

Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Wintershall (Haldenerweiterung Wintershall)

Band 3.5.1 der Antragsunterlage

**Kartierungsbericht zur digitalen geologischen Karte 1:25.000 des
Produktions- und Haldenstandortes Werk Werra der K+S KALI
GmbH**

Vorhabenträger:

Standort Wintershall
Werk Werra
In der Aue
36266 Heringen



Gutachter:

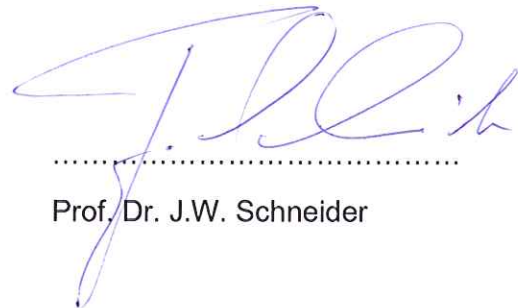
Institut für Geologie
TU Bergakademie Freiberg
Bernhard-von-Cotta-Straße
2 09599 Freiberg

im Auftrag von

Jungk Consult GmbH
Torstraße 177
10115 Berlin



.....
Dipl.-Ing. Volker Jungk
(Jungk Consult)



.....
Prof. Dr. J.W. Schneider



.....
Dipl.-Geo. Andreas Brosig

Impressum

Fassung vom 13.04.2015

Ansprechpartner: Prof. Dr. J. W. Schneider

Telefon: 03731/392856

e-Mail: Joerg.Schneider@geo.tu-freiberg.de

Web: tu-freiberg.de/geo/palaeo



Ergebnisse im Überblick:

- Für das ca. 114 km² große Kartiergebiet im Umfeld des Halden- und Produktionsstandortes Wintershall, Werk Werra, der K+S KALI GmbH wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine digitale **geologische Karte im Maßstab 1:25.000 mit und ohne känozoische Sedimentbedeckung** sowie eine **tektonische Karte** erstellt.
- Als Datengrundlage dieser Neubearbeitung dienten sowohl amtliche GK25 der Blätter 5026 Berka (Werra) und 5126 Vacha in Thüringen sowie die Blätter 5025 Hönebach und 5125 Friedewald in Hessen als auch unveröffentlichte Manuskriptkarten (geologische Detailkartierungen) im Umfeld des Standortes Wintershall. Dazu wurde auf Datensätze der geologischen Landesämter HLUG und TLUG zurückgegriffen und in Abstimmung mit diesen vorgegangen.
- Mit Hilfe der Neukartierungen, Plausibilitätsüberprüfungen und durch den Abgleich mit dem parallel erstellten geologischen 3D-Modell konnten bisherige inhaltliche Unstimmigkeiten an den Grenzen zwischen benachbarten Kartenblättern im Kartiergebiet – insbesondere östlich der Halde IV Wintershall – beseitigt werden.
- Durch Integration aller vorliegenden geologischen, tektonischen und geophysikalischen Daten wurde eine **umfassende Bewertung aller im Kartiergebiet vorhandenen und vermuteten Störungen** vorgenommen.
- **Im Resultat kann für dieses Gebiet erstmals eine geologische Karte im Maßstab 1:25.000 mit einheitlichen und der aktuellen stratigraphischen Gliederung entsprechenden geologischen Einheiten vorgelegt werden.**

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
1.1 Veranlassung, Planung und Durchführung der Arbeiten	6
1.2 Datengrundlagen	6
2 Lage des Arbeitsgebietes und naturräumlicher Überblick	11
3 Geologische Übersicht	14
4 Beschreibung der Kartiereinheiten	19
4.1 Methodik und stratigraphisches Konzept	19
4.2 Fulda-Formation (zFu)	21
4.3 Unterer Buntsandstein (su)	21
4.3.1 Calvörde-Formation (suC)	22
4.3.2 Bernburg-Formation (suBG)	25
4.4 Mittlerer Buntsandstein (sm)	28
4.4.1 Volpriehausen-Formation (smV)	28
4.4.2 Detfurth-Formation (smD)	30
4.4.3 Hardeggen-Formation (smH)	32
4.5 Tertiär	33
4.5.1 Vulkanite	33
4.5.2 Pliozäne Sedimente	36
4.6 Quartär	37
5 Tektonik und Subrosion	40
5.1 Tektonik	40
5.1.1 Störungen aus dem regionalen geologischen Modell	42

5.1.2 Störungen aus anderen Datensätzen.....	47
5.1.3 Struktureller Bau des Kartiergebietes	55
5.2 Subrosion	56
5.2.1 Salzhang	56
5.2.2 Subrosionssenke Liedengraben bei Heringen	59
5.2.3 Subrosionssenke Abteroda-Vitzeroda	60
5.2.4 Subrosionssenke Vacha-Oberzella	60
5.2.5 Mögliche Einbruchstrichter im Süden und Westen des Kartiergebietes	61
6 Geophysik	63
6.1 Reflexionsseismik	63
6.2 Hubschrauberelektromagnetik (HEM) und Transientenelektromagnetik (TEM)	67
6.3 Magnetik	68
6.4 Radiometrie	69
6.5 Bohrlochgeophysik	71
7 Zusammenfassung	74
8 Literaturverzeichnis	76

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Verzeichnis der Bohrungen im Kartiergebiet

Anlage 2: Beschreibung von Aufschlüssen und Verzeichnis der Geländepunkte

Anlage 3: Tektonische Karte im Maßstab 1:25.000

Anlage 4: Geologische Karte des Kartiergebietes im Maßstab 1:25.000

Anlage 5: Geologische Karte des Kartiergebietes im Maßstab 1:25.000, känozoische Sedimente abgedeckt

Anlage 6: Karte der reflexionsseismischen Profile im Kartiergebiet im Maßstab 1:25.000

1 Einleitung

1.1 Veranlassung, Planung und Durchführung der Arbeiten

Die K+S KALI GmbH, Werk Werra plant am Standort Wintershall im Rahmen des Rückstandsmanagements die Erweiterung der Halde IV (ESTA-Rückstandshalde). Die Vorhabensbeschreibung für das Projekt wurde den Genehmigungs- und Fachbehörden vorgelegt und darauf aufbauend der inhaltliche und räumliche Untersuchungsrahmen im Scopingtermin am 13.02.2013 festgelegt und in der Niederschrift vom 26.02.2013 (Az.: 34/Hef 76 d 40-11-325-34/22) fixiert. Gegenwärtig werden unter Berücksichtigung der abgestimmten Untersuchungsrahmen die Antragsunterlagen für das Genehmigungsverfahren erarbeitet. In dem Teilprojekt T3 Geologie/Haldenumfeld ist die Erstellung eines geologischen und hydrogeologischen Modells für das Umfeld der Produktions- und Haldenstandorte des Werkes Werra, Teilgebiet 2: Wintershall vorgesehen. Mit der am 13.01.2014 übergebenen Leistungsbeschreibung wird der für die Erarbeitung einer geologischen Karte im Maßstab 1:25.000 notwendige Leistungsumfang unter Berücksichtigung des konkreten Vorhabenbezugs beschrieben. Die Jungk Consult GmbH wurde mit Schreiben vom 14.02.2014 durch die K+S KALI GmbH mit der Erstellung des Geologischen und Hydrogeologischen Modells beauftragt. Mit dem vorliegenden Bericht werden die Arbeiten der Teilleistungen zur Erstellung einer geologischen Karte im Maßstab 1:25.000 dokumentiert, die durch die Technische Universität Bergakademie Freiberg (TU BAF) (im Auftrag der Jungk Consult GmbH) im osthessischen und westthüringischen Werra-Kaligebiet erarbeitet wurde. Dazu wurde u. a. auf Datensätze der geologischen Landesämter HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) und TLUG (Thüringische Landesanstalt für Umwelt und Geologie) zurückgegriffen. Die Erstellung dieses Kartierberichts wurde mehrfach in Gesprächen und im E-Mail-Verkehr mit den geologischen Landesämtern abgestimmt. Vom Auftraggeber wurde in Absprache mit dem Auftragnehmer ein Kartiergebiet festgelegt, dass Teile von vier Messtischblättern beiderseits der hessisch-thüringischen Grenze umfasst. Durch Einführung eines 200 Meter breiten Randstreifens um das Kartiergebiet herum wurde erreicht, dass das Untersuchungsgebiet unmittelbar an das

südlich angrenzende Teilgebiet 1: Hattorf/Unterbreizbach grenzt. Der Randstreifen um das eigentliche Kartiergebiet reduziert außerdem randliche Artefakte bei der Interpolation der Schichten im geologischen 3D-Modell.

Der unterschiedliche Bearbeitungsstand der einzelnen publizierten Blätter der Geologischen Karte 1:25.000 (nachfolgend GK25 genannt), der vom Jahr 1876 für das Blatt 5025 Hönebach bis in das Jahr 2001 für das Blatt 5026 Berka (Werra) reicht, erschwerte die Erarbeitung einer einheitlichen geologischen Karte. Insbesondere die Gliederung des Buntsandsteins wurde in diesem Zeitraum wesentlich verfeinert, allerdings auch unterschiedlich gehandhabt. Aus diesem Grund war eine umfangreiche Auswertung aller verfügbaren unpublizierten Karten und zahlreicher weiterer Datensätze notwendig. Mittels Bohrkern- und Geländebegehungen konnte eine nachvollziehbare, konsistente Gliederung erarbeitet und verbleibende Lücken durch räumlich begrenzte Neukartierungen geschlossen werden.

1.2 Datengrundlage

Als Grundlage für die Erstellung einer einheitlichen geologischen Karte 1:25.000 dienten zunächst die folgenden amtlichen GK25 der entsprechenden Messtischblätter:

- GK25 Blatt 5025 Hönebach (MOESTA, 1876), Verlag der Naumann'schen Kartenhandlung, Berlin, 1876. Dies ist zugleich das Kartenblatt mit der am längsten zurückliegenden geologischen Bearbeitung in Hessen.
- GK25 Blatt 5026 Berka (Werra) (GRUMBT, ELLENBERG, LÜTZNER, REDLICH, 1961-66, 1980, 1999, 2000), 3. neu bearbeitete Auflage, Thüringische Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Weimar, 2001.
- GK25 Blatt 5125 Friedewald (BÜCKING, 1927), Faksimiliertes Nachdruck der 2. Auflage, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 1992;
- GK25 Blatt 5126 Vacha (LÜTZNER, GRUMBT, ELLENBERG, REDLICH, 1961-66, 1998), 3. neu bearbeitete Auflage, Thüringische Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Weimar, 2000.

Zu den Blättern 5025 Hönebach und 5125 Friedewald sind zeitgenössische Erläuterungshefte verfügbar, wogegen zu den beiden anderen Blättern keine Erläuterungen zu den aktuellen Auflagen erschienen sind. Für diese Blätter sind die Erläuterungen der zweiten Auflage verfügbar (MOESTA et al., 1925 für das Blatt 5026 Berka (Werra) und VON KOENEN et al., 1925 für das Blatt 5126 Vacha). Daneben wurden von der TLUG für die Blätter 5126 Vacha und 5026 Berka (Werra) bislang unpublizierte Ausarbeitungen zu den triassischen

Kartiereinheiten und zur Tektonik (LÜTZNER, unpubl.) sowie Strukturkarten (ELLENBERG, 2004a,b) zur Verfügung gestellt.

Insbesondere für die beiden westlichen Kartenblätter liegen neuere unpublizierte Manuskriptkarten vor, welche die jeweiligen Fortschritte in der Untergliederung des Buntsandsteins dokumentieren. Aus dem Archiv der K+S KALI GmbH sind dies:

- KÄDING (1959a): Buntsandsteinkartierung im Werra-Kaligebiet östlich Bad Hersfeld; unpubl. Diplomarbeit, FU Berlin.
- LANGE (1959): Werk Hattorf, Geologische Karte der Reservefelder, M. 1:25.000. – Salzdetfurth A.-G. Hannover.
- KÜPER (1984): ohne Titel [Detailkartierung im Raum Hönebach – Ronshausen]; unpubl. Manuskriptkarte 1:25.000.
- RAINHARDT (1980?): ohne Titel [Blatt 5025 Hönebach]; unpubl. Manuskriptkarte 1:25.000.
- ELLENBERG, GRUMBT u. LÜTZNER (1961–63): 5126 Vacha, unpubl. Manuskriptkarte 1:25.000.

Aus dem Archiv des HLUG wurden zusätzlich folgende Karten berücksichtigt:

- DIENEMANN (1937-38): Reinblatt 5025 Hönebach, unpubl. Manuskriptkarte 1:25.000.
- DIENEMANN & SCHRIEL (1938): 5025 Hönebach, unpubl. Manuskriptkarte 1:25.000.
- GUNZERT (1955): Geologische Karte des Gebietes zwischen Widdershausen und Hönebach 1:25.000, unpubl. Manuskriptkarte.
- HILL-BRADDER (1981): Geologische Karte des Gebietes Nentershausen-Ronshausen (Richelsdorfer Gebirge) 1:25.000, unpubl. Manuskriptkarte.
- PIEPER (1995): Geologische Karte der Umgebung von Obersuhl 1:10.000, unpubl. Diplomarbeit.
- RICHTER (1940): Beilage 2 [Detailkartierung Richelsdorfer Gebirge], unpubl. Manuskriptkarte 1:25.000.

Eine Übersicht der von diesen Karten abgedeckten Bereiche des Kartiergebietes gibt Abb. 1. Zur Beurteilung der Ausbildung und Gliederung des Buntsandsteins im hessischen Teil wurden zwei benachbarte neuere Blätter der GK25 mit Erläuterungen herangezogen:

- LAEMMLEN (1969-72, 1975) & VON KOENEN (1876-80): GK25 Blatt 5225 Geisa, 2. neu bearbeitete Auflage, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 1975.
- MOTZKA-NÖRING (1987): GK25 Blatt 4925 Sontra, 2. neu bearbeitete Auflage, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 1987.

Neben den genannten Karten sind vor allem die Ergebnisse zahlreicher Bohrungen im und nahe des Kartiergebietes von Bedeutung. Diese umfassen sowohl 1267 Einträge im Archiv (Datenbank) der K+S sowie 102 von der TLUG und 15 vom HLOG zur Verfügung gestellte Bohrungen im einem rechteckigen Rahmen um das Kartiergebiet. Im Kartiergebiet selbst gibt es 1095 Bohrungen (s. Anlage 1). Bis zum **Redaktionsschluss am 5.11.2014** wurden zudem Ergebnisse aus etwa 60 während des Bearbeitungszeitraums dokumentierten Bohrungen und Schürfen einbezogen. Neben zahlreichen Flachbohrungen überwiegend im Quartär des Werratales sind auch Tiefbohrungen mit Endteufen bis zu 1016 m verfügbar, die Einblicke in Schichtmächtigkeiten und Schichtversätze im tieferen Untergrund geben. Bedingt durch die geringen lithologischen Unterschiede und hohen Mächtigkeiten der Kartiereinheiten im Unteren Buntsandstein erlauben flache Bohrungen unter etwa 40 m Endteufe meist keine Einblicke in den Bau des präquartären Untergrundes. Die Bedeutung dieser Bohrungen liegt vor allem in der Bestimmung der Mächtigkeit der Quartärbedeckung.

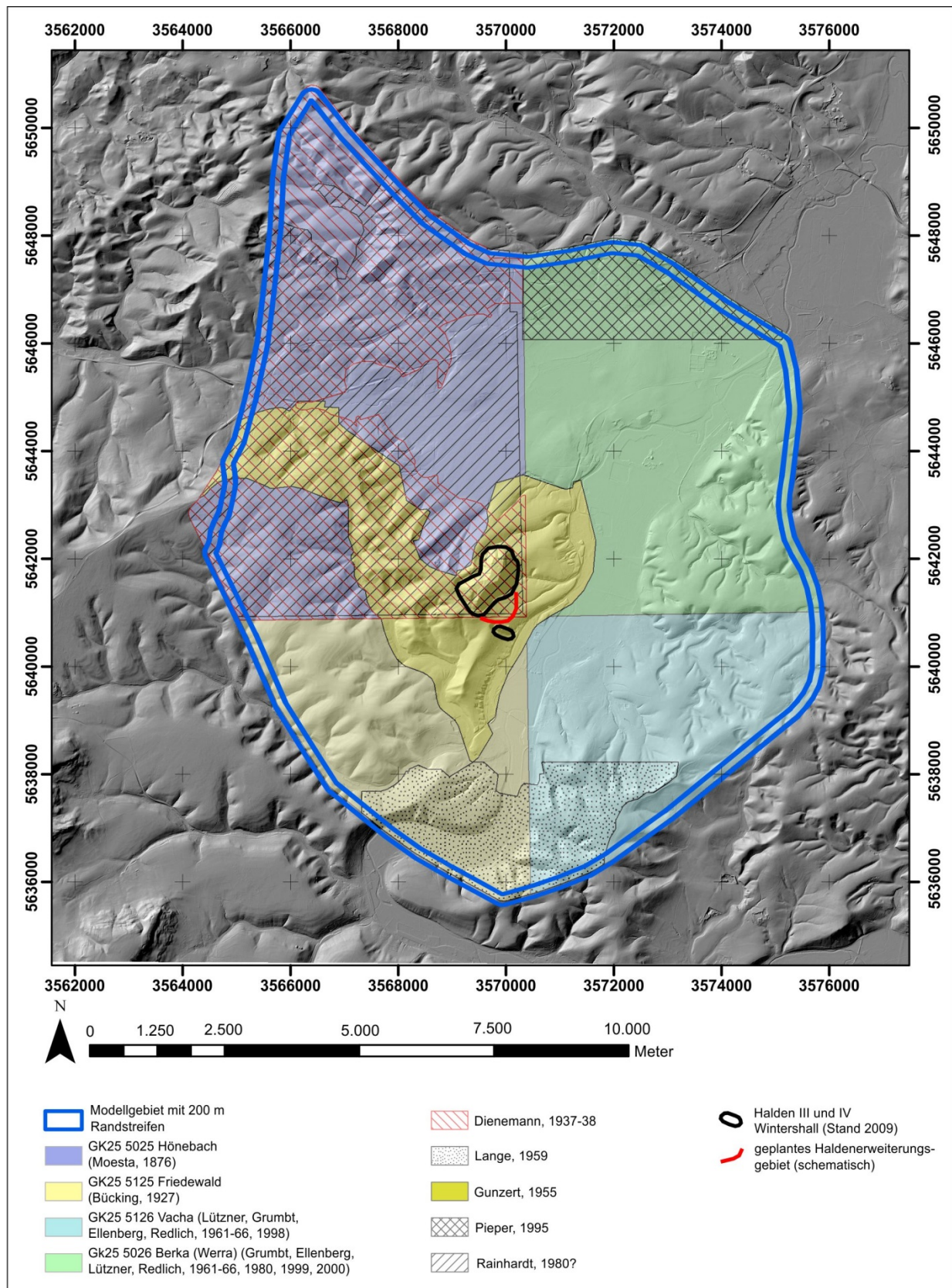


Abb. 1: Überblick über die verwendeten geologischen Karten mit unterlegter Reliefdarstellung aus dem Digitalen Geländemodell 5 (nachfolgend DGM5 genannt).

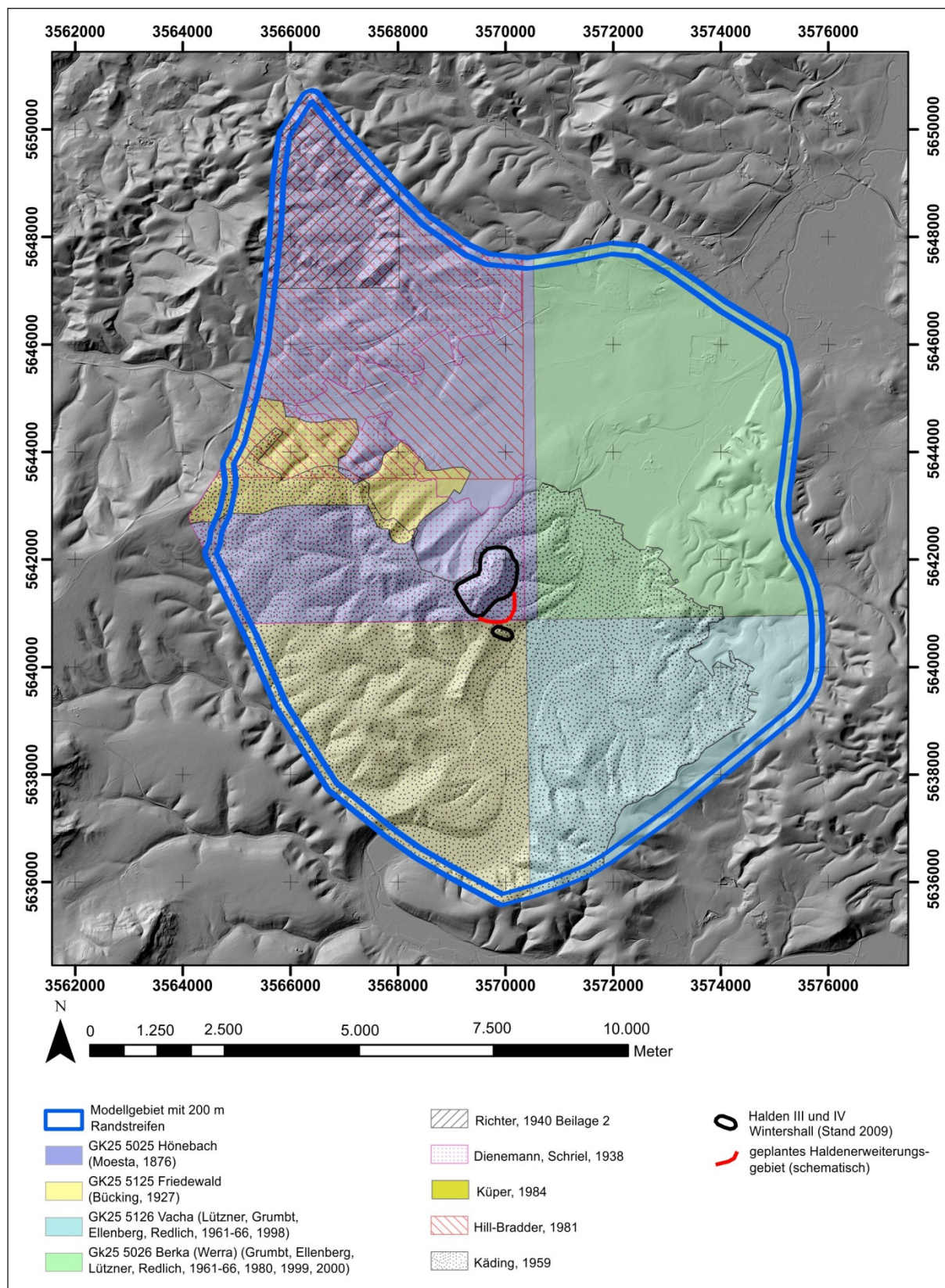


Abb. 1 (Fortsetzung)

2 Lage des Arbeitsgebietes und naturräumlicher Überblick

Das Kartiergebiet Wintershall befindet sich im Bereich des Werra-Kaligebiets und seines nördlichen Vorlandes und schließt im Süden an das Kartiergebiet Hattorf/Unterbreizbach an (BROSIG & SCHOLZE, 2014). Das Kartiergebiet erstreckt sich allseitig um 200 Meter über den Rand des eigentlichen Modellgebiets hinaus. Damit umspannt es eine Fläche von ca. 114 km² zwischen den Ortschaften Hönebach im Nordwesten, Untersuhl im Nordosten und Wölfershausen im Süden, in deren Zentrum der Produktionsstandort Wintershall mit den Halden III und IV Wintershall liegt. Der westliche Teil des Kartiergebietes liegt im Bundesland Hessen (Landkreis Hersfeld-Rotenburg) während der östliche Teil zum Freistaat Thüringen (Wartburgkreis) gehört. Die Landesgrenze verläuft dabei in zahlreichen Windungen durch den östlichen und zentralen Teil des Kartiergebietes (s. Abb. 2).

