichtszeichnung** (Abb. 4.2) zeigt den durch Störungen strukturierten Zechsteingürtel. In dieser großmaßstäblichen Darstellung ist ein fast symmetrischer Aufbau um eine gedachte Symmetrie-Achse W⁻ der Bere erkennbar:

(1) Die breiten Abschnitte mit den Mosaiken der Muster der Typen 1 und 2 erstrecken sich beiderseits dieser Achse.

(2) Nach W und nach E schließen sich Fluss-Auen (Sieber, Thyra) mit großflächigen Quartärbedeckungen an.

(3) Die beiden Partien an den Flanken des Bearbeitungsgebietes enden mit Mosaiken, die von den Mustern des Typs 1 geprägt sind.

Der Zechsteingürtel bildet keine Kurve mit stetiger Krümmung, sondern zeigt im mittleren Bereich, in den Abschnitten A12, A13 und A14, eine deutliche Verschwenkung (Abb. 4.2). Auf der Suche nach einer Begründung für diese drängt sich dem Verfasser die Vorstellung auf, dass von stärkerem Schub im zentralen Bereich des Harzes auszugehen ist. Wrede (1988:105) schließt zwar aus, "*dass die Harzscholle als Ganzes entlang seitlicher Bruchlinien nach NE geschoben worden wäre…in diesem Fall wäre ein nach NE ausgebauchter Verlauf der Störung* (hier die nördliche Harzrand-Störung) *zu erwarten. Tatsächlich zeigt das Kartenbild aber generell geradliniges Streichen……*" Was für den nördlichen N´ Harzrand gilt, muss nicht für den S zutreffen! Die Richtung der Verschwenkung trifft nach 25 km auf die gedachte Verbindungslinie zwischen Brockenmassiv und Rambergmassiv, die beide wie Widerlager gewirkt haben könnten. Die Vielfalt der Harz-Gesteine aus unterschiedlich kompetenten Gesteinen und zahlreiche Störungen in verschiedenen Richtungen könnten eine unterschiedlich reagierende Widerstandsfront gegen Schub aus südlichen Richtungen bilden.

Dass der Schub auf breiter Front wirkte, kann insbesondere aus der auf einen Kilometer eingeengten Zone der Bruchleisten im Abschnitt 18 (Abb. 4.6.18.2) geschlossen werden.

8 Schlussbemerkungen und Dank

Es erfüllt den Verfasser mit Genugtuung, dass es trotz der in Kapitel 1.1 eingeräumten Erschwernisse gelang, in vierzehn Jahren die Decke ein bisschen zu lüften, die die tektonische Struktur des Südharzer Zechsteins bedeckte. Aus einem diffusen Karten-Mosaik, aus vielen verschiedenen Elementen konnte ein durchgängiges Schollen-Mosaik entwickelt werden. Was Kempe, Seeger und Vladi 1970 begannen, konnte 2019 zu einem vorläufigen Abschluss kommen.

Neben vielen anderen haben zwei Menschen ihre sehr unterschiedlichen, aber maßgeblichen Beiträge für das Zustandekommen dieser Arbeit geleistet: Meine Frau Rosmarie und mein Doktorvater Prof. Dr. Stephan Kempe. Ich danke meiner Frau Rosmarie, die mit großer Geduld und mit gelegentlichem Knurren das häusliche Umfeld als Voraussetzung für kreatives und produktives Arbeiten gestaltete. Prof. Dr. Stephan Kempe gelang es, meine Begeisterung für das Forschungsvorhaben zu entfachen und während der Bearbeitung über mehr als 14 Jahre zu erhalten. Ich danke ihm für seine kritisch-konstruktive Begleitung. Ich griff auch die zahlreichen Anregungen von Prof. Dr. Andreas Hoppe dankbar auf. Ich danke Reinhard Völker für die Bereitstellung der Erdfall-Koordinaten und sein Interesse an meinem Projekt. Ich danke dem Institut für Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes und den Zugang zur GIS-Software. Herausheben möchte ich die Unterstützung, die ich durch drei Damen des Instituts erfuhr: Ich bezeichne sie als gute Geister: Ulrike Simons als Betreuerin des Systems ArcGISTM, Petra Kraft als Bibliothekarin und Ingrid Hirsmüller für Zeichenarbeiten. Ich danke meinen Ärzten und den Mitarbeitern medizinischer Heilberufe, die dazu beitrugen, dass ich in ausreichender physischer Verfassung mein Projekt "Südharz" zum Abschluss bringen konnte.

9 Manuskript, angenommen zur Veröffentlichung durch ACTA CARSOLOGICA am 16. Dezember 2019

THE PERMIAN GYPSUM KARST BELT ALONG THE SOUTHERN MARGIN OF THE HARZ-MOUNTAINS (GERMANY), TECTONIC CONTROL OF REGIONAL GEOLOGY AND KARST-HYDROGEOLOGY

Hans-Peter HUBRICH and Stephan KEMPE

9.1 ABSTRACT

The Harz Mountains in Germany are a south-tilting block of variscan-folded Devonian and Carboniferous rocks thrust over Mesozoic sediment along its northern border. Along the South Harz the overlying, unfolded upper-most Carboniferous, Permian and Buntsandstein (lower Triassic) series are exposed in a wide belt. They include a thick series of Upper Permian ("Zechstein") evaporitic rocks, dipping with about 10° S to SW, representing a nearly continuous sulfate and carbonate karst area about 92 km long, covering 338 km². In his dissertation, the first author compiled a new geological map for the Zechstein at a scale of 1:10,000 and deduced a tectonic model to advance our understanding of the karstic features.

Karstification determines the morphology of the South Harz including over 180 registered caves, thousands of sinkholes, uvalas, sinking creeks and large karstic springs. Specifically, lines of sinkholes appear to follow faults. By detailed mapping of the three lowermost Zechstein cycles, a dense matrix of faults is revealed. 85° to 125° striking faults reoccur every few 500 m, formed during the Harz-lifting compressional phase during the Upper Cretaceous. Many of these faults are reverse with a N-ward thrust. This leads to repetitive exposure of the strata, causing the broadening of the Zechstein outcrop beyond what would be caused by the dip of the series alone. In other areas, horstand graben-structures are present, resulting in kilometer-long Lower Buntsandstein ridges. Below ground, the groundwater flowing southward along the dip is diverted into the direction of the strike, thus causing strike-parallel depressions, valleys and sinkhole rows. In the final extension phase, faults striking 150° to 180° have caused graben-structures, allowing groundwater and surface rivers to flow southward, breaking through the escarpment of the overlying Lower Buntsandstein. Therefore, the tectonic structure of the South Harz determines its hydrology and the karst features apparent at the surface. The tectonic situation of the three largest karstic springs, the Salza Spring at Förste, the Rhume Spring, and the Salza Spring at Nordhausen is discussed along with more shallow karstic settings of the Hainholz/Beierstein, the Trogstein and the area of Hainrode.

Keywords: Harz Mountains; South-Harz belt; tectonics; Zechstein: Permian, Upper; regional geology; karst hydrology.

9.2 INTRODUCTION

The largest continuous gypsum karst area in all of Germany is the Upper Permian (Zechstein) outcrop along the southern margin of the Harz Mountains (Fig. 1) (Herrmann 1964; Kempe 1996). Stratigraphically the Zechstein, one of the oldest formation names still in use, corresponds internationally to the chronostratigraphic stages of Wuchiapingium and Changhsingium comprising the series of the Lopingium. It lasted from 259.1 to 251.9 Ma ago (International Stratigraphic Table, Cohen *et al.* 2013/2018). The Zechstein lasted for about 8 Ma (*e.g.*, Menning 1995) and is considered a lithostratigraphic group dominated by evaporites which rests diachronically on the Rotliegend and is terminated diachronically by the Triassic Lower Buntsandstein. The Zechstein-Basin runs from England through the North Sea, the northern and central part of Germany into Poland (*e.g.*, Scholle *et al.* 1995). At its center seven salinar cycles were deposited leaving carbonate, sulfate and chloride salts with a thickness of several kilometers. Consecutive burial by Mesozoic rocks lead to the upward movement of halite forming up to 6 km high salt domes and salt walls below the North Sea and northern Germany. Locally sulfates and carbonates form rare outcrops at the top of these domes (*e.g.*,

Segeberg, Luneburg, Elmshorn, Othfresen). Due to the high solubility of chloride salts, none are exposed at the surface within the basin, but salt-bearing springs betray some of the domes. Larger Zechstein outcrops fringe the variscan folded Paleozoic cores of central German mountain ranges. Most of these outcrops occur along the southern margins of the former basin representing near-shore facies of carbonates. Thicker sulfate layers were present further north and the only mountain range that is fringed by appreciable sulfate outcrops is the Harz (Fig. 2). Along its northern side, the Harz tectonic block was thrusted several kilometers above younger Mesozoic rocks, including the Zechstein. It therefore only forms a very narrow band with small local gypsum outcrops. Along the western margin of the Harz, the shoulder of the Gittelde Graben suppresses much of the Zechstein, only thin carbonate beds are preserved above the W-Harz Paleozoic. Along the eastern side of the Harz, the Zechstein outcrop is wider but hardly forms any appreciable surface outcrop. This is the Mansfeld Basin that saw intensive mining for copper-shale (Stedingk et al. 2006), the lowest member of the Zechstein, until 1969. Early miners discovered very large, phreatically formed cavities (Freiesleben 1809; who also published the first geological map of the eastern Harz and its surroundings, including the Zechstein), among them the largest anhydrite/gypsum cave of Germany, the Wimmelburger (or Mansfelder) Schlotten (e.g., Stolberg 1943; Brust 2008; Kupetz & Brust 1991; Völker & Völker 1986; Kempe 1996; Kempe & Helbing 2000; Kupetz & Knolle 2015).



Fig. 1: Google Earth image of the 90 km-long Harz Mountains in Central Germany and its Zechstein-Belt along its southern margin (shaded blue area). Blues lines denote state borders. The three largest karstic spring

are pinned (there are -for obvious reasons- two springs of the same name, one in Förste in the west and one near Nordhausen in the east) and the rough location of the Carboniferous High of the "Eichsfeld Schwelle" is indicated. Red pins denote important caves and cave areas (see text for explanation).

By area, the largest Zechstein anhydrite/gypsum outcrop fringes the southern side of the Harz. It crosses three states from W to E: Lower Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia. The eastern border of Lower Saxony was also the former border between West- and East-Germany, dissecting Harz and South Harz for 40 years and impeding research (Fig. 1). The South Harz is also the largest sulfate karst area of Germany. In the South Harz, the Upper Carboniferous peneplain slopes below post-variscan, unfolded Upper Carboniferous (Mansfelder Schichten), Permian (Rotliegend and Zechstein) and lower Triassic (Buntsandstein) strata which dip with about 5° to 10° south. The belt is over 90 km long with a width that varies from a few hundred meters in the east to about 5 km in the center near Nordhausen and 3 to 5 km in the west around Osterode. In the east, copper-shale was mined in the Sangerhausen Basin until August 1990. The South Harz also contains the most important German gypsum caves that are accessible from the surface (*e.g.*, Kempe 1996) and gives rise

to a series of large karstic springs (Fig. 1). Over 180 caves have been documented. It is of note that caves do not occur statistically distributed but are clustered in certain areas. Labels in Fig. 1 show locations of the most important caves and cave areas: A) Lichtenstein, B) Beierstein (Klinkerbrunnen), C) Hainholz (Jettenhöhle, Marthahöhle), D) Einhornhöhle, Steinkirche, E) Weingartenloch F) Trogstein-Fitzmühlen System, G) Priester- and Sachsenstein, H) Himmelreich, I) Kelle, J) Heimkehle, K) Questenberg, L) Schlotten discovered during copper-shale mining. Apart from the very ancient caves in Dolomite (Fig. 1: D; e.g., Vladi 2004) most caves in gypsum are apparently of young age (Kempe 1972). Two groups of caves can be discerned: (i) caves associated with sinking creeks (A, F, H, J in parts, K in parts) while (ii) the other caves are mostly caused by phreatic, slow convective water movement (B, C, I, J mostly, L; e.g., Biese 1931; Kempe 1972; Brandt et al. 1976; Kempe 2004). Schlotten, *i.e.* caves at or below the ground water level were also discovered by mining for copper-shale at a number of places (Völker & Völker 2017). Two of them (Brust & Graf 2016), are still accessible, the Elisabethschächter Schlotte (Völker & Völker ca. 1982, 1984) and the Segen Gottes Schlotte (Völker & Völker 1983). Thus, karstification and speleogenesis depends on local availability of water, either from the surface (epigenetically) or from the underlying strata (hypogenically) or from both. In case of the Hainholz, the first detailed geological mapping of the area by Kempe, Seeger and Vladi (Kempe et al. 1970; repeated in part by Herrmann 1981a), showed that the area is tectonically structured, forming a graben. These faults - bracketing the karst area - are responsible both for sinks as well as springs, clear hints that the tectonic structure of the Zechstein plays a decisive role in explaining the occurrence and distribution of karstic features and their hydrogeological predisposition.



Fig. 2: Geological overview of the Harz Mountains and surroundings; Harz. units not marked Devonian are predominantly Carboniferous (altered after Geologische Karte Harz 1: 100,000, Geol. Landesamt Sachsen-Anhalt, 1998).

Another riddle had to be solved that was not addressed ade-

quately by previous researchers and that is the problem of the varying outcrop widths. With a steady dip towards the south, the width of the outcropping 90 km-long Zechstein Belt should amount to about a kilometer depending on the thickness of the strata. Most previous maps of the Zechstein lack faults, for example the latest one published, the geological Quadrant 4227, Osterode (Jordan 1976). The geological profile accompanying the map shows how faults are avoided: where the Zechstein rests unconformably on the folded variscan rocks of the Harz, it dips south with about 10° but then, after about 1 km to the west the dip in the profile is reduced to 4°. At about 2 km into the profile the basis of the Zechstein should be 250 m, i.e. the maximal thickness of the Werra anhydrite, below ground. However, here a borehole shows that the variscan rocks were reached at a depth of only 125 m below the surface. With an assumed total thickness of 440 m the Zechstein strata should dip below the Buntsandstein 2.5 km into the profile, i.e. at about the location where the white gypsum cliffs rise north of Osterode. Faults of about 480 m uplift would be needed to maintain the steady dip of the

Zechstein basis. In Jordan (1976), there is no discussion about this discrepancy and there is no explanation why the presence of faults is dismissed. It is simply assumed that the dip of the Zechstein basis is diminishing southward. This assumption is also used in many other profiles in the literature. In case of the profile on Quadrant 4227, Osterode faults would have the advantage of explaining why the river that runs across the profile, the Söse, is deflected from its NE-SW course when leaving the Harz to a SE-NW course. Faults in this direction are numerous in the folded Paleozoic on the same geological Quadrant. These faults are in parallel to the thrust-fault that uplifted the Harz in the north, striking NW-SE, a direction that bears the name "hercynian" in German tectonics (*i.e.*, lat. "*Hercynia*" for "Harz"). Why would the Zechstein not show faults of this direction?

One further problem is associated with the nine geological 1:25,000 Quadrants representing the South Harz Zechstein: some of them are more than a hundred years old and at the time the cyclic nature of the Zechstein (*e.g.*, Richter-Bernburg 1955) was not properly understood. The gypsum layers were differentiated into older and younger strata, while there are three cycles present that can be differentiated in mapping: The Werra, Stassfurt and Leine Cycles (sometimes the thinly developed Aller Cycle is present as well). The upper three cycles are only present in deeper parts of the North-German basin (the Ohre, Friesland and Fulda Cycles)

Because the former "iron curtain" -the border between West- (BRD) and East-Germany (DDR)- divided the Zechstein belt there is no unified view of the regional geology of this important karst area. Only sections of the belt were dealt with in the west by Herrmann (1956), Jordan (1979) and Kulick & Paul (1987). Williams-Stroud & Paul (1997) and Paul (2014, 2016) repeatedly advanced the hypothesis, that recurrent outcrops of gypsum are "gypsum piercement structures", i.e. gypsum ridges formed by diapiric rising driven by porewater and dehydration water release early in the diagenetic processes and during the formation of anhydrite. This process, if operating at all, would, however, not increase the entire thickness of the respective sulfate formation, since it would conserve initial sulfate mass. It would not solve the problem of varying outcrop width of the Zechstein Belt. It would only add to the complexity of the internal structure of the gypsum/anhydrite strata that is partly characterized by subaquatic slides causing synsedimentary intra-strata folding (*e.g.*, Herrmann & Richter-Bernburg 1955).

In East-Germany geological mapping was hindered by the vicinity to the heavily guarded and fortified border, by limited funds and differently structured university courses. However, cave exploration and the study of old mining documents did add considerable information. It was made available through a series of booklets published by the Karst Museum at the Heimkehle near Uftrungen and authored by Christel and Rainer Völker (compare Völker & Völker 1986 and recently Völker & Völker 2019). The research and documentation that accompanied the mining for coppershale was also important, concerning stratigraphy and tectonics of the Sangerhausen Basin or the Thuringian Basin (Seidel 1974). After German reunification in 1989 Paul *et al.* (1998) published a newly surveyed section of the gypsum karst near Stempeda.

The mentioned tectonic and stratigraphic ambiguities and the positive results obtained during the Hainholz mapping in 1970 (Kempe *et al.* 1970) and the following hydrogeochemical surveys (Brand *et al.* 1975; Kempe 1982) spawned the idea to remap the entire Zechstein Belt and to analyze it in view of the general tectonics of Central Germany as well as to advance our understanding of karstic springs and karst water courses. Since 1986 (beginning in Förste in the west and progressing eastward to Morungen) nearly the entire area of the 338 km² of the Zechstein Belt was re-mapped during diploma theses and university mapping courses supervised and conducted by the second author. This was the basis of the doctoral thesis of the first author who had the task to unite all maps into one new Zechstein map and to develop a tectonic model that could explain the open questions and integrate the South Harz into the general tectonic evolution of the Harz and Central Europe.

9.3 GEOLOGICAL SITUATION

After the variscan orogeny along NE-SW fold axes and the peneplanation of its mountains in the Upper Carboniferous, Central Europe was exposed to stress fields that first caused (i) extension and widespread basin formation, followed (ii) by strong compression and uplift, succeeded (iii) again by dilatation. Formerly these processes were summarized as "Saxonic Tectonism" but should better be called "inversion tectonics" (*e.g.*, Kley 2013). The basins that formed in the first extension accommodated both marine and terrestrial sediments several kilometers thick up to the Upper Cretaceous. The consecutive compression resulted from the stress field between Iberia-Briançonnais and Baltica (Kley & Voigt 2008: 841) and resulted in widespread uplift. The recent stress is associated with the opening of the Atlantic leading to rhenian striking graben structures. These stresses resulted in open folding, faulting, overthrusting and jointing of the rocks. There are several general directions of these tectonic elements that are common in Central Europe (Carlé 1955):

NNE - SSW	rhenian	0 - 10°
NE - SW	erzgebirgian – variscan	40° - 60° , 70° partly
WNW-ESE	hercynian	large range 85° - 125°
NNW-SSE	eggian	150°

The compression (ii) led to the uplift of southward dipping blocks of variscan folded series along steeply northward inclined thrust faults striking NW-SE such as the Harz Mountains, about 90 km long NW-SE and 30 km wide. The Harz exposes mostly Devonian and Carboniferous slate, grey-wacke and volcanics (Fig. 2). Along its northern border the range was thrusted over the Upper Cretaceous series in several pulses along faults striking hercynian NW-SE (*e.g.*, "wrench-faulting"; Wrede 1979, 1988). The consecutive extension (iii) of Europe led to extensive graben systems. One of them is the NNE-SSW striking Upper-Rhine-Graben, the origin for the "rhenian" direction in Central Europe. Hercynian and rhenian faults and joints dominate the tectonics in Central Europe and are clearly seen as determining the direction of many cave passages and groundwater flow.