Naturräumlich befindet sich das Kartiergebiet im Osthessischen Bergland. Westlich des Werratal liegt das Werra-Fulda-Bergland mit den Teileinheiten Seulingswald im Süden und Solztrottenwald im Norden des Kartiergebietes. Das Werratal, das sich nördlich anschließende Berkaer Becken und das östlich des Werratal gelegene Frauenseer Hügelland sind Teil des Salzunger Werraberglands. Die höchste natürliche Erhebung im Kartiergebiet bildet die im Westen gelegene Gaishecke mit 470,8 m NN. Der niedrigste Punkt mit 205,5 m NN befindet sich an der Werra, wo diese die nordöstliche Grenze des Kartiergebietes kreuzt.

Die Verwitterungsformen der morphologischen Erhebungen im Seulings- und Solztrottenwald sind im Wesentlichen durch die austreichenden Gesteine des Unteren und Mittleren Buntsandsteins geprägt. Dabei wird dessen Schichtstufencharakter vor allem im Gebiet westlich der Halde IV Wintershall im DGM5 deutlich. Im Gelände sind Steilstufen an tieferen Taleinschnitten häufig zu erkennen.

Die Werra durchfließt das Kartiergebiet von SSW nach NNE in einer flachen, breiten Talaue (Dorndorf-Heringer Werratal und Teile des Berkaer Beckens), deren Feuchtgebiete teilweise geschützt sind (z. B. Naturschutzgebiet (NSG) „Rohrlache“). Die Werra wird von einigen Nebenflüssen gespeist, wie beispielsweise der Suhl, deren Einzugsgebiet – das nördlich der Autobahn A 4 gelegene Wildeck-Tal – in das Kartiergebiet einbezogen ist. Die quartären Schotter sedimente der Werra werden in Kiesseen bei Dankmarshausen abgebaut.

Ein weiteres landschaftsprägendes Element ist das Berkaer Becken, das die Senken von Gerstungen/Dankmarshausen-Großensee mit einschließt. In der Ausarbeitung von ZEIBIG et al. (2012) belegt Käding, dass nur Teile dieser morphologischen Senken eine tatsächliche Auslaugungssenke darstellen. Das Berkaer Becken ist durch teils mächtigere känozoische Ablagerungen gefüllt und durch geschützte Feuchtgebiete (NSG „Rhäden“ u. „Säulingssee“) geprägt. Diese Landschaftsform ist das Produkt der fortschreitenden Ablaugung des Zechstein-Salinars, dessen Lösungsfront als sog. Salzhang bezeichnet wird. Dieser durchläuft das Kartiergebiet in Ost-West-Richtung als ca. 2 – 3 km breiter Saum (JUNGMANN & BEER, 2004). Innerhalb des ansonsten intakten Werra-Salzes kommen kleinere Subrosionssenken vor, die das Landschaftsbild in Form von flachen Mulden oder Trichtern prägen (LANGE & KÄDING, 1961).

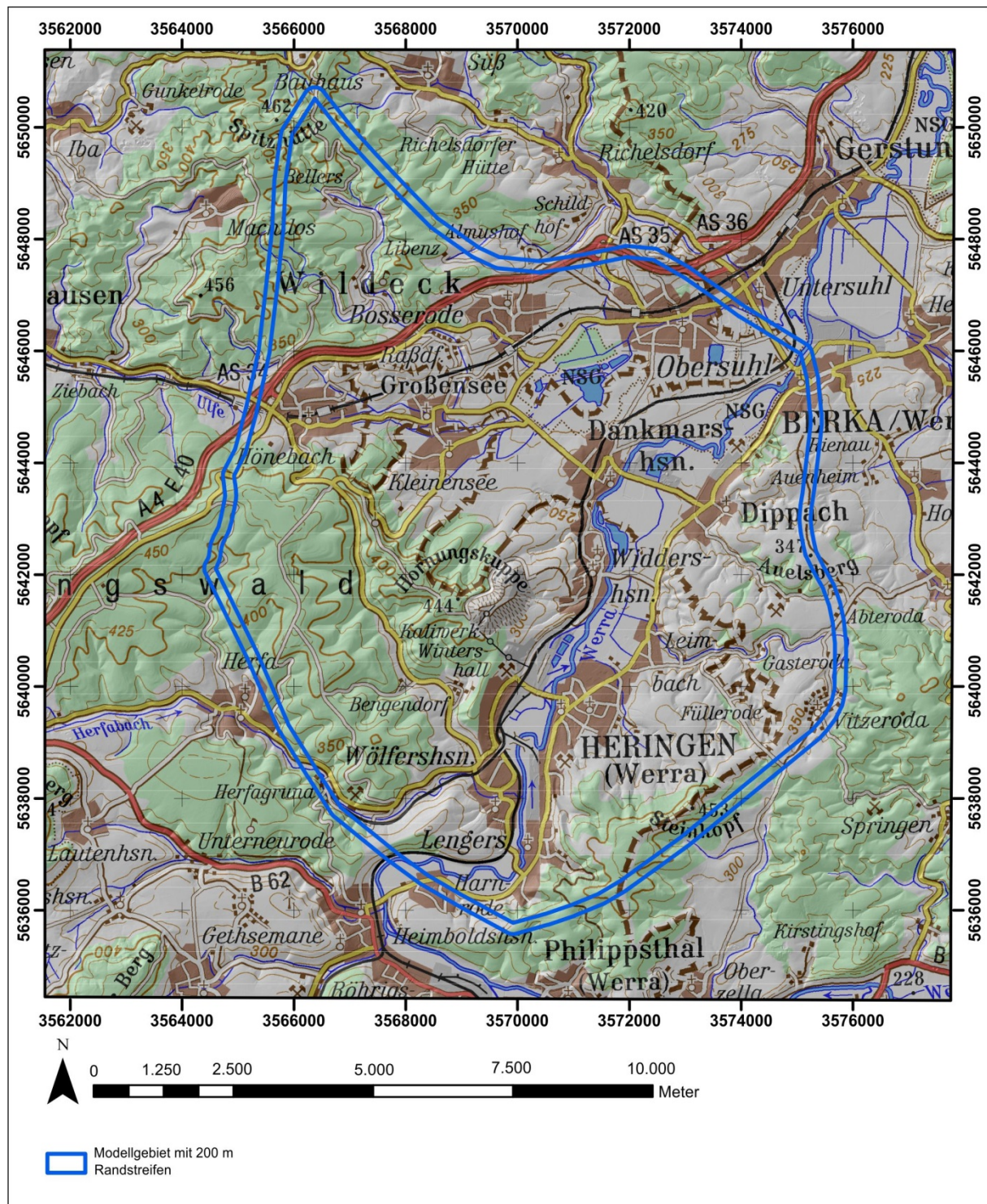


Abb. 2: Überblick über das Kartiergebiet auf Basis der Digitalen Topographischen Karte 1:200.000 mit unterlegter Reliefdarstellung aus dem DGM5 und dem Verlauf der Landesgrenze zwischen Hessen und Thüringen (braune gestrichelte Linie).

3 Geologisch-tektonische Übersicht

Das Kartiergebiet befindet sich an der Nordspitze der Süddeutschen Großscholle, an die sich im Westen die NNE-streichenden rheinischen Grabensysteme anschließen. Das Grundgebirgsstockwerk bilden Gesteine der Mitteldeutschen Kristallinschwelle. Das Gebiet wird durch die großtektonischen Strukturelemente der Hunsrück-Oberharz-Schwelle im Nordwesten, der Spessart-Rhön (bzw. -Unterharz)-Schwelle im Südosten (s. Abb. 3) und der Buchenauer Schwelle im Südwesten umrahmt. Als tektonisches Strukturelement ist weiterhin der sich im Südosten an das Gebiet anschließende Thüringer Wald von Bedeutung, dessen randliche Störungssysteme Einfluss auf die tektonische Entwicklung des untersuchten Gebietes nehmen (LÜTZNER, unpubl.).

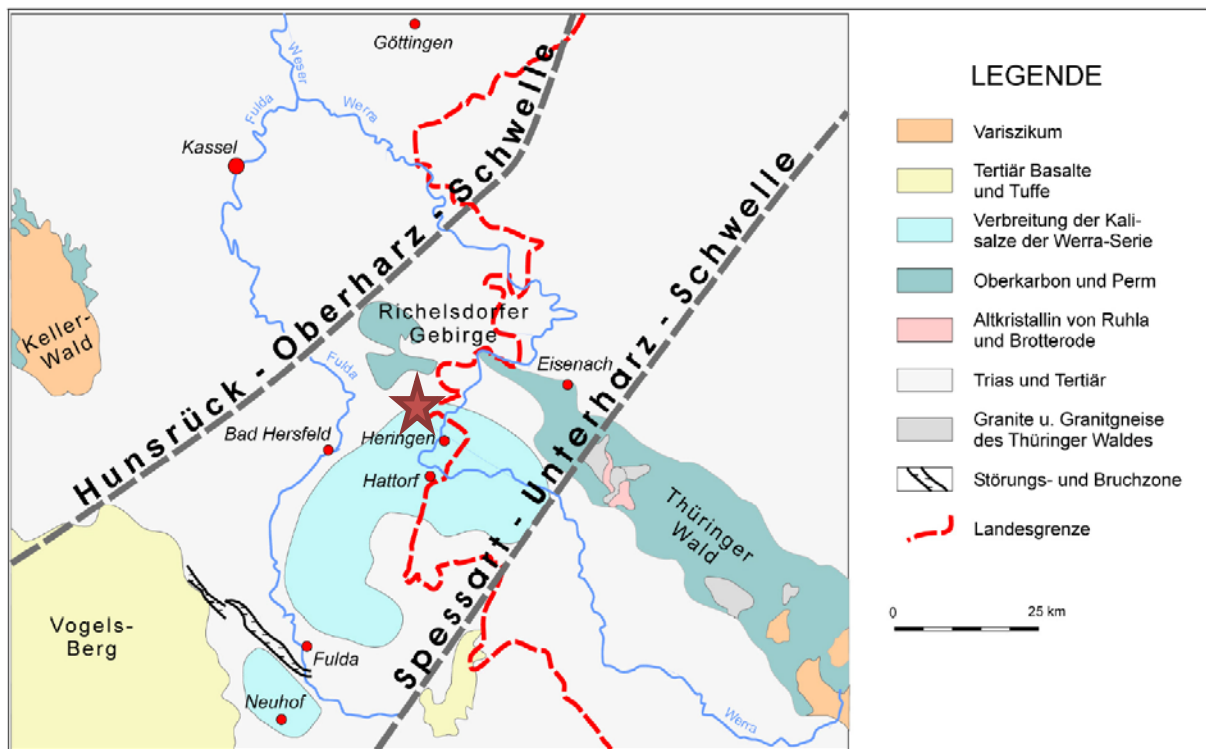


Abb. 3: Geologisch-tektonischer Überblick der Werra-Kaligebiets und angrenzender geotektonischer Einheiten (aus ZEIBIG et al., 2011). Der rote Stern markiert die Lage des Kartiergebietes.

Im Rotliegend bis in den untersten Zechstein senkte sich der Werra-Saale-Trog ab, in welchem über dem Basement der Mitteldeutschen Kristallinschwelle terrestrische Sedimente akkumuliert wurden (MOTZKA-NÖRING, 1987). Die Öffnung dieses und weiterer intramontaner Becken im Rumpf des variszischen Orogens ist eine Folge der dextralen

Transtension in Mitteleuropa (s. Abb. 6). Im unteren Zechstein entsteht schließlich eine Verbindung zum Zentraleuropäischen Becken, womit die Abscheidung der Zechstein-Evaporite einsetzt (BÜCHEL et al., 2012). Zunächst erfolgte eine rasche marine Transgression, gefolgt von der Sedimentation des Kupferschiefers. Die im Hangenden folgenden Einheiten des Zechsteinkalks und Anhydritknotenschiefers markieren den Übergang zu evaporitischen Bedingungen. Diese führen zur Ausfällung des mehr als 300 Meter mächtigen Werra-Salzes, in dem die Kaliflöze Hessen und Thüringen eingelagert sind. In den folgenden Transgressionszyklen des Zechstein kommen im Werra-Kaligebiet überwiegend siliziklastische Sedimente zur Ablagerung. Evaporite kommen dort nur untergeordnet vor, was aber teilweise auf Subrosion zurückzuführen ist. Eine ausführlichere Darstellung der Zechstein-Sedimente geben ZEIBIG et al. (2011). Der Übergang vom Zechstein zum Buntsandstein ist durch das Ende mariner Ingressionen im Ablagerungsraum gekennzeichnet, welche die Sedimentation von Feinklastika und Evaporiten im Zechstein bestimmten. Die Ablagerungen des Buntsandsteins sind überwiegend durch eine fluviatile Fazies geprägt (Abb. 4, 5) und weisen eine charakteristische Entwicklung in Form von Sohlbankzyklen auf, die im gesamten Zentraleuropäischen Becken (ZEB) nachweisbar sind (SZURLIES, 2007), so auch im beckenrandlich gelegenen Untersuchungsgebiet (FILLINGER, et al. 2012). Die Sedimente des Buntsandsteins im Untersuchungsgebiet sind das Produkt periodisch wasserführender, verwilderter Flusssysteme, die Material ausgehend aus dem Liefergebiet des Böhmisches-Vindelizischen Massivs nach Norden bis Nordosten transportierten (GRUMBT, 1970; KASCH et al., 2009). Die Hessische Senke bleibt während der Trias und bis in die Unterkreide hinein Ablagerungsgebiet. Dabei erfolgt im Keuper wie bereits im Buntsandstein der Sedimenttransport im Wesentlichen in nördliche bis nordöstliche Richtung (ZIEGLER, 1990). Im Kartiergebiet sind diese Gesteine jedoch bis in das Niveau des Mittleren Buntsandsteins wieder abgetragen.

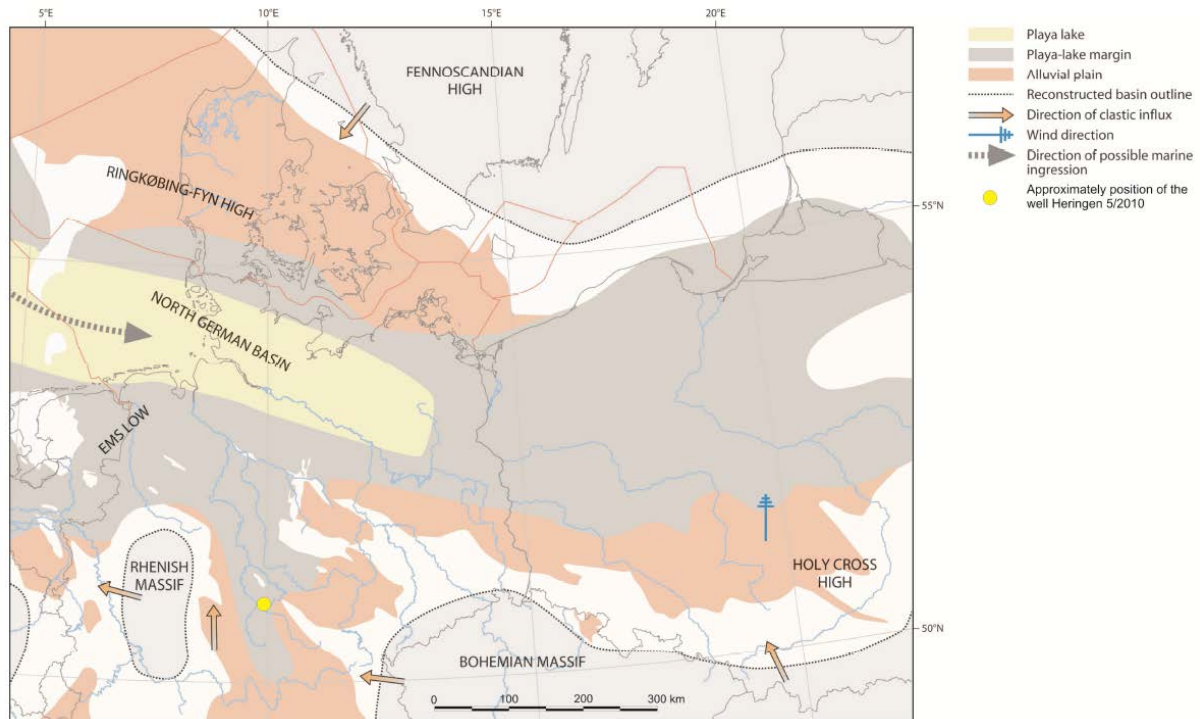


Abb. 4: Faziesverteilung und Paläogeographie des Zentraleuropäischen Beckens im Unteren Buntsandstein (FILLINGER, 2012 nach Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area, 2010). Der gelbe Punkt zeigt die Lage der Bohrung Heringen 5/2010 (z3) (innerhalb des Kartiergebietes lokalisiert) innerhalb der Hessischen Senke.

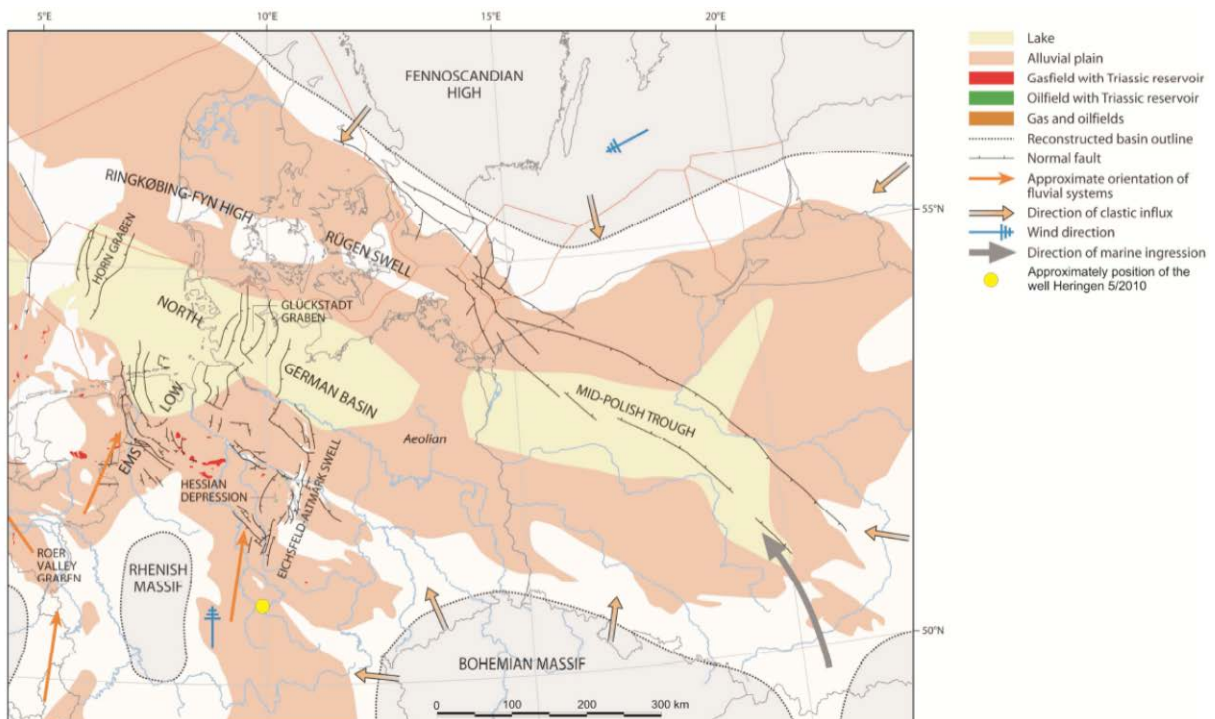


Abb. 5: Faziesverteilung und Paläogeographie des Zentraleuropäischen Beckens im beginnenden Mittleren Buntsandstein (FILLINGER, 2012 nach Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area, 2010). Der gelbe Punkt zeigt die Lage der Bohrung Heringen 5/2010 (z3) (innerhalb des Kartiergebietes lokalisiert) innerhalb der Hessischen Senke.

Ab der Oberkreide setzt eine bis ins Paläogen andauernde SW-NE gerichtete Kompression ein (s. Abb. 6), die teilweise zur Inversion früher angelegter Extensionsstrukturen führt (BETZ et al., 1987). Im Ergebnis dieser Bewegungen fällt das Deckgebirge im Werra-Kaligebiet allgemein mit 2 bis 3° nach Süden ein, wobei meist herzynisch streichende flachwellige Syn- und Antiklinalen ausgebildet sind. Im obersten Oligozän bis Miozän ist schließlich eine Ost-West gerichtete Dehnung mit sinistraler Scherkomponente zu verzeichnen. Die dadurch entstehenden Nord-Süd streichenden Fiederbruchsysteme sind Aufstiegszonen für die Rhön-Vulkanite, deren Schlote südlich des Kartiergebietes noch heute landschaftsprägend sind (LÜTZNER, unpubl.). Die Reaktivierung einiger tektonischer Strukturen führte zu der mindestens seit dem Pliozän belegten und im Quartär andauernden Subrosion.

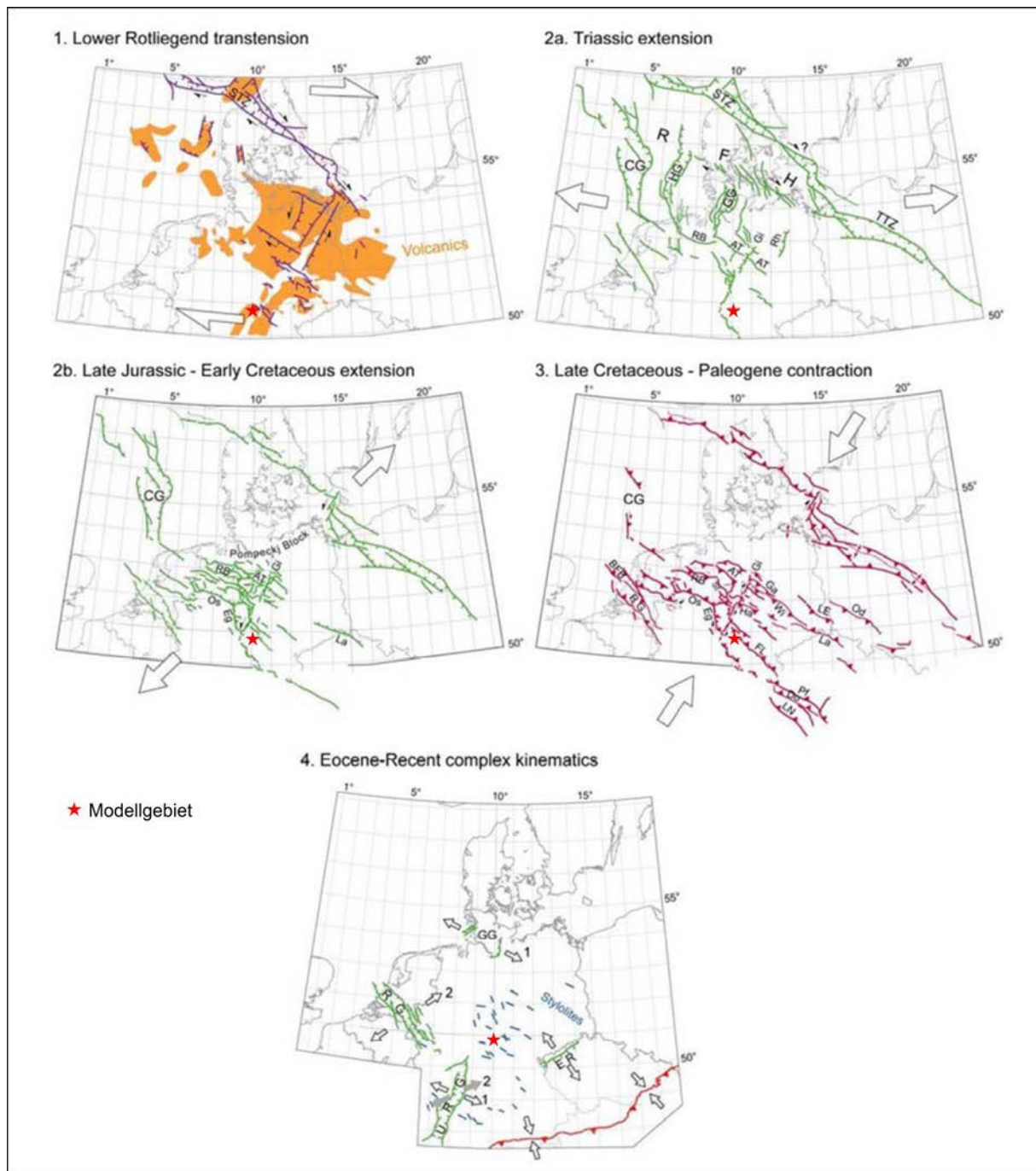


Abb. 6: Überblick über die tektonische Entwicklung Mitteleuropas seit der Anlage der postvariszischen Becken im Jungpaläozoikum; verändert nach KLEY (2008) in BÜCHEL et al. (2012) mit der Lage des Kartiergebietes (rote Sternsignatur).

4 Beschreibung der Kartiereinheiten

4.1 Methodik und stratigraphisches Konzept

Aufgrund der im Folgenden erläuterten Diskrepanzen bei der Gliederung des Buntsandsteins wurde im Vorfeld der Geländearbeiten in Abstimmung mit der TLUG und dem HLUG ein Kartierkonzept ausgearbeitet. Die darin festgelegten Kartiereinheiten erlauben eine einheitliche und für das konkrete Vorhaben bezogene detaillierte Gliederung der im Kartiergebiet austreichenden Gesteine. Im Kartiergebiet Wintershall sind Sedimentgesteine des Unteren bis Anteile des Mittleren Buntsandsteins flächendeckend aufgeschlossen. Überlagert werden diese lokal von känozoischen Einheiten, welche tertiäre Sedimente und Basalte sowie quartäre Lockersedimente umfassen.

Nachdem bis Mitte des 20. Jahrhunderts eine einheitliche, aber sehr grobe stratigraphische Gliederung in Unteren bzw. Feinkörnigen Buntsandstein – inklusive Bröckelschiefer – sowie Mittleren bzw. Grobkörnigen Buntsandstein auf allen Kartenblättern existierte (MOESTA, 1876, MOESTA et al., 1925, VON KOENEN et al., 1925/1927), entstanden durch spätere Kartierungen von unterschiedlichen Bearbeitern der Kartenblätter auf hessischer und thüringischer Seite verschiedene stratigraphische Gliederungen. Für das hessische Werra-Kalirevier erfolgte eine einheitliche Gliederung durch LANGE & KÄDING (1961). Darauf aufbauend wurde für den thüringischen Teil eine eigenständige stratigraphische Gliederung durch FALK et al. (1964) erarbeitet, welche als Grundlage für die aktuellen Kartenblätter 5026 Berka (Werra) und 5126 Vacha anzusehen ist (LÜTZNER, unpubl.). Im vorliegenden Bericht erfolgt die Benennung der Kartiereinheiten nach dem SEP-3-Symbolschlüssel Geologie (LBEG, 6. Auflage, 2013).

Nach der aktuellen lithostratigraphischen Gliederung (LEPPER et al., 2013) wird der Untere Buntsandstein in Calvörde- und Bernburg-Formation sowie der im Kartiergebiet anstehende Teil des Mittleren Buntsandsteins in die Volpriehausen-, Detfurth und Hardeggen-Formation mit deren jeweiligen Untereinheiten gegliedert (Abb. 7). Die stratigraphisch darüber liegenden Einheiten der Solling-Formation sind im Kartiergebiet erosionsbedingt nicht aufgeschlossen. Dieser Gliederung folgend wurden die Kartierungseinheiten des Buntsandsteins der Blätter Hönebach und Friedewald mit denen der Blätter 5026 Berka (Werra) und 5126 Vacha (nach LÜTZNER, unpubl.) entsprechend korreliert, angepasst und mit dem HLUG und der TLUG im Frühjahr 2014 abgestimmt.

[illegible]

* keine Erläuterungen zur Stratigraphie

Abb. 7: Übersicht über die bisher verwendeten stratigraphischen Gliederungen und die Mächtigkeiten der jeweiligen Einheiten im Unteren und Mittleren Buntsandstein im Bereich des Kartiergebietes. In der zweiten Spalte befindet sich die in der vorliegenden Arbeit verwendete Gliederung. Blatt Berka (Werra) beachten

Dies wurde im Rahmen einer zwölf-tägigen Geländekartierung im April und Mai 2014 realisiert, die mit dem Ziel der Überprüfung und Ergänzung von Grenzen kartierter Einheiten auf den älteren Kartenblättern durchgeführt wurde. Die Schwerpunkte der Geländearbeiten lagen zum einen auf der Detailkartierung zweier Gebiete auf dem Blatt 5025 Hönebach im Nordosten der Halde IV Wintershall sowie im Norden des Kartiergebietes im Wildeck-Tal, welche lediglich durch die geologische Karte von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) abgedeckt waren und in denen noch die stratigraphischen Grenzen innerhalb der Calvörde-Formation sowie zur Bernburg-Formation neu zu kartieren waren. Zum anderen wurden die von unterschiedlichen Bearbeitern kartierten Störungen im Kartiergebiet auf ihre Nachweisbarkeit im Gelände überprüft.

Die Kartierung der stratigraphischen Einheiten erfolgte im Wesentlichen auf der Grundlage von lithologischen Merkmalen wie Farbe, Korngröße, Ton-/Sandverhältnis, Bankmächtigkeit und Schrägschichtungsdimension, welche bereits von vorhergehenden Bearbeitern genutzt wurden (LANGE & KÄDING, 1961, GRUMBT et al., 1967, LÜTZNER, unpubl.). Zusätzlich konnten der Modalbestand (z. B. Feldspatführung) sowie charakteristische Steilstufen bestimmter Einheiten in der Geländemorphologie als Unterscheidungskriterien hinzugezogen werden.

4.2 Fulda-Formation (zFu)

In älteren Kartierungsarbeiten im Werra-Kalirevier (DIENEMANN & SCHRIEL, 1938, LANGE & KÄDING, 1961, FALK et al., 1964, GRUMBT et al., 1967) galt der damals so genannte Bröckelschiefer lange als basale Einheit des Unteren Buntsandsteins. Aufgrund seiner Genese und des deutlich nachvollziehbaren lithologischen Wechsels zum Hangenden (Calvörde-Formation) ist der Bröckelschiefer per Beschluss durch die Subkommission Perm-Trias als Fulda-Formation (z7) in den obersten Zechstein einzugliedern (LEPPER, 1993; KÄDING, 2000). Im Kartiergebiet ist diese Grenze übertägig nicht aufgeschlossen, jedoch in einigen Bohrungen nachgewiesen.

4.3 Unterer Buntsandstein (su)

Der Untere Buntsandstein wird in die Calvörde- und Bernburg-Formation gegliedert. Ein spezifisches Problem für die Werra-Region stellt dabei die Grenzziehung zwischen diesen beiden Formationen dar (LÜTZNER, unpubl.). Auf den thüringischen Kartenblättern 5026 Berka (Werra) und 5126 Vacha ist eine Unterteilung anhand von Farbunterschieden im Gelände möglich, was jedoch in Richtung Westen als Kriterium nicht mehr ausreichend

nachvollziehbar ist. Daher grenzen LANGE & KÄDING (1961) sowie DIENEMANN & SCHRIEL (1938) lediglich die Wechselfolge des Unteren Buntsandsteins (su't) als Äquivalent der Bernburg-Wechselfolge (suBW) bzw. der Salmünster-Folge (suSa bei RAINHARD, 1980 (?) und KÜPER, 1984) vom Rest des Unteren Buntsandsteins – der Sandsteinfoolge des Unteren Buntsandsteins (su's) bzw. der Gelnhausen-Folge (suG) – ab.

Während der Geländearbeiten ließ sich die Kartierung der Grenze zwischen den Tonigen Sandsteinen (suCS) und dem Grauweißen feldspatführenden Sandstein (suCG) sowie zu dem darüber lagernden Bernburg-Sandstein (suBS) anhand der charakteristischen Feldspatführung des suCG durchführen, jedoch nicht immer eindeutig lokalisieren, sodass dadurch eine gewisse Unschärfe in der Abgrenzung der Einheiten auftreten kann, die sich auch in Schwankungen der Mächtigkeitsangaben widerspiegelt (vgl. LÜTZNER, unpubl.). Ein weiterer Grund für die teils hohen Mächtigkeitsschwankungen auf engem Raum ist in der Kartierung von Faziesgrenzen zu sehen. Im generellen Trend scheint sich eine Verringerung der Mächtigkeiten der stratigraphischen Einheiten des Unteren Buntsandsteins von Süden nach Norden abzuzeichnen, was sich anhand des Vergleichs der Mächtigkeitsangaben durch LÜTZNER (unpubl., su: bis 380 m auf Blatt 5126 Vacha) und MOTZKA-NÖRING (1987) für das im Norden an das Blatt 5025 Hönebach anschließende Blatt 4925 Sontra (su: 250 m) nachvollziehen lässt.

4.3.1 Calvörde-Formation (suC)

Die Calvörde-Formation bildet die Basis des Unteren Buntsandsteins und kennzeichnet den Übergang von den Feinklastika des Zechsteins (z7, Fulda-Formation) in den gröber klastischen Buntsandstein. Die Grenze bildet einen scharfen lithologischen Schnitt (FALK in GRUMBT et al., 1967), der auch in Bohrungen anhand des Gamma-Logs eindeutig nachvollziehbar ist (KÄSTNER et al., 1966). Im hessischen Gebiet des Werra-Kalireviers ist die Calvörde-Formation mit dem Bernburg-Sandstein (suBS) aufgrund der nicht eindeutigen Grenze zwischen beiden Einheiten von einigen Bearbeitern als Gelnhausen-Folge (RAINHARD, 1980 (?); KÜPER, 1984) bzw. Sandsteinfoolge des Unteren Buntsandsteins (su's, DIENEMANN & SCHRIEL, 1938; LANGE & KÄDING, 1961) zusammengefasst worden. Basierend auf früheren Kartierungsarbeiten im thüringischen Teil des Werra-Kalireviers durch FALK et al. (1964) wurde die Gliederung der Calvörde-Formation in Feingeschichteter Sandstein (suCF), Tonige Sandsteine (suCS), Unterer weißer Sandstein (suCW) und Grauweißer feldspatführender Sandstein (suCG) für den hessischen Anteil des Kartiergebietes übernommen. Der auf Blatt 5126 Vacha 18 – 20 m mächtige Feingeschichtete Sandstein (suCF; GRUMBT, 1974) ist im Kartiergebiet lediglich in Bohrungen aufgeschlossen und wurde deshalb mit den Tonigen Sandsteinen (suCS) zusammengefasst. Im Raum Gerstungen-Herda

steigt die Mächtigkeit auf 25 – 30 m an (LÜTZNER, unpubl.). Die Mächtigkeit der Calvörde-Formation beträgt insgesamt 140 – 220 m. Sie streicht überwiegend im Ostteil des Kartiergebietes sowie im Wildeck-Tal im Norden aus (Abb. 8).

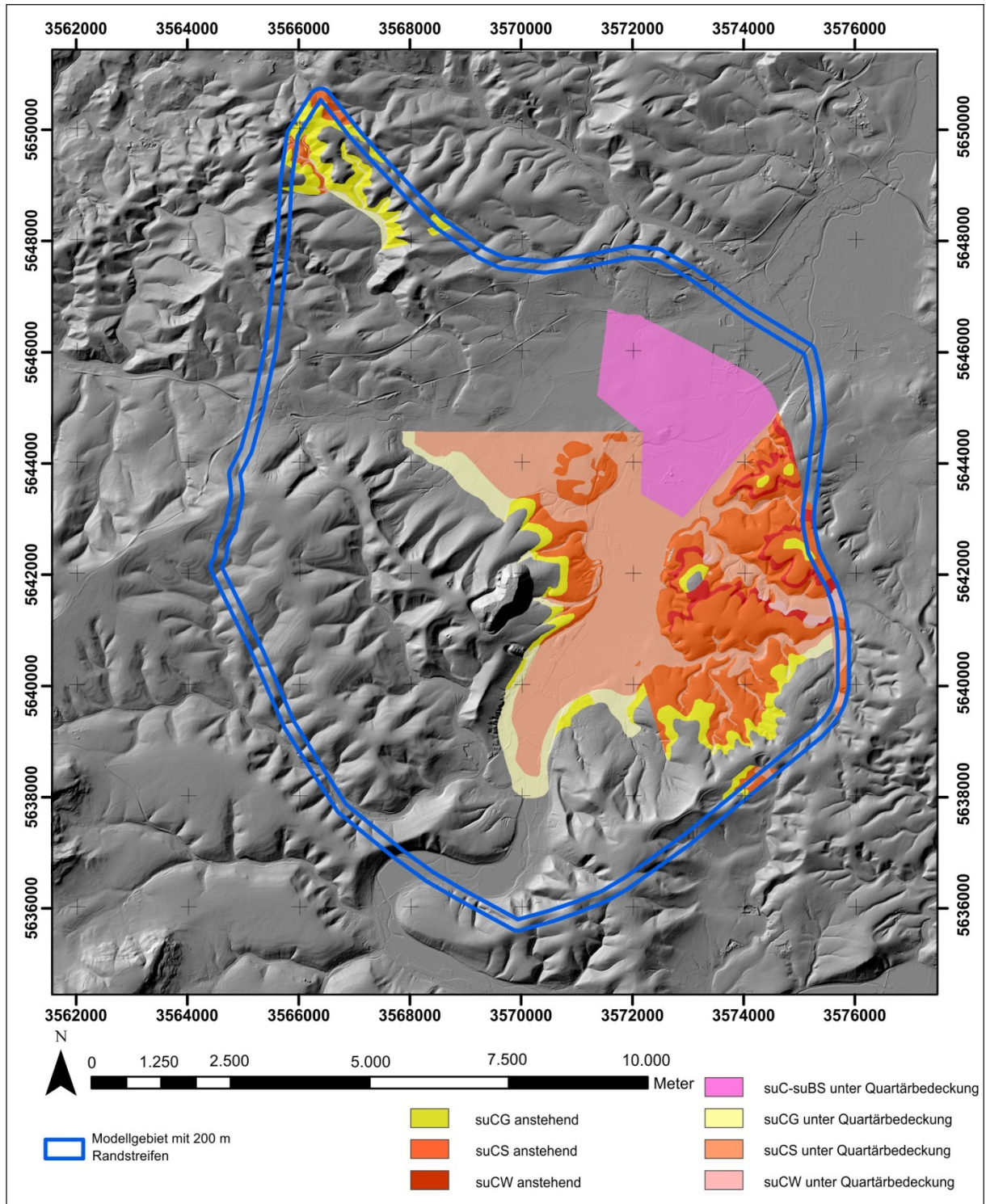


Abb. 8: Oberflächliche Verbreitung der zur Calvörde-Formation (suC) gehörigen Kartiereinheiten auf Reliefdarstellung des DGM5. Die geradlinigen Grenzen im Nordteil zeichnen den Verlauf von Störungen nach.

Die **Tonigen Sandsteine (suCS)** bilden die älteste im Kartiergebiet oberflächlich zu Tage tretende stratigraphische Einheit. Die nach LÜTZNER (unpubl.) 80 – 120 m mächtige Abfolge hell-, dunkel- und violettroter sowie grauweiß gefärbter, überwiegend feinkörniger und gut sortierter Sandsteine mit Korngrößen von durchschnittlich 0,14 mm und maximal 0,2 bis 0,3 mm besitzt aufgrund häufig auftretender Tongerölle einen hohen Feinkornanteil. Die bankig ausgebildeten Sandsteine sind häufig intern schräg geschichtet, auf den Schichtflächen treten häufig Rippelmarken auf. Selten kommen meist wenige Millimeter mächtige, tonig-schluffige Lagen vor. Die Aufschlusssituation ist aufgrund des Abbaus in Steinbrüchen ausreichend gut. Profildokumentationen konnten in den Aufschlüssen A 1, A 11, A 59 und A 81 durchgeführt werden.

Der **Untere weiße Sandstein (suCW)** bildet ein linsenförmiges Vorkommen im oberen Bereich der Tonigen Sandsteine (suCS) mit einer maximalen Mächtigkeit von 20 bis 25 m, welches auf den Kartenblättern 5026 Berka (Werra) und 5126 Vacha aufgrund der charakteristischen weißlichen Färbung als eigenständige Einheit kartiert wurde (LÜTZNER, unpubl.). Lithologisch unterscheidet sich diese Einheit nicht von den Tonigen Sandsteinen (suCS). Da die Linse nach Westen hin bereits nördlich von Heringen auskeilt (LÜTZNER, unpubl.), fehlt diese Einheit auf dem Gebiet der hessischen Kartenblätter 5025 Hönebach und 5125 Friedewald.