The Harz block slopes southward and dips below the unfolded post-Carboniferous strata. From east to west the transgression across the variscan rocks is first by upper Carboniferous clastics (Mansfelder Schichten), then by clastics of the Rotliegend (lower Permian) and then by the Zechstein itself. Its transgression must have been rather fast since it left a gravelly, calcareous, i.e. marine, conglomerate and apparently covered the entire area of the modern Harz with an at least 100 m deep anaerobic basin. Ocean water intruded from the NE across shallow sills. The first marine layer was a laminated black marl, rich in organics and sulfidic ores, the "copper-shale" with its famous fishfossils like the ganoid-scaled Palaeoniscum freieslebeni (e.g., Kuhn 1964). This layer -often less than 30 cm thick- was mined since Bronze age. Situated at the tropics, the intracontinental sea became hypersaline with high evaporation rates. As the Zechstein Basin subsided further, four cycles of clay, carbonate-, sulfate- and chloride-salts were deposited in the region (Table 1): The Werra, Stassfurt, Leine and Aller Cycles. The total thickness of the series is difficult to assess because today the salt layers are missing, the anhydrite turned near-surface into gypsum with a gain in volume of 26 %, and gypsum is also dissolved quickly: The Hainholz hydrological data allowed to calculate this loss to about 4 m/10,000 a (Kempe & Emeis 1979). Dissolution of gypsum proceeds both from below by water advected through the underlying carbonate strata and from above by precipitation (Brandt et al. 1976). Where the gypsum has been dissolved, marly, carbonate-clasts bearing residual sediments form (Rauhwacken). Due to the dissolution of salt and gypsum, much of the sediment column above the Werra sulfate is broken and collapsed, making it difficult, if not impossible, to obtain correct dip and strike measurements.

Due to the dissolution of the salt before the Zechstein is exposed - followed by the dissolution of the gypsum - thickness of layers are difficult to assess. For example, the boreholes north of Osterode (Katzenstein, Petershütte), mentioned above, reach the **z1K** (Zechsteinkalk) at depths of 98, 125.4 and 124 m (Jordan 1976:134). These depths are added to the height of the gypsum escarpment of 100 m west of the well sites. Thus, a minimum thickness of the **z1A** (Werra -Anhydrite) of 225 m

is obtained. Allowing for some loss by surface dissolution the maximal thickness is given as 250 m. Such a calculation seems to be straightforward but does not allow for the possibility of faults below the Söse River. If considering this possibility, the actual z1A thickness could be much less, amounting to 100 - 150 m only. The first two boreholes are only 150 m apart in a N-S direction. If there were no faults, they should have reached the z1K at roughly the same depth, but this is clearly not the case. Thus, doubt exists that an approach dismissing faults is geologically correct when calculating strata thicknesses.

Signature*	Stratigraphy (German Formation Names)	Thickness Cycles			
su	Lower Buntsandstein (including Bröckelschiefer)	> 200 m	Triassic		
z4A	Aller-anhydrite	< 2 m		Aller Cycle	
z4T	Red salt-clay (Roter Salzton)	8 - 10 m			
z4A	Leine-anhydrite (Hauptanhydrit)	35 - 70 m		Leine Cycle	
z3K	Leine-carbonate (Plattendolomit)	2 - 25 m			
z3T	Gray salt-clay (Grauer Salzton)	3 - 10 m			
z2A	Stassfurt-anhydrite	0 - 30 m	Zechstein	Staßfurt Cycle	
	(Sangerhausen-Anhydrit and Basal-Anhydrit)				
z2K	Stassfurt-carbonate (Stinkkarbonat, Stinkschiefer)	0 - 60 m			
z2T	Brown-red salt-clay (Braun-roter Salzton)	0 - 2 m			
z1A	Werra-anhydrite	0 - 250 m			
z1K	Werra-carbonate (Zechsteinkalk)	0 - 10 m		Warra Cuala	
z1T	Copper-shale (Kupferschiefer)	0 - 0,5 m		wella Cycle	
z1C	Zechstein-conglomerate	0 - 3 m			
c/d	Discordance:	Dra Zachetain			
	Rotliegend, Upper Carboniferous and Devonian		Pre-Zechstein		

Table 1: Stratigraphy of the outcropping strata of the South Harz Zechstein Belt (Herrmann 1956, 1981b).

*Signatures according to symbol key of LBEG (11/2002)

The situation is better for the Quadrant 4523 of Kelbra in the east (Schriel & Bülow 1926). Here ten boreholes were sunk to explore for copper-shale. All of them stood in the Lower Buntsandstein and penetrated the entire Zechstein. Some encountered salt, both the **z1Na** which is 5 to 6 m tick and the **z2Na** preserved in Well 3 with over 100 m thickness (it is up to 600 m thick in the central basins). Gypsum dissolution should not have occurred to any extent. The average Zechstein thickness without salt was 161 m (min 130 m, max 182 m). The calculated inclination of strata is 7° (Schriel & Bülow 1926:39).

One more complexity has to be considered and that is thickness and facies changes across the Eichsfeld-High (Fig. 1) (Herrmann 1956, 1969a; Priesnitz 1969a; Paul 1987). Figure 3 gives a rough scheme of the function of this paleogeographical ridge (note that thicknesses are depending on the total depth of the basin, which is unknown). During the Werra Cycle water depth on the Eichsfeld-High was shallow so that dolomite ("Hauptdolomit") precipitated instead of **z1K** ("Zechsteinkalk") and **z1A** (Werra-Anhydrite). Stromatolite reefs like the "Römersteine" and the "Westernsteine" grew on hardgrounds (Paul 1987; Röhling 2004). Gypsum precipitated from the extremely heated water column above the rise but was transported as fine-grained mud by wave action to the flanks of the rise. There it formed thick layers that show internal slumping due to the steep slopes. Similarly, the **z2K** is much thicker and dolomitic on top of the rise than its layers in the basin. Neither **z1A** nor **z2A** were therefore deposited on top of the Eichsfeld-High. During the Leine Cycle the High was finally flooded and the **z3T**, **z2K** and **z3A** were deposited across it as well as **z3Na** (not shown).



Fig. 3: Much exaggerated schematic NW-SE profile across the Eichsfeld-High, (altered after Paul 1987). For stratigraphic abbreviations see Table 1, halite z2Na schematic.

9.4 METHODS

The east-west division of Germany prohibited a comprehensive and unified approach to the South Harz, its stratigraphy and tectonic. Of the nine 1:25,000 Quadrants concerned with the Zechstein Belt, only sheet 4227 has been re-edited (Jordan 1976), while most of the Quadrats are about 100 years old, some of them originating from the late 19th century. In 1986, The second author started a long-term project to map the Zechstein Belt at a scale of 1:10,000 within the diploma course (equivalent to MSc courses) requirements at the Geological and Paleontological Institute of the University of Hamburg with the last section assigned at Walkenried in 1989. In the same year the fall of the wall in Germany opened the possibility to continue mapping eastward. After 1994, when the second author changed to the Technical University of Darmstadt (Institute of Applied Geosciences), mapping was continued during basic and advanced mapping courses and as bachelor theses. Overall, about 40 theses were supervised that mapped Zechstein areas. This material, plus the published geological maps plus additional field work, lists of wells and of sinkholes are summarized in the current PhD thesis of the first author. Sinkhole maps and locations were kindly made available by the Ing. Office Völker, Uftrungen. Information on mapping techniques and the maps used and their authors are found in the thesis (Hubrich 2020).

All maps were scanned and entered in ArcGISTM and georeferenced. Different layers contain the geographical maps, the published geological Quadrants, the diploma theses maps, the mapping course results, sinkhole maps and other information. The georeferencing allows to calculate areas and lengths and to conduct statistical analyses. The aim was to create one consistent geological map, from which a map without Quaternary was to be deduced which in turn would be the basis to analyze tectonics. Quaternary deposits are widespread in the area: Harz river terraces, glacial loess and loess loam, remains of Elsterian moraines (characterized by Baltic Cretaceous flints and Scandinavian erratics) as well as periglacial solifluction blankets covering together 158 km² (of which 12 km² are solifluction areas) or 47 % of the 338 km² of Zechstein. The areas of the z1A, z2A, z3A, z1K, z2K and z3K amount to 31, 11, 12, 19, 83 and 5 km², respectively.

To derive at a plausible tectonic model the geological maps were used to construct 150 downdip geological profiles every 500 m from west to east. To do so, the regional dip is needed. It can only be measured reliably for the well-bedded **z1K**, the Zechsteinkalk, because it is not affected by dissolution of layers below it. All other formations rarely give a reliable dip figure because of the possibility of subaqueous slip or dissolution of layers below (salt, gypsum). However, even this "mapping rule" is ambiguous since the **z1K** was deposited onto the Carboniferous and Lower Permian paleomorphology displaying a landscape with low hills and ridges, incised by valleys. Table 2 lists all **z1K** dip measurements used in the diploma theses. The weighted average (using 4° for the first group and 19° for the last group and average mean values for the other groups) gives an average dip of 10.6°. The general dip of the Zechstein southward was also revealed by the copper shale mining in the Sangerhausen Basin (Figure 4).

Tuble 2. Shalishes of measured LIN dip.			
Dip (°)	N of cases	in %	
0-4	13	20	
5-9	12	19	
10-14	26	41	
15-19	7	11	
> 19	6	9	
Sum	64	100	

Table 2: Statistics of measured z1K dip.



Fig. 4: NW-SE profile (between the mines Röhrig and Bernhard Koenen II) through the Sangerhausen Basin according to results of copper-shale mining illustrating faulting (Stedingk et al. 2006). Note the presence of both south-lifting (in part reverse faulting, blue arrows) as well as north-lifting faults- (in part normal faulting, red arrows) with the first having the larger sum of thrust. On the right-hand side, the profile bends towards to E.

Morphology was taken from the topographical Quadrants. Constructing the profiles was an iterative process, similar to the task to solve equations with too many unknowns: Dip angle, thickness of layers, distance between faults, amount of fault offset all had to be considered. The process was aided by comparing the various overlapping maps in a trial to find the most plausible solution. Thus, faults that were mapped in one section and in the next over could be connected through an intermediate area covered for example by Quaternary. If nothing else was available and away from the Eichsfeld-High, 6° of dip and thicknesses of 100 m for the **z1A**, 50 m for the **z2A** and 50 m for the **z3A** was assumed. Including the carbonate and clay strata, a column of 150 to 180 m (which is similar to the well length of the Zechstein without salt from Quadrant 4532, Kelbra, see above) was assumed. This thickness would cause an outcrop width between 1.43 and 1.72 km.

Apart from the high proportion of Quaternary cover, other features make it difficult to locate faults. There are two stratigraphic reasons: (i) Faults within the sulfate formation are almost invisible, because initial fissures in anhydrite that become wide enough to allow passage of seepage water would quickly convert the anhydrite to gypsum that expands and closes the fault fissure. This can, for example, be seen in the ceiling of the Himmelreich Cave (Fig. 5).
The second factor (ii) is the dissolution of gypsum, specifically of the **z1A**. It causes the **z2K** to collapse over it, draping the **z1A** surface with its shards. These can be plowed and used for agriculture so that over thousands of years, slight morphological indications of the fault line was obliterated.



Fig. 5: A tectonic fissure in the ceiling of the Himmelreich Cave, the sides of which have been hydrated to white gypsum within the original gray anhydrite (width of image ca. 1 m).

Just as hampering are (iii) the areas covered by residuals. Towards the Harz the z1A is often entirely missing due to dissolution so that the z1K is covered by residuals which in turn is covered by disintegrated z2K.

The **z3A** can also be missing, leaving a calcareous, silty and clayey mixture of fine- and coarsegrained fragments.

Faults are located in the field by mapping offsets of the "marker-strata" (**z2K** and **z3T**) ("stratigraphic faults"; labeled "K" in the maps following below). Less certain are locations of faults revealed by rows of sinkholes or linear uvalas ("sinkhole faults"; labeled "E"). In a few instances, caves reveal faults ("cave faults"; labeled "H") like the one exposed in the Große Trogsteinhöhle (Reinboth 1969). Another family of faults are those that arise from constructing the cross-sections ("profile faults"; labeled "S") or that are needed to complete the overall tectonic pattern ("mosaic faults"; labeled "M"). Other faults are placed below obvious valleys and river courses ("valley faults"; labeled F). Finally, faults are revealed by wells because the depth, where certain strata are reached, does not fit with neighboring wells or exposures ("well-derived faults"; labeled "B").

For each of the fault segments, category-label, length and direction are saved in ArcGISTM allowing further statistical analyses. In order to discuss specific areas, the entire South Harz was divided into clusters (coinciding with the topographic Quadrants) and partitions (labeled A1 to A18 West to East; Fig. 6).

9.5 TECTONIC MODEL

Mapping showed that "stratigraphic faults" are relatively closely spaced, i.e. with distances often less than 100 m. It would be wrong to assume that all of them are reverse, south-lifting faults responsible for extending the exposure width of the Zechstein Belt. On both sides of the Questenberg-Valley, which offered excellent exposures along steep valley sides, we find five well-documented reverse faults and one normal fault. Thus, there is a graben that is also revealed by the presence of a hummock of red clays and fine-grained sandstones of the Lower Buntsandstein being preserved among flanking gypsum exposures. This situation, remains of Lower Buntsandstein within the gypsum area, is also found elsewhere, suggesting that grabens are extensive features in the South-Harz tectonics.



Fig. 6: Overview of the tectonics of the South-Harz Zechstein Belt. The fault drawn in red is the prominent Neuhof-Morungen reverse fault.

One of the compressional reverse faults is the Agnesdorf-Morungen Fault that can be followed from Area A12 to A18 (Fig. 6). It is specifically prominent near Hainrode, both morphological as well as by stratigraphic off-set.



Figure 7 summarizes the network of faults derived for the Zechstein Belt giving their average directions per cluster. Its predominant direction follows the fringe of the South Harz and rotates from NW-SE to a more NE-SW direction. These seem to result from compressional forces and therefore date into the time, when the Harz was uplifted, *i.e.* into the Upper Cretaceous.

Fig. 7: Illustration of the dominating strike directions, averaged per cluster. (Note that the rhenian direction has to be turned by 90°, correct strike values are given below line).

However, the Harz-flank-parallel faults are dissected by others, more or less striking perpendicular to these. They re-occur at distances of kilometers in a wider spacing than the former,

bracketing blocks longer than wide. In the field these can be seen in many areas, e.g., at Hainrode

where N-S trending faults (rhenian) are off-stetting the Harz-flank-parallel faults (hercynian), suggesting that they are younger and that they are mostly associated with the N-S graben systems creating the river valleys that cross the Zechstein Belt. Therefore, these tectonic elements can be attributed to the third period of inversion tectonics, *i.e.* the ongoing dilation of the European Continent in Cenozoic times.

These *sensu lato* rhenian faults seem to be responsible for the consequent course of Harz rivers where they cross the Buntsandstein escarpment. In the Paleozoic Harz, the south-bound rivers follow the variscan (NE-SW) direction and then are deflected into a Harz-flank-parallel (subsequent) direction when entering the Zechstein Belt. The alternative hypothesis that the valleys are antecedent (their courses predating the uplift, like the Middle-Rhein valley) is not acceptable because then the rivers would not show a deflection to subsequent course. Thus, the consequent section of the valleys of the Söse, Sieber-Oder, Steina, Bere, Thyra, Nasse and Leine seem to be of young age, caused by the tectonic dilatation, allowing them to cross the Lower Buntsandstein escarpment southward, while Uffe, Wieda and Zorge fail to do so. Furthermore, one must take into account that the eastern Harz and the South Harz were covered by the Elsterian Glacier (MIS 12, ca. 450,000 aBP). It reached west at least beyond Nordhausen and must have filled and blocked the rivers from the Bere eastward. Furthermore, the wide-spread presence of the Oberterrasse (upper terrace) shows that once rivers were able to deposit sediments outside of present valleys.

Overall, the derived tectonic model looks like a mosaic. The faults mapped or constructed seem to divide some areas rather regularly. This may look rather artificial, but one must remember



that this is a model trying to tie together mapped faults with the hypothesis that the Zechstein-basis continues dipping southward without leveling off (Fig. 4). Otherwise the back-rotation of the Cretaceous uplift of the Harz would result in a northward dip of the Zechstein basis, an unlikely assumption. It also must be remembered that the locations of the constructed faults are only best guesses. However, where running below valleys, they ara much better constrained in their position.

9.6 REGIONAL TECTONIC MODELS

Before we can discuss the hydrogeology of the important springs and cave areas of the South Harz in view of tectonics, a more detailed overview of four key areas is given.

Fig. 8: Geological map, stripped of Quaternary,

9.6.1 The Osteroder Plateau

West of Osterode the Zechstein forms a NE-SW striking plateau (Fig. 8). It is bordered in the east at Förste by the Gittelde Graben, and in the south by the Sieber valley. The Hainholz/Beierstein with the caves Klinkerbrunnen, Martha- and Jettenhöhle, is located in the SW. To the NE, the folded variscan rocks of the Harz rise and in the SW the Zechstein is covered by the Lower Buntsandstein forming an escarpment.

Fig. 8: Geology – stripped of the Quaternary cover – and derived tectonics of the Osteroder Plateau (the western section of the Zechstein Belt). The line of the profile in Fig. 9 is marked in magenta. Colors refer to Table 1. Faults are labeled to identify them in ARCGIS. Letters refer to how the fault was identified as explained in the previous chapter.

Figure 9 gives the constructed profile through the plateau (magenta line in Fig. 8), illustrating the function of south rising faults to extend the width of the plateau. The z1A is largely covered by the disintegrated and collapsed z2K hiding most of the faults. The z1A is only exposed along the NE where it forms an impressive escarpment, today largely destroyed by quarrying for gypsum. Further south the upper Zechstein series are partly situated in grabens. The z3T covers larger areas towards the S. The z2A diminishes in thickness SE-wards towards the Eichsfeld High, which is also true for the z3A.



Fig. 9: Westernmost geological profile (location see Fig. 8) of the Zechstein plateau east of Förste, showing the repeated system of south rising faults. The longest fault - 23KS (see Fig. 8) - is probably the one responsible for gypsum-loaded mineral water supplying the "Grafenquelle", one of the Salza Spring-complex.

9.6.2 Römerstein – Weißensee Graben

The Römerstein-Weißensee Graben is a hydrologically and geomorphologically closed N-S striking valley (Priesnitz 1969b). On the published geological Quadrant 4429, Bad Sachsa two very short, N-S striking faults are marked that border an only 500 m-wide tectonic graben (Fig. 10 a,b). This was already described by Haase (1936). Its western flank is marked by the Römerstein, a prominent **z1K-D** exhumed stromatolite reef, and the eastern rim is formed by the Tettenborn **z2K** plateau. According to the results of a well drilled at the Römerstein (Paul 1987), the western fault (Römerstein-Fault) must have a displacement of at least 100 m, while the eastern fault (the Weißensee-Fault) has a somewhat smaller displacement. To the north the faults may converge into one fault along which the river Steina cut its course. The Graben most likely terminates south at the hercynian-striking Ichte-Fault. This fault continues as Helmetal-Fault (compare Fig. 1) forming a prominent valley within the Lower Buntsandstein west of Nordhausen. This fault may have acted as a strike-slip fault, re-activated to compensate the expansion of the Graben. It is filled by Harz-derived gravel and sediments of the Quaternary Lower Terrace forming a plain interrupted by active sinkholes including the Weißensee sinkhole. These sinkholes reveal the presence of the **z1A** within the graben. It sinks for most

of the year entirely when reaching the Zechstein. A prominent S-lifting fault is exposed in the Große Trogstein Cave (Reinboth 1969) where the Zehngärtenbach sinks (right).



Fig. 10: Geological (left) map, stripped of Quaternary, and tectonic model (right) of the Römerstein – Weißensee Graben. Blue color denotes the graben. Colors along faults mark relative thrust: red is up, blue down.

9.6.3 The Zechstein north of Nordhausen to both sides of the Bere valley



(Fig. 11B) used by the Bere river to break through the Lower Buntsandstein escarpment. The z1A is the most prominent formation of the area.

Fig. 11A: Geological map, white areas are covered by thick Quaternary deposits. Line of profile (Fig. 12) is marked in magenta.