Der über dem Tonigen Sandstein folgende **Grauweiße, Feldspatführende Sandstein (suCG)** hat eine Mächtigkeit von 20 – 60 m und besitzt im Vergleich zu jenem eine etwas gröbere Korngröße bis max. 0,4 mm. Namensgebende Charakteristika sind eine überwiegend weiße Sandsteinfarbe sowie ein sichtbares Auftreten von Feldspäten (Abb. 9) bzw. eines weißen,

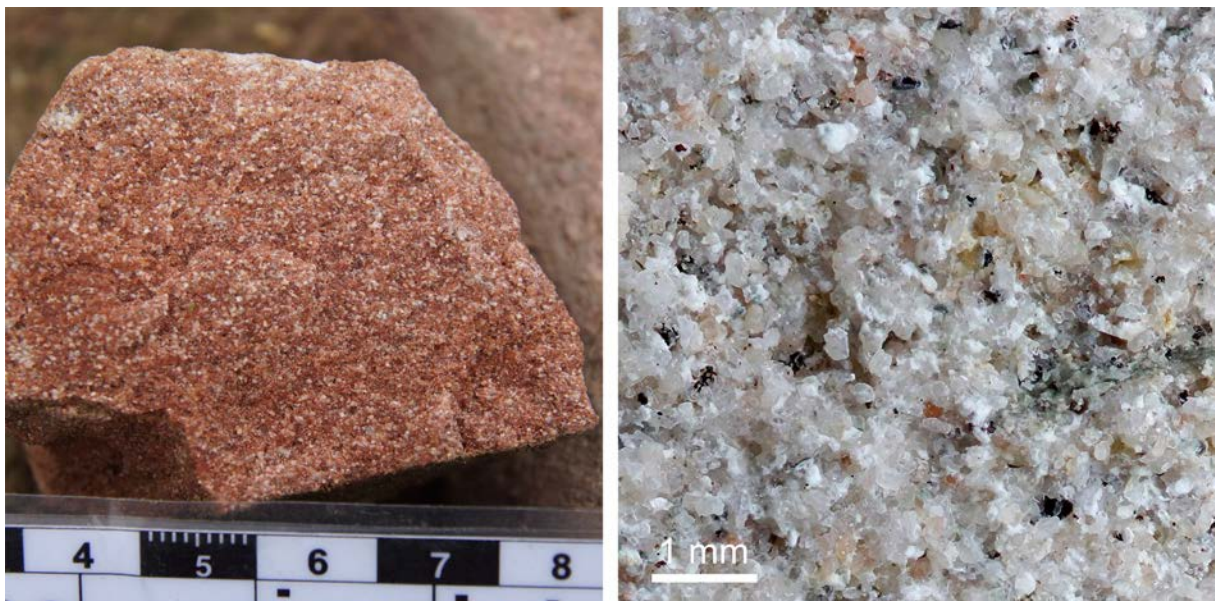


Abb. 9: Handstück aus dem Grauweißen feldspatführenden Sandstein der Calvörde-Formation (suCG) mit charakteristischer Feldspatführung in Form kleiner weißer Punkte; rechts Detailaufnahme eines anderen Handstücks.

kaolinitischen Bindemittels (LÜTZNER, unpubl.). Während die weiße Sandsteinfarbe in Richtung Westen auf den Blättern 5025 Hönebach und 5125 Friedewald allmählich in rote Farbtöne übergeht, ist die Feldspatführung durchgängig nachweisbar und setzt sich vermutlich auch im nördlich anschließenden Blatt 4925 Sontra fort (Weiße Sandsteinschichten der Gelnhausen-Formation; MOTZKA-NÖHRING, 1987). Es treten sogenannte getigerte Sandsteine auf, die eine ockergelbliche Färbung und fleckige, schwarze Manganausfällungen aufweisen. Die Sandsteinbänke sind überwiegend intern schräggeschichtet. Ton-Schluff-Lagen treten untergeordnet auf und sind meist grüngrau gefärbt. Der Grauweiße Feldspatführende Sandstein konnte lediglich im Aufschluss A 58 als Profilabfolge dokumentiert werden.

4.3.2 Bernburg-Formation (suBG)

Der Übergang von der Calvörde-Formation in die Bernburg-Formation ist durch das Wiedereinsetzen rotbunter Sandsteinfarben sowie einen deutlich geringeren Feldspatgehalt gekennzeichnet. Auf Grundlage von deutlich unterschiedlichen Tongehalten im oberen und unteren Abschnitt wird die Bernburg-Formation in die zwei Teileinheiten des Bernburg-Sandsteins (suBS) und der Bernburg-Wechselfolge (suBW) gegliedert. Die Mächtigkeit der Bernburg-Formation beträgt 105 – 170 m (LÜTZNER, unpubl.). Im gesamten Kartiergebiet streicht sie großflächig aus (Abb. 10), die Aufschlussdichte ist jedoch eher gering.

Der **Bernburg-Sandstein (suBS)** wird im hessischen Teil des Kartiergebietes zusammen mit der Calvörde-Formation als Teil der Gelnhausen-Folge (suG, RAINHARD, 1980 (?), KÜPER, 1984) bzw. als Teil der Sandsteinfoolge des Unteren Buntsandsteins (su's, DIENEMANN & SCHRIEL, 1938; LANGE & KÄDING, 1961) ausgehalten. Er besitzt eine Mächtigkeit von 25 – 70 m und ist überwiegend blassrot und teils weiß oder kräftig rot gefärbt (LÜTZNER, unpubl.). Des Weiteren können Bleichungshöfe bis 5 mm Durchmesser vorkommen. Die meist feinkörnigen Sandsteine (max. Korngröße 0,3 – 0,5 mm) sind dünn- bis dickbankig ausgebildet, innerhalb der Bänke herrscht klein- bis mitteldimensionale Schrägschichtung vor. Häufiger treten aufgearbeitete Tonklasten, Strömungsrippeln sowie Flaser- und Linsenschichtung auf (LÜTZNER, unpubl.). Bis zum mittleren Teil des Bernburg-Sandsteins kommt noch vereinzelt kaolinitisches Bindemittel als Folge der postsedimentären Verwitterung der Feldspäte vor (KÄSTNER et al., 1966). Zum Hangenden nimmt der Anteil von meist rotbraun gefärbten, glimmerreichen Schluff- und Tonsteinlagen zu, was mit einer generellen Korngrößenabnahme einhergeht (LÜTZNER, unpubl.). Sowohl von LÜTZNER (unpubl.) als auch von LANGE & KÄDING (1961) wird eine weiße bzw. gelblichgraue, 0,30 bis 0,50 m mächtige Sandsteinbank an der Grenze vom Bernburg-Sandstein zur Bernburg-Wechselfolge beschrieben, die zur stratigraphischen Trennung beider Einheiten genutzt werden kann. Gerade westlich der Halde IV Wintershall kann diese jedoch nicht sicher

identifiziert werden, da in verschiedenen Niveaus entsprechende Lestesteine auftreten. Als Kartierkriterium waren in diesem Fall wenige Zentimeter große Scherben der für die Bernburg-Wechselfolge auch in Bohrkernen charakteristischen schokoladenbraunen Tonsteine (s. Abb. 11) nutzbar. Eine lithologische Profildokumentation wurde im Aufschluss A 2 durchgeführt.

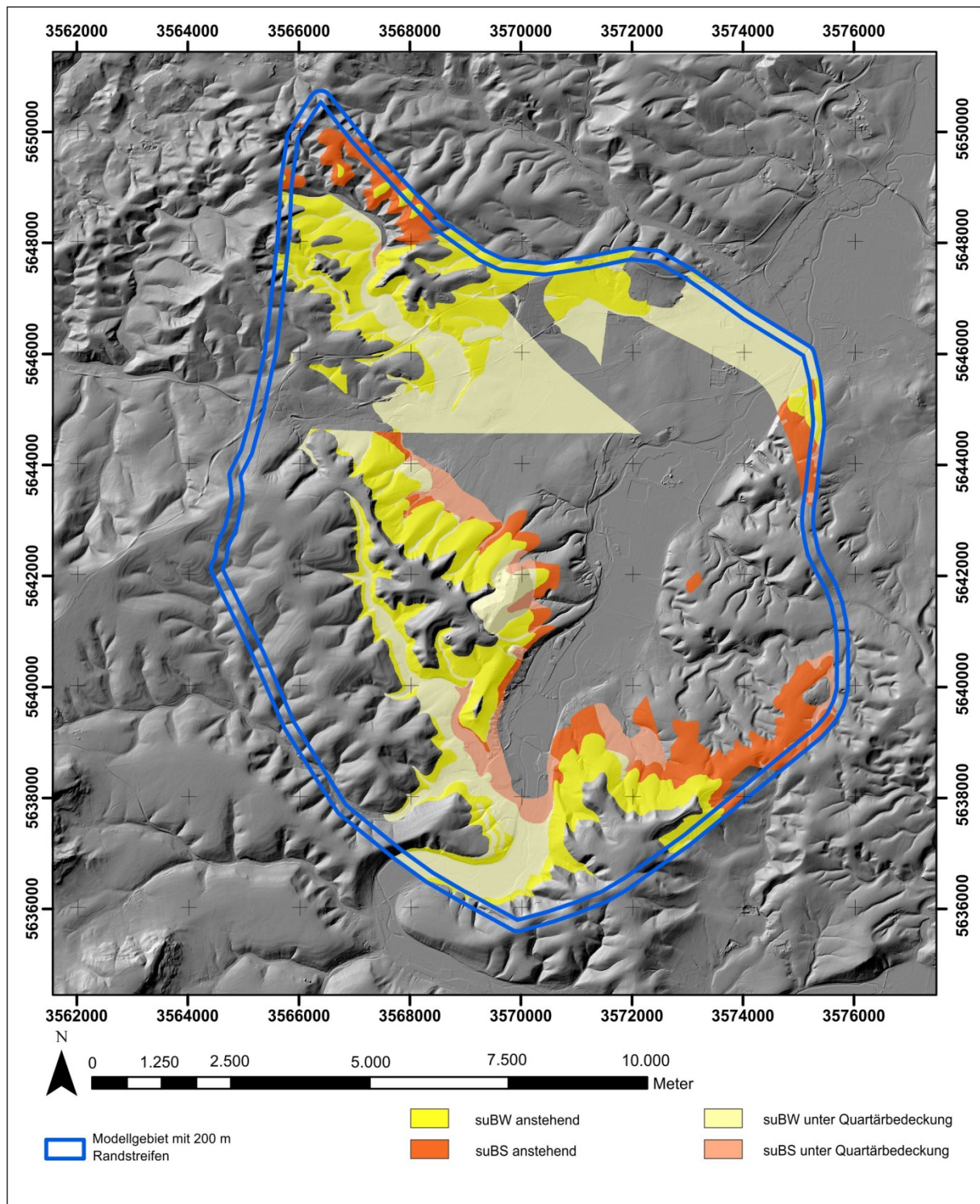


Abb. 10: Oberflächliche Verbreitung der zur Bernburg-Formation (suBG) gehörigen Kartiereinheiten auf Reliefdarstellung des DGM5.

Die **Bernburg-Wechselfolge (suBW)** ist das stratigraphische Äquivalent der Salmünster-Folge (suSa; RAINHARD, 1980 (?); KÜPER, 1984) und der Wechselfolge des Unteren Buntsandsteins (su't, DIENEMANN & SCHRIEL, 1938; LANGE & KÄDING, 1961). Sie besteht aus einer Abfolge plattiger bis dünnbankiger, überwiegend rotbraun bis rot gefärbter und häufig hellglimmerführender Sandsteine und schokoladenbrauner schluffiger Tonsteine. Die Medianwerte der Korngrößen liegen zwischen 0,09 und 0,2 mm (LÜTZNER, unpubl.). Charakteristisch ist eine ebene Feinschichtung mit 1 – 2 mm mächtigen Laminen. Es treten kleinere aufgearbeitete Tonklasten, Rippel- und Strömungsmarken sowie untergeordnet Linsen- und Flaserschichtung auf. Im Gelände bildet die Bernburg-Wechselfolge eine morphologische Steilstufe (LÜTZNER, unpubl.). Aufgrund ihrer charakteristischen Färbung sowie der feinplattigen Absonderung und internen Feinschichtung besitzt die Einheit einen hohen stratigraphischen Leitwert (FALK et al., 1964). Bei der Lesesteinkartierung erwies sich das häufige Auftreten feinplattiger schokoladenbrauner Tonsteinklasten im Verwitterungshorizont auf Ackerflächen als gut verfolgbares Abgrenzungsmerkmal zum Bernburg-Sandstein (Abb. 11). Profildokumentationen wurden in den Aufschlüssen A 59, A 75 und A 76 durchgeführt. LANGE & KÄDING (1961) geben für die Wechselfolge des Unteren Buntsandsteins (su't), welche das stratigraphische Äquivalent der Bernburg-Wechselfolge darstellt, eine Mächtigkeit von 90 – 100 m an.



Abb. 11: Charakteristische, dunkelbraun gefärbte Tonstein-/Schluffsteinklasten im Verwitterungshorizont der Bernburg-Wechselfolge (suBW).

4.4 Mittlerer Buntsandstein (sm)

Nach LEPPER et al. (2013) wird der Mittlere Buntsandstein, basierend auf seiner deutlich ausgeprägten zyklischen Entwicklung (BOIGK, 1957a), in Volpriehausen-, Detfurth-, Hardeggen- und Solling-Formation gegliedert. Die letztgenannte Formation kommt im Kartiergebiet erosionsbedingt nicht vor. Die Zyklizität ist durch Sohlbankzyklen charakterisiert, die jeweils mit basalen, grobkörnigen Sandsteinen einsetzen, die in eine feinkörnigere Wechselfolge übergehen (BOIGK, 1957a; aktuelle Zusammenfassung in TIETZE & RÖHLING, 2013).). Von LANGE & KÄDING (1961) werden für das hessische Werra-Kalirevier die Synonyme Eichsfeld-, Rhön-, Spessart-, und Solling-Folge verwendet (vgl. Tab. 1), während RAINHARD (1980) (?) und KÜPER (1984) für das Blatt Hönebach bereits die Begriffe Volpriehausen- und Detfurth-Folge verwenden. Zur Untergliederung der Formationen bzw. Folgen ist noch anzumerken, dass der basale Grobsandstein teils als Basissandstein und die Wechselfolge teils als Plattensandstein bezeichnet werden. DIENEMANN & SCHRIEL (1938) zogen die Grenzen ihrer Kartierungseinheiten im unteren Mittleren Buntsandstein nach den gleichen Kriterien, wobei der Volpriehausen-Sandstein als Stubensandstein ausgehalten wurde.

Tabelle 1: Aktuelle und ältere Bezeichnungen der Einheiten des Mittleren Buntsandsteins (unter Verwendung von LANGE & KÄDING [1961]).

Aktuelle Bezeichnung	Ältere Bezeichnungen
Solling-Formation*	Schwarzenborner Gruppe
Hardeggen-Formation	Spessart-Folge, Obere Hersfelder Gruppe
Detfurth-Formation	Rhön-Folge, Untere Hersfelder Gruppe
Volpriehausen-Formation	Eichsfeld-Folge, Quecker Gruppe

* Die Solling-Formation kommt im Kartiergebiet erosionsbedingt nicht vor.

4.4.1 Volpriehausen-Formation (smV)

Die Volpriehausen-Formation bildet die erste großmaßstäbliche Fining-upward-Sequenz im Mittleren Buntsandstein. Sie ist an der Basis deutlich grobkörniger ausgebildet als die Bernburg-Formation und ist dadurch gut von dieser zu unterscheiden. Die Mächtigkeit der Volpriehausen-Formation beträgt 80 – 115 m. Innerhalb der Formation können aufgrund der Abnahme der Korngrößen zum Top zwei Teileinheiten unterschieden werden, die als Volpriehausen-Sandstein (smVS) und –Wechselfolge (smVW) bezeichnet werden.

Die Volpriehausen-Formation streicht großflächig im Gebiet westlich der Halde IV Wintershall aus. Weitere Vorkommen befinden sich im Norden und Süden des Kartiergebietes (Abb. 12). Die lithologischen Abfolgen innerhalb der Formation konnten in mehreren Aufschlüssen dokumentiert werden (A 74, A 79, A 80, A 82).

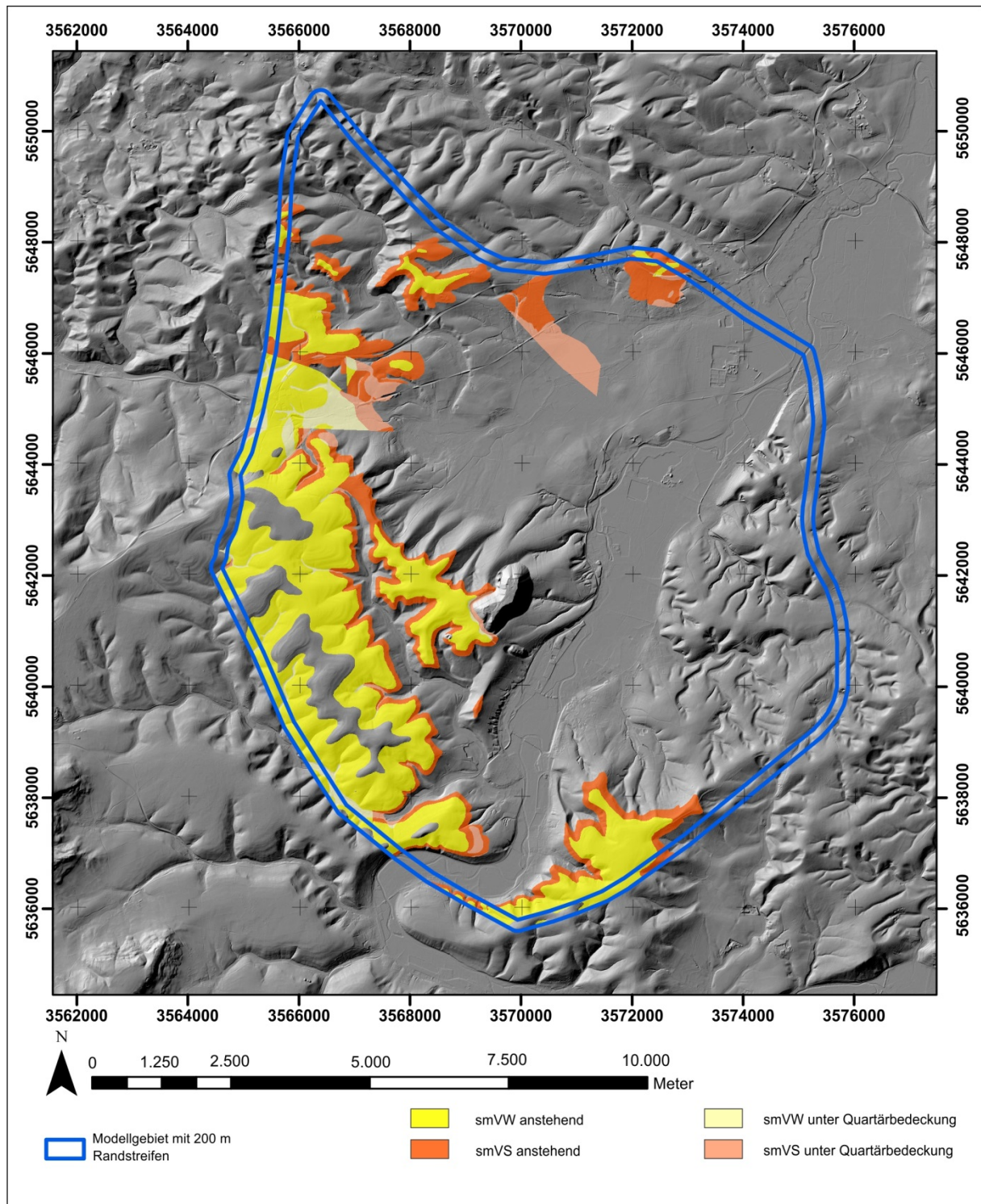


Abb. 12: Oberflächliche Verbreitung der zur Volpriehausen-Formation (smV) gehörigen Kartiereinheiten auf Reliefdarstellung des DGM5.

Der **Volpriehausen-Sandstein (smVS)** besitzt eine Mächtigkeit von 20 – 40 m und unterscheidet sich von der Bernburg-Wechselfolge durch deutlich gröberes Korn. Der mittel- bis grobkörnige Sandstein besitzt eine rotbraune bis gelbbraune Farbe, lokal treten grau gestreifte oder gefleckte Bereiche auf. Der Korndurchmesser beträgt im Maximum 0,5 – 1,0 mm. In den Sandsteinbänken treten Schrägschichtung und Tonklasten auf, sie können aber auch massig ausgebildet sein. Der in der Regel eine steile morphologische Stufe bildende Volpriehausen-Sandstein kann in Einzelfällen mehrere treppenartige Geländestufen ausbilden, die auf eine feinzuklische Entwicklung zurückzuführen sind (LÜTZNER, unpubl.). Lithologische Profile der Einheit konnten in den Aufschlüssen A 79 und A 82 aufgenommen werden. Im Kartiergebiet und darüber hinaus kann eine generelle Mächtigkeitsabnahme nach Norden und Westen festgestellt werden.