Fig. 11B: The tectonic map showing the tectonic structure of *Red color denotes* horst, blue color graben. Areas marked in white S-dipping are blocks in-be-Colors tween. along faults mark relative thrust: red is up, blue down.

It is draped by the disintegrated z2K. Several south-lifting, E-W striking faults are responsible for the repeated uplift of the south-dipping z1A. Two grabens and one horst, striking E-W, are present (Fig. 11B). The horst coincides with the Himmelberg/Bromberg/Mühlberg ridge. The southern of the grabens is filled with lower Buntsandstein and upper Zechstein, it can be traced across the Bere Valley (Fig. 11 bottom). It is used by the Sachsengraben and Zorge river, tributary to the Bere.

The upper Zechstein sulfates (**z2A**, **z3A**) are not prominent on the western flank of the Bere Graben, gaining thickness only on its eastern side. Later, NW-SE striking faults structured the area further. Those on the western side of the Bere Graben seem to converge to an important karst spring, the Salza Spring.



Fig. 12: Geological profile through the Zechstein plateau west of the Bere Graben. Note the repeated uplift of the z1A due to a series of south-lifting faults. Note Zorge valley graben occupied by Lower Buntsandstein. For location see Fig. 11A.

In the published geological map (Quadrant 4430, Nordhausen-Nord; (Schriel & v. Gaertner 1930).) a hypothetical profile of the region was published (Fig. 13). It shows a strange, folded uplift, disturbed by several hercynian faults. One of the faults does not continue into the Zechstein but affects only the Rotliegend and the basement. Therefore, it must be dated into the narrow time span at the turn of the Rotliegend to the Zechstein, a highly unlikely event. Furthermore, the thickness and stratigraphic differentiation are different on both sides of the fault. This can only be explained, if the authors assumed that this is a transform fault. There is no real evidence for the fold and its faults in the field, nor do the authors explain why they have constructed it. Our guess is, that they were puzzled by the large width of the z1A exposure, which, in our model, is explained by a series of south-lifting faults. The Zorge Graben is explained as a syncline in the historic profile.



Fig. 13: Historic geological profile of Quadrant 4430, Nordhausen-Nord (Schriel & v. Gaertner 1930). Abbreviations different from those used here: Zo: Upper Zechstein (z2A and z3A); Zm: Middle Zechstein (z2k); A1: z1A; Zu1, Zu2: Lower Zechstein z1t, z1k; G: Gypsum; P_o: Lower Permian porphyrites; r: various lower Permian sediments; M: melaphyrs. For location see Fig. 11A.

9.6.4 The reverse fault at Hainrode

One of the best exhumed fault lines of the South Harz extents east of the small village of Hainrode, NW of Groß Leinungen, towards the end of our investigation area (Fig. 14). Here the Ssloping z1K (Zechsteinkalk) is partly stripped bare of the overlying strata and exposed at several places. It forms a ridge that exposes the underlying Upper Carboniferous sediments (Mansfeld Formation, Stefanian) at its crest. North of the ridge, the Zechstein is reoccurring in a valley starting with the disintegrated **z2K** (Stinkschiefer), followed uphill by the residual (cavernous carbonates and marl) z1A and again by the z1K. Lines of pits mark the former outcrop of the underlying z1T (Kupferschiefer, copper-shale) that has been mined since bronze age. The **z1K** is dotted by piles of waste where the later miners dug pits to extract the copper-shale from underneath the Zechsteinkalk. N-S striking faults offset the Hainroder fault at distances of several hundred meters. The Hainroder Fault has a thrust of at least 50 m, leading to a broadening of the Zechstein outcrop width. To the east, below the Ohmischen Berg and in the area of the Mooskammer, the fault runs in a valley within the upper Carboniferous. Such a valley could only have been formed because it was incised by dissolving the Zechstein sediments along the face of the impermeable reverse fault (Fig. 15). After removing the gypsum and limestone, the water course got stuck at the position of the fault, deepening the valley into impermeable rock by erosion. The river running through the valley westward sinks at the contact with the **z1K** and causes ongoing subrosion in the **z1A** below Groß Leinungen, making it the most sinkhole-prone village in the region.

To the west of Hainrode the reverse fault is offset by a few hundred meters to the south but can be followed from there for many kilometers west until Agnesdorf (red line in Figs. 6 and 14).

Fig. 14: Geological map and tectonic structure of the South Harz Zechstein around Hainrode, stripped of Quaternary deposits. The Agnesdorf-Morungen reverse Fault is marked in red; Profile lines of Fig. 15 are marked in magenta.

Fig. 15: Two profiles through the Agnesdorf -Morungen reverse fault at Hainrode (top) and Ohmischen Berg (bottom). Profile lines are marked in Fig. 14. A-M-F Agnesdorf-Morungen-Fault.



9.7 DISCUSSION OF HARZ KARST HYDROGEOLOGY OF THE SOUTH HARZ ZECHSTEIN BELT IN VIEW OF THE REGIONAL TECTONICS.

One of the outstanding features of the Zechstein Belt is that most of the rivers crossing it, sink when arriving at the **z1K** or **z1A**. Of the rivers Söse, Sieber, Oder, Steina, Uffe, Wieda, Zorge, Bere, Thyra, Nasse and Leine only Söse and Bere have appreciable summer discharge, all others can dry out entirely. It is not exactly known for some of these where their water reappears.

9.7.1 The Salza Spring at Förste

The tectonic model derived has unexpected consequences for our understanding of the South Harz karst landscape and its hydrogeology. One of the three large karst springs (Fig. 16) is the Salza-Spring at Förste (Haase 1962), at the western-most end of the South Harz. Figure 8 gives the stratig-raphy and tectonics of the area of cluster 4227. The Salza-Spring seems to be located at the western end of one of the reverse faults structuring the plateau (Fault 23 KS). This fault, as several of the others, is lifting the southern strip-like block up so that below the groundwater is prohibited to flow south within the **z1K** (Zechsteinkalk) below the Werra Anhydrite. Fault 23 KS would therefore divert water along an extensive front, including all the water that may sink within the Söse valley and its

gravel body of the lower terrace. The other faults would not have such a long front so that they, despite running in parallel, do not have such a capacity to divert water underground.

Fig. 16: Sketch of the Salza-Springs at Förste with halite concentrations in g/l (redrawn after Heinsen & Haase 1961, q.v. Kempe & Vladi, submitted).

The Grafenquelle, the eastern-most of the Salza-Spring complex of 35 springs (Fig. 16), was formerly used commercially for mineral water. It has a high sulfate and a low chloride concentration marking it as having derived from gypsum karst. Many of the other springs contain several grams of salt, as the name of the spring suggests. The halite could not have originated from the gypsum karst of the Osteroder Plateau but must derived from the Gittelde Graben to the west. The Graben is filled with Buntsandstein (Hintze & Jordan 1981) and the Zechstein below still contains salt. Halite bearing solutions are probably rising along the eastern boundary fault of the Gittelde Graben and mix with the water from Fault 23KS.

Historically, the salt-rich springs seem to have been the source of a certain wealth of the local bronze age population that used the Lichtensteinhöhle (Kempe & Vladi 1988, 2019) for secondary burials and memorial rites. The cave be-



came world-renown because the recovered bones allowed the reconstruction of family lines by DNA for the first time for ancient societies (Flindt 2004). Being a very narrow epigenic cave, its gallery is determined by the local tectonic joints, i.e. predominantly variscan (40-50°N) and hercynian (130°N) (compare also the western cluster of Fig. 7) (Kempe & Vladi 1988).

9.7.2 The Hainholz-Beierstein Preserve

The Hainholz-Beierstein, a 600 ha-large Natural Preserve features a several larger gypsum caves, i.e. Klinkerbrunnen, Marthahöhle and Jettenhöhle (Fig. 8). More than 20 other caves, mostly small, are known in the area (Kempe et al. 1972). Tectonically, the area is characterized by faults that include a z3A (Hauptanhydrite) graben (Kempe et al. 1970). Thus, small creeks collecting on the **z3T** are sinking at contact with the gypsum while on the other side of the graben, karst springs, saturated in gypsum, are issued (Brandt et al. 1976; Kempe 1982). The Jettenhöhle, in total 750 m long and featuring a series of large halls, is formed by calcite-saturated water ascending from the z2K-D (Stinkdolomit), a shallow hypogenic setting (Kempe 2014). In order for the water to rise, it has to cross the z3T (Grauer Salzton) that is intercalated between Hauptanhydrit and Stinkdolomit. This can only be done along faults (Kempe 2019). Thus, the existence of the Jettenhöhle reveals the presence of many more faults than are mappable on the surface. Mignat (1984) studied the jointing of the karren fields of the Hainholz as well as joints and filled fissures in the Marthahöhle and joints and general directions in the Jettenhöhle. His detailed analysis of hundreds of measurements and lineations showed the predominance of hercynian-rhenian jointing systems with noticeable eggianvariscan components. These observations are in accordance with the results of this study (compare Fig. 4).

9.7.3 The Rhume Spring

The largest South-Harz karst spring and one of the largest in Germany, is the Rhume Spring (Fig. 1), source of the Rhume River. The spring rises from a 9 to 10 m deep pot without any larger cave opening at the bottom (Frickenstein & Wunsch 1966). It discharges around 2 m³/sec on average with a minimum of 0.96 and a maximum of 5.43 m³/sec (Haase 1936; Liersch 1987). Its geological situation is also bound to tectonics: the spring rises out of the Zechstein z2K-D, while southwest of it the Lower Buntsandstein (su2) is down-faulted by 120 m (Herrmann 1969b). NE of the spring the su2 is also present, but more in the form of collapsed material overlaying the Zechstein. Hermann notes that sinkholes occur to the east but not to the west of the Rhume Spring. Thus, it appears as if the fault prevents any water to move further SW than the spring while salt and gypsum is dissolved to the NE of the fault. Missing layers (between the **z2K-D** and the **su2**) at the northern side complicate this interpretation. The tributary area of the spring is estimated by Herrmann to 350 km². It includes the areas of the rivers Sieber and Oder in the Harz that sink 6 to 9 km to the northeast of the spring. In summer, these rivers can sink entirely. Uranine tracing has shown that their water reappears at the spring (q.v., Böttcher & Rienäcker 1990). Haase (1958) calculated from 10-year discharge measurements that the rivers provide 62 mio m³/a of water to the spring annually, while 19 mio m³/a are provided by precipitation sinking in between sinks and spring in the heavily karstified Pöhlder Basin NE of the spring. This brings the total discharge of the spring to 81 mio m^3/a . The Pöhler Basin is covered with thick terrace sediments thus placing it outside of the remapping of the current study of the Zechstein Belt. Due to the importance of the Pöhlder Basin as a groundwater reservoir it was explored by several wells, summarized by Jordan (1979; Liersch 1987). The constructed profiles show several reverse faults as well as graben structures. However, the general dip to the south is not taken into account in these profiles and the frequency and direction of faults is difficult to reconstruct from exploratory and productive wells alone. In view of the 3 km wide basin, the total thrust of reverse faults should be larger than the sum of thrusts along normal faults.

9.7.4 The Fitzmühlen Spring Cave

The Zehngärtenbach and its small tributaries, that sink in the Kleine and 435 m-long Große Trogsteinhöhle (Reinboth 1969) (Fig. 10), flows along a reverse fault (4429 58 HM) that uplifted the underlying **z1K-D** forcing the collected water to flow along the eggian striking fault southeastward for 165 m. The surface of the dolomite dips towards the southwest until it is at the level of the Fitz-mühlen Spring, so that the vadose creek can turn west towards the spring flowing on top of the dolomite. Exploration of the Fitzmühlen Spring Cave (map by Andreas Hartwig, pers. com., 2007) yielded 545 m long, very low passages that zigzag along prominent eggian as well as variscan and hercynian joints without getting near the Trogsteinhöhle (Stolberg 1926; Biese 1931; Reinboth 1969; lengths by Kempe & Helbing 2000). The connection between the two caves is extremely low and remains unexplored.

The Fitzmühlen Spring Cave and water re-appearing from the Steina deliver water to a creek that has cut 6 m deep through the Steina terrace discharging its water south to an 8 ha-large, wide flat including the periodic Nixsee, interpreted as a karst polje (Priesnitz 1969b). The flat is devoid of sinkholes and can hold water for months, indicating that the underground is composed of the impermeable z3T (Grauer Salzton). The water of the Nixsee sinks in a ponor at its eastern border in the z3A, with unknown re-occurrence.

9.7.5 The Salza Spring at Nordhausen

Another important gypsum karst spring, also called "Salza Spring", is located north of the city of Nordhausen (Figs. 1, 11), albeit outside of the Bere valley and below the **z1A** ridge of the Kohnstein, once the site of the concentration camp Dora. It was infamous for its cruelty and the building of the V1- and V2-weapons in artificial tunnels within the **z1A** anhydrite.

The discharge of the Salza Spring is about 0.4 m³/sec on average with a maximum of 1.4 and a minimum of 0.15 m³/sec (q.v. Völker & Völker 2016). The name of the spring and its river suggests that the spring carries salt. Already Behrens in 1703 pointed this out, but apparently failed to taste any. Not many water analyses were published; Haase (1936) made 13 chloride-analyses from samples taken between the 6th of January and the 28th of September 1933, at three of the spring points (Fig. 17) at varying discharges. The averages for the Salza Spring Pond, the Stiefel Spring and the Grundloses Loch Spring were 15.73±2.05, 24.57±1.83 and 25.37±1.91 mg Cl/l, respectively, representing 26, 40 and 43 mg NaCl/l (Fig. 17). The standard deviations are similar between the three sampling sites but if recalculated for the coefficient of variation (13.05, 7.44 and 7.53 percent, respectively) it is found that the shallow Spring Pond (the largest source of water) has a higher variability in its Cl-concentration than the other two springs. Haase also pointed out that these latter springs have a slightly higher temperature and a higher total dissolved solid load (analyzed as residual: 1248, 1474 and 1663 mg/l, respectively) and argued that these springs derive from deeper conduits with longer residence times. The halite content measured by Haase is much smaller than that



of the Salza Spring at Förste. A later analysis by Schuster (q.v. Völker & Völker 2016) measured a chloride concentration of 240 mg/l (February 24th, 1971), which would be clearly a concentration beyond the geogenic background of groundwater unaffected by salt in Germany. Two further analyses yielded only 31 and 71 mg/l (1981 and May 2016, resp.; Völker & Völker 2016). Compared to the 13 samples from 1933 these concentrations are higher and represent a higher variability.

Fig. 17: The Salza Spring at Nordhausen and the halite concentrations in mg/l measured by Haase (1936).

Any tectonic model must therefore take into account that the karst water may had contact to salt layers along its path in the past and occasionally at present. So far, no valid explanation was given for the specific geological situation of the Salza Spring even though Haase (1936) assumed that its waters derive from the Zorge and Wieda rivers sinking to the North.

The old, published profile through the

Kohnstein (Fig. 13) that assumed an anticline of impermeable Lower Permian volcanics and/or sediments below the Kohnstein would prevent any karst water flow from the north. Karst water flowing through the **z1K** and **z2K** could not reach the Salza Spring and would be diverted along the faults E to the Bere valley. Our interpretation of the geological map under the assumption of a steady dip towards the south (Fig. 12) explains the reoccurrence of the **z1A** by reverse faulting. In the E-W striking Sachsengraben/Zorge valley, separating the two main **z1A** ridges (Himmelberg/Bromberg/Mühlberg and Kohnstein) Buntsandstein occurs, indicating a tectonic graben. Within this graben, salt may still be present at depth. Also (q.v. Völker & Völker 2016) salt lenses were found within the **z1A** during the mining for the artificial tunnels in WWII. These layers could be the source of small amounts of halite.

Our model (Fig. 12) has principally the same problem as the published profile, water would be diverted along the impervious Rotliegend sediments and volcanics along the E-W faults towards the Bere valley. At the surface, these Harz rim parallel faults are responsible for the E-W valley of the Sachsengraben/Zorge. The Figure 12 N-S profile, however, depicts only the E-W striking faults, not those trending perpendicular to them. Figure 11 shows the geological and tectonic map of the respective area. Several small rivers cut the z1A ridges. They seem to follow faults converging towards the Salza Spring. Along those water can cross the underground barriers created by the reverse faults diverting karst water south until the normal fault (Fig. 12 left) - south of the Salza Spring forces the water up. This is like the tectonic situation at the Rhume Spring. Along the course of these cross-cutting faults the water could have leached salt remaining in the Buntsandstein Graben or out of the z1A. South of the Salza Spring the downfaulted Buntsandstein protects the Zechstein from leaching. There, salt is still available below ground, as evidenced by sinkholes in the Lower Buntsandstein (Quadrant 4430, Nordhausen-Nord). It is, however, unlikely that this salt rises from the Salza Spring because it is not hydrothermal but has temperatures like the regional annual mean (see temperature measurements in Haase 1936 and Völker & Völker 2016). Thus, both the peculiar location of the Salza Spring and its old name find an explanation in our suggested tectonic and geological structure.

9.7.6 The reverse fault at Hainrode and its hydrogeological consequences

Along this Agnesdorf-Morungen Fault at Hainrode (Fig. 14) karstic groundwater is diverted E-W, causing massive dissolution of the lower Zechstein (**z1A**, **z1K**) illustrated by rows of sinkholes and dry valleys. Karst water can only escape south at substantial N-S faults and grabens (Fig. 18).

Fig. 18: Sketch of groundwater flow along the Hainrode reverse fault.

9.8 CONCLUSIONS

So far, the South Harz Zechstein sulfate karst has not been looked at from a unified per-



spective. This was not only due to the German division in East and West, but also to the fact that no standardized geological map and no overall tectonic model existed. With the doctoral thesis by the first author (Hubrich 2020) the situation changed. In evaluating numerous new geological field surveys plus the published old (partly older than 100 years) geological Quadrants (1:25,000) a digital geological map was constructed with the modern division into three evaporative cycles (the fourth cycle is present as well but is only rarely exposed). Since the area is covered to 43% by Quaternary deposits (river terraces, loess and remains of the Elsterian tillite), the tectonic interpretation had to rely on those areas that could be mapped at a high resolution (1:10,000). The overall assumption was that the Zechstein-series was tilted by several degrees southward due to the tilting of Harz mountains during the Upper Cretaceous. Mapping showed that much of the area is affected by South Harzparallel (in the widest sense "hercynian") reverse faulting, explaining the variously wide outcrop area of the Zechstein. Without these faults, the Zechstein belt would rarely exceed 1 km in width despite varying thicknesses of the strata. Additionally, the terrain is preserved can be followed for many

kilometers north of Nordhausen. Later, dilatational forces produced "rhenian" (in the widest sense) graben features, perpendicular to the E-W striking belt. The conclusion that such a model is valid is substantiated by the profile across the Sangerhausen Basin obtained by copper-shale mining (Fig. 4), showing that the Zechstein is uplifted many times along normal and reverse faults. Otherwise the copper-shale mining would have had to operate at depths well below 1000 m.

It is understood that the derived pattern of faults is a model and that in many areas the exact location and number of faults may be up to discussion. The problem at hand is like solving an equation with three unknowns, inclination, thickness and faulting with only knowing surface geology and geomorphology. However, the reconstruction not only shows internal consistency, it also is embedded into the larger tectonic history of Central Europe and it can explain prominent features of the karst hydrology and morphology. Specifically, E-W striking faults play an important role. Within the stack of Zechstein evaporites, only the carbonate layers z1K and z2K are - due to their layering and jointing - natural aquifers. Through these layers water can flow south following the general inclination of the strata. When arriving at a revers fault, it would encounter impervious rocks of the underlying silty or clayey and/or folded Pre-Zechstein formations. Thus, the water is diverted from a southern to an E-W directed flow, potentially feeding springs along cross-cutting N-S valleys. The most prominent of such springs is the Salza Spring near Förste. In case of the Rhume Spring and the Salza Spring at Nordhausen, downfaulted Lower Buntsandstein creates the condition for an overflow spring. However, the water arriving at these points must have been directed there by N-S crosscutting faults, undoing the importance of south lifting faults. This is especially true for the Nordhausen Salza Spring where several faults seem to converge, guiding water sinking in several creeks to this spring location.

Not all the water sinking is necessarily reappearing in karstic springs. Some of the water, such as that sinking in the Nixsee basin, seems to disappear in the deeper karstic underground below the Buntsandstein. In contrast to these deeply circulating waters, the South Harz Karst has also developed shallow karstic systems, such as that of the Beierstein, Hainholz and Trogstein. These are also depending on tectonics.

Much is still to be learnt about the South Harz karst systems. Modern methods as for example helium isotopy or noble gas concentrations could help to understand deep karstic systems. Also, there are still many sinks that have never been studied by water tracing as to their reappearances.

9.9 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are highly indebted to the numerous students that scouted the area during mapping courses and during their Diploma, Master and Bachelor theses. Over the years discussions with many colleagues promoted the project, too many to be listed here with the chance to miss somebody that should be thanked. Christel and Rainer Völker kindly made their sinkhole cadaster and the speleologists from the Arbeitsgemeinschaft für Karstkunde, Harz, made their cave surveys available to the authors. Our librarian, Petra Kraft, helped in getting theses and literature. The Nature Preserve Administrations granted access to protected sites. Furthermore, suggestions of an unknown reviewer helped to improve the presentation.

9.10 REFERENCES

- Behrens, G.H., 1703: Hercynia Curiosa oder Curiöser Hartz-Wald.- Carl Christian Neuenhahn, Nordhausen, 200+16 pp register.
- Biese, W., 1931: Über Höhlenbildung, 1. Teil, Entstehung der Gipshöhlen am südlichen Harzrand und am Kyffhäuser.- Abh. Preuß. Geol. Landesanst., Neue Folge 137, 71pp.
- Böttcher, M.E. & I. Rienäcker, 1990: Hydrogeochemische und isotopenchemische Untersuchungen an Grundund Oberflächenwässern am Südwestrand des Harzes während eines künstlich induzierten Hochwassers.- Z. Wasser- Abwasser-Forsch. 23, 136-140.

- Brandt, A., Kempe, S., Seeger, M. & F. Vladi, 1976: Geochemie, Hydrographie und Morphogenese des Gipskarstgebietes von Düna/Südharz.- Geol. Jb. C 15, 3-55.
- Brust, M.K., 2008: Die "Mansfeldischen Kalkschlotten" und ihre Bedeutung für den historischen Kupferschieferbergbau.- Exkurs. F. und Veröffentl. Deut. Geol. Ges. 235, 10-18.
- Brust, M.K. & J. Graf, 2016: Die Schlotte auf dem Segen-Gottes-Stollen und die Elisabethschächter Schlotte, zwei touristisch zugängliche Höhlen im Gipskarst (Landkreis Mansfeld-Südharz, Sachsen-Anhalt).-Grubenarchäologische Gesellschaft e.V., online Publikationen, 13pp. (https://untertage.com/downloads/Brust_et_Graf_2016_Die_Schlotte_auf_dem_Segen-Gottes-Stollen_etc.pdf)
- Carlé, W., 1955: Bau und Entwicklung der Südwestdeutschen Großscholle.- Beih. Geol. Jb. 16, 272 S 4 T, 45 Abb.
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & J.-X. Fan, 2013 updated 2018/8: The ICS International Chronostratigraphic Chart.- Episodes 36, 199-204.
- Flindt, S., 2004: *Die Lichtensteinhöhle*. 10 Jahre Forschung unter Tage.- In: *Archäologie Land Niedersachsen*, 400.000 Jahre Geschichte, Oldenburg, <u>ISBN 3-8062-1926-5</u>.
- Freiesleben, J.C., 1809: Geognostische Arbeiten.-, Craz und Gerlach, Freiberg, Vol. 2, 160-191.
- Frickenstein, R. & A. Wunsch, 1966: Über die Tiefe der Rhumequelle im Südharz.- Mitt. Verbd. Dt. Höhlenund Karstforscher 12(4), 98-100.
- Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt in Kooperation mit dem Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, 1998: Geologische Karte Harz 1: 100 000.- Geol. Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle.
- Haase, H., 1936: Hydrologische Verhältnisse im Versickerungsgebiet des Südharz-Vorlandes, Dissertation.-Georg-August Universität zu Göttingen 218 pp., 9 T, 2 A.
- Haase, H., 1958: Neue Forschungsergebnisse von der Rhumequelle.- Heimat-Kalender des Kreises Osterode und des Südwestrandes des Harzes, Osterode/Harz, Giebel und Oelschlägel, 36-41.
- Haase, H., 1962: Von den Salzquellen in Förste.- Heimatkalender für den Landkreis Osterode am Harz.
- Heinsen, E. & H. Haase, 1961: Gutachten über die Herkunft des Mineralwassers in den Förster Salzquellen zu Förste, Kr. Osterode (Harz).- Mscr. 36pp., 14 Anl.; Osterode am Harz (unpubl.).
- Herrmann, A., 1956: Der Zechstein am südwestlichen Harzrand (seine Stratigraphie, Fazies, Paläogeografie und Tektonik).- Geol. Jb. 72, 1-72.
- Herrmann, A., 1964: Gips- und Anhydritvorkommen in Nordwestdeutschland.- Silikat J. 3(6), 442-466.
- Herrmann, A., 1969a: Einführung in die Geologie, Morphologie und Hydrogeologie des Gipskarstgebietes am südwestlichen Harzrand.- Jh. Karst- u. Höhlenkunde 9, 1-10.
- Herrmann, A., 1969b: Die geologische und hydrologische Situation der Rhumequelle am Südharz.- Jh. Karstu. Höhlenkunde 9, 107-112.
- Herrmann, A., 1981a: Eine neue geologische Karte des Hainholzes bei Düna/Osterode am Harz.- Ber. Naturhist. Ges. Hannover 124, 17-33.
- Herrmann, A., 1981b: Zum Gipskarst am südwestlichen und südlichen Harzrand.- Ber. naturhist. Ges. Hannover 124, 35-45.
- Herrmann, A. & G. Richter-Bernburg, 1955: Frühdiagenetische Störungen der Schichtung und Lagerung im Werra-Anhydrit (Zechstein) am Südwestharz. Z. dt. geol. Ges. 105, 689-702.
- Hintze, C., Jordan, H. with contribution by Friedrich, H. v. & P. Meiser, 1981: Die Westrandstörung des Harzes.- Z. dt. geol. Ges. 132, 17-28.
- Hubrich, H.-P., 2020: Aufklärung der tektonischen Struktur des Harz-Südrandes und dessen Genese seit dem Perm durch Erfassung der Geologie des Südharzer Zechsteins im Maßstab 1:10,000.- Dissertation TU-Darmstadt, in preparation.
- Jordan, H. (ed.), 1976: Geologische Karte Niedersachsen 1:25 000 und Erläuterungen zu Blatt Osterode Nr. 4227.- Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, 5 maps,148 pp.

- Jordan, H., 1979: Der Zechstein zwischen Osterode und Duderstadt (südliches Harzvorland). Z. dt. geol. Ges. 130, 145-163.
- Kempe, S., 1982: Long-term records of CO₂ pressure fluctuations in fresh waters. Habilitationsschrift. In: Degens E.T. (ed.) *Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers*, Pt. 1, Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderband 52, 91-332.
- Kempe, S., 1996: Gypsum karst of Germany.- In: Klimchouk, A., D. Lowe, A. Cooper & U. Sauro (eds.) Gypsum Karst of the World, Intern. J. Speleol. Spec. Issue Vol. 25(3-4), 209-224.
- Kempe, S., 2014: How deep is hypogene? Gypsum caves in the South Harz. In: Klimchouk, A., Sasowsky, I.D., Mylroie, J., Engel, S.A., & Engel, A.S. (eds.) *Hypogene Cave Morphologies*, Karst Waters Inst. Spec. Publ. 18, 57-64. (Proc. San Salvador, Bahamas Feb. 2-7, 2014).
- Kempe, S., 2019: Die Sedimente der Jettenhöhle im NSG Gipskarstlandschaft Hainholz bei Düna im Südharz.-Mitt. Verband d. Deutsch. Höhlen- Karstforscher 65(1+2), 11-18.
- Kempe, S. & K. Emeis, 1979: Geschichte einer Schlotte im Naturschutzgebiet Hainholz/Südharz.- Heimatblätter für den Südwestlichen Harzrand 35, 63-74.
- Kempe, S. & A. Helbing, 2000: Die "Größe" deutscher Gipshöhlen. Die Höhle 51(1), 13-20.
- Kempe, S. & F. Vladi, 1988: Die Lichtenstein-Höhle, eine präholozäne Gerinnehöhle im Gips und Stätte urgeschichtlicher Menschenopfer am Südwestrand des Harzes (Gemarkung Dorste, Landkreis Osterode am Harz).- Heimatbl. für den süd-westl. Harzrand 44, 1-12.
- Kempe, S. & F. Vladi, 2019: Archäologische Ausgrabung Lichtensteinhöhle: Kap. 2.2 Geologie und Speläogenese.- In: Flindt, S. (ed.), *Lichtensteinhöhle*, submitted.
- Kempe, S., Seeger, M. & F. Vladi, 1970: Geologische Kartierung des Gipskarstes im Bereich Hainholz und Beierstein bei Düna/Südharz.- Mscr. Hamburg, 24 pp. (unpub.).
- Kempe, S., Mattern, E., Reinboth, F., Seeger, M. & F. Vladi, 1972: Die Jettenhöhle bei Düna und ihre Umgebung.- Abh. Karst- u. Höhlenkunde A6, 63 pp.
- Kley, J., 2013. Saxonische Tektonik im 21. Jahrhundert. Zeitschrift Deutsche Gesellschaft f
 ür Geowissenschaften 164(2), 295-311.
- Kley, J. & T. Voigt, 2008: Late Cretaceous intraplate thrusting in Central Europe, Effect of Africa-Europe convergence, not Alpine collision.- Geology 36(11), 839-842.
- Kuhn, O., 1964: *Die Tierwelt des Mansfelder Kupferschiefers.* Die neue Brehm Bücherei, A. Ziemen Verlag, Wittenberg, 58pp.
- Kulick, J. & J. Paul (eds.), 1987: International Symposium Zechstein 1989, Kassel, Hannover, 2 Bd. Exkursionsführer.- Wiesbaden, 173 + 310pp.
- Kupetz, M. & M. Brust, 1991: Historisches zum Begriff der "Mansfelder Kalkschlotten" sowie ein Beitrag zur nomenklatorischen Bestimmung dieses Höhlentyps.- Mitt. Arbeitsgemeinschaft Karstkunde Harz 1991 (1), 10-35.
- Kupetz, M. & F. Knolle, 2015: Die Mansfelder Schlotten Verbreitung und Genese der größten mitteleuropäischen Anhydrit-Schichtgrenzhöhlen.- Z. Dt. Ges. Geowiss. (German J. Geol.) 166(4), 327-339.
- LBEG, 2002: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Symbolschlüssel Geologie.- Hannover, accessed 11/2002.
- Liersch, K.-M. 1988: Zur Wasserbilanz der Rhumequelle und ihres Einzugsgebietes, des Pöhler Beckens.-Neues Archiv für Niedersachsen 36 (3), 293-305.
- Mignat, A., 1984: Strukturgeologische Untersuchungen im Karstgebiet des Hainholzes bei Düna/SW-Harz.-Diplomarbeit, Clausthal, 84 pp (unpublished).
- Menning, M., 1995: A numerical time scale for the Permian and Triassic periods: an integrated time analysis.-In: Scholle, P.A., Peryt, T.M. & D.S. Ulmer-Scholle (eds.) *The Permian Northern Pangea*, Vol. 1. Springer Verlag, Berlin, 77-97.

- Paul, J., 1987: Der Zechstein am Harzrand: Querprofil über eine permische Schwelle, Stop 1-23.- In: Kulick, J. & J. Paul (eds.) International Symposium Zechstein 1989, Kassel, Hannover, 2. Bd. Exkursionsführer, Wiesbaden, 193-276.
- Paul, J., 2014: Gypsum domes and diapirs common features of Zechstein evaporites (Upper Permian) in Germany.- Geological Quaterly 57, 463-472.
- Paul, J., 2016: Diapirismus und Doming von Sulfatgesteinen (Zechstein, Harz).- In: Friedel C.H. & B. Leiss (eds.) Harzgeologie 16; 5. Workshop Harzgeologie.- Göttinger Contr. Geosci. 78, 37-39.
- Paul, J., Quast, A., Ahlborn, F., Plache, M. & Reh, R.,1998: Geologie des Gipskarstgebietes zwischen Nordhausen und Stempeda (Zechstein, südlicher Harzrand).- Geowissen. Mitt. von Thüringen 6, 57-81.
- Priesnitz, K., 1969a: Kurze Übersicht über den Karstformenschatz des südwestlichen Harzrandes.- Jh. Karstu. Höhlenkunde 9, 11-24.
- Priesnitz, K., 1969b: Das Nixseebecken, ein Polje im Gipskarst des südwestlichen Harzvorlandes.- Jh. Karstu. Höhlenkunde 9, 73-82.
- Reinboth, F., 1969: Die große Trogsteinhöhle im Harz als Beispiel einer Schichtgrenzhöhle im Gips.- Mitt. Verband d. Deutsch. Höhlen- Karstforscher 15 (3/4), 37-43.
- Richter-Bernburg, G., 1955: Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins.- Z. dt. geol. Ges. 105: 843-854.
- Röhling, H.-G., 2004: Infoblatt zum bundesweiten Tag des Geotops 2004, Der Römerstein nördlich von Nüxei.- Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.
- Scholle, P.A., Peryt, T.M. & D.S. Ulmer-Scholle (eds.) 1995: *The Permian Northern Pangea*, 2 Vols.- Springer Verlag, Berlin, 261 and 312 pp.
- Schriel, W. & K. v. Bülow, 1926: Geologische Karte 1:25,000 Blatt 4532. Kelbra, und Erläuterungen.- Preuss. Geol. Landesanst., Berlin, 55 pp.
- Schriel, W. & R. v. Gaernter, 1930: Geologische Karte 1:25,000 Blatt 4430, Nordhausen-Nord.- Preuss. Geol. Landesanst., Berlin.
- Seidel, G., 1974: Kapitel 4.4.2 Zechstein.- In: Hoppe, W. & G. Seidel (eds.) *Geologie von Thüringen*, Hermann Haack, Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha/Leipzig, 516-553.
- Stedingk, K.; Herold. U. & J. Heckner, 2006: Kupferschieferbergbau und Gipskarst am Südharz.- Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 8, 345-368, 14 Abb., 2 Tab.
- Stolberg, F., 1926: Die Höhlen des Harzes. Bd. 1 Einleitung und Südharzer Zechsteinhöhlen.- Sonderausg. "Der Harz" Heft II, 40pp.
- Stolberg, F., 1943: Die Mansfelder Schlotten.- Z. f. Karst- u. Höhlenkunde 42/43, 11-35.
- Vladi, F., 2004: Zur Geologie der Einhornhöhle, Südharz.- Mitt. Verb. Dt. Höhlen- u. Karstforsch. 50(2): 44-51.
- Völker, R. 1981: Die Heimkehle.- Mitt. Karstmuseum Heimkehle, Heft 1, 40 pp.
- Völker, R. & C. Völker, without year, ca. 1982: Die Elisabethschächter Schlotte.- Mitt. Karstmuseum Heimkehle, Heft 2, 24 pp.
- Völker, R. & C. Völker, 1983: Die Segen Gottes Schlotte.- Mitt. Karstmuseum Heimkehle, Heft 3, 15 pp.
- Völker, C. & R. Völker, without year, ca. 1984: Auf dem Weg in die Elisabethschächter Schlotte.- Mitt. Karstmuseum Heimkehle, Heft 11, 41 pp.
- Völker, C. & R. Völker, 1986: Die Wimmelburger Schlotte.- Mitt. Karstmuseum Heimkehle, Heft 13, 60 pp.
- Völker C. & R. Völker, 2016: Der Salzaspring. Private printing, Uftrungen, 18 pp.
- Völker C. & R. Völker, 2017: Historische Schlottenforschung. Mitt. Arge f. Karstkunde Harz, 38 (3 + 4), 3-49.
- Völker, C. & R. Völker, 2019: Eine Wanderung durch die Karstlandschaft zwischen Wettelrode und der Heimkehle.- Private printing, Uftrungen, 37 pp.

- Williams-Stroud, S. & J. Paul, 1997: Initiation and growth of gypsum piercement structures in the Zechstein Basin.- J. Struct. Geol. 19 (7), 897-907.
- Wrede, V., 1979: Beobachtungen zum tektonischen Bau des N-Harzrandes bei Goslar.- Der Aufschluss 30, 253-265.
- Wrede, V., 1988: Der nördliche Harzrand flache Abscherbahn oder wrench-fault-system? Geologische Rundschau 77/1, 101 -114.

Anlagenverzeichnis

1	Zechsteinfläche [km²]
2	Verbreitung ausgewählter Gesteine
3	Programmebenen
4	Stratigrafische Kürzel und Farben
5	Bearbeitungsmerkmale
6	Erläuterungen
7	Vergleich der Störungskategorien im Cluster 4431
8	Zusammenfassung Streichwinkel aus Kartierungen
9	Übersicht zum Kartenwerk
10	Mittelwertbildung
11	Bohrungen in 4431
12	Verzeichnis der Kartiergrundlagen
13	Erfassung Einfallen aus DK
14	Modellrechnung
15	Struktur-Abfolgen
16	Abdachung des HRZ
17	Erdfallstörungen und Ponore

Anlage 1 Zechsteinfläche [km²]

Cluster	Cluster- fläche [km²]	Präzechstein [km²]	Buntsand- stein [km ²]	Zechstein- fläche [km²]
				_
4227	39,329	0,069	7,748	31,512
4327	43,207	3,197	4,227	35,783
4328	39,280	11,123	7,664	20,493
4428	10,858	0,332	3,740	6,786
4429	67,008	7,403	11,071	48,534
4430	46,822	1,614	2,733	42,475
4431	49,726	6,723	5,292	37,711
4532	17,514	2,748	2,938	11,828
4433	24,276	4,005	5,558	14,713
Summen	338,02	37,214	50,971	249,835

Der Wert von etwa 250 km² für die Zechsteinfläche ist ungenau, weil Zechstein-Inseln außerhalb der Clustergrenzen und Präzechstein unter dem Quartär (*) der abgedeckten Karten unberücksichtigt bleiben.