Die **Volpriehausen-Wechselfolge (smVW)** ist im Mittel deutlich feinkörniger und besitzt eine Mächtigkeit von 55 – 95 m. Sie besteht aus überwiegend rot bis rotbraun, aber teils auch hell- bis ziegelrot gefärbten, feinkörnigen und plattigen Sandsteinen mit Korndurchmessern von 0,1 – 0,3 mm. Häufig treten kreisrunde Bleichungshöfe von 3 – 5 mm Durchmesser auf. Die Feinsandsteine sind meist fein horizontal geschichtet und enthalten Hellglimmer, die auf den Schichtflächen angereichert sind. Untergeordnet kommen mittelkörnige Sandsteine in undeutlich geschichteten bis massigen Bänken vor (Lützner, unpubl.). Diese bilden Schichtstufen, welche im DGM5 zu erkennen sind (s. Anlage 3, Schichtausbisse). Ebenfalls untergeordnet treten ungeschichtete bis fein laminierte rote bis braunrote Schluff- und Tonsteine auf; oft mit merklichem Feinsandanteil. Der obere Teil der Volpriehausen-Wechselfolge wird aufgrund des Auftretens einer kleinen Muschelart (*Bakevillia munchisoni*) auch als Gervillenschichten bzw. Aviculaschichten bezeichnet (BOIGK, 1957b). Aufgrund mangelnder Fossilführung ist die Ausgliederung dieser Einheit im Kartiergebiet nicht möglich. Ausschnittsweise konnte das lithologische Profil in den Aufschlüssen A 74 und A 80 dokumentiert werden. Der Eichsfeld-Plattensandstein (sE's, t) besitzt als stratigraphisches Äquivalent im Westteil des Kartiergebietes eine Mächtigkeit von 70 – 75 m (LANGE & KÄDING, 1961).

4.4.2 Detfurth-Formation (smD)

Der Übergang von der Volpriehausen-Formation zur Detfurth-Formation ist durch einen erneuten Korngrößensprung gekennzeichnet. Sie umfasst einen weiteren Großzyklus im Mittleren Buntsandstein und kann aufgrund der lithologischen Zweiteilung in den Detfurth-Sandstein (smDS) und –Wechselfolge (smDW) unterteilt werden. Die Mächtigkeit der Detfurth-Formation wird mit 30 – 70 m angegeben. Im Kartiergebiet tritt die Detfurth-Formation in kleineren inselförmigen Vorkommen auf den Kuppen der Erhebungen westlich

bis südlich der Halde IV Wintershall sowie am südlichen Rand des Kartiergebietes auf (Abb. 13). Aufgrund der flachen Morphologie existieren keine Aufschlüsse im Kartiergebiet.

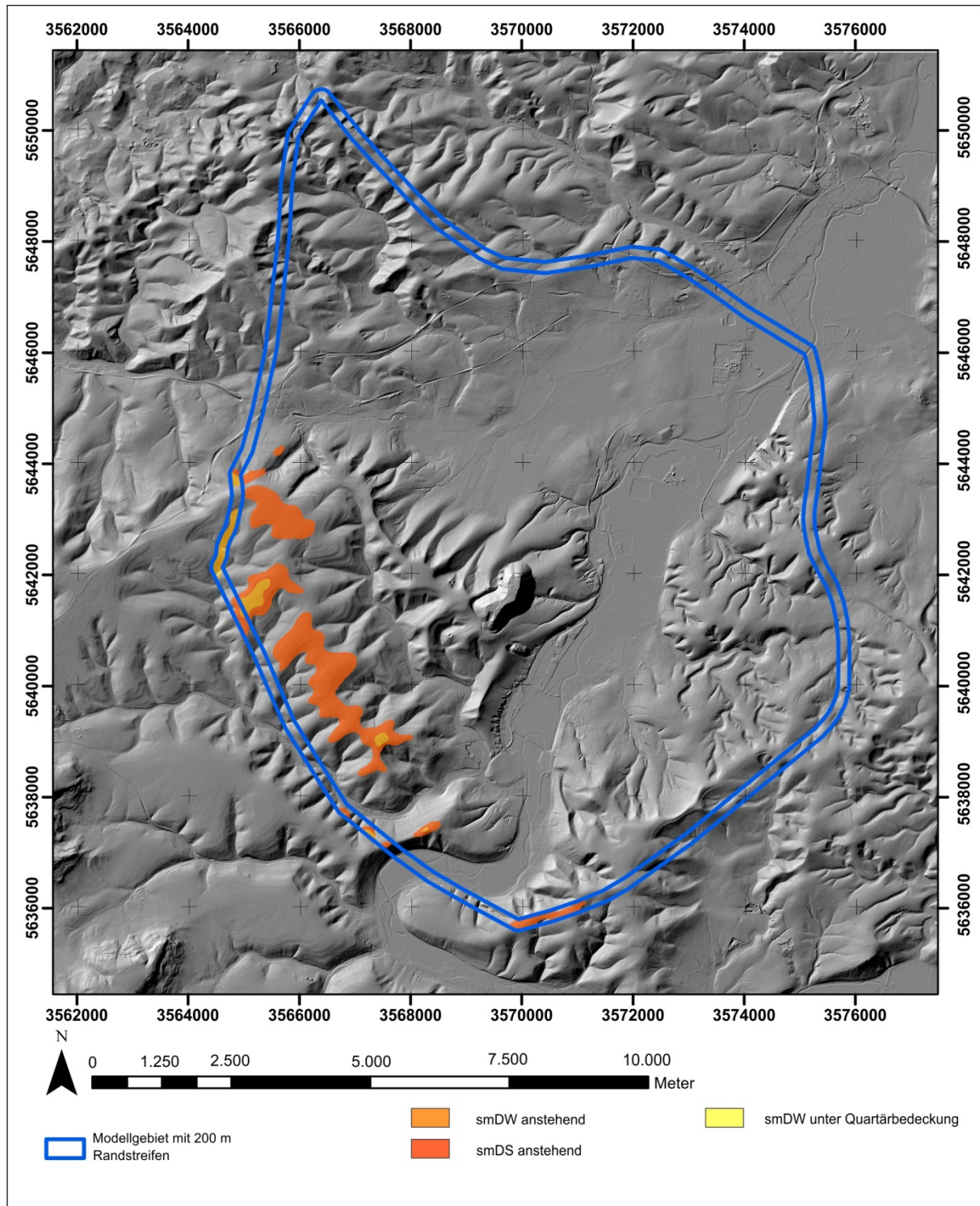


Abb. 13: Oberflächliche Verbreitung der zur Detfurth-Formation (smD) gehörigen Kartiereinheiten auf Reliefdarstellung des DGM5.

Der **Detfurth-Sandstein (smDS)** besitzt als basaler Grobsandstein eine Mächtigkeit von 10 – 30 m. Es handelt sich um einen hell- bis violettroten, gut sortierten teilweise feinkiesigen Mittel- bis Grobsandstein (Korndurchmesser: 0,5 – 2 mm, vereinzelt > 3 mm), der ein mehr

oder weniger geschlossenes Sandsteinpaket bildet, wobei tonig-schluffige Lagen nur untergeordnet vorkommen. Charakteristisch sind einzelne, sehr gut sortierte Grobsandsteinlagen mit sehr guter Kornrundung und hoher Porosität sowie klein- bis mitteldimensionaler Schrägschichtung (LÜTZNER, unpubl.). Anhand des DGM5 ist deutlich erkennbar, dass die Basis dieser Kartiereinheit als deutliche Schichtstufe auch im aufschlussarmen Gelände nachvollzogen werden kann (s. Anlage 3). Im hessischen Werra-Kaligebiet wird die Mächtigkeit des Rhön-Grobsandsteins (sR's), welcher das stratigraphische Äquivalent zum Detfurth-Sandstein darstellt, mit 15 – 20 m angegeben (LANGE & KÄDING, 1961).

Die sich im Hangenden anschließende **Detfurth-Wechselfolge (smDW)** hat eine Mächtigkeit von 10 – 40 m, wobei im Kartiergebiet aufgrund weitgehender Erosion nur wenige Meter erhalten sind. Die meist aus plattigem, fein- bis mittelkörnigem Sandstein (Korndurchmesser: 0,2 – 0,4 mm, im unteren Teil bis 0,5 mm) bestehende Abfolge ist charakterisiert durch ein weites Farbspektrum von rosa, rot, dunkel-/rot-/blassviolett bis hin zu weiß. Es treten deutliche Feinschichtung sowie kleindimensionale Schrägschichtung auf (LÜTZNER, unpubl.). In der Detfurth-Wechselfolge keilen die Sandsteinbänke lateral sehr rasch aus, lagenweise kommen Tonklasten vor. Es wurde ein geringer Kaolingehalt festgestellt, der zu einer weißen Sprenkelung führt (LANGE & KÄDING, 1961). Daneben treten rote bis rotbraune meist feinsandige Schluff- bis Tonschluffsteine auf. Im hessischen Werra-Kaligebiet wird die Mächtigkeit des Rhön-Plattensandsteins (sR's), welcher das stratigraphische Äquivalent der Detfurth-Wechselfolge darstellt, einheitlich mit 50 m angegeben (LANGE & KÄDING, 1961).

4.4.3 Hardeggen-Formation (smH)

Die Hardeggen-Formation tritt nur in einem kleinen Areal im äußersten Westen des Kartiergebietes auf, in dem kein für eine Detaildokumentation geeigneter Aufschluss lokalisiert werden konnte. Für die südlich und westlich des Kartiergebietes angetroffenen Vorkommen geben LAEMMLEN (1975) und LANGE & KÄDING (1961) ausführliche lithologische Beschreibungen.

Der **Hardeggen-Sandstein (smHS)** erreicht im Kartiergebiet eine Mächtigkeit von etwa 15 m. Er besteht aus meist stark schräggeschichteten, blassen, gelblichroten bis weißlichgelben und auch rosavioletten Mittel- und Grobsandsteinen sowie geringmächtigen roten und grauen Ton- und Schluffsteinlagen (LAEMMLEN, 1975). Markant sind rote bis braunrote, opake Quarzkörner sowie eine auffällig gute Kornsortierung (LAEMMLEN, 1975). Zusätzlich treten häufig Tonsteinklasten (LÜTZNER, unpubl.) oder einzelne bis zu 2 mm große, sehr gut

gerundete, mattierte Quarzkörner sowie bis zu 4 mm große Quarzgerölle (LAEMMLEN, 1975) auf. Die in der Regel mäßig verfestigten Sandsteine weisen geringe Mengen an tonig-ferritischem, mitunter auch quarzitischem Zement auf und bilden morphologisch stets eine Steilstufe (LAEMMLEN, 1975; LÜTZNER unpubl.). Der Unterschied der mittleren Korngrößen zwischen dem Basissandstein und der Wechselfolge fällt in der Hardeggen-Formation weit geringer aus als in den liegenden Detfurth- und Volpriehausen -Formationen aus (LÜTZNER, unpubl.). Dies gilt für die mittlere Korngrößen; für die maximalen Korngrößen ist kein solcher Trend feststellbar (LAEMMLEN, 1975).

Die **Hardeggen-Wechselfolge (smHW)** ist im Kartiergebiet mit einer Restmächtigkeit von knapp 20 m vertreten. Sie enthält vor allem rötliche und blassrotbraune bis violette, z.T. gelblichbraun bis gelblichweiß gefleckte oder gebänderte Fein- bis Mittelsandsteine, aber auch Grobsandsteinhorizonte (LAEMMLEN, 1975). Die plattigen bis dünnbankigen Sandsteine treten in Wechsellagerung mit feinsandigen Ton- und Schluffsteinlagen auf (LAEMMLEN, 1975). Als besonderes Merkmal der Sandsteine dienen gut gerundete, oft rot gefärbte Quarzkörner (LAEMMLEN, 1975). Zemente sind überwiegend tonig-ferritisch, infolge sekundärer Einkieselung ist auch quarzitischer Zement in wechselnden Anteilen vorhanden (LAEMMLEN, 1975; LÜTZNER, unpubl.).

4.5 Tertiär

Das meist geringmächtige (< 20 m) Tertiär hat in Bezug auf das konkrete Vorhaben lediglich eine untergeordnete Relevanz. Daher wird das Tertiär im Kartiergebiet rein lithologisch gegliedert. Die lithologische Gliederung wurde im Wesentlichen von den Kartenblättern 5026 Berka (Werra) und 5126 Vacha übernommen. Diese umfasst die Unterscheidung in

1. Grobklastite (wie Sande und Kiese),
2. Feinklastite, zu denen vor allem limnische Ablagerungen auf dem Kartenblatt Berka (Werra) zählen sowie
3. Miozäne bis pliozäne Vulkanite, die im Kartiergebiet an drei Lokalitäten auftreten und schlot- oder gangartige Vorkommen von Basalt und Tuffbrekzien bilden (z.B. GRUMBT et al., 1967, GRUMBT & LÜTZNER, 1983). Letztere durchschlagen den Buntsandstein in Form von mehr oder weniger saiger verlaufenden Gängen und Schloten und finden daher besondere Berücksichtigung in Bezug auf das zu erstellende hydrogeologische Modell.

4.5.1 Vulkanite

Die tertiären Basalt- und Tuffvorkommen im Kartiergebiet stellen die nördlichsten Ausläufer des basischen Vulkanismus der Vorderrhön dar. Sie treten nur im südlichen Teil des Kartiergebietes auf. Es handelt sich bei den Vulkaniten im Wesentlichen um schlot- und gangartige Vorkommen, die mit geringer Abweichung von weniger als 10° den N-S-gerichteten und damit rheinisch streichenden Störungssystemen folgen, die als Wegsamkeiten für den Magmaaufstieg dienten (KÄDING, 1962; GRUMBT & LÜTZNER, 1966; GRUMBT et al., 1967; GRUMBT & LÜTZNER, 1983). Die vulkanische Aktivität begann wahrscheinlich lokal bereits im höheren Oligozän, mit Sicherheit aber im unteren Miozän und endete im obersten Pliozän (GRUMBT & LÜTZNER, 1983). Für die Vorkommen von Vitzeroda und südlich Berka wird in den GK25 Blatt 5026 Berka (Werra) und Blatt 5126 Vacha jeweils ein miozänes Alter angegeben. Bei den **basischen Vulkaniten (tmib)** handelt es sich meist um Olivinbasalte, die jedoch räumlich und zeitlich in ihrer Zusammensetzung über hornblendeführende Basalte bis hin zu Phonolithen und Nephelinbasalten bei abnehmendem SiO₂-Gehalt variieren können und damit eine Differentiationsreihe ausgehend vom Magmareservoir bilden (KÄDING, 1962). Ebenfalls häufig mit Störungen assoziiert sind **Schlotbrekzien (tmiBb)** und tuffgefüllte Explosionsröhren sowie Gangfüllungen (GRUMBT & LÜTZNER, 1983). Die Brekzien führen meist Fremdgestein aus der Umgebung oder aus dem Untergrund (GRUMBT et al., 1967).

Im Kartiergebiet treten lediglich drei kleinere kartierbare Vorkommen auf, zu denen der Wackenbühl, die Tuffbrekzie von Vitzeroda sowie ein Basaltgang südlich von Berka zählen (Abb. 14). Anhand der untertägigen Bohrerkundung südöstlich des Kartiergebietes und auch durch geomagnetische Messungen konnten eine Reihe weiterer basaltischer, teils fiederartig versetzter Spaltenzüge nachgewiesen werden, die im Gelände jedoch nicht aufgeschlossen sind (SONNTAG, 1964; LÜTZNER, unpubl.).

Das Vorkommen am **Wackenbühl** bildet eine 420 m NN hohe Erhebung, die sich weniger als einen Kilometer südwestlich des Standorts der Halde IV Wintershall auf dem Blatt 5025 Hönebach befindet (Aufschluss A63). In einem auflässigen Steinbruch wurde der Basaltkörper zur Hartsteingewinnung abgebaut. Er bildet ein rundes, schlotförmiges Vorkommen mit einem Durchmesser von ca. 100 m. Im Aufschluss zeigt der Basalt eine gelblichgraue Verwitterungsfarbe und typische kugelige Absonderungsformen. Im frischen Handstück treten häufig bis zu 1 cm große Olivineinsprenglinge sowie bis zu 1 cm große Plagioklas-Kristalle auf. Anhand der Restvorkommen konnten keine lithologischen Varietäten nachgewiesen werden.

Der Basaltschlot wird an seiner östlichen Peripherie halbkreisförmig von einer wenige Meter breiten Schlotbrekzie umgeben. Bei dieser handelt es sich um eine im Aufschluss

gelblichgraue, tonig verwitternde Tuffbrekzie, die zentimetergroße Bimse sowie größere Fragmente von Basalt und Buntsandstein führt, wobei letzterer zum Teil stark gefrittet ist.

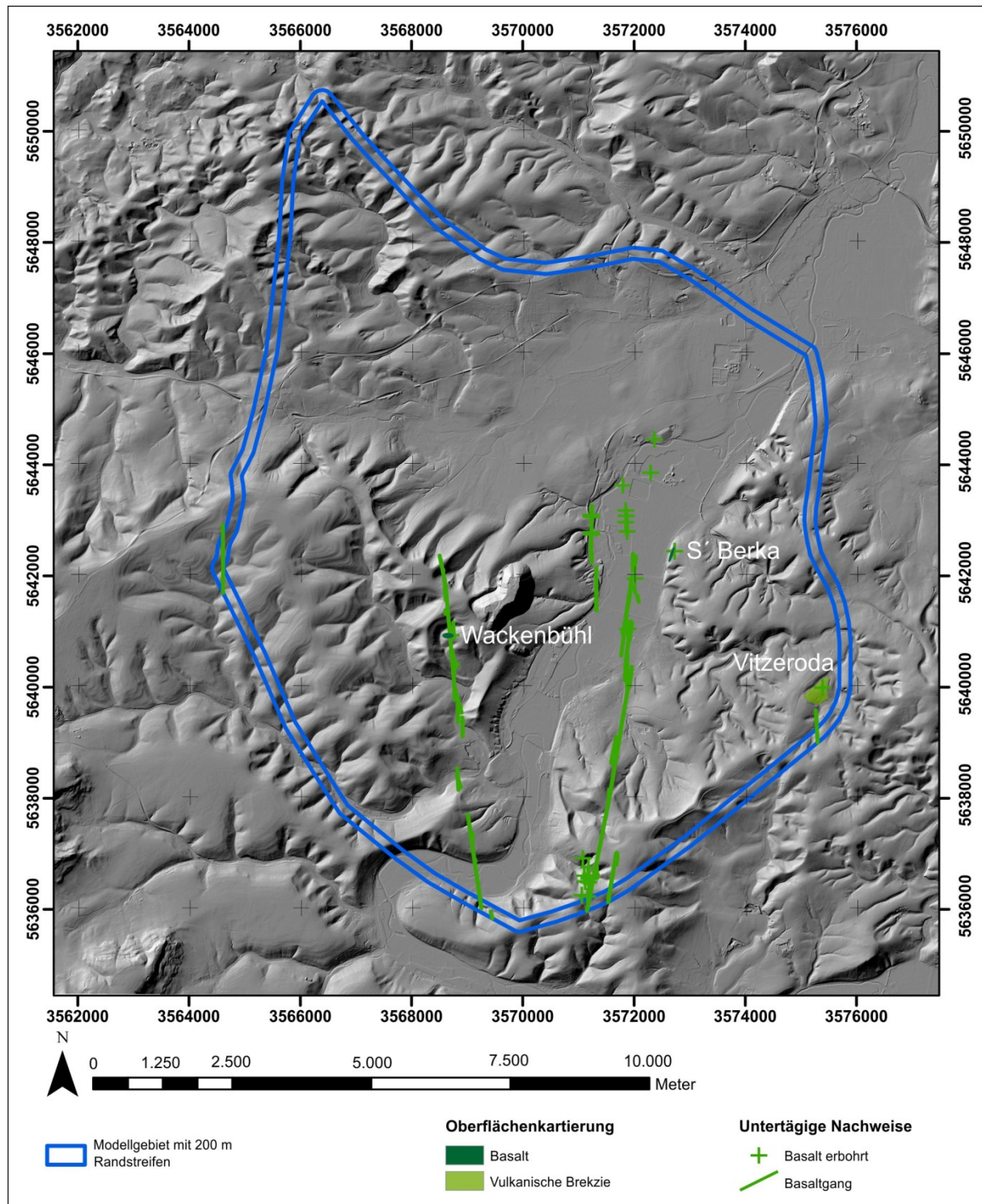


Abb. 12: Verbreitung von tertiären Vulkaniten im Kartiergebiet. Die drei im Text beschriebenen übertägigen Vorkommen sind beschriftet. Daneben wurden – überwiegend in Niveau des Werra-Salinar – rhönisch streichende Gangschwärme durch bergmännische Auffahrungen, untertägige Bohrerkundungen sowie geomagnetische Messungen nachgewiesen. Die übertägigen Vorkommen sitzen diesen Gangschwärmen auf.

Die **Tuffbrekzie bei Vitzeroda** bildet das flächenmäßig größte Vorkommen tertiärer Vulkanite im Kartiergebiet und befindet sich am nordwestlichen Ortsausgang des Ortes auf dem Kartenblatt 5126 Vacha. Es wurde bereits durch GRUMBT et al. (1967) beschrieben. Demnach handelt es sich um ein oberflächlich ausgedehntes Vorkommen eines Basaltgangs, welches sich in der Tiefe in Richtung Süden weiter verfolgen lässt und mit einer Schlotbrekzie assoziiert ist. Das Gestein ist durch VON KOENEN et al. (1925) als olivinreicher Nephelinbasalt beschrieben worden. Die Schlotbrekzie führt < 1 bis > 1 cm³ große, eckige Brocken und Schollen von Buntsandstein und Muschelkalk, die teils stark gefrittet sind und in wirrer Lagerung vorkommen (GRUMBT et al., 1967). Während der Geländekartierung konnte das Vorkommen aufgrund schlechter Aufschlussverhältnisse lediglich an vereinzelt Basalt-Lesesteinen nachgewiesen werden.

Ein weiteres Vorkommen in Form eines Basaltgangs befindet sich südlich von Berka, nahe der Straße nach Dippach. Er streicht in N-S-Richtung und ist auf wenige hundert Meter Länge oberflächlich verfolgbar und bereits in der aktuellen geologischen Karte des Blattes 5026 Berka (Werra) berücksichtigt. Das Vorkommen wurde erstmals durch MOESTA et al. (1925) und später durch GRUMBT et al. (1967) anhand von Lesesteinen nachgewiesen. Während der Geländekartierung konnte es anhand einzelner Lesesteine bestätigt werden. Bei dem Gestein handelt es sich um einen einsprenglingsarmen Olivinbasalt.

4.5.2 Pliozäne Sedimente

Während in der Subrosionssenke von Vacha-Oberzella südlich des Kartiergebietes mächtige Abfolgen von Sanden, Tonen und Braunkohlen pliozänen Alters bekannt sind (41 m in der Bohrung Oberzella 1/88 unter 69 m quartärer Überdeckung), werden vergleichbare pliozäne Sedimente im Kartiergebiet auf Basis der derzeit vorliegenden Bohr- und Kartielergebnisse nur im Bereich des Salzhangs zwischen Gerstungen und Hönebach angetroffen. Übertägig sind hellgrüne bis graue und auch blaugraue **Tone (tplt)** bei Großensee und Bosserode (s. Abb. 15) bekannt und bereits von MOESTA (1876) kartiert worden. Diese Vorkommen sind nur wenige Meter mächtig und großflächig von quartären Sedimenten überdeckt. DIENEMANN (1937) beschreibt kleine, teils bereits aufgelassene Tongruben in diesen Sedimenten. Bei den von MOESTA (1876) als pliozäne **Sande (q-tpls)** angesprochenen Sedimenten in der Umgebung der Höhe 310,1 m NN nördlich von Hönebach, die teilweise von quartären Schottern überdeckt werden, kann es sich nach Ansicht von DIENEMANN (1937) auch um verwitterten Buntsandstein handeln. Bei der Geländebegehung im Frühjahr 2014 waren keine Aufschlüsse in dieser Einheit anzutreffen.

In Bohrungen ist die Abgrenzung zu den hangenden quartären Sedimenten nur dann möglich, wenn die Basis des Quartärs von Schottern gebildet wird. In der Bohrung Obersuhl 3A/2010

(KLEDITZSCH & STEUERWALD-SIMON, 2010) wurden 27,3 m mächtige unverfestigte Tone, Schluffe und Sande beschrieben, von denen zumindest ein Teil dem Pliozän zuzuordnen sein dürfte.

4.6 Quartär

Die Einheiten des Quartärs nehmen im Vergleich zu pliozänen Sedimenten große Flächen im Kartiergebiet ein. Sie erreichen in der Werra-Aue sowie in Subrosionssenken die größten Mächtigkeiten (56 m in der Bohrung Ki Dankmarshausen 011/1981) und auch die größte flächenmäßige Verbreitung (Abb. 15). Die Gliederung der quartären Einheiten wurde gegenüber der detaillierten Quartärstratigraphie auf Blatt 5026 Berka (Werra) und Blatt 5126 Vacha stark vereinfacht, um eine Vereinheitlichung der Gliederung möglich zu machen. Im Hinblick auf den konkreten Vorhabensbezug wird eine Gliederung nach lithologisch-genetischen Kriterien gegenüber stratigraphischen Kriterien bevorzugt. So werden z.B. alle pleistozänen Schotterterassen des Mittel- bis Altpleistozäns zu einer Einheit zusammengefasst. Bei vielen der verwendeten Karten ist nicht dokumentiert, ab welchen Mächtigkeiten Quartär kartiert wurde und wie diese Mächtigkeiten bestimmt wurden. Da eine flächendeckende Quartärkartierung mit Bohrstock o. ä. im Rahmen dieses Vorhabens nicht umsetzbar war, wurden die vormals kartierten Quartärverbreitungen weitgehend in diese Arbeit übernommen. Unter Verwendung des DGM5 war in vielen Nebentälern eine Anpassung der Grenzen des Holozäns an den morphologischen Rand der Talböden möglich. Im Hangenden des Festgesteins des Buntsandsteins befindet sich meistens eine bis wenige Meter mächtige Felsersatzzone. Diese besteht aus einem entfestigten Sand-Schluff-Tongemisch, in dem häufig noch mehr oder weniger mürbe Sandsteinbrocken erhalten sind. Da diese Ersatzzone in situ gebildet wird (ohne Umlagerung des Lockermaterials), wird sie in der Kartendarstellung der jeweiligen Kartiereinheit des Buntsandsteins zugerechnet. Gerade in Bohrkernen ist eine sichere Abgrenzung von in situ gebildetem Ersatz und umgelagertem Buntsandsteinmaterial (Hangschutt, Fließerden) oft nur mit unsicherer Grenzziehung möglich.

Entlang des Werratal und der Umgebung von Obersuhl und Bosserode sind einige **Schotterterassen (qps)** erhalten geblieben, die nach LÜTZNER et al. (1961–1966, 1998) in das Alt- bis Mittelpleistozän eingestuft werden. Die Schotter bestehen überwiegend aus Sandsteinen des Buntsandsteins, daneben treten in geringeren Mengen Basalt-, Rötquarzit- und Muschelkalkgerölle auf. In den ältesten Schotterterassen, die westlich von Lengers bis zu 80 m über dem heutigen Werra-Niveau (215 m NN) liegen, sind auch Gesteine des Thüringer Waldes (Porphyry, Quarzit, Milchquarz) vertreten (KÄDING, 1959). Im Nordteil des

Kartiergebietes kann jedoch infolge der Subrosion nicht allein von der Höhe über Werra-Niveau (dort 207 – 210 m NN) auf das Alter geschlossen werden.

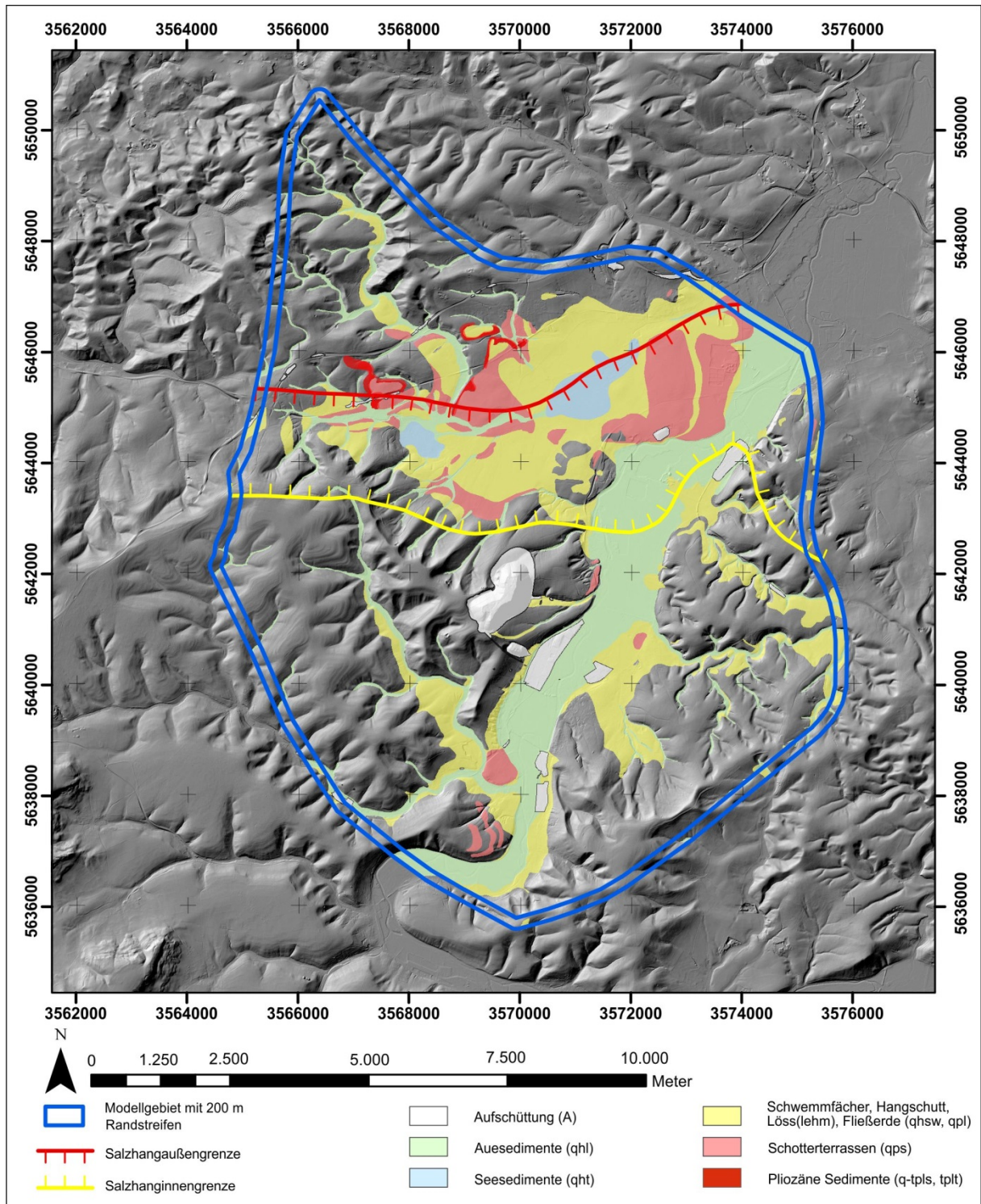


Abb. 15: Verbreitung von quartären Sedimenten im Kartiergebiet auf einer Reliefdarstellung des DGM5. Neben der großflächigen Verbreitung im Werratal und am Salzhang ist auch die Überdeckung der unteren Hänge zahlreicher Nebentäler erkennbar.

An den unteren Hängen des Werratal und zahlreicher Nebentäler sowie in der Ebene zwischen Berka und Hönebach sind großflächig quartäre Lockergesteine verbreitet, die lokal unterschiedlich aus **Löss(lehm)**, **Hangschutt**, **verlehmtm Hangschutt** und **Fließerde (qpl)** bestehen.

Die **Auesedimente (qhl)** im Werratal sind überwiegend kiesig, teils auch lehmig bis sandig. Entsprechend der Quartärgliederung in den GK25 Blatt 5026 Berka (Werra) und 5126 Vacha werden in dieser Einheit die Auelehme des Werratal und die überwiegend gröberklastischen polygenetischen Talfüllungen der Nebentäler zusammengefasst. Im Werratal folgen nach im Mittel etwa 3 Meter Auelehmen die pleistozänen Werraschotter. Östlich von Dankmarshausen erreichen diese hohe Mächtigkeiten (maximal 56 m in der Bohrung Ki Dankmarshausen 011/1981) und werden in Kiesseen abgebaut. Die hohen Mächtigkeiten sind auf den Bereich des Salzhangs beschränkt, da hier durch die Subrosion der notwendige Akkomodationsraum geschaffen wurde. In den Nebentälern ist dagegen eine Unterlagerung der Auesedimente durch pleistozäne Fließerden und Hangschutt zu erwarten.

Hier sind teilweise auch größere Mengen von abgeschwemmtem Lösslehm und Hangschutt vertreten. Dieses Material bildet auch kleinere **Schwemmfächer (qhsf)** am Ausgang dieser Nebentäler, z.B. nördlich von Leimbach und unter dem Ortskern von Dippach. Nach Analyse des DGM5 erheben sich die größten Schwemmfächer etwa 5 bis 8 Meter über dem umliegenden Talboden. Da am Rand der Fächer eine Verzahnung mit – und teilweise Bedeckung durch – Auesediment erwartet werden kann, sollte die maximale Mächtigkeit noch etwas größer sein.

Im Bereich des Salzhangs bildeten sich bereits im Pleistozän flache Seen (GAHL, 1971). Diese verlandeten weitgehend im Holozän, wobei wenige Meter mächtige **Seetone (qht)** sedimentiert wurden. Dabei handelt es sich um den weitgehend trockengelegten Seulingssee bei Kleinensee und das NSG Rhäden nördlich von Dankmarshausen.

Anthropogene Aufschüttungen (A) verschiedener Art sind im Kartiergebiet vorhanden. Die mengenmäßig bedeutendsten Aufschüttungen sind die Halden III und IV des Standortes Wintershall, Werk Werra der K+S KALI GmbH. Kleinere Aufschüttungen unter bebauten Flächen sowie von Verkehrsbauwerken und Deponien sind überwiegend entlang des Werratal verbreitet.

5 Tektonik und Subrosion

5.1 Tektonik

Die regionalen tektonischen Verhältnisse und deren Entwicklung seit dem Perm wurden bereits in Kap. 3 beschrieben. In Anlage 3 sind alle vorhandenen tektonisch relevanten Daten des Kartiergebietes zusammengefasst, mit Ausnahme der HEM/TEM-Daten, deren Auswertung in einem eigenen Bericht (JUNGK et al., 2015) dargestellt wird. Es handelt sich um die folgenden Typen von Linearen und Punktinformationen die (teilweise) im Bezug zur tektonischen Struktur stehen:

1. Sichere und vermutete Störungen aus Oberflächenkartierungen, Strukturkarten und regionalgeologischen Bearbeitungen (BARNASCH et al. (2013), BÜCHEL et al. (2012), DIENEMANN & SCHRIEL (1938), ELLENBERG (2004a,b), GRUMBT et al. (2001), GUNZERT (1955), HESSMANN (1981), KÄDING (1959), KÜPER (1984), LÜTZNER et al. (2000), PIEPER (1995), RAINHARDT (1980?), RICHTER (1940)).
2. Schichtausbisse (BÜCHEL et al., 2012): Aus dem DGM5 ermittelte kleine Geländestufen, die durch erosionsresistente Bänke verursacht werden. Diese treten vor allem im Ausstrichgebiet der Volpriehausen-Wechselfolge (smVW) auf. Die von BÜCHEL et al. (2012) ermittelten Schichtausbisse wurden mit historischen topographischen Karten abgeglichen, um Geländekanten, die durch alte Wegeinschnitte und ähnliches verursacht wurden, auszuschließen. Weitere Schichtausbisse konnten im Maßstab 1:25.000 ergänzt werden, die in der ursprünglichen Auswertung im Maßstab 1:100.000 bzw. 1:50.000 nicht dargestellt waren.
3. Bruchsysteme (BÜCHEL et al., 2012): Geländeeinschnitte, an denen Schichtausbisse unterbrochen, jedoch nicht erkennbar versetzt sind. Diese Strukturen werden als Bruch- bzw. Kluftzonen gedeutet.
4. Fotolineationen (HESSMANN, 1981): Können auf neueren Luftbildern (Stand 2008/09) nicht nachvollzogen werden. LÜTZNER (unpubl.) vermutet, dass es sich um Zonen mit erhöhter Kluftdichte handelt, die sich durch Erosion oder abweichende Vegetation in Luftbildern abzeichnen. Östlich von Dippach und Leimbach stimmt die Richtung

einiger Fotolineationen mit bekannten Störungs- und Klufrichtungen überein, meist ist jedoch kein Zusammenhang erkennbar.

5. Holozäne rückschreitende Erosionsstrukturen (BÜCHEL et al., 2012): Aus dem DGM5 ermittelte Geländeeinschnitte, die sich entlang des Salzhangs konzentrieren (s. Anlage 3). Diese werden als Anzeichen für eine noch heute anhaltende Absenkung ihres Vorlandes angesehen.
6. Basaltvorkommen, Klüfte und brekziierte Bereiche aus der untertägigen Erkundung (Ergebnisse der untertägigen Bohrerkundung und der untertägigen Kartierung)
7. Die Grenzen des Salzhangs (JUNGSMANN & BEER, 2004), von Subrosionssenken (ZEIBIG et al., 2012) und möglicherweise subrosionsbedingten kleinen Senken (KÄDING, 1959, KÜPER, 1984)

Im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung wurden weitere Daten erhoben, die ebenfalls in Anlage 3 dargestellt werden und in die Bewertung des tektonischen Inventars des Kartiergebietes einfließen:

8. Überprüfung und Verfeinerung der geomorphologischen Auswertung des DGM5, wie oben unter Punkt 1 erläutert.
9. Überprüfung von Schichtversätzen an postulierten Störungen durch Geländebegehungen.
10. Kluftmessungen an geeigneten Aufschlüssen (s. Anlagen 2 und 3)
11. Auswertung der vorhandenen reflexionsseismischen Profile im Hinblick auf die Lage von Störungsindikatoren und die Lagerungsverhältnisse der Schichtfolgen

Im Folgenden werden die im Kartiergebiet auftretenden Störungen im Einzelnen vorgestellt und im Hinblick auf deren sichere oder vermutete Existenz bewertet. Grundlage der Bewertungen ist die tektonische Karte (Anlage 3), welche sämtliche von den verschiedenen Bearbeitern postulierten tektonischen Elemente enthält. Hierbei werden zunächst die Störungen aus dem regionalen geologischen Modell des Werra-Kalagebiets (BARNASCH et al., 2013; betrachteter Bereich: Tagesoberfläche bis Top Werra-Salz) diskutiert und bewertet. Die überwiegend durch Oberflächenkartierung ermittelten Störungen in den ausstreichenden Gesteinen des Unteren und Mittleren Buntsandstein werden in Kapitel 5.1.3 diskutiert. Im Bereich des Salzhangs wurden unter Berücksichtigung der HEM/TEM-Daten (s. Kap. 6.2) und Bohrerergebnisse weitere Störungen postuliert, die ebenfalls in diesem Kapitel aufgeführt werden. Das Ergebnis dieser Analyse ist eine wesentliche Voraussetzung für die geologische Karte (Anlage 4) und insbesondere die abgedeckte geologische Karte ohne känozoische Überdeckung (Anlage 5).

5.1.1 Störungen aus dem regionalen geologischen Modell

Die im regionalen geologischen Modell des Werra-Kaligebiets (Maßstab 1:200.000) enthaltenen Störungen (Stand 2013) werden von BARNASCH et al. (2013) kritisch diskutiert und bewertet. Die dort vorgenommene Nummerierung des tektonischen Inventars wurde für die hier vorgelegte tektonische Karte (Anlage 3) übernommen.

Störung 15 (äußerste Nordspitze des Kartiergebietes): Nach BARNASCH et al. (2013) sehr wahrscheinlich Abgrenzung einer Tiefscholle, nach RICHTER (1940; Segment WI-35a) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-35b) südwestliche Abgrenzung einer Buntsandsteinscholle bei Nentershausen-Bauhaus (nördlich des Kartiergebietes).

→ **nicht übernommen**, da am äußersten nördlichen Rand des Kartiergebietes auslaufend, nördlich davon sehr wahrscheinlich existent

Störungen 17 und 18 (im Wildeck-Tal zwischen Schloßberg und Kleines Gehege): Nach BARNASCH et al. (2013) sehr wahrscheinlich Abgrenzung einer Tiefscholle, nach BÜCHEL et al. (2012) dagegen Bruchstrukturen ohne nachgewiesenen Versatz. Nach Kartierungsergebnissen kann dagegen eine nordöstlich des Wildeck-Tals gelegene Hochscholle und eine südwestlich und südlich gelegene Tiefscholle durch die Störungen WI-16 und WI-39 abgegrenzt werden. Bei den Geländepunkten A58 und A59 ist die Hauptkluftrichtung parallel zum postulierten Störungsverlauf, was die Deutung als Bruch- bzw. Kluftzone stützt.

→ **nicht übernommen**

Störung 19 (östlich von Dankmarshausen): Nach BARNASCH et al. (2013) vermutet, fraglicher Nachweis im reflexionsseismischen Profil Rx15, sicherer Nachweis im reflexionsseismischen Profil Rx15a der Messkampagne Vacha IV. Liegt in Verlängerung eines Basaltgangzuges, in der Nähe punktuelle Nachweise von Basalt durch untertägige Bohrerkundungen.

→ **als vermutet übernommen**, da Existenz relativ sicher, Lage aber nicht genau bekannt. Möglicherweise atektonisch (durch Subrosion) entstanden oder überprägt.

Störung 20 (östlich von Dankmarshausen): Nach BARNASCH et al. (2013) vermutet, zwei fragliche Nachweise im reflexionsseismischen Profil Rx20 der Messkampagne Vacha IV.

→ **nicht übernommen**, da Lage und Existenz unsicher. Möglicherweise atektonisch entstanden oder überprägt.

Störung 21 (östlich von Dankmarshausen): Nach BARNASCH et al. (2013) in HEM/TEM-Daten teilweise erkennbar, fragliche Nachweise in den reflexionsseismischen Profilen Rx15 und Rx20 der Messkampagne Vacha IV.

→ **als vermutet übernommen**, da Existenz relativ sicher, Lage aber nicht genau bekannt; verlängert nach Nordosten entsprechend der reflexionsseismischen Indikatoren der o. g. Messkampagne (Segment 21a). Möglicherweise atektonisch (durch Subrosion) entstanden oder überprägt.

Störung 22 (östlich von Dippach): Nach BARNASCH et al. (2013) in Bohrungen durch Versatz nachgewiesen, nach Oberflächenkartierung (GRUMBT et al., 1961-66, 1980, 1999, 2000) nicht vorhanden

→ **nicht übernommen**, am Nordende nachgewiesener Versatz geht möglicherweise auf Störung WI-29 zurück

Störung 23 (westlich von Vitzeroda bis zum Auelsberg): Nach BARNASCH et al. (2013) sicher durch Reflexionsseismik und untertägige Bohrerkundungen (Kristallsalz-Verbreitung) nachgewiesen; folgt dem Westrand der Subrosionssenke von Abteroda-Vitzeroda. Im Kartiergebiet sichere Nachweise in den reflexionsseismischen Profilen VaZ 13 und VaZ 15 der Messkampagne Werra-Kali Ergänzung; Oberflächenkartierung (LÜTZNER et al., 1961-66, 1998) zeigt jedoch keinen Versatz.