(*) = Flächen ohne weitere stratigraphische Interpretation

Anlage 2 Verbreitung ausgewählter Gesteine:

Quartär, Fließerde und Sulfate

Seite 1

[%]=Prozent der Clusterfläche

[%]	
z3A [km²]	
[%]	
z2A [km²]	
[%]	
z1A [km²]	
[%]	
FLE [km²]	
[%]	
Quartär [km²]	
Cluster- fläche [km²]	
Cluster	

								-			
7,3	2,9	0,6	•	3,6	0,5	2,7	6,6	10,0	3,5		3,5
2,858	1,268	0,229	•	2,433	0,215	1,333	1,153	2,427	11,916		
6,8	0,0	•	•	0,0	2,8	5,6	12,7	8,3	3,3		3,3
2,671	0,017	•	•	0,027	1,299	2,807	2,223	2,008	11,052		
7,3	7,1	•	•	10,9	20,5	9,6	14,5	3,3	9,2		9,2
2,865	3,082	•	•	7,337	9,621	4,778	2,535	0,807	31,025		
4,0	0,4	3,8	0,1	3,1	3,2	3,8	3,2	11,9	3,6		3,6
1,588	0,180	1,492	0,009	2,078	1,500	1,895	0,564	2,878	12,184		
60,3	72,6	28,0	7,6	40,1	51,8	32,4	34,4	25,1	43,3		43,3
23,699	31,363	10,986	0,822	26,856	24,264	16,102	6,026	6,091	146,209		
39,329	43,207	39,280	10,858	67,008	46,822	49,726	17,514	24,276	338,02		
4227	4327	4328	4428	4429	4430	4431	4532	4433	Summen	Durch-	schnitt

Anlage 2

Seite 2

Karbonate und Residuale

[%]=Prozent der Clusterfläche

2.1	0.8	19.8	7.5	1.6	0.6	19.1	7.2	5.5	2.1	5.9	2.2		Durch- schnitt
2,1	7,252	19,8	67,093	1,6	5,361	19,1	64,524	5,5	18,72	5,9	19,805	338,02	Summen
8,8	2,14		I	٢	0,237	8,8	2,141	•	•	6,7	1,631	24,276	4433
3,7	0,64	0,2	0,162	ı		7,9	1,378			11,9	2,081	17,514	4532
3,3	1,65	-	I	1,1	0,544	8,3	4,147	4,1	2,033	6,6	3,258	49,726	4431
5,1	2,39	10,4	6,976	0	0,02	5	2,333	14,4	6,737	2,9	1,355	46,822	4430
0,5	0,32	35,5	23,818	٢	0,669	35	23,441	0,4	0,297	3,3	2,228	67,008	4429
1	0,11	7,1	4,789	2,3	0,247	41,6	4,522	•	•	8,9	0,961	10,858	4428
•	-	14,1	9,429	7,6	2,984	13,1	5,163	22,4	8,811	19	7,465	39,28	4328
•	-	1,1	0,742	0,5	0,209	1,5	0,669	1,9	0,842	1,9	0,826	43,207	4327
•	-	31,6	21,177	1,1	0,451	52,7	20,73	-	-	ı	-	39,329	4227
[%]	22-K [km²]	[%]	Dolomit [km²]	[%]	z3N [km²]	[%]	karbonat [km²]	[%]	zzN [km²]	[%]	ZTA [km²]	fläche [km²]	Cluster
					10-		Stink-		10-		71 1-	Cluster-	

Anlage 3 Programmebenen

Basis

ТК	Topographische Karte
EF	Entfärbte topographische Karte

Themenkarten

Verarbeitung der Kartier-Elemente nach Georeferenzierung

- DK = Übernahme aus Diplomkartierung
- GK = Übernahme aus Geologischen Karten
- HPH = Eigene Kartierung (Hans-Peter Hubrich)
- GK / HPH = Ergänzung der GK durch eigene Kartierungen
 - DK /GK = Ergänzungen der DK durch GK
- Bearbeitung und Ergänzung der Karten der
- KKII / HPH = Kartierkurse durch HPH
 - Veröff.= Veröffentlichung
 - StA = Studienarbeit
 - BA= Bachelor-Arbeit

Kartenwerk nach Auswertung der Kartierergebnisse

(siehe auch Anlage 9)

- HBG = Bearbeitungsgrenzen
 - Sa = Stratigraphische Karte
 - St = Störungskarte
 - VS = Karte Versturz (und Fließerde)
 - Fa = Karte Fazies Karbonate
- FCv = Karte Höhlen nach TK
- FFe = Quartär und Fließerde
- FEK = Karte Erdfälle nach Kataster
- FET = Karte Erdfälle nch TK
 - Fd = Karte Erdfälle (Dolinen) nach TK
- Fdd = Karte Erdfall- (Dolinen)-Häufungen nach TK
 - Fq = Karte Steinbrüche nach TK
- FPD = Karte Gruben/Steinbrüche u. Duckel nach TK

Kartenwerk nach tektonischer Interpretation

- HSa = Stratigraphische Karte
- Hca = Karbonate nach tektonischer Interpretation
- HSy = Störungskarte
- HQu = Karte Quartär (einschl. Löss und Fließerde)
- HVS = Karte Versturz (und Fließerde)

			andere			
		Kürzel (1)	Kürzel	Farben RGB (2)	Varianten	alte Gliederung
	Quartär	q		255/255/0		
				0/0/255		
Hangon	oberer Buntsandstein	SO				
Hanyen-	mittlerer Buntsandstein	sm		212/162/83		
des	unterer Buntsandstein	su		255/211/127		
l	Bröckelschiefer	suB		255/127/127	z7+su	
					z7B	
Re	siduale allgemein	R		178/178/178		
Z4 -	oberer Z-Letten	z4R		178/178/178		
Aller-	Pegmatit-Anhydrit	z4A		168/168/0		
Serie	Roter Salzton	z4T		200/100/100		ZO
	Residuale z3	z3R		178/178/178		
Z3 -	Anhydrit/Gips/					
Leine-	Hauptanhydrit	z3A	A3	112/168/0		
Serie	Leine-Karbonat	z3K	C3	115/223/255		zo, zod,zok, zo2
	grauer Salzton	z3T	T3	80/80/80		
	Residuale z2	z2R		178/178/178		
70	Anhydrit/Gips/					
ZZ -	Basalanhydrit	z2A	A2	152/230/0	z2A+z3A	φ, <u>G2</u>
Staisiun-	72-Karbonat	z2K	Ca2	122/182/245	z2K-S*	zm2. zm`
		OT			z2K-D^	_ ,
		Z21		115/38/0		
	Residuale zi	z1R	• 4	178/178/178		
Z1 -	Werra-Anhyarit	z1A	A1	50/150/150	414 D*	y1, G1
Werra-	– 1. (1.1.1.1.1.1.		• •		z1K-D [*]	
Serie	Zechsteinkalk	z1K	Ca1	0/169/230	z1C/1/K	zu2
	Kupterschieter	z11		0/0/0	10 7	zu1, zu
	Zechsteinkongiomerat	z1C		255/167/127	z1C/I	
	Zechstein ungegliedert	Z		0/132/255		
	Rotliegendes	r	r	255/0/255		
Liegen-	Karbon	С		245/245/122	c/d	
des	Devon	d	S-C	205/137/102		
400	Silur	si		205/137/102		
	Paläozoikum	р		137/68/101		
	(1) Kürzel vereinfacht na	ch Symbols	chlüssel Ge	ologie LBEG, Abgri	iff 16.1.2001	

Anlage 4 Stratigraphie

(2) nach eigener Farbwahl

- D =Dolomit

- S = Schiefer

 Anlage 11
 Bohrungen in Cluster 4431

 Dahlgrün 1935: Erläuterungen zum Blatt 4431 Stolberg am Harz, S. 50, Tiefbohrungen

BM = Bohrmeter KS = Kupferschiefer

Zeile	Bohrung Nr.	2	ę	4	5	9	7	80	6
		Talaue westl	zw. Stempeda	NE` von	zw. Stempeda	bei	östlich	Talaue östlich	nördlich
-	Ortslage	Rottleberode	u. Rottleberode	Stempeda	u. Rottleberode	Rottlerberode	Rottleberode	Rottleberode	Urbach
2	Ansatzpunkt (NHN)	225	238	210	207	201	205	215	246
e	Quelle	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431
4	Kartierung	b	b	b	b	b	b	b	ns
5	1. z-Schicht	Gips zm	Ton	Ton	zm	ZO	Gips zm	Gips zm	Gips zo
9	bei BM	-29	-2	-31	-114	-28	-103	-89	-12
2	Höhe NHN =(Z2)+(Z6)	196	236	179	94	173	102	126	234
8	Störungen im Profil	1	-	1	2	3	-	-	-
ი	KS bei BM		-109			-151	-145	-137	-241
10	KS bei NHN		129		-	50	60	82	5
11	tiefste Lage	Porphyrit	Tonschiefer	Du	-154	nz	z1C	r Weißliegendes	- Weißliegendes
12	Unterer Buntsandstein vo	on -bis			32 - 113	9 - 28 , 72 - 87	103	68	12
13	oberste Lage bei NHN		•		94	114	102	126	234
14	Tektonik	•	-		-		-	-	Bruchscholle
15	Bohrung Nr.	12	13	14	15	16	17	18	19
					1771 - The second second		171	IIV (1)	
16	Urtslage	Steigerthal I	Steigerthal II	Steigerthal III	Steigerthal VI	Steigerthal V	Steigerthal VI	Steigerthal VII	Steigerthal VIII
17	Ansatzpunkt NHN	269	284	299	252	326	311	333	297
18	Quelle	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431
19	Kartierung	z2K-S	z3T	z2K-S (z3T)	q	z2K-S	z3T	z2K-S	z2K-S
20	1. z-Schicht	Stinkschiefer	roter Ton	Stinkschiefer	rot. merg. Ton	Stinkschiefer	alles, Gips	Stinkschiefer	bunte Letten
21	bei BM	0	0	-12	0	0	-34	0	0
22	Höhe NHN			287	252	326	277	333	297
23	Störungen im Profil	-	-		-		-	-	-
24	KS bei BM	-91	16-	66-	-176	-97	-185	-65	-87
25	KS NHN = (Z17)+(Z24)	178	193	200	75	229	125	268	210
26	tiefste Lage	r Weißliegendes	Unterkoblenz	Unterkoblenz	Unterkoblenz	z1C	z1C	z1C	z1C
27	Tektonik	Horst	Graben	Horst	Bruchscholle	Horst	Graben	Bruchscholle	Bruchscholle
								$\vec{q} = \nabla$	58 m

Anlage 6 Erläuterungen

Cluster = Bearbeitungsbereich

Für das Untersuchungsgebiet wurde ein Kartenwerk angelegt. Es ist in neun Abschnitte geteilt, die die Bezeichnung Cluster tragen und mit der dominanten Blattnummer des größten Anteils der geologischen Karten der Landesämter des jeweiligen Abschnittes gekennzeichnet sind.

Vermeintliche "Ungereimtheiten" bei Flächenbilanzen.

Die Summe der Bearbeitungsflächen eines Clusters kann größer sein als die Clusterfläche, weil stellenweise Doppelbearbeitungen vorkommen

Umgang mit Quartärflächen

Quartärflächen werden in den Karten HQu4NNN ausgewiesen. In den abgedeckten Karten wird Quartär durch andere, im Untergrund vermutete anders bezeichnete stratigrafische Flächen ersetzt. Bei "leeren" Flächen war eine nachvollziehbare, bzw. eindeutige Interpretation des Untergrundes dem Verfasser nicht möglich.

Kartiergewohnheiten

Sachverhalte wie Fließerde Verbruch Dolomit statt Kalk Quartär sind nicht immer als solche erfasst worden. Unterstellung: "Wenn es irgendwie ging, wurde abgedeckt kartiert. Überlegung: Die genannten Merkmale überdecken in der Realität größere als die ausgewiesenen Flächen.

Kalk und Dolomit

Kalk und Dolomit werden in den drei, den Zyklen zugeordneten Karbonaten gefunden. Die Kartierenden haben nicht immer nach Kalk und Dolomit unterschieden oder das Merkmal "bituminös" verwendet. Der Verfasser hat entsprechende Angaben aus den GK übernommen und bituminöse Schichten unter "Stinkkarbonat" subsumiert.

Anlage 7 Vergleich der Störungskategorien im Cluster 4431

		Strat.	-störur	ngen 4431
Winkeldekaden		Störungs- längen [m]	Zahl Störungen	Längen-Anteil [%]
1	175 - 4	5.146		13,6
· ·	175-4		5	
2	5 - 14			
3	15 - 24	1.423	1	3,7
4	25 - 34	268	1	0,7
-	20 - 04	1 021	1	5 1
5	35 - 44	1.921	3	5,1
6	45 - 54	655	1	1,7
7	55 - 64			
8	65 - 74	2.676	4	7,0
9	75 - 84			
10	85 - 94	5.534	Δ	14,6
11	95 - 104	4.429	4	11,7
		7.132	3	18.8
12	105 - 114		6	
13	115 - 124	6.412	6	16,9
14	125 - 134			
15	125 144	1.093		2,9
15	135 - 144		2	
16	145 - 154			
17	155 - 164	1.273	1	3,4
18	165 - 174			

	0	
655		1,7
	1	
2.676		7,0
	4	
5.534		14,6
	4	
4.429		11,7
	3	
7.132		18,8
	6	
6.412		16,9
	6	
1.093		2,9
	2	
1.273		3,4
	1	

Erdfa	Illstöru	ngen 4431
Störungs- längen [m]	Zahl Störungen	Längen-Anteil [%]
625		3,6
	5	
317		1,8
	1	
633		3,7
204	5	0.0
391	2	2,3
030	2	51
	5	
217	0	1.3
	1	.,.
1182		6,8
	4	
501		2,9
	4	
1561		9,0
	6	
1288		7,5
2520	5	20.4
3520	10	20,4
3222	10	18.7
	7	10,1
550		3,2
	2	· ·
470		2,7
	3	
1004		5,8

37.962	37	100

17.

687

158

	1	
265	66	100

4,0

0,9

3

2

Anlage 8 Zusammenfassung der Streichwinkel aus Kartierungen

Störungs-					
längen	Zahl		Grupp	en der	
[m]	Störungen	Anteil [%]	Streich	winkel	
22.067		7,29	175	Α	SSW-NNE
	30		175	4	rheinisch
12.386		4,09	5	14	7,29%
	12		•		
7.684	4.4	2,54	15	24	
5 055	11	1.67			
5.055	10	1,07	25	34	
7 964	10	2.63			SW-NF
7.504	11	2,00	35	44	variszisch
11.923		3,94			14,45%
	16	, ,	45	54	,
12.511		4,13	55	64	
	13		55	04	
11.350		3,75	65	74	
	18				
28.306		9,35	75	84	SE-NW
20,000	25	10.00			herzynisch
39.622	26	13,08	85	94	52,39%
31 7/2	30	10.48			
51.742	31	10,40	95	104	
32,790	01	10.83			
	37	,	105	114	
26.193		8,65			
	28		115	124	
15.693		5,18	125	13/	
	22		125	134	
7.854		2,59	135	144	
10 5 10	11				
12.546	01	4,14	145	154	NNVV-SS
9 5 2 2	21	2.92			
0.000	7	∠,0∠	155	164	4,1470
8 680	1	2 87			
0.000	14	2,01	165	174	
L					
302.899	353	100			

Sa.

Anlage 9 Übersicht zum Kartenwerk auf einer CD

Schnitte: Bearbeitungsunterlagen mit Bezug auf die Karten HSa

												>
Cluster	Stratigra- phie und Störungen nach tekton. Klärung	Quartär	Stör- ungen nach tektoni- scher Klärung	Karbonate	Versturz	Stratigra- phie und Störungen nach Kartier-ung	Fließerde und Quartär	Erdfälle nach TK	Erdfälle nach Kataster	Lage der Höhlen nach TK	Gruben/ Stein- brüche und Duckel nach TK	Schnitte
4227	HSa4227	HQu4227	HSy4227	HCa4227	HVS4227	FSK4227	FFe4227	ı	FEK4227	FCv4227	FPD4227	SN4227
4327	HSa4327	HQu4327	HSy4327	HCa4327	HVS4327	FSK4327	FFe4327	ı	FEK4327	FCv4327	FPD4327	SN 4327
4328	HSa4328	HQu4328	HSy4328	HCa4328	ı	FSK4328	FFe4328	ı	FEK4328	FCv4328	FPD4328	SN4328
4428	HSa4428	HQu4428	HSy4428	HCa4428	ı	FSK4428	ı	FET4428		I	FPD4428	SN4428
4429	HSa4429	HQu4429	HSy4429	HCa4429	HVS4429	FSK4429	FFe4429	ı	FEK4429	FCv4429	FPD4429	SN4429
4430	HSa4430	HQu4430	HSy4430	HCa4430	ı	FSK4430	FFe4430	ı	FEK4430	FCv4430	FPD4430	SN4430
4431	HSa4431	HQu4431	HSy4431	HCa4431	1	FSK4431	FFe4431		FEK4431	FCv4431	FPD4431	SN4431
4532	HSa4532	HQu4532	HSt4532	HCa4532	HVS4532	FSK4532	FFe4532	FET4532		ı	FPD4532	SN4532
4433	HSa4433	HQu4433	HSt4433	HCa4433	ı	FSK4433	FFe443	FET4433		ı	FPD4433	SN4433

Mittelwertbildung und Glättung

	Clus	ste	r ==>	4227	4327			4227	4327
	Gru Stre	ppen ichwi	der nkel	Störungs- längen [m]	Störungs- längen [m]	Р	Anteil [%]	Störungs- längen [m]	Störungs- längen [m]
-									
1	175	-	4	3.408	1.572	4.980	9,31	3.408	1.572
2	5	-	14	2.709		2.709	5,06	2.709	
3	15	_	24	3.143		3.143	5,88	3.143	
4	25	_	34	580	945	1.525	2,85	580	945
5	35	_	44	3.787		3.787	7,08	3.787	
6	45	_	54	639	1.049	1.688	3,16	639	1.049
•			•	247	2 620	2.096	5 5 9	247	2 620
7	55	-	64	347	2.039	2.900	5,56	347	2.039
8	65	-	74	696	2.094	2.790	5,22	696	2.094
9	75	-	84	949	438	1.387	2,59	949	438
10	85	-	94	1.093		1.093	2,04	1.093	
11	95	-	104	687		687	1,28	687	
12	105	-	114	4.115	454	4.569	8,54	4.115	454
40	445		404	5.877	1.452	7.329	13,70	5.877	1.452
13	115	-	124						
14	125	-	134	5.603	4.990	10.593	19,80	5.603	4.990
15	135	-	144			0	0,00		
16	145	-	154	571	290	861	1,61	571	290
17	155	-	164	525		525	0,98	525	
18	165	-	174	2.158	687	2.845	5,32	2.158	687

36.887 16.610

53.497

36.887 16.610

Maximum bei Anteil [%] Maximum bei Anteil [%] Maximum bei Maximum bei Anteil [%]



100

4328			4327	4328	4428		
Störungs- längen [m]	Summen	Anteil [%]	Störungs- längen [m]	Störungs- längen [m]	Störungs- längen [m]	Summen	Anteil [%]
			L				
316	5.296	8,17	1.572	316	89	1.977	6,36
	2.709	4,18				0	0,00
0.01	2.064	6 1 2		001		0.01	1 95
021	3.904	0,12		021		021	1,00
1.605	3,130	4.83	945	1.605		2,550	5.75
	000	.,					0,10
1.465	5.252	8,10		1.465		1.465	3,31
1.848	3.536	5,46	1.049	1.848		2.897	6,54
	0.000	1.01	0.000			0.000	5.05
	2.986	4,61	2.639			2.639	5,95
	2 790	4 30	2 094		038	3 032	6.84
	2.730	4,30	2.034		350	5.052	0,04
	1.387	2,14	438		746	1.184	2,67
586	1.679	2,59		586		586	1,32
	687	1,06				0	0,00
1 244	5 012	0.12	151	1 244	721	2 520	5 71
1.344	5.915	9,12	404	1.344	731	2.529	5,71
	7.329	11.31	1.452		258	1.710	3.86
777	11.370	17,54	4.990	777		5.767	13,01
1.318	1.318	2,03		1.318	250	1.568	3,54
05.4	4.545	0.04	000	05.4	40.4	4.070	0.40
654	1.515	2,34	290	654	134	1.078	2,43
311	836	1 29		311		311	0.70
011	000	1,20				011	0,70
278	3.123	4,82	687	278		965	2,18
11.323	64.820	100	16.610	11.323	3.146	31.079	72

~130° ~38% ~0 ° ~10% ~60 ° ~28%



4328	4428	4429			4428	
Störungs- längen [m]	Störungs- längen [m]	Störungs- längen [m]	Summon	Anteil [%]	Störungs- längen [m]	Γ,
langen [m]	langen [m]	iungen [m]	Summen	/ uncen [/0]		ŀ
316	89	5.924	6.329	9,47	89	┢
		1.846	1.846	2,76		
821		1 999	2 820	4 22		┝
021		1.000	2.020	7,22		┢
1.605		1.657	3.262	4,88		
		470		0.10		
1.465		179	1.644	2,46		
1.848		720	2.568	3.84		┢
		_		- , -		
		928	928	1,39		
	029	644	1 5 9 0	2.27	029	
	930	044	1.062	2,37	930	-
	746	2.455	3.201	4,79	746	
586		6.690	7.276	10,89		
		7 209	7 209	10.79		┝
		7.200	1.205	10,70		┢
1.344	731	4.719	6.794	10,17	731	
	258	5.328	5.586	8,36	258	-
777		2.689	3.466	5.19		┢
			0.100	0,10		
1.318	250	1.965	3.533	5,29	250	
054	404	0.000	0.444	4.00	40.4	
654	134	2.323	3.111	4,00	134	┝
311		2.492	2.803	4,20		┢
278		2.562	2.840	4,25		
						L