→ **als vermutet übernommen**, wo durch Reflexionsseismik nachgewiesen; es bleibt unbekannt, ob die Störung die Geländeoberfläche erreicht

Störung 24 (unter Berka): Nach BARNASCH et al. (2013) in reflexionsseismischen Profilen und durch Versatz der Buntsandsteinbasis nachgewiesen, im Kartiergebiet nur ein fraglicher Nachweis im reflexionsseismischen Profil Rx20 der Messkampagne Vacha IV, nach Oberflächenkartierung (GRUMBT et al., 1961-66, 1980, 1999, 2000) nicht vorhanden.

→ **Südteil übernommen**, identisch mit WI-10 (s. dort); reflexionsseismischer Nachweis gehört vermutlich zur benachbarten Störung 101

Störung 101 (unter Berka): Nach BARNASCH et al. (2013) in HEM/TEM-Daten erkennbar, Streichrichtung unsicher; ein fraglicher Nachweis im reflexionsseismischen Profil Rx20 der Messkampagne Vacha IV. Nach Bohrungen ca. 15 m Versatz der Buntsandsteinbasis zwischen Bohrung Hy Berka 6/2013 (su) (-40 m NN) und Bohrung Obersuhl 2 (-55 m NN). Abschnittsweise kartiert (GRUMBT et al., 1961-66, 1980, 1999, 2000; Segment WI-12a) und in Strukturkarten dargestellt (ELLENBERG, 2004a; Segment WI-12b und HESSMANN, 1981; Segment WI-12c).

→ **übernommen**, Verlauf an Oberflächenkartierung geringfügig angepasst

Störung 104 (westlich von Berka): Nach BARNASCH et al. (2013) vermutet, nördlich des Kartiergebietes in reflexionsseismischen Profilen nachgewiesen; angedeutet in HEM/TEM-Daten. Im Kartiergebiet kein Nachweis, kein Versatz in Bohrungen erkennbar.

→ **nicht übernommen**, nördlich des Kartiergebietes vermutlich existent

Störung 108 (südlich von Vitzeroda): Nach BARNASCH et al. (2013) in HEM/TEM-Daten erkennbar aber Lage unsicher, südlich des Kartiergebietes reflexionsseismische Nachweise, keine Hinweise auf sekundäre Umbildung der Kaliflöze; im Kartiergebiet keine Nachweise.

→ **nicht übernommen**, südlich des Kartiergebietes vermutlich existent

Störung 118 (am Sauberg zwischen Lengers und Vitzeroda): Nach BARNASCH et al. (2013) angedeutete Nordwest-Verlängerung in HEM/TEM-Daten, Versatz im Niveau des Plattendolomits; im Kartiergebiet keinerlei Nachweise.

→ **nicht übernommen**

Störung 119 (von Heringen nach Südosten verlaufend): Nach BARNASCH et al. (2013) undeutlich in HEM/TEM-Daten erkennbar, möglicherweise nördliche Randstörung der Subrosionssenke Liedengraben. Im äußersten Südosten des Kartiergebietes kurze Abschnitte kartiert durch LÜTZNER et al. (1961-66, 1998; Segmente WI-2a,b) und dargestellt in der Strukturkarte HESSMANN (1981; Segment WI-2c). Ein fraglicher Nachweis im reflexionsseismischen Profil Heringen 4 am Rand der Subrosionssenke Liedengraben.

→ **Südteil übernommen**, entsprechend Oberflächenkartierung; fraglicher reflexionsseismischer Nachweis am Nordende gehört vermutlich entweder zu kleinen, umlaufenden Störungen der Subrosionssenke Liedengraben oder zu WI-4

Störung 120 (von Heringen nach SE verlaufend): Nach BARNASCH et al. (2013) im Süden nachgewiesen durch Vertaubung der Kaliflöze, Reflexionsseismik und HEM/TEM-Daten, nordwestlich von Heringen keine Nachweise. Im Süden ein sicherer und ein fraglicher Nachweis im reflexionsseismischen Profil Heringen 15, ein fraglicher Nachweis im reflexionsseismischen Profil 4 der Messkampagne Heringen, jedoch kein Nachweis in Oberflächenkartierung (LÜTZNER et al., 1961-66, 1998; KÄDING, 1959). Am Nordende sichere Nachweise in den reflexionsseismischen Profilen Heringen 3 und Heringen 10; im Widerspruch zu ungestörten Schichtausbissen im DGM5 und fehlendem Nachweis durch Oberflächenkartierung.

→ **nicht übernommen**, reflexionsseismische Nachweise am Südende möglicherweise mehrere kleine umlaufende Störungen der Subrosionssenke Liedengraben, Deutung der reflexionsseismischen Nachweise am Nordende unsicher

Störung 121 (NE von Wölfershausen): Nach BARNASCH et al. (2013) kaum Hinweise, keine Hinweise auf sekundäre Umbildung der Kaliflöze. In der Strukturkarte HESSMANN (1981; Segment WI-65) als vermutet dargestellt; keine Hinweise durch Oberflächenkartierung (LÜTZNER et al., 1961-66, 1998; KÄDING, 1959), allerdings teilweise unter Quartärbedeckung.

→ **nicht übernommen**

Störungen 166 und 167 (südlich und westlich von Lengers): Nach BARNASCH et al. (2013) südöstlich des Kartiergebietes ein sicherer Nachweis durch Reflexionsseismik (Hattorf II, Profil 20) für Störung 166 sowie breite Vertaubungszonen der Kaliflöze im Bereich von Basaltgängen; im Kartiergebiet jedoch keinerlei Nachweise, Geländebegehung am Limmesberg zeigt keinen Versatz im Volpriehausen-Sandstein.

→ **teilweise übernommen**, am südöstlichen Rand des Kartiergebietes vermutlich existent

Störung 274 (äußerster Westrand des Kartiergebietes): Nach BARNASCH et al. (2013) Nordteil deutlich in HEM/TEM-Daten erkennbar, Südteil zweifelhaft. Abschnittsweise kartiert durch KÄDING (1959; Segmente WI-19a,b), KÜPER (1984; Segment WI-19c) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-19d).

→ **übernommen**, Verlauf an Oberflächenkartierung und Taleinschnitt sowie an Schichtausbisse im DGM5 angepasst

Störung 275 (südöstlich von Hönebach): Nach BARNASCH et al. (2013) vermutet mit ca. 110 m Versatz im Plattendolomit; abschnittsweise kartiert durch RAINHARDT (1980?; Segmente WI-18a bis -d), KÄDING (1959; Segment WI-18e), GUNZERT (1955; Segment WI-18f), KÜPER (1984; Segment WI-18g) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-18h). Versatz des Volpriehausen-Sandsteins um ca. 40 m durch Geländebegehung bestätigt (Geländepunkte P28 und P29). Mit hoher Wahrscheinlichkeit muss die Störung im Süden vor den im DGM5 sichtbaren ungestörten Schichtausbissen enden, fraglicher Nachweis im reflexionsseismischen Profil 2 der Messkampagne Heringen.

→ **übernommen**, Verlauf an Taleinschnitt angepasst, unter Quartär als vermutete Störung, südliches Ende korrigiert, dort auch als Bruchzone von BÜCHEL et al. (2012) ausgehalten

Störung 276 (SE von Hönebach): Nach BARNASCH et al. (2013) vermutet; abschnittsweise kartiert durch KÜPER (1984; Segmente WI-21-a bis -d), GUNZERT (1955; Segment WI-21e) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-21f); Versatz des Volpriehausen-Sandsteins um ca. 15 m durch Geländebegehung bestätigt (Geländepunkte P24 bis P27). Mit hoher Wahrscheinlichkeit muss die Störung im Süden vor den im DGM5 sichtbaren ungestörten Schichtausbissen enden, fraglicher Nachweis im reflexionsseismischen Profil 3 der Messkampagne Heringen.

→ **übernommen**, Verlauf an Taleinschnitt angepasst, unter Quartär als vermutete Störung, südliches Ende korrigiert, dort auch als Bruchzone von BÜCHEL et al. (2012) ausgehalten

Störung 277 (unter Hönebach): Nach BARNASCH et al. (2013) vermutet; abschnittsweise kartiert durch KÄDING (1959; Segment WI-20a), KÜPER (1984; Segmente WI-20-b,c), GUNZERT (1955; Segment WI-20d) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-20e).

→ **übernommen**, Verlauf an Taleinschnitt angepasst, unter Quartär und westlich von WI-19 entsprechend vorgenannter Kartiierungsergebnisse als vermutete Störung

Störungen 278 und 278 alt (von Hönebach Richtung Großenensee): Nach BARNASCH et al. (2013) wahrscheinlich; deutlicher Versatz von 78 m der Buntsandsteinbasis zwischen Bohrung Hönebach 4/2012 (su) (-112 m NN) und Bohrung Eichhorst 2 (-34 m NN); abschnittsweise in HEM/TEM-Daten erkennbar; fragliche Nachweise in den reflexionsseismischen Profilen 11 und 13 der Messkampagne Heringen; abschnittsweise durch DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-52) kartiert. Nachweise im reflexionsseismischen Profil 11 der Messkampagne Heringen und HEM/TEM-Daten deuten Verlängerung nach Osten (Segment WI-52a) an.

→ **übernommen**, nach Osten anhand von Reflexionsseismik und HEM-TEM Daten als vermutet verlängert (vgl. WI-52a), Verlauf an Oberflächenkartierung angepasst

Störungen 285 und 286 (nordöstlich von Kleinensee zur A4): Nach BARNASCH et al. (2013) wahrscheinlich, Versatz im Plattendolomit nachgewiesen, in HEM/TEM-Daten kaum sichtbar. Teilweise kartiert durch DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-51) und als vermutete Störung in HESSMANN (1981; Segment WI-51a).

→ **übernommen**, Verlauf an Kartiierungsergebnisse von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) angepasst

Störung 296 (von Berka nach SW Richtung Dippach): Nach BARNASCH et al. (2013) deutlich in HEM/TEM-Daten erkennbar, Südende jedoch unklar. Zwei Segmente (WI-29a,b) von BÜCHEL et al. (2012) ausgehalten. Versatz von ca. 41 m der Buntsandsteinbasis zwischen Bohrung Alexandershall IX (9V) (111,5 m NN) und Bohrung Hy Alexandershall 8V/43 (70,8 m NN).

→ **als vermutet übernommen**, da Existenz relativ sicher, Lage aber nur ungenau bekannt

Störung 296a (unter Berka): Nach BARNASCH et al. (2013) vermutet, berührt Kartiergebiet nur randlich.

→ **nicht übernommen**

5.1.2 Störungen aus anderen Datensätzen

Im Folgenden werden die Störungen aus anderen Datensätzen und eigenen Ausarbeitungen diskutiert und hinsichtlich ihrer Existenz bewertet. Für diese Störungen wird eine Nummerierung der Form „WI-15a“ eingeführt, wobei der Kleinbuchstabe verschiedene Segmente einer Störung bzw. von verschiedenen Bearbeitern postulierte Varianten des Störungsverlaufs bezeichnet.

Störung WI-1 (östlich von Lengers): Segment WI-1a als vermutete Störung von LÜTZNER et al. (1961-66, 1998) mit Versatz von ca. 15 bis 20 m im Volpriehausen-Sandstein kartiert, Segment WI-2b zusätzlich in Strukturkarte Vacha (ELLENBERG, 2004b); Quelle Lautenmach liegt auf Störungsverlauf. Versatz konnte im Gelände aufgrund fehlender Aufschlüsse nicht verifiziert werden.

→ als vermutet übernommen

Störung WI-2 (am Steinkopf östlich von Lengers): s. Störung 119

Störung WI-3 (am Steinkopf östlich von Lengers): Segmente WI-3a,b von LÜTZNER et al. (1961-66, 1998) mit Versatz von ca. 15 m im Volpriehausen-Sandstein kartiert, Segmente WI-3c,d zusätzlich in Strukturkarte Vacha (ELLENBERG, 2004b). Versatz konnte im Gelände aufgrund fehlender Aufschlüsse nicht verifiziert werden.

→ übernommen, Verlängerung im Norden nach ELLENBERG (2004b) als vermutete Störung

Störung WI-4 (am Sauberg SW von Vitzeroda): Segmente WI-4a bis -c von LÜTZNER et al. (1961-66, 1998) kartiert, Segmente WI-4e,f in HESSMANN (1981).

→ übernommen, Verlängerung im Nordwesten (Segment WI-4d) zur Subrosionssenke Liedengraben als vermutete Störung (Abgrenzung der Tiefscholle Steinkopf – Sauberg)

Störung WI-5 (am Vachaer Grund SW von Vitzeroda): Segmente WI-5a bis -c von LÜTZNER et al. (1961-66, 1998) kartiert, Segmente WI-5d bis -h in HESSMANN (1981).

→ übernommen, vermutlich Störungszone, wegen Kartiermaßstab und Vorhabensbezug als Einzelstörung dargestellt; Segment WI-5g ist möglicherweise Teil von Störung 23

Störungen WI-6 und WI-7 (von Vitzeroda zum Auelsberg): Segmente WI-6a,b im Süden durch LÜTZNER et al. (1961-66, 1998) kartiert, vermutete Fortsetzung nach Norden in den Strukturkarten Vacha (ELLENBERG, 2004b; Segment WI-6c) und HESSMANN (1981; Segment WI-6d). Im Norden Segmente WI-7a und b von GRUMBT et al. (1961-66, 1980, 1999, 2000)

kartiert, zusätzlich Segment WI-7c in Strukturkarte Berka (ELLENBERG, 2004a). Nachweis durch Geländebegehung nicht möglich (fehlende Aufschlüsse, landwirtschaftliche Nutzung).

→ **übernommen**, vermutete Verbindung entsprechend Strukturkarten hergestellt

Störung WI-8 (am Langenberg südlich von Dippach): Von GRUMBT et al. (1961-66, 1980, 1999, 2000) als vermutet kartiert, fehlende Aufschlüsse und landwirtschaftliche Nutzung verhindern Nachweis durch Geländebegehung.

→ **als vermutet übernommen**, Anschluss an WI-28 hergestellt

Störung WI-9 (am Langenberg südlich von Dippach): Von GRUMBT et al. (1961-66, 1980, 1999, 2000) kartiert. Bei Geländebegehung mangels Aufschlüssen nicht zu verifizieren.

→ **übernommen**, Anschluss an WI-28 hergestellt

Störung WI-10 (von Berka über Obersuhl zur A4): Südlicher Abschnitt (Segmente WI-10a bis -c) kartiert durch GRUMBT et al. (1961-66, 1980, 1999, 2000), nordwestlicher Abschnitt nach Strukturkarte Berka (ELLENBERG, 2004a; Segment WI-10d) und HESSMANN (1981; Segment WI-10f).

→ **übernommen**, Fortsetzung unter Quartärbedeckung als vermutet dargestellt, da genaue Lage unbekannt

Störung WI-11 (Taleinschnitt SW von Berka): Südlicher Abschnitt (Segment WI-11a) kartiert durch GRUMBT et al. (1961-66, 1980, 1999, 2000), nordwestlicher Abschnitt nach Strukturkarte HESSMANN (1981; Segment WI-11b). Bei P39 gemessene Schichtorientierung von 005/19 weicht deutlich von Werten westlich von WI-11 ab, was eine räumliche Abgrenzung der Scholle nahelegt.

→ **übernommen**, Fortsetzung unter Quartärbedeckung als vermutet dargestellt und an WI-29 angeschlossen

Störung WI-12 (unter Berka): s. Störung 101

Störungen WI-13 und WI-14 (unter und nördlich von Obersuhl): Verschiedene Segmente, teilweise als vermutet kartiert durch GRUMBT et al. (1961-66, 1980, 1999, 2000; Segmente WI-13a bis -c) und PIEPER (1995; Segmente WI-14e bis -h); im Süden (Segment WI-13d) auch von BÜCHEL et al. (2012) bestätigt, im Norden (Segment WI-14e) als Bruchzone interpretiert. Bei Geländebegehung mangels Aufschlüssen nicht verifizierbar.

→ **übernommen**, Darstellung folgt GRUMBT et al. (1961-66, 1980, 1999, 2000)

Störung WI-15 (östlich der Autobahnanschlussstelle Wildeck): Kartiert durch GRUMBT et al. (1961-66, 1980, 1999, 2000; Segmente WI-15a und -c) und PIEPER (1995; Segment WI-15b). Bei Geländebegehung mangels Aufschlüssen nicht verifizierbar.

→ **übernommen**, Darstellung folgt GRUMBT et al. (1961-66, 1980, 1999, 2000), Anschluss an WI-10 als vermutete Störung hergestellt

Störung WI-16 (im Wildeck-Tal): Segmente WI-16a,b als vermutete Störung in RAINHARDT (1980?). WI-16a im Gelände nicht nachvollziehbar, korrekter Verlauf entspricht Segment WI-16c (kartierbarer Versatz von mindestens 20 m (suCG gegen suCS) auf beiden Seiten des Taleinschnitts), Fortsetzung nach Süden (Segment WI-16d) unter Quartärbedeckung bis WI-39 sehr wahrscheinlich.

→ **übernommen**, Verlauf nach Kartielergebnissen korrigiert

Störung WI-17 (im Westen des Kartiergebietes von der Stubbachshöhe zum Siebertsberg): Gebogener Verlauf aus mehreren Elementen nach RAINHARDT (1980?). In anderen Kartierungen nicht vorhanden und im Gelände nicht nachvollziehbar; schneidet nach DGM5 im Süden ungestörte Schichtausbisse.

→ **nicht übernommen**

Störung WI-18 (SE von Hönebach): s. Störung 275

Störung WI-19 (WSW von Hönebach am Rand des Kartiergebietes): s. Störung 274

Störung WI-20 (unter und südlich von Hönebach): s. Störung 277

Störung WI-21 (SE von Hönebach): s. Störung 276

Störung WI-22 (südlich von Kleinensee): Vermutet nach KÜPER (1984; Segment WI-22a), modifizierter Verlauf (Segment WI-22b) parallel zur Salzhanginnengrenze mit deutlichem Versatz der Buntsandsteinbasis von ca. 45 m zwischen Bohrung Kleinensee 2 (64 m NN) und Bohrung Kleinensee 4 (19 m NN). Die Bohrung Kleinensee 4 hat wahrscheinlich im Niveau des Plattendolomits diese Störung durchteuft. Der Plattendolomit liegt hier in reduzierter Mächtigkeit von ca. 5 m vor.

→ **mit Anpassung übernommen**, möglicherweise atektonisch entstanden oder überprägt.

Störung WI-23 (am Röderkopf NW von Harnrode): Drei Segmente von KÄDING (1959) kartiert, südlich des Kartiergebietes auch von LANGE (1959) kartiert, sehr wahrscheinlich am südlichen Hang des Schwarzenbergs vor den ungestörten Schichtausbissen nach DGM5 auslaufend.

→ übernommen

Störung WI-24 (westlich von Lengers): Zwei Segmente von KÄDING (1959) kartiert, südlich des Kartiergebietes auch von LANGE (1959) kartiert, verläuft in der Nähe von und parallel zu Basalt-Gangzügen.

→ übernommen

Störung WI-25 (südlich von Untersuhl): Vermutete Störung nach Strukturkarte Berka (ELLENBERG, 2004a), endet am Nordostrand des Kartiergebietes, entspricht wahrscheinlich Störung 104.

→ nicht übernommen, da das Kartiergebiet marginal berührt wird

Störung WI-26 (am Steinkopf östlich von Lengers): Vermutete Fortsetzung (ELLENBERG, 2004b) einer südöstlich des Kartiergebietes von LÜTZNER et al. (1961-66, 1998) kartierten Störung.

→ als vermutet übernommen

Störung WI-27 (südlich von Abteroda): Vermutete Fortsetzung (ELLENBERG, 2004) einer östlich des Kartiergebietes von LÜTZNER et al. (1961-66, 1998) kartierten Störung.

→ als vermutet übernommen, Anschluss an WI-6 hergestellt

Störung WI-28 (im Taleinschnitt SE von Dippach): Vermutete Störung nach Strukturkarte Berka (ELLENBERG, 2004a), ein fraglicher Nachweis im reflexionsseismischen Profil Rx15 des Messkampagne Vacha IV, Hinweise in HEM/TEM-Daten.

→ als vermutet übernommen, Anschluss an Störungen 21 und 19 hergestellt

Störung WI-29 (SW von Berka): s. Störung 296

Störung WI-30 (östlich von Widdershausen): Zwei Segmente nach BÜCHEL et al. (2012); verläuft wahrscheinlich weiter westlich, da nur geringer Versatz an der Oberkante des Plattendolomits zwischen Bohrung Wintershall 1 (47 m NN) und Bohrung Wintershall 3 (39 m NN) von ca. 8 m nachgewiesen.

→ als vermutet übernommen, Fortsetzung von Störung 296

Störungen WI-31 und WI-32 (östlich von Herfa): Zwei kurze Störungen nach BÜCHEL et al. (2012). Schichtausbisse nach DGM5 scheinen aber WI-32 zu schneiden, bei WI-31 sind Schichtausbisse unterbrochen, aber nicht erkennbar in der Höhe versetzt.

→ nicht übernommen, WI-31 möglicherweise Bruchzone im Sinne von BÜCHEL et al. (2012)

Störungen WI-33 und WI-34 (nördlich von Obersuhl): Von PIEPER (1995) als vermutet kartiert, wegen Bebauung (Ortsrand von Obersuhl und A4) nicht nachvollziehbar.

→ **nicht übernommen**

Störung WI-35 (äußerste Nordspitze des Kartiergebietes): s. Störung 15

Störung WI-36 (Heiligengraben westlich des Wildeck-Tals): Von RICHTER (1940; Segment WI-36a) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-36b) kartiert, durch Geländebegehung bestätigt (Abgrenzung von suCG zu suBW/suBS).