4428	4429	4430	
Störungs-	Störungs-	Störungs-	
längen [m]	längen [m]	längen [m]	Summen
89	5.924	3.447	9.460
	1.846	6.239	8.085
	1.999		1.999
	1.657		1.657
	179		179
	720	6.589	7.309
	928	5.132	6.060
938	644	3.136	4.718
746	2.455	3.863	7.064
	6.690	5.754	12.444
	7.209	12.986	20.195
731	4.719	11.213	16.663
258	5.328	4.042	9.628
	2.689	186	2.875
250	1.965		2.215
134	2.323	1.408	3.865
	2.492	1.555	4.047
	2.562		2.562

11.323

52.329

66.798

3.146

100

3.146

52.329

65.550

121.025

~100 ° ~40% ~0 ° ~9% ~50 ° ~4%

	4429	4430	4431			4430	4431	4532
Anteil [%]	Störungs- längen [m]	Störungs- längen [m]	Störungs- längen [m]	Summon	Anteil [%]	Störungs- längen [m]	Störungs- längen [m]	Störungs- längen [m]
,	iongon [m]	.angon [m]	.angon [m]	Summen	, anon [/o]			
7,82	5.924	3.447	5.146	14.517	9,32	3.447	5.146	1.088
6,68	1.846	6.239		8.085	5,19	6.239		
1,65	1.999		1.423	3.422	2,20		1.423	298
1,37	1.657		268	1.925	1,24		268	
0.15	170		1 021	2 100	1 35		1 021	612
0,13	175		1.921	2.100	1,55		1.521	012
6,04	720	6.589	655	7.964	5,11	6.589	655	
5.04	000	5 400		0.000	0.00	5 400		
5,01	928	5.132		6.060	3,89	5.132		
3,90	644	3.136	2.676	6.456	4,14	3.136	2.676	350
5,84	2.455	3.863		6.318	4,05	3.863		968
10.28	6 690	5 754	5 534	17 978	11 54	5 754	5 534	16 431
10,20	0.000	0.704	0.004	17.570	11,04	0.704	0.004	10.401
16,69	7.209	12.986	4.429	24.624	15,80	12.986	4.429	6.044
40.77	4.740	44.040	7.400	00.004	44.00	44.040	7.400	0.005
13,77	4.719	11.213	7.132	23.064	14,80	11.213	7.132	2.995
7,96	5.328	4.042	6.412	15.782	10,13	4.042	6.412	555
2,38	2.689	186		2.875		186		497
1.83	1 965		1 093	3 058	1 96		1 093	1 180
1,00	1.000		1.000	0.000	1,84		1.000	1.100
3,19	2.323	1.408		3.731	2,39	1.408		3.252
2.04	0.400	4 555	4.070	E 000	0.44	4 555	4 070	504
3,34	2.492	1.555	1.273	5.320	3,41	1.555	1.273	504
2,12	2.562			2.562	1,64			

100

52.329 65.550

37.962 155.841

100

65.550 37.962 34.774



~100 °	
~52%	
~5°	
~10%	
~50°	
>5%	
./.	
./.	

		4431	45
	A stoil [0/]	Störungs-	Störu
Summen	Antell [%]	langen [m]	lange
9 681	7.00	5 146	1.0
0.001	1,00	0.110	1.0
6.239	4,51		
1.721	1,24	1.423	29
268	0.10	268	
200	0,19	200	
2.533	1,83	1.921	61
7.244	5,24	655	
E 400	0.74		
5.132	3,71		
6.162	4.46	2.676	35
	, -		
4.831	3,49		96
27.719	20,04	5.534	16.4
23 459	16.96	4 4 2 9	6.0
20.100	10,00	1.120	0.0
21.340	15,43	7.132	2.9
11.009	7,96	6.412	55
683	0.49		40
000	0,40		
2.273	1,64	1.093	1.1
4.660	3,37		3.2
3 3 3 3 3	2.41	1 072	50
3.332	∠,4۱	1.213	50
0	0,00		

138.286

37.962

34.774 44.318

44.318 117.054

34.774 44.318



100

431	4532	4433			4532	4433
rungs-	Störungs-	Störungs-	•	Antoil [9/]	Störungs-	Störungs-
en [m]	langen [m]	langen [m]	Summen	Anteli [%]	langen [m]	langen [m]
1.46	1 000	1 077	7 014	6.05	1 000	1 077
140	1.000	1.077	7.311	0,20	1.000	1.077
		1 502	1 502	1 36		1 502
		1.532	1.532	1,50		1.002
423	298		1.721	1.47	298	
				,		
268			268	0,23		
921	612		2.533	2,16	612	
655		423	1.078	0,92		423
		3.465	3.465	2,96		3.465
676	250	016	2.042	2.00	250	016
070	300	010	3.042	3,20	300	010
	968	18 887	19 855	16.96	968	18 887
534	16.431	3.534	25.499	21,78	16.431	3.534
429	6.044	387	10.860	9,28	6.044	387
132	2.995	87	10.214	8,73	2.995	87
110		0.000	0.000	7.00		0.000
412	555	2.269	9.236	7,89	555	2.269
	497	951	1 448	1 24	497	951
	107	001	1.110	1,21	107	001
093	1.180	2.048	4.321	3,69	1.180	2.048
	3.252	3.914	7.166	6,12	3.252	3.914
273	504	1.873	3.650	3,12	504	1.873
		0.005	0.005	0.50		0.005
		2.995	2.995	2,56		2.995

~85° ~48% <mark>~0° >6%</mark> ./. ./. ./. ~150° ~6%

100

Summen	Anteil [%]
2.165	2,74
1 592	2.01
1.002	2,01
200	0.00
290	0,38
0	0,00
612	0,77
423	0.53
720	0,00
0.405	4.00
3.465	4,38
1.166	1,47
19.855	25.10
	,
10 965	25.24
13.303	20,24
0.404	0.40
6.431	8,13
3.082	3,90
2.824	3,57
1 4 4 8	1.83
	1,00
2 0 0 0	4.00
3.228	4,08
7.166	9,06
2.377	3,01
	· ·
2 005	3 70
2.000	5,13

Gru Stre	ppen ichw	i der inkel
175	-	4
5	-	14
15	-	24
25	I	34
35	-	44
45	-	54
55	-	64
65	I	74
75	-	84
85	-	94
95	-	104
105	-	114
115	-	124
125	-	134
135	-	144
145	-	154
155	-	164
165	-	174

79.092

100

~85 °	Maximum be
~50%	Anteil [%]
~175°	Maximum be
~6%	Anteil [%]
~60°	Maximum be
>4%	Anteil [%]
~150°	Maximum be
~9%	Anteil [%]

 Anlage 11
 Bohrungen in Cluster 4431

 Dahlgrün 1935: Erläuterungen zum Blatt 4431 Stolberg am Harz, S. 50, Tiefbohrungen

BM = Bohrmeter KS = Kupferschiefer

70:10		ç	ç		L	ų	٢	0	c
allaz	BOILT UNG NI.	7	S	4	c	ο	-	0	a
		Talaue westl	zw. Stempeda	NF [,] von	zw. Stempeda	hei	östlich	Talaue östlich	nördlich
~	Ortslage	Rottleberode	u. Rottleberode	Stempeda	u. Rottleberode	Rottlerberode	Rottleberode	Rottleberode	Urbach
7	Ansatzpunkt (NHN)	225	238	210	207	201	205	215	246
З	Quelle	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431
4	Kartierung	b	b	d	d	d	b	b	ns
5	1. z-Schicht	Gips zm	Ton	Ton	zm	20	Gips zm	Gips zm	Gips zo
9	bei BM	-29	-2	-31	-114	-28	-103	-89	-12
7	Höhe NHN =(Z2)+(Z6)	196	236	179	94	173	102	126	234
8	Störungen im Profil	1	-	1	2	3	-		
6	KS bei BM		-109			-151	-145	-137	-241
10	KS bei NHN		129			50	09	78	5
11	tiefste Lage	Porphyrit	Tonschiefer	Du	-154	nz	z1C	r Weißliegendesr	· Weißliegendes
12	Unterer Buntsandstein vo	on -bis			32 - 113	9 - 28 , 72 - 87	103	89	12
13	oberste Lage bei NHN				94	114	102	126	234
14	Tektonik						-		Bruchscholle
15	Bohrung Nr.	12	13	14	15	16	17	18	19
16	Ortslage	Steigerthal I	Steigerthal II	Steigerthal III	Steigerthal VI	Steigerthal V	Steigerthal VI	Steigerthal VII	Steigerthal VIII
17	Ansatzpunkt NHN	269	284	299	252	326	311	333	297
18	Quelle	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431	Erl. GK 4431
19	Kartierung	z2K-S	z3T	z2K-S (z3T)	d	z2K-S	T5z	z2K-S	z2K-S
20	1. z-Schicht	Stinkschiefer	roter Ton	Stinkschiefer	rot. merg. Ton	Stinkschiefer	alles, Gips	Stinkschiefer	bunte Letten
21	bei BM	0	0	-12	0	0	-34	0	0
22	Höhe NHN			287	252	326	277	333	297
23	Störungen im Profil		-				-		
24	KS bei BM	-91	-91	66-	-176	-97	-185	-65	-87
25	KS NHN = (Z17)+(Z24)	178	193	200	75	229	125	268	210
26	tiefste Lage	r Weißliegendes	Unterkoblenz	Unterkoblenz	Unterkoblenz	z1C	z1C	z1C	z1C
27	Tektonik	Horst	Graben	Horst	Bruchscholle	Horst	Graben	Bruchscholle	Bruchscholle
								$\nabla = \nabla$	68 m
Anlage 12 Verzeichnis der Kartiergrundlagen

Unveröffentlichte Diplomkartierungen

- **Baldschun, T.,** 1989 Kartierung am südwestlichen Harzrand in der Umgebung von Steina: unveröffentlichte Diplomkartierung durchgeführt am Institut für Geologie und Paläontologie der Technischen Universität Braunschweig: 49 S. und 2 Anlagen.
- Bartsch, M., 1987: Der Zechstein und Buntsandstein zwischen Osterode und Schwiegershausen: unveröffentlichte Kartierung zur Diplomarbeit zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 58 S. und 4 Anlagen.
- **Beckmann, M.,** 1988: Kartierung des Zechstein-2 am südwestlichen Harzrand zwischen Förste und Osterode: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) im Fach Geologie der Universität Hamburg: 58 S. und 3 Anlagen.
- Blum, S., 1996: Geologische Kartierung des Oberrotliegenden und dem basalen Zechstein am südlichen Harzrand Blatt 4429 Bad Sachsa: unveröffentlichte Diplomkartierung: Institut für Geologie und Paläontologie der Technischen Hochschule Darmstadt: 38 S. und 3 Anlagen.
- Choo, M. K., 1988: Kartierung im Südharzgebiet von Steina: unveröffentlichte Kartierung zur Diplomarbeit (Teil II) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 69 S. und 3 Anlagen.
- Daume, M., 1992: Der Zechstein in der Bohrung "Aue 1" bei Herzberg am Harz sowie Kartierung von Rotliegend und Zechstein südlich Bad Sachsa: unveröffentlichte Diplomarbeit angefertigt im Institut für Geologie und Paläontologie der Georg-August-Universität zu Göttingen: 173 S.; 10 T. und 4 Anlagen.
- **Diercks, A. R.,** 1989: Der basale Zechstein am südwestlichen Harzrand südöstlich von Walkenried: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II a) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 43 S. und 4 Anlagen.
- Ehrenstein, C., 1988: Kartierung und tektonische Analyse dreier Ost-West streichender Dolomit-Sättel: Hellenberg – Langenberg – Rötzel: *unvollständiges* Exe
- Fölling, P., Hupe, A., Neander, F., 1994: Geologische Kartierung Hainrode/Südharz: Karte zu unveröffentlichten Diplomarbeiten, für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg; 112 S. und 10 Anlagen.
- Fölling, P., 1995: Kartierung des Zechsteins am südlichen Harzrand bei Hainrode, Sachsen Anhalt: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 95 S., Anhang und 5 Anlagen. Karte in 2062 (Fölling) enthalten
- Haake, B., 1986: Der Zechstein am südwestlichen Harzrand südlich von Düna/Osterode; unveröffentlichte Kartierung zur Diplomarbeit zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 57 S. und 3 Anlagen.
- Hölemann, J., 1988: Neukartierung des Zechsteins und Buntsandsteins südlich von Ührde (Osterode/Harz): unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg; 50 S. und 4 Anlagen.
- Hoffmann, V.- E., 1990: Kartierung des Zechsteins am Südrand des Harzes südwestlich von Steina: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 79 S. und 3 Anlagen.

- Hupe, A., 1995: Kartierung des Zechsteins am südlichen Harzrand bei Hainrode, Sachsen- Anhalt: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 97 S., Anhang und 5 Anlagen. Karte in 2062 enthalten
- Jenisch, A., 1988: Der Zechstein nördlich Düna (Südwestharzrand): unveröffentlichte Kartierung zur Diplomarbeit (Teil II) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 70 S. und 5 Anlagen.
- Jürgensen, L., 2000: Zechstein von Scharzfeld am südwestlichen Harzrand: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II, Kartierung) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 55 S. und 3 Anlagen.
- Kim, A., 1988: Der Zechstein südlich Steina am Südrand des Harzes: unveröffentlichte Kartierung zur Diplomarbeit (Teil II) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 51 S. und 3 Anlagen.
- Krakow, M. (1998); Geologisch und karstmorphologische Bearbeitung des Zechsteins im "Alten Stolberg" westlich Rottleberode, Südharz; unveröffentlichte Diplomarbeit und Diplomkartierung, angefertigt am Institut für Geowissenschaften der TU Carolo Wilhelmina zu Braunschweig: 107 Seiten und Anlagen
- Knaak, H., 1992: Kartierung des Zechsteins am südwestlichen Harzrand östlich von Herzberg: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 79 S. und 3 Anlagen.
- Klünder, A., 1988: Geologische Kartierung im Zechstein des Südharzes bei Walkenried: unveröffentlichte Kartierung zur Diplomarbeit im Studiengang Geologie/Paläontologie: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 40 S. und 1 Anlage.
- Kübler-Grziwok, J., 1988: Geologische Neukartierung im südwestlichen Harzvorland bei Osterode: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg; 49 S. und 4 Anlagen.
- Ladage, S.,1991: Geologische Kartierung südlich Bad Lauterberg am Harz: unveröffentlichte Diplomkartierung (2. Teil der Diplomarbeit) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 30 S. und 3 Anlagen.
- Lammers, S., 1988: Kartierung des Zechsteins am südwestlichen Harzrand bei Osterode zwischen Förste und Katzenstein: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2): Universität Hamburg, Geologisch-Paläontologisches Institut: 38 S. und 3 Anlagen.
- Landmann, G., 1988: Kartierung Zechsteins am südwestlichen Harzrand zwischen Förste und Osterode: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg; 52 S. und 3 Anlagen.
- Lohmann, U.,1989: Der Zechstein zwischen Nüxei und Tettenborn: unveröffentlichte Kartierung zur Diplomarbeit (Teil II) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 88 S. und 6 Anlagen.
- Lüdmann, T., 1991: Der Zechstein des Harz-Südwestrandes zwischen Scharzfeld und Barbis: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II, Kartierung) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 44 S. und 4 Anlagen.
- Ludwig, W., 1991: Neukartierung des Zechsteins und des Unteren Buntsandsteins im Süden von Kipprode, südwestlich Barbis: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 49 S. und 3 Anlagen. Karte in 2062 enthalten

- Neander, F., 1995: Kartierung des Zechsteins am südlichen Harzrand bei Hainrode, Sachsen Anhalt: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 108 S. und 5 Anlagen.
- Pegler, K.,1989: Kartierung Zechsteins am südwestlichen Harzrand zwischen Förste und Osterode: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg; 54 S. und 5 Anlagen.
- Rau, O., 1986/87: Geologische Neukartierung im Harzrandgebiet südlich Osterode: unveröffentlichte Karten zur Diplomarbeit: kein Text 3 Karten.
- Rätzer, H., 1996: Geologische Kartierung des Zechsteinausstrichs am südöstlichen Harzrand bei Breitungen (Sachsen-Anhalt): unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften (der Universität) Hamburg: 84 S. und 2 Anlagen.
- Schaumburg, M., 1994: Kartierung des Zechsteinausstriches am südwestlichen Harzrand: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 77 S. und 3 Anlagen.
- Schmidt, U., 1989: Der Zechstein am südlichen Harzrand zwischen Tettenborn und Nüxei: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 85 S. und 4 Anlagen.
- Schröder, M., 1988: Kartierung des Zechsteins am südlichen Harz-Südrand zwischen Neuhof und Tettenborn: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) zur Diplom-Geologen- Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 56 S. und 3 Anlagen.
- Schulze, T., 1989: Geologische Kartierung südlich von Osterhagen (Südharzrand) unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 48 S. und 5 Anlagen.
- Svensson, U., 1987: Kartierung des basalen Zechsteins bei Badenhausen im Südharz: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 42 S. und 3 Anlagen.
- **Tsironidis, I.,** 1992: Der Zechstein westlich von Bad Lauterberg am südwestlichen Harzrand: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil II, Kartierung) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 58 S. und 4 Anlagen.
- Weers, K.-P., 1990: Kartierung des Zechsteins am südwestlichen Harzrand zwischen Osterode am Harz und Katzenstein: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg; 78 S. und 4 Anlagen.
- Weinberg, H. J., 1983: Lagerungsverhältnisse und Karstmorphologie des Zechsteins und Palynologie der quartären Deckschichten im Karstgebiet Beierstein/südwestliches Harzvorland: unveröffentlichte Diplomarbeit zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: V + 120 S., 22 Abb., 2 Tab., 8 Taf., 10 Kt., Anhang mit Schichtenverzeichnis.
- Wilken, M., 1988: Kartierung des Zechsteins am südlichen Harzrand zwischen Tettenborn und Neuhof: unveröffentlichte Diplomarbeit (2. Teil) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 55 S. und 4 Anlagen.
- Wobig, M., 1991: Der Zechstein nördlich von Osterhagen (SW´ Harzrand): unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) zur Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Universität Hamburg, Institut für Biogeochemie und Meereschemie: 45 S. und 5 Anlagen.

- **Wullenweber, J.,** 1991: Geologische Kartierung südlich Barbis am Harz: unveröffentlichte Diplomarbeit (Teil 2) für die Diplom-Geologen-Hauptprüfung: Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg: 32 S. und 5 Anlagen.
- Wrobel, P., 1997: Ingenieurgeologische Untersuchungen zur Trassenführung im erdfallgefährdeten Bereich Nüxei-Tettenborn (Landkreis Osterode / südwestlicher Harzrand) der geplanten Bundesstraße B 243 Osterode-Nordhausen: unveröffentlichte Diplomarbeit in dem Fachbereich 11 Geowissenschaften und Geographie: Geologisch-Paläontologisches Institut der Technischen Hochschule Darmstadt: 143 S., Anhang und 1 Anlage.

Kartierkurse, unveröffentlichte Berichte

- Achtstätter, N., et al.: 2009: Kartierkurs II in der Region Werna Niedersachswerfen im Südharz: 4 unveröffentlichte Berichte mit Karten: Fachbereich Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt.
- **Binai, A.** et al.: 2004: Kartierkurs II in der Region Neustadt (Südharz): unveröffentlichte Berichte mit Karten: Fachbereich Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt.
- Klaeske, U. u. Tegeler, D.: 2007: Kartierkurs II in der Region Steigerthal (Südharz): unveröffentlichter Bericht mit Karten: Fachbereich Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt.
- Debes, K. u. Rüther, J.: 2002: Kartierkurs II in der Region Steigerthal (Südharz): unveröffentlichter Bericht mit Karten: Fachbereich Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt.
- Beutel, C. u. Lieke, K.: 2007: Kartierkurs II in der Region Petersdorf (Südharz): unveröffentlichter Bericht mit Karten: Fachbereich Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt.
- Hempel, D. u. Wurdak, S.: 2002: Kartierkurs II in der Region westlich Petersdorf (Südharz): unveröffentlichter Bericht mit Karten: Fachbereich Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt.
- Bauer, I. u. Michelsen, N.: 2002: Kartierkurs II in der Region westlich Buchholz (Südharz): unveröffentlichter Bericht mit Karten: Fachbereich Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt
- Kuhn, G. et al.: 2011: Kartierkurs II in der Region Ellrich und Gudersleben im Südharz: 4 unveröffentlichte Berichte mit Karten: Fachbereich Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt.
- Haffke, P. et al.: 2011: Kartierkurs II in der Region Ilfeld und Rüdigsdorf im Südharz: 4 unveröffentlichte Berichte mit Karten: Fachbereich Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt.

Unveröffentlichte Studienarbeiten

Gilfert, M., 2010, Kartierung des Gebietes zwischen Werna und Mauderode (Südharzvorland): unveröffentlichte Studienarbeit: Fachbereich Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt: 66 S., 4 Anlagen, 3 Schnitte, 1 Karte.

Unveröffentlichte Bachelor-Arbeiten

Philipp, S., 2012, Geologische Kartierung des Zechsteins am südöstlichen Harzrand bei Breitungen, unveröffentlichte Bachelorarbeit, Institut für Angewandte Geowissenschaften TU Darmstadt: 94 S.; 11Karten und Beilagen

Digitalisierte Karten:

- LGN: 2007; Landesvermessungsamt und Geobasisinformation Niedersachsen, Hannover; digitalisierte TK25, Blätter (ein Stück!) 4227, 4327, 4328, 4329, 4429; Lieferung 15.10.2007
- LBEG: 2009; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover; digitalisierte NIBIS-Daten GK25 und GK50 für Gebietsausschnitt 4227, 4327, 4328, 4329, 4428, 4429 (unvollständig, Teilgebiet); Lieferung L3.3-Tgb. Nr.: 30208/09, 29.1.2009
- TLUG: 2009; Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie, Jena; Auftrag 00521/2009
- **TLVG**: 2010; Thüringer Landesamt für Vermessung und Geoinformation, Erfurt, topographische Karten DTK 25, Gebiete 1 und 2, Lieferung TKO/508/2010
- LAGB: 2011; Landesamt für Geologie und Bergwesen, Halle; Geologische Karte von Sachsen Anhalt im Maßstab 1 : 25 000, Blatt: 4432, 4433, 4434, 4532, 4533; Halle
- LVermGeo; 2011; Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt, Magdeburg; Topographische Landeskarten DTK 25, 2011, Lieferung A/-8000838-11,

	GK 25 Blatt	Karte
--	----------------	-------

4227	Osterode
4327	Gieboldehausen
4328	Bad Lauterberg
4428	Weißenborn
4429	Bad Sachsa
4430	Nordhausen (Nord)
4431	Stolberg (Harz)
4532	Kelbra
4433	Sangerhausen

Anlage 13 S. 1

Erfassung Einfallen aus DK,KK,StA, BA und VER

Quelle	Name	Profil	Text	Einfallen	Kommentar
2001	Svenson	х		5	
2002	Lammers	x		6	
2003	Beckmann	x		3	
2004	Weers		х	5	
2005	Richnow		х	10	
2006	Pegler	x		0-3	
2007	Ehrenstein		х	0-10	
2008	Landmann				keine Angabe = kA
2009	Grziwok				kA
2010	Hölemann		х	7-9	
2012	Bartsch		х	12	
2013	Jenisch	siehe Herrmanr	n 2056		Hainholz
2014	Haake	x			kA
2015	Rau				kA
2016	Knaack	x		0-7	
2017	Schaumburg	x		4	
2018	Jürgensen		х	10	
2019	Lüdmann	x		13	
2020	Tsironides				kA
2023	Ludwig	x		3	
2024	Wullenweber		х	3	
2026	Ladage	x		3	
2029	Wobig				k.A.
2030	Schulze	x		4	
2031	Choo		х	14-21	Flanke Staufenbüttel
2033	Kim				k.A.
2034	Schmidt	x		3-4	
2035	Lohmann	x		6-7	
2037	Wilken		х	27	verstellt (?)
2038	Schröder	x		2	
2041	Klünder		х	5 - 12	
2043	Jemmerjahn		х	10	
2044	Diercks	x		4	
2045	Hupe		х	20	
2046	Fölling	x		20	
2048	Neander	x		14	
2049	Bluhm	x		18	
2050	Wrobel	x		10	
2051	Weinberg	x		7	
2052	Rätzer	x		15	
2053	Brasse	x		16	

Anlage 13 S.2

Erfassung Einfallen aus DK,KK,StA, BA und VER

2054	Mignat	nach Hermann	2056		
2055	Balschun			1-2	
2056	Herrmann	Х	х	0	
2057	Daume	x		16	
2058	Glab-Meinke	x		9	
2059	Schmitt	x		10	Bruchschollen
2064	Kleinschmitt		х	10	
2068	Wiencke	x			k.A.
2069	Walker	х		11	
2070	Siemers/Tischak	х		11	
2073	Heckwolf/Markgraf	х		10	
2074	Doose/Krahé	х		11	
2075	Lieke/Beutel	х		0-10	
2076	Hempel/Wurdack	x		5	
2077	Bauer/Michelsen	x		3	
2084	Krause/Stadkiewicz	х		11	
2085	Menne/Schwarz				k.A.
2086	Tonnius/Pasaoglu				k.A.
2087	Olivera/Lerch	x		10	
2088	Philipp	x		8	
2089/W1	Reinheimer/Kuhn	х		13	
2089/W2	Mohr/Wewior				k.A.
2089/W3	Kutschke/Schreiber	x		10	
2089/W4	Kusch/Ross/Tissen	х		12	
2089/E1	Schröder/Kirka	х		12	
2089/E2	Legner/Schwalb	x		11	
2089/E3	Hofmann	x		17	
2092	Stecker				k.A.
2093/M1	Horneck/Raab/Attardo	x		9	
2093/M2	Brück/Buch/Sauerwein		х	23	Weißliegend Nord
2093/M3	Mutzl/Selten/Weber	x		10	
2093/W1	Peters/Orendt	x		11	
2093/M2	Schuster/Heldmann		x	11	
2993/E1	Aussmann/Kunkel/Wenzel	x		10-16	
2093/E2	Dickm./Schaus/Weis	x		15	

Anlage 14 Modellrechnung

Modellrechnung für störungsfreies Gebirge im Sangerhäuser Kupferschiefer-Revier mit abgerundeten Werten

Gegebenheiten:

Abstand Röhrig-Schacht - Schacht Bernhard-Koenen I = 10,0 km Hängebank Röhrig-Schacht bei etwa 206 mNHN Hängebank Schacht Bernhard Koenen I bei etwa 137 m NHN

Fiktives Abtauchen des Kupferschiefers bis zur Teufe des fiktiv vertieften Schachtes Bernhard Koenen I

zum Vergleich

Schacht Bernhard Koenen I Teufe bis z1T -556 m NHN, Schachtlänge 693 m

vertiefter Schacht

fiktive Teufe bei	6° 1.051 m	-137 m 🗲	-914 m NHN
fiktive Teufe bei	15° 2.679 m	-137 m 🗲	-2.542 m NHN
fiktive Teufe bei	19° 3.443 m	-137 m 🗲	-3.306 m NHN

Annahme: Einfallen und Abstände in der Darstellung geben die Realität maßstäblich wieder (plausible Maßstäbe, Zeichnungsdetails). Eine ggf. erforderliche Rück-Entzerrung auf "richtige" Werte verändert zwar Winkel und Abstände, aber die geometrischen Proportionen nicht und damit nicht die Aussagen zur Lage des fiktiven Schachtsumpfes.

Struktur-Abfolgen

Abschnitt	Lage	Folge	Abschnitt	Lage	Folge
		- 9 ⁻			
		sh, sh, sh, h, g, h, g,			
1	Schnitt 4227-M1	bl, sh		Block 1 W	bl, bl, h, g, h, g, h, bl, bl, h
2	Schnitt 4327-M3	sh, sh, sh, sh, sh, h, g		Block 1 E	g, bl, bl, h, bl
		sh, sh, h, sf, h, g, sf,			
3	Schnitt 4327-W2	g, sf, g, sh, sh, sh		Block 2	h, g, bl, h, bl,g, h, bl, bl
	NW-SE-Folge	h,g h	14		
4	N-S-Folge	sh ,sh, sh		Block 3	h, bl, g, h, g, bl, h, bl, bl,
					h, g, bl, bl, bl, g, bl, h, bl,
5	-	-		Block 4	bl
	W-E-Folge	h, g, h			
6	N-S-Folge	eh, eh, eh		Block 5	h, g, bl, h, bl,
7	-	-		Bock 6	g, h, bl
	NE-SW-Folge	g, h			
8	W-E-Folge	bl, bl		Block 1	g, bl, h
	W	g,h		Block 2	bl, g, bl, bk, h
9	E	g, h, g, sh	16	Block 3	g, h, g, bl, h
10	Schnitt 4428- E1	g, bl, h	10	Block 4	h, g, h
11	Nord und Graben	g, h, bl, g, bl, h		Block 5	h, g, h
	Block 1	h, bl, g, bl, bl, h		Block 6	h
	Block 2	h, g, h, g, h, g, bl, h		Block 7	bl, bl, bl, h
12	Block 3	g, bl, h, g, h, g, h, g, h		Block 1	g, bl, h, g, bl, h
	Block 4	h, bl, h, g, h, g, h		Block 2	g, bl, h
	Block 5	bl, h, g, h, g, h		Block 3	bl, bl, bl, bl, h, g
	Block 1	bl, h, g, bl, h, bl		Block 4	g, bl, bl, bl, bl
			17		
	Block 2	h, g, bl, h, bl, g, bl, bl		Block 5	g, bl, bl, bl, bl, h
	Block 3	h, g		Block 6	h, bl, bl, h
	Block 4	h, g, bl, bl		Block 7	h, bl, bl
13	Block 5	h, g, bl, h, bl, g, bl, h		Block 8	h, bl
	Block 6	bl, h, g, bl	18	Bock 1 -5	je Block: h
	Block 7 Bere	g, bl, h, bl, g			
	Block 8 Bere	bl, g, bl, g,			
	Block 9	h, g, bl, bl, h,		1	Abkürzungen
	Block 10	bl, bl, h, g, bl, h, g			

bl	Bruchleiste
eh	St E-hebend
g	Graben
h	Horst
nh	St N-hebend
sf	s-fallend
sh	St S-hebend
St	Störung
wh	St W-hebend

Struktur-Abfolgen der Extension, von W nachE

11	g, bl, bl, bl
12 u. 13	h, g, h, g, bl, bl, h, bl, g, g, h, bl
16, 17 u.18	Abschnitt 16: bl, h, bl, g, h, bl, bl Abschnitt 17: g, h, g, bl, bl, h, g, h Abschnitt 18: bl, g, bl, bl, bl

а 187 в И DH-1 NDH = Nordhausen ADH, B B Salza-Qu. 26 B ==> 1°40 Abdachung vor 295 Ma (1142 + 6000 - 200): 32.000 = 0,217 ==>12° 14' 30⁻km Westerberg (1142 - 200); 32.000 = 0,029 249 m Appenrode 570 m Zwergberg mit 6 km Überdeckung heutige Abdachung 639 m 536 m nistrand 20⁴km Brocken - Salza **Θ**κοβεκ Ελγεηberg 586 m Ochsenberg Anlage 16: Abdachung des Harz 10 km 569 m 7 **Rauher Jakob** Wurmberg 971 m 1141 m 0 Brocken MHN m 1000 1250 500 750 250 0

Anlage 17 Erdfallstörungen und Ponore

Abb.	Cluster	Störung	Anmerkung
4.6.1.3	4227	50 EM	
4.6.3.2	4327	42 E	
		93 ES	
		99 KEM	
4.6.13.4	4430	273 EM	
		274 EM	
		268 EM	
		285 EM	
4.6.14.11	4431	zahlreich	siehe Abb. 4.6.14.11
4.6.9.1	4328	142 KM	Ponor bei Bartolfelde
4.6.12.1	4429	66 KE	Ponor in der Heubergkerbe

Anhang 1

Leerblatt zum Ankleben und späteren Herausklappen der Geologischen Karte:

Stratigraphie und Störungen, Quartär abgedeckt.

Format DIN A 3



R	R
z1A	W
z1K	z
z1T	ĸ
z1C	z
r	R
С	ĸ
d	D
р	Р
	s

Anhang 2

Leerblatt zum Ankleben und späteren Herausklappen der

Tektonischen Karte

Format DIN A 3



Veröffentlichungen/Ausarbeitungen

Hubrich, H.-P., 1964; Ausgasung und Schichtenkennzahlen für den Aachener Steinkohlenbezirk, unveröffentlichte Diplomarbeit Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

Kempe, S., Hubrich, H.-P. & Suckstorff, K., 2006, The story of the 1833 Fercher survey, Postojnska jama: continues: An additional document and newly discovered inscriptions; ACTA CARSOLOGICA 35/1, Ljubljana, 131 – 138.

Kempe, S., Hubrich, H.-P. & Suckstorff, K., 2006, The history of Postojnska jama: The 1748 Joseph Anton Nagel inscriptions in jama near Predjama and Postojnska jama ; ACTA CARSOLOGICA 35/2, Ljubljana, 155 – 162.

Kempe, S, & Hubrich, H.-P.; 2008, Inscriptions of some historically persons in Postojnska Jama; ACTA CARSOLOGICA 40/2 2011, Ljubljana 2011, 397 – 415.

Hubrich, H.-P., Kollbacher, M., Kauer, M.; 2010, Die Entstehung der Felsenmeere am Felsberg in Lautertal im Odenwald; Felsenmeer Informationszentrum, 19 S.

Hubrich, H.-P.; 2012, Das Reichenbacher Gold – Borstein und Hohenstein; Felsenmeer Informationszentrum, 22 S.

Hubrich, H.-P.; 2013, Das Naturschutzgebiet Felsberg, Felsenmeer Informationszentrum, 29 S.

Hubrich, H.-P., 2013, Die Blauenthaler Höhle im Eibenstock-Karlsbader Turmalingranit, Erzgebirge, Mitt. Verb. Dt. Höhlen- u. Karstforscher 59(2) 44-48, München, 44-48.

Hubrich, H.-P.; 2014, Lagerungsverhältnisse und Tektonik des Südharzer Zechsteins – Ein Zwischenbericht; Karst und Höhle, 2011-2014; Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V., 106 – 107.

Hubrich, H.-P. u. Kempe, S., 2014; Mühlgraben und "falsche Uffe" im Karst bei Klettenberg, Karst und Höhle; 2011-2014, Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V.; 108 – 112.

Hubrich, H.-P. u. Kempe, S., 2017: Tectonic Control of Permian Gypsum Karst Belt along the Southern Margin of the Harz-Mountains (Germany), Proceedings of the 17th International Congress of Speleology Sydney 2017, Union Internationale de Spéléologie; S 43 – 46.

Hubrich, H.-P. u. Kempe, S., 2019, The Permian Gypsum Karst Belt along the southern Margin of the Harz-Mountains (Germany), tectonic Control of regional Geology and Karst Hydrology, Acta Carsologica; Postojna Slovenia; eingereicht 17.7.2019, Annahme zur Veröffentlichung 16. Dezember 2019

Literatur, Quellen

Agassiz, L., 1829, Selecta Genera et Species Piscium, 378 S.

Agricola, G., 1556, deutsch 1928, Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf 1977, 564 S.

Arp, G., Vollbrecht, A., Tanner, D.C., Leiss, B., 2011, Zur Geologie des Leinetalgrabens – ein kurzer Überblick; in Neue Untersuchungen zur Geologie der Leinegrabenstruktur; Universitätsverlag Göttingen, 170 S. (siehe auch Vollbrecht!).

Behme, F., 1909, Geologischer Führer durch die Umgebung der Stadt Clausthal im Harz, Hannover und Berlin, Hahnsche Buchhandlung, 220 S.

Behrens, G.H., 1703. Hercynia Curiosa oder Curiöser Hartz-Wald, Reprint Dr. Martin Sändig, Walluf Wiebaden, 203 S, 12 T.

Blainville, H.-M. D., 1818, Sur les Ichthyolites, les Poisons Fossiles, Article extrait du Nouveau Dictionnaire d'Histoire Naturelle, vol. 28, Abel Lange, 91 S.

Brandt, A., Kempe, S., Seeger, M. u. Vladi, F., 1976, Geochemie, Hydrographie und Morphogenese des Gipskarstgebietes von Düna/Südharz; Geol. Jb, C15, 3 – 55.

Brink, H.-J., 2012, Die Struktur der Kruste von Harz und Umgebung: Übersicht und Analyse, Hallesches Jahrbuch, Beiheft 28.1. Workshop Harzgeologie, Roßla; 13 – 17.

Carlé, W., 1938, Die Saxonische Tektonik westlich und nordwestlich des Harzes (Gittelder Graben und Lutterer Sattel), Geotektonische Forschungen, Heft 3.

Carlé, W., 1955, Bau und Entwicklung der Südwestdeutschen Großscholle; Beih. Geol. Jb. 16, 272 S, 4 T, 45 A, Hannover.

Carlé, W. E. H., 1988, Werner – Beyrich – von Koenen – Stille: ein geistiger Stammbaum wegweisender Geologen, Geol. JB., 3 – 499.

Cloos, H., 1928, Über antithetische Bewegungen; Geol. Rundschau 19, Berlin, 246 – 252.

Dahlgrün, F., Geologische Karte von Preußen, Blatt Stolberg am Harz, 1934, mit Erläuterungen 1935.

Dehne, G., 2009, Der Staufenbüttel bei Bad Sachsa – Steina, Infoblatt zum bundesweiten Tag des Geotops 2009, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.

Dittrich, E., 1966, Einige Bemerkungen über Rand- und Schwellenausbildungen im Zechstein Südwest-Thüringens: Ber. Deutsch. Ges. geol.Wiss. A Geol.Paläont.: 11. ¹/₂. S. 185-198: Berlin - Zitat.

Drozdzewski G., 1988, Die Wurzel der Osning-Überschiebung und der Mechanismus herzynischer Inversionsstörungen in Mitte-Europa.

Duffy, B. in www.academia.edu/14522693/Geol 244_Structural_Geology_and_Global_Geophysics, Abgriff 24.10.2018.

Eckstorm, H., 1620, Historiae Terrae Motuum complurium, & praecipue eius, quo Plura oppidum in Alpibus Rheticis nuper misere obrutum & convulsum est, 234 S.

Ehrenstein, C., 1988, Kartierung und tektonische Analyse dreier Ost-West streichender Dolomit-Sättel: Hellenberg – Langenberg – Rötzel: unvollständiges Exemplar.

Franke, D., 2011, Regionale Geologie in Ostdeutschland – Ein Wörterbuch.

Franzke, H.J., 2006, Das mesozoische Spannungsfeld im Harzgebiet, abgeleitet aus kinematischen Störungsanalysen, Clausthaler Geowiss. 5, 89 - 100, Clausthal-Zellerfeld, Inst. Geol.Paläont. TU Clausthal.

Franzke, H.J., 2012, Was sagen uns die hydrothermalen Mineralgänge des Harzes und des Thüringer Waldes zur geologischen Entwicklung des Gebietes? Hallesches Jahrbuch, Beiheft 28.1. Workshop Harzgeologie, Roßla, 18 - 25.

Franzke, H.J., 2019, E-Mail-Notiz vom 6.8.2019, "Spaltspur-Profile".

Freiesleben, J.C., 1809, Geognostischer Beytrag zur Kenntnis des Kupferschiefergebirges, Freiberg, 169 – 205, 2 T.

Freisesleben, J.C., 1815, Geognostische Arbeiten 3. Bd, 2 K, 338 S, Cruz u. Gerlach, Freiberg.

Fürer, G., 2009, Der Reichenbergschacht ersäuft – ein Beispiel hessischer Bergbaugeschichte, World of Mining, Surface & Underground 61 Nr. 2.

Geologische Karte Harz 1 : 100.000, Hinze et al., Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Halle 1998.

Haake, B., 1986, Der Zechstein am südwestlichen Harzrand südlich von Düna/Osterode, unveröffentlichte Diplomarbeit Universität Hamburg 1986.

Haase, H., 1936, Hydrologische Verhältnisse im Versickerungsgebiet des Südharz-Vorlandes, Dissertation, Georg-August Universität zu Göttingen; 218 S, 9 T, 2 A.

Hermann, A., 1956, Der Zechstein am südwestlichen Harzrand (seine Stratigraphie, Fazies, Paläographie und Tektonik), Geol. Jb. 72; 72 S, 4 T, 14 A 1 Tab.; Hannover.

Herrmann, A., 1976/1981, Zum Gipskarst am südwestlichen und südlichen Harzrand; Ber. naturhist. Ges. Hannover 124, 10 S.

Herrmann, A., 1981, Eine neue geologische Karte des Hainholzes bei Düna/Osterode am Harz, Ber. naturhist. Ges. Hannover; 16 S, 2 A, 2 K.

Hinze, C. et al., 1998, Geologische Karte Harz 1:100.000; Halle.

Hubrich, H.-P. u. Kempe, S., 2014, Mühlgraben und falsche Uffe im Karst bei Klettenberg Thüringen, Karst und Höhle 2011-2014, Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher, 108 – 112.

Jenisch, A., 1988, Der Zechstein nördlich Düna (Südwestharzrand), unveröffentlichte Diplomarbeit Universität Hamburg.

Jordan, H., Erläuterungen zu Blatt Osterode Nr. 4227, 148 S, 12 T, 5 K, Hannover 1976.

Jung, W., 1958, Zur Feinstratigraphie der Werraanhydrite (Zechstein) im Bereich der Mansfelder Mulde, Geologie, 7, Beiheft Nr. 24, 88 S, 10 A, 3 Tab., 23 T, Berlin.

Jankowski, G., 1963; Bohrlochabweichungen bei Kupferschieferuntersuchungsbohrungen in der Sangerhäuser Mulde; Z. f. angew. Geol. Heft 4, 177 – 179.

Kalkowski, E., 1903, Oolithe und Stromatolithe im Norddeutschen Buntsandsein, ZDGG 66: 68 - 125.

Kempe, S. u. Vladi, F., 1988, Die Lichtensteinhöhle; Heimatblätter für den Südwestlichen Harzrand, Heft 44.

Kempe, S. u. Vladi, F.; 2019, Lage, archäologisches und geologisches Umfeld in Flindt "Archäologische Ausgrabung Lichtensteinhöhle", Teil 1; in Vorbereitung.

Kempe, S. u. Seeger, M., 9.2.1972, Hydrogeologische Stellungnahme zum Naturschutzgebiet "Hainholz" und des westlichen Nachbargebietes nach vorläufigen Beobachtungen, Eingabe der Arbeitsgemeinschaft für niedersächsische Höhlen, c/o Geologisch-Paläologisches Institut der Universität Hamburg an den Präsidenten des niedersächsischen Landtages.

Kempe, S., 1996, Gypsum karst of Germany. - In "Gypsum Karst of the World"; Int. L. Speleol. 25, 3 - 4.

Kempe, S., 1998, Gipskarst und Gipshöhlen in Deutschland; Alfred Töpfer-Akademie für Naturschutz, Schneverdingen.

Kempe, S. u. Rosendahl, W., Hrsg., 2008, Höhlen Verborgene Welten 168 S, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt.

Kempe, S. et al., 1976, Die Jettenhöhle bei Düna und ihre Umgebung, Mitt. Verb. dt Höhlen- und Karstforscher 22 (3), München, 107 - 109.

Kempe, S., Mattern, E. Reinboth F., Seeger, M. Vladi, F., Die Jettenhöhle und ihre Umgebung, Abh. Karst- und Höhlenkunde, 6 A, 65 S.

Kempe, S. u. A. Helbing, 2000, Die "Größe" deutscher Gipshöhlen. – Die Höhle, 51(1): 13 - 20.

Kiersnowski, H., Paul, J., Peryt, T.M. & Smith, D.B., 1995, Facies, paleogeography, and sedimentary history of the Southern Permian Basin in Europe. – in Scholl, P.A et al., eds. The Permian of Northern Pa1: Precampgea, Vol. 2,

Kiersnowski, H. et al., 2008; in McCann, The Geologiy of Central Europe, Vol. 1: Precambrian and Palaeozoic; 53 1 – 597, The Geological Society London.

Kley, J., Voigt, T., 2008. Late Cretaceous intraplate thrusting in Central Europe, Effect of Africa-Iberia –Europe convergence, not Alpine collision, The Geological Society of America.

Kley, J., 2013, Z. Dt. Ges. Geowiss. 164 (2), Saxonische Tektonik im 21. Jahrhundert, 295 – 311, 9. A., E. Schweizerbart´sche Verlagsbuchhandlung.

König, S., 1991, Lagerstättentektonische Analyse und Bewertung der Kupferschieferreviere des Harzvorlandes, Dissertation Bergakademie Freiberg, 103 S. 12 Anl.

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, Halle, 151 S.

Kossmat, F., 1927, Gliederung des variszischen Gebirgsbaus; Abh. Sächs. Geol Landesamt 1, 39 S.; Leipzig.

Krakow, M., 1998, Geologische und karstmorphologische Bearbeitung des Zechsteins im "alten Stolberg" westlich Rottleberode, Südharz, unveröffentlichte Diplomarbeit TU Braunschweig.

Kuhn. O., 1964, Die Tierwelt des Mansfelder Kupferschiefers, Die neue Brehm Bücherei, A. Ziemsen Verlag, Wittenberg 58 S.

Kupetz, M. u. Brust, M., 1991, Historisches zum Begriff der "Mansfeldischen Kalkschlotten" sowie ein Beitrag zur nomenklatorischen Bestimmung dieses Höhlentyps. - Karst und Höhle, 1996, Karst und Höhle, 1994/95, (Beitrag zur Geschichte der Karst - und Höhlenforschung in Deutschland, Teil 2), München, 91-105.

Kupetz, M. u. Knolle, F.; 2019, Die Barbarossa-Höhle, Exkursion E6 (14.6.2019), Geowiss. Mitt. Thüringen, Beiheft 12, 185 – 201.

LBEG Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Symbolschlüssel Geologie, Hannover, Abgriff 11/2002.

Lasius, G.S.O., 1789, Beobachtungen über das Harzgebirge, Hannover, 129 – 135.

Lehmann, J. G., 1756, Versuch einer Geschichte von Flötz-Gebürgen, Lange, Berlin, 248 S.

Löhneyss, G. E., 1670, Bericht vom Bergwerk; Stockholm, Hamburg, Leipzig, 363 S.

Lotze, F., 1971, Dorn-Lotze, Geologie Mitteleuropas, Schweizerbart´sche Verlagsbuchhandlung, 491 S, 165 T-A, 13 Tab., 7 Beilagen.

Lützner, H., u. Kowalczyk, G., 2012, Einführung zur Stratigraphie der innervariszischen Rotliegendbecken, in Stratigraphie von Deutschland X, Rotliegend, SDGG, Heft 61, 9 – 19.

Menning, M., 2018, Der Zechstein in der Stratigrafischen Tabelle von Deutschland 2018 in Menning, M. u. Hendrich, A., Erläuterungen zur Stratigrafischen Tabelle von Deutschland, E. Schweizerbart´sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 306 S.

Metz, K., 1957, Lehrbuch der tektonischen Geologie, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 294 S, Tafeln.

Möbus, G., 1966, Abriss der Geologie des Harzes, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig, 219 S.

Mohr, K., 1978, Geologie und Minerallagerstätten des Harzes, E Schweizerbart, Stuttgart, 388 S und div Beilagen.

Murawski, H. u. Meyer W., 2004, Geologisches Wörterbuch, 11. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 262 S, Elsevier GmbH, München.

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung und Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2002, Symbolschlüssel Geologie, Hannover.

Paul, J., 1987, Exkursion F, Der Zechstein am Südharzrand: Querprofil über eine permische Schwelle, Stop 1-13. - In Kulick, J., u. Paul, J., (eds.); Exkf. II, Int. Symp. Zechstein 87, Kassel-Hannover, 193 - 276.

Paul, J., Rotliegend und Zechstein am Harzsüdrand, Exkursionsführer, 97 - 113, Deutsche Geologische Gesellschaft, 141. Hauptversammlung 1989, Braunschweig.

Paul, J., 1998, Südliches Harzvorland: Geologische Grundlagen einer Landschaft, Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz, Berichte 11, Heft 2, 7 – 16.

Paul, J, 2012, Rotliegend des Harzes, Stratigraphie von Deutschland X, Rotliegend, Teil1: Innervariszische Becken, 204 – 235, 1 Karte.

Paul, J., 2013, Riffe, Kliffe, Gips u Kupferschiefer... Jber Mitt oberrheinischen... 23S, 22 A, 2 Tab.

Paul, J., 2016, Diapirismus und Doming von Sulfatgesteinen (Zechstein, Harz) – in Friedel, C.H. & Leiss, B. (Hrsg.) Harzgeologie 16, 5. Workshop Harzgeologie, Göttingen Contr. Geosci.; 78, 37 – 39, Göttingen.

Paul, J. et al., 1998, Geologie des Gipskarstgebietes zwischen Nordhausen und Stempeda (Zechstein, südlicher Harzrand), Geowiss. Mitt. von Thüringen 6; 57 - 81, Weimar.

Piesnitz, J., 1969, Das Nixseebecken, eine Polje im Gipskarst des sw´Harzvorlandes, Jh. Karst- u. Höhlenkunde, Heft 9, 73 - 82, 2 A, München.

Reinboth, F., 1970, Die Himmelreichhöhle bei Walkenried und ihre Geschichte, Mitt Verb dt Höhlenund Karstforscher 16 (3/4), 29 – 44, München.

Reinboth, F., 1976, Obere Trogsteinhöhle (Teilstück), Höhlenkataster Niedersachsen Nr. 4429/04 und "Die Große Trogsteinhöhle als Beispiel einer Schichtgrenzenhöhle im Gips.

Reinboth, F., 1976, Weingartenloch, Höhlenkataster Niedersachsen Nr. 4429/01.

Reinboth, F., 1995, Das Weingartenloch bei Osterhagen, Walkenrieder Miszellen, Braunschweig, 10 S.

Richter Bernburg, G., 1968, Saxonische Tektonik als Indikator erdtiefer Bewegungen, Geol. Jh. 85, 997-1030, 20 A, Hannover.

Röhling, H.-G., 2004, Infoblatt zum bundesweiten Tag des Geotops 2004, Der Römerstein nördlich von Nüxei, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.

Rupstein, E.F. u. Bock, 1760, Situationsplan von dem Grubenfeld des Breitunger Kupferschiefer Reviers, Lith. Anst. V. Fr. Eberhardt i. Nordhausen.

Scheffer, 1697, zitiert nach Mohr, 1978, S. 2 ff.

Schriel, W. u. von Gartner, R., 1934, Geologische Karte 1: 25.000, Blatt 4430, Nordhausen Nord.

Schriel, W. 1935, Erläuterungen zu den Geologischen Karten 4429 und 4430.

Schriel, W., 1954, Die Geologie des Harzes; Wirtschaftswissenschaftliche Gesellschaft zum Studium Niedersachsens E.V., Hannover; 308 S, 21 T.

Schuh, F., 1922a, Die saxonische Gebirgsbildung, Kali, Zeitschrift für Gewinnung, Verarbeitung und Verwertung der Kalisalze, Verlag Wilhelm Knapp, Halle; Teil 1: 145 – 174; Teil 2: 285 – 312.

Schuh, F., 1922b, Beitrag zur Tektonik der Salzstöcke, Kali, Nr. 1, 1 - 10.

Spackeler, G., 1957, Lehrbuch des Kali- und Steinsalzbergbaues, VEB Wilhelm Knapp Verlag, Halle (Saale), 598 S.

Stedingk, K., Herold. U. u. Heckner, J., 2006, Kupferschieferbergbau und Gipskarst am Südharz, Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 8, 345 - 368, 14 A,2 T, Stuttgart.

Stille, H., 1902, Über präcretazische Schichtverschiebungen im älteren Mesozoikum des Egge-Gebirges, Jahrbuch der Königlichen Preußischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin, 23, 296 - 322.

Stille, H., Göttinger Beiträge zur saxonischen Tektonik

- Das Einsetzen der saxonischen Richtungen, Bd 2

1923-1925, Rheinische Gebirgsbildung im Kristianagebiete und in Westdeutschland,

Göttinger Beiträge zur saxonischen Tektonik, Hrsg, H. Stille, Berlin, im Vertrieb bei der Preußischen Geologischen Landesanstalt, Berlin 1923, 125 – 132.

Stille, H., 1930, Das Einsetzen der saxonischen Richtungen im westdeutschen Jungpaläozoikum: Abh. D. Geol. LA 95 Berlin, 38 – 74, 4 T.

Tanner, D. C., Leiss, B., Vollbrecht, A., 2010, The Göttingen Geothermal Group, The role of strikeslip tectonics in the Leinetal Graben, Lower Saxony, Z. dt. Ges. Geowiss. 161/4, 369 – 377, 13 A, 1 Tab., Stuttgart.

Trebra, F. W. H. v., 1785, Erfahrungen vom Inneren der Gebirge; Dessau/Leipzig.

Vladi, F., 2004, Zur Geologie der Einhornhöhle, Südharz, Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforschung, 44 - 51, München.

Vladi, F., 1978, Gutachten über Karstgeologie, Karsthydrogeologie und Speläologie des Naturschutzgebietes Hainholz, Eigenverlag, Hamburg.

Völker, R. unveröffentlichter Erdfallkataster.

Völker, R., 1981, Die Heimkehle, Mitt. d. Karstmuseums Heimkehle, Heft 1, 40 pp, Uftrungen.

Völker, C. u. R., ohne Jahresangabe, Die Elisabethschächter Schlotte, Mitteilungen des Karstmuseums Heimkehle, Heft 2.

Völker, C. u. Völker, R., 1983, Der Bauerngraben. Mitt. d. Karstmuseums Heimkehle, Heft 3, 40 S. Uftrungen.

Völker, C. u. Völker, R., 1986, Die Wimmelburger Schlotte. - Mitt. d. Karstmuseums Heimkehle, Heft 13, 60 S.

Völker, R., 2011, Die Berührungen des Sulfatkarstes durch den Bergbau im Südharz. – Akad. Geowiss. Geotechn., Veröffentl. 28(2011), 277 - 287.

Völker, C. u. R., 2016, Der Salzaspring, Eigenverlag.

Völker, C. u. R., ohne Jahresangabe, Die Segen Gottes Schlotte, Mitteilungen des Karstmuseums Heimkehle und des Arbeitskreises Höhlen- und Karstforschung beim KB der DDR, Heft 3.

Völker, C. u. R., ohne Jahresangabe, Auf dem Weg in die Elisabethschächter Schlotte, Mitteilungen des Karstmuseums Heimkehle, Heft 11.

Völker, C. u. R., ohne Jahresangabe, Die Suche nach Schlotten, Mitteilungen des Karstmuseums Heimkehle, Heft 12.

Völker, C. u. R, ohne Jahresangabe, Der Kampf gegen das Wasser, Mitteilungen des Karstmuseums Heimkehle, Heft 16.

Völker, R. u. Völker, C., 1991, Die Numburghöhle. Mitt. Karstmuseum Heimkehle, Heft 21, 104 S.

Völker, R.; 2011, Die Berührungen des Sulfatkarstes durch den Bergbau im Südharz, Akad. Gewiss. Geotech., Veröffentl. 28, 277 – 287.

Voigt, T., von Eynatten, H., u. Kley, J., 2009, Kommentar zu "Nördliche Harzrandstörung, Diskussionsbeiträge zu Tiefenstruktur, Zeitlichkeit und Kinematik" von Volker Wrede, ZDGG 159/2, 293 - 316, ZDGG 160/1, Stuttgart.

Walter, S. u. Kappler, M., 2014, Bergbau und Geologie des Kupferschiefers im Besucherbergwerk "Lange Wand" in Ilfeld", Der Aufschluss 65(4): 181 - 195.

Walter, R., 1995, Geologie von Mitteleuropa, E. Schweizerbart´sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 566 S.

Wagenbreth, O., Steiner, W., 1982, Geologische Streifzüge, S 76 ff, Das östliche und südliche Harzvorland, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.

Wrede, V., 1988, Der nördliche Harzrand – flache Abscherbahn oder wrench-fault-system? Geologische Rundschau 77/1, 101 -114, Stuttgart.

Wunderlich, H.-G., 1957, Tektogenese des Leinetalgrabens und seiner Randschollen; Geologische Rundschau, Internationale Zeitschrift für Geologie, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 372 – 413.

Zechstein 87, Internationales Symposium, Exkursionsführer II, Leitung Kulick, J. u. Richter-Bernburg, G.; herausgegeben von Kulick und Paul, Wiesbaden 1987.

Ziegler, T., 2011: Der Tiefe Gonnaer Erbstollen. – Die Geschichte des Sangerhäuser Berg- und Hüttenwerkes von den Anfängen bis zur Neuzeit, Heft 18, 194 S.

Zückert, J.-F.; 1763; Die Naturgeschichte einiger Provinzen des Unterharzes nebst einem Anhange von den Mannsfeldischen Kupferschiefern, Friedrich Nicolai, Berlin; 199 - 200.

Dissertation Hubrich

Übersicht zum Kartenwerk auf der CD

Die Kartenkürzel werden mit der Cluster-Nummer vervollständigt.

Schnitte: Bearbeitungsunterlagen mit Bezug auf die Karten HSa v

n/ - e Schnitte .K	27 SN4227	27 SN 4327	28 SN4328	28 SN4428	29 SN4429	30 SN4430	31 SN4431	32 SN4532	33 SN4433
Grube Stein brüch und Ducke nach T	FPD42	FPD43	FPD43	FPD44	FPD44	FPD44	FPD44:	FPD45	FPD44
Lage der Höhlen nach TK	FCv4227	FCv4327	FCv4328	-	FCv4429	FCv4430	FCv4431	•	•
Erdfälle nach Kataster	FEK4227	FEK4327	FEK4328	•	FEK4429	FEK4430	FEK4431	•	•
Erdfälle nach TK			•	FET4428	•	,		FET4532	FET4433
Fließerde und Quartär	FFe4227	FFe4327	FFe4328	I	FFe4429	FFe4430	FFe4431	FFe4532	FFe443
Stratigra- phie und Störungen nach Kartier-ung	FSK4227	FSK4327	FSK4328	FSK4428	FSK4429	FSK4430	FSK4431	FSK4532	FSK4433
Versturz	HVS4227	HVS4327	•	-	HVS4429	-	•	HVS4532	-
Karbonate	HCa4227	HCa4327	HCa4328	HCa4428	HCa4429	HCa4430	HCa4431	HCa4532	HCa4433
Stör- ungen nach tektoni- scher Klärung	HSy4227	HSy4327	HSy4328	HSy4428	HSy4429	HSy4430	HSy4431	HSt4532	HSt4433
Quartär	HQu4227	HQu4327	HQu4328	HQu4428	HQu4429	HQu4430	HQu4431	HQu4532	HQu4433
Stratigra- phie und Störungen nach tekton. Klärung	HSa4227	HSa4327	HSa4328	HSa4428	HSa4429	HSa4430	HSa4431	HSa4532	HSa4433
Cluster	4227	4327	4328	4428	4429	4430	4431	4532	4433

÷

























































































































