→ **übernommen**, zur räumlichen Abgrenzung der Scholle bis zur Störung WI-16 verlängert (Segment WI-36c)

Störung WI-37 (Heiligengraben westlich des Wildeck-Tals): Von RICHTER (1940; Segment WI-37a) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-37b) kartiert, berührt Kartiergebiet nur randlich.

→ **übernommen**

Störung WI-38 (am Auerhahnsberg östlich des Wildeck-Tals): Von RICHTER (1940; Segment WI-38a) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-38b) kartiert, nach Geländebegehung wahrscheinlich geringer vertikaler Versatz von ca. 10 m an der Hangendgrenze von suCG zwischen Geländepunkten A52 und A58).

→ **übernommen**, zur räumlichen Abgrenzung der Scholle bis zur Störung WI-16 verlängert (Segment WI-38c)

Störung WI-39 (zwischen Wildeck-Tal und Gründchen): Von RICHTER (1940; Segment WI-39a) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-39b) kartiert, nach Geländebegehung großer Versatz von ca. 120 m zwischen smVS im Süden und suBS und suCG im Norden.

→ **übernommen**, zur räumlichen Abgrenzung der Scholle zum Rand des Kartiergebietes verlängert (Segment WI-39c)

Störung WI-40 (am Kremmes westlich des Wildeck-Tals): Von RICHTER (1940; Segment WI-40a) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-40b) kartiert, nach Geländebegehung wegen mangelnder Aufschlüsse nicht verifizierbar.

→ **übernommen**, zur Störung WI-16 verlängert (Segment WI-40c)

Störung WI-41 (nördlich der Stubbachshöhe): Von RICHTER (1940; Segment WI-41a) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-41b) kartiert, nach Geländebegehung wegen mangelnder Aufschlüsse und dichtem Unterholz nicht verifizierbar.

→ **übernommen**, Verlauf an Taleinschnitt angepasst

Störung WI-42 (nördlich der Stubbachshöhe): Von RICHTER (1940; Segment WI-42a) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-42b) kartiert, nach Geländebegehung wegen mangelnder Aufschlüsse und dichtem Unterholz nicht verifizierbar.

→ **übernommen**, Verlauf an Taleinschnitt angepasst

Störung WI-43 (am Wildecker Forsthaus): Von RICHTER (1940; Segment WI-43a) und DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-43b) kartiert, nach Geländebegehung ist die Basis des smVS nördlich der Störung nach Morphologie und Lesesteinen bei Geländepunkt P32 nachweisbar, südlich der Störung fehlen Lesesteine, aber der nach oben steiler werdende Hang deutet auf ein Vorkommen von smVS hin.

→ **übernommen**

Störung WI-44 (zwischen der Ruine Blumenstein und der Almushöhe): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-44a) kartiert, nach Geländemorphologie und im DGM5 Versatz der smVS-Steilstufe erkennbar.

→ **übernommen**, in die beiderseitigen Taleinschnitte als vermutete Störung verlängert (Segmente WI-44b und -c)

Störung WI-45 (nördlich des Taubenbergs): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) kartiert, nach Geländebegehung ca. 10 m vertikaler Versatz in der Oberkante der smVS-Steilstufe (Geländepunkte P30 und P31).

→ **übernommen**

Störung WI-46 (nördlich von Bosserode): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) ohne nachgewiesenen Versatz kartiert, im Gelände mangels Aufschlüssen nicht verifizierbar.

→ **als vermutet übernommen**

Störung WI-47 (nordwestlich von Großensee): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) kartiert; Basis smVS bei Geländepunkt A64 und in den auflässigen Steinbrüchen südlich des Heiligenberges aufgeschlossen, Versatz mangels weiterer Aufschlüsse jedoch nicht verifizierbar.

→ **übernommen**

Störung WI-48 (nordöstlich von Hönebach): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) kartiert, im Gelände mangels Aufschlüssen nicht verifizierbar.

→ **übernommen**

Störung WI-49 (nordwestlich von Hönebach): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) ohne nachgewiesenen Versatz kartiert, im Gelände nicht verifizierbar, da inzwischen durch Autobahnanschlussstelle Wildeck-Hönebach überbaut.

→ **als vermutet übernommen**

Störung WI-50 (westlich von Hönebach): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) ohne nachgewiesenen Versatz kartiert, im Gelände nicht verifizierbar, da inzwischen durch Autobahn überbaut.

→ **nicht übernommen**, da Kartiergebiet nur randlich berührt wird

Störung WI-51 (nordöstlich von Hönebach): s. Störungen 285 und 286

Störung WI-52 (unter Hönebach mit Verlängerung Richtung Berka): s. Störungen 278 und 278 alt. Möglicherweise atektonisch (durch Subrosion) entstanden oder überprägt.

Störung WI-53 (südwestlich von Kleinensee): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) mit minimalem Versatz von < 5 m kartiert, bei Geländebegehung und im DGM5 kein Versatz des smVS und der zugehörigen Geländestufe erkennbar.

→ **nicht übernommen**, südlicher Abschnitt nach BÜCHEL et al. (2012) Bruchzone

Störungen WI-54 und WI-55 (am Wehnerrück westlich der Halde IV Wintershall): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) mit minimalem Versatz von < 10 m kartiert, bei Geländebegehung kein Versatz des smVS erkennbar (Geländepunkte P15 bis P23), Geländestufe nur undeutlich ausgeprägt.

→ **nicht übernommen**, nach BÜCHEL et al. (2012) Bruchzone

Störung WI-56 (westlich der Halde IV Wintershall): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) mit minimalem Versatz (< 10 m) kartiert, bei Geländebegehung etwa 5 m vertikaler Versatz in der Oberkante des smVS nachweisbar (Geländepunkte P8 bis P14), nach Norden nicht weiter zu verfolgen.

→ **übernommen**, zur WI-66 verlängert

Störung WI-57 (am Wackenbühl): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) mit minimalem Versatz von < 10 m kartiert, bei Geländebegehung etwa 5 m vertikaler Versatz in der Oberkante des smVS nachweisbar (Geländepunkte P1 bis P7), nach Norden wegen Haldenbeschüttung nicht weiter zu verfolgen.

→ **übernommen**

Störung WI-58 (am Lerchenberg nördlich der Halde IV Wintershall mit Verlängerung nach Obersuhl): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938; Segment WI-58) mit minimalem Versatz von < 10 m kartiert, bei Geländebegehung durch Lesesteinkartierungen nicht nachweisbar.
→ nicht übernommen

Störung WI-59 (südwestlich von Hönebach): Von DIENEMANN & SCHRIEL (1938) mit minimalem Versatz von < 10 m kartiert, in anderen Kartierungen (KÄDING, 1959; KÜPER, 1984) nicht vorhanden.
→ nicht übernommen

Störung WI-60 (bei Kleinensee): Nach eigenen Kartiierungsergebnissen (Westbegrenzung des suBS-Ausstrichs. Lage und Orientierung aufgrund geringer Aufschlussdichte unsicher.
→ als vermutet übernommen, da Existenz relativ sicher, Lage aber nur ungenau bekannt. Möglicherweise atektonisch entstanden oder überprägt.

Störung WI-61 (südöstlich von Kleinensee): Ein fraglicher Nachweis im reflexionsseismischen Profil 9 der Messkampagne Heringen sowie nach untertägigen Bohrerergebnissen (lokal begrenzte Brekzien und Kristallsalz-Vorkommen) parallel zur Salzhanginnengrenze.
→ als vermutet übernommen, da Existenz relativ sicher, Lage aber nur ungenau bekannt. Möglicherweise atektonisch (durch Subrosion) entstanden oder überprägt.

Störung WI-62 (südlich von Kleinensee): Geringer Versatz von ca. 17 m an der Buntsandsteinbasis zwischen Bohrung Kleinensee 4 (19 m NN) und Kleinensee 1 (36 m NN), sowie verheilte Schnitte in untertägiger Bohrung.
→ als vermutet übernommen, da Existenz relativ sicher, Lage aber nur ungenau bekannt. Möglicherweise atektonisch (durch Subrosion) entstanden oder überprägt.

Störung WI-63 (westlich von Raßdorf und unter Großensee): Vermuteter Abschluss der östlich gelegenen Tiefscholle. Lage und Verlauf wegen sehr geringer Bohrdichte unsicher.
→ als vermutet übernommen, da Existenz relativ sicher, Lage aber nur ungenau bekannt. Möglicherweise atektonisch (durch Subrosion) entstanden oder überprägt.

Störung WI-64 (nördlich von Raßdorf und Bosserode): Im Nordosten ist ein größerer Versatz von ca. 62 m zwischen den Bohrungen Mansfeld 75 und Obersuhl 4/2011 (su) erkennbar. In der Bohrung Mansfeld 75 ist die Obergrenze des Plattendolomits bei -38 m NN angetroffen worden, wogegen in der Bohrung Obersuhl 4/2011 (su) diese Grenze zwar nicht erreicht

wurde, aber bei ca. -100 m NN zu erwarten ist, da die Buntsandsteinbasis erst bei -55 m NN durchteuft wurde.

→ **als vermutet übernommen**, da Existenz relativ sicher, Lage aber nur ungenau bekannt, ggf. mehrere parallel verlaufende Störungen in diesem Bereich. Möglicherweise atektonisch (durch Subrosion) entstanden oder überprägt.

Störung WI-65 (südwestlich von Heringen): s. Störung 121

Störung WI-66 (Eitzeröder Grund westlich der Halde IV Wintershall): Vermutete Störung im Eitzeröder Grund, da sich Störungen und Bruchzonen von der einen Talseite nicht auf die andere Seite fortsetzen.

→ **als vermutet übernommen**

Störung WI-67 (von Bosserode Richtung Dankmarshausen): Begrenzt das in der Bohrung Rhäden Obersuhl aufgeschlossene Vorkommen der Volpriehausen-Formation nach Westen, Versatz mindestens 53,5 m. Lage und Orientierung aufgrund geringer Dichte an Bohrungen unsicher.

→ **als vermutet übernommen**, da Existenz relativ sicher, Lage aber nur ungenau bekannt

5.1.3 Struktureller Bau des Kartiergebietes

In der abgedeckten geologischen Karte (Anlage 5) ist die Zweiteilung des Kartiergebietes in einen

1. durch Bruchschollen charakterisierten Nordteil auf dem und jenseits (nördlich) des Salzhangs sowie
2. einen weitgehend ungestörten Südteil über dem intakten Zechsteinsalinar (hier: im wesentlichen Werra-Salz, z1NA)

gut zu erkennen. Der Nordteil bildet bereits die Umrahmung des Zechsteinaufbruchs im Richelsdorfer Gebirge, welches durch einen komplizierten Schollenbau gekennzeichnet ist (MOTZKA-NÖRING, 1987). Im Südosten deutet sich auch eine Zerlegung in Bruchschollen im Bereich der Subrosionsenken Liedengraben, Abteroda-Vitzeroda und Vacha-Oberzella an.

Der Untere und Mittlere Buntsandstein fällt in ungestörten und nicht durch Hangbewegungen beeinflussten Bereichen westlich des Dippacher Sattels (dessen Sattelachse liegt etwa auf der Linie Dankmarshausen – Vitzeroda) flach mit ca. 5° nach Südwesten ein. Das nordwestliche Ende des Dippacher Sattels (KÄDING, 1962) nimmt den östlichen Teil des Kartiergebietes ein. Im Satteln Kern treten Gesteine der Calvörde-Formation auf. Im äußersten Nordosten des

Kartiergebietes zwischen Berka und Obersuhl zeichnet sich durch relativ zum Dippacher Sattel abgesenkte störungsbegrenzte Schollen der Übergang zur Gerstunger Mulde ab.

In dem in Bruchschollen zerlegten Teil des Kartiergebietes dominieren NW–SE (herzynisch) streichende Klüfte (s. tektonische Karte, Anlage 3). NNW–SSE bis NW–SE streichende Klufrichtungen spielen eine nur untergeordnete Rolle. Im Zentrum des Untersuchungsraumes (Umfeld der Halde IV Wintershall) dominieren N–S (subparallel zu den rhönisch streichenden Basaltgängen) und E–W orientierte Klüfte. In der Umgebung des Gebirgsschlags vom 22. Februar 1953 (östlich der Halde IV Wintershall) zeigt sich jedoch ein abweichendes Muster der Klufrichtungen, welches ein umlaufendes Streichen um die Bruchzone andeutet. Im Süden des Kartiergebietes treten häufig NE–SW streichende Klüfte auf. Des Weiteren sind auch die Streichrichtungen N–S und ENE–WSW ausgeprägt.

5.2 Subrosion

Die geologischen und morphologischen Verhältnisse werden im Kartiergebiet in hohem Maße durch die im Untergrund lagernden Evaporite des Zechstein-Salinars (hier hauptsächlich Z1NA, Werra-Salz) beeinflusst. Grund dafür sind durch einsickerndes Oberflächenwasser induzierte lokal begrenzte und an Störungszonen gebundene Ablaugungsprozesse des Werra-Salzes, die zu einem Nach- und/oder Einsacken des Deckgebirges (Suprasalinar) führen können. Dies kann zur Bildung von Mulden und Trichtern führen (LANGE & KÄDING, 1961). Für die Bildung der Subrosionssenken sind nach GRUMBT & LÜTZNER (1966) tektonische Störungen, Basaltdurchbrüche und Wegsamkeiten von Grundwässern von ausschlaggebender Bedeutung, wobei diese Faktoren meist in Kombination auftreten.

5.2.1 Salzhang

Eine besondere Rolle spielt im Kartiergebiet der Salzhang, welcher die fortschreitende Ablaugungsfront des Werra-Salzes in Richtung Südwesten darstellt (Abb. 16, s. a. Anlage 3). Bei vielen Salzvorkommen bildet diese Ablaugungsfront eine nahezu horizontale Fläche (sog. Salzspiegel über Salzdiapiren nach FULDA, 1923). Im Werra-Kaligebiet ist die Ablaugungsfront jedoch geneigt (im Kartiergebiet entgegen dem normalen Einfallen der Schichten). Diese geneigte Ablaugungsfront wird als Salzhang bezeichnet (FULDA, 1923). Er verläuft als 2 – 3 km breiter Saum von West nach Ost quer durch das nördliche Kartiergebiet. In Abb. 16 ist der Verlauf des Salzhanges mit dessen Innen- und Außengrenze dargestellt,

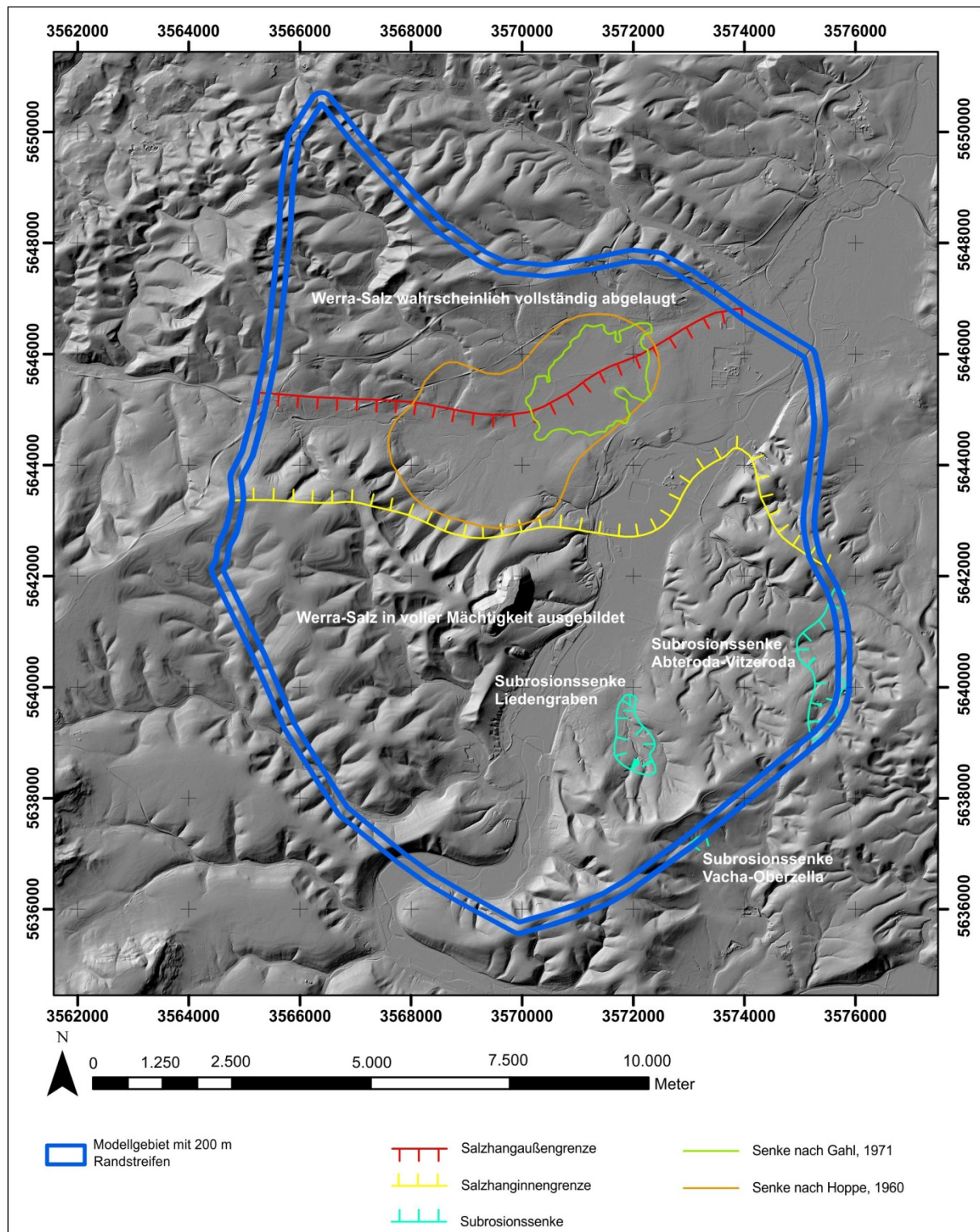


Abb. 16: Kartiergebiet in Reliefdarstellung des DGM5 mit Verlauf der Salzhanginnengrenze (gelbe Linie) und der Salzhangaußengrenze (rote Linie) nach JUNGMAHN & BEER (2004) bzw. ZEIBIG et al. (2012) sowie die (Subrosions-)Senken nach GAHL (1971) und HOPPE (1960) (siehe hierzu Erläuterungen im Text).

welcher durch JUNGSMANN & BEER (2004) bzw. ZEIBIG et al. (2012) anhand von Tiefbohrergebnissen und reflexionsseismischen Profilen aktualisiert wurde. Die Salzhangaußengrenze definiert das Ende der heutigen geschlossenen Werra-Salz-Verbreitung jenseits derer jedoch noch inselartige, reliktsche Vorkommen von Steinsalz erhalten sein können (JUNGSMANN & BEER, 2004). Die Salzhanginnengrenze bezeichnet den Übergang vom intakten Werra-Steinsalz zum durch Subrosion in seiner Mächtigkeit reduzierten Salinar (JUNGSMANN & BEER, 2004). Da die Ablaugung vom Hangenden her erfolgt, sind die z. T. bauwürdigen Kaliflöze Hessen und Thüringen noch einige hundert Meter über die Salzhanginnengrenze hinaus erhalten. Die Ablaugung hat intensive, strukturelle Verstellungen (atektonische Störungen und Flexuren) der über dem Werra-Salz lagernden Schichtenfolgen des Zechsteins 1 bis 7 sowie des Buntsandsteins zur Folge, welche nicht tektonischen Ursprungs sind. Dies betrifft im Kartiergebiet die zahlreichen vermuteten Störungen im Bereich des Salzhangs, die somit atektonisch angelegt oder überprägt sein können.

Über dem Salzhang bildete sich im Pleistozän die morphologische Senke von Großensee-Dankmarshausen, die mit quartären Sanden und Kiesen von bis zu 56 m Mächtigkeit gefüllt ist (Bohrung Ki Dankmarshausen 011/1981). Sie ist nach GRUMBT et al. (1967) Anzeiger für eine an der Wende vom Alt- zum Mittelpleistozän beginnenden Ausbildung des Salzhangs. Das Feuchtgebiet „Rhäden“ (Naturschutzgebiet) innerhalb der Senke stellt ein seit dem Jungpleistozän existierendes Versumpfungsgebiet mit Hinweisen auf limnische Phasen dar, das auch heute noch eine subrosionsbedingte Absenkung erfährt (GRUMBT et al., 1967). BÜCHEL et al. (2012) haben aus dem DGM5 junge rückschreitende Erosionsstrukturen ermittelt, die sich entlang des Salzhangs konzentrieren (s. Anlage 3). Diese werden als Anzeichen für eine noch heute anhaltende Absenkung ihres Vorlandes (Raum Dankmarshausen – Bosserode – Obersuhl – Berka) angesehen, was die Einschätzung von GRUMBT et al. (1967) bestätigt.

HOPPE (1960) und GAHL (1971) haben in diesem Gebiet die Existenz subrosionsbedingter Senken (s. Abb. 16) postuliert. Da diese jedoch auf das Fortschreiten des Salzhangs zurückgehen und nicht – wie Subrosionssenken im engeren Sinne – allseits vom Salinar umgeben sind, werden sie in den vorliegenden Karten der Anlagen 3 bis 5 nicht als Subrosionssenken dargestellt.

5.2.2 Subrosionssenke Liedengraben bei Heringen

Unmittelbar östlich der Stadt Heringen befindet sich die als Liedengraben bezeichnete, unregelmäßig geformte Subrosionssenke, die durch ZEIBIG et al. (2012) zuletzt detailliert beschrieben wurde (Abb. 17, s. a. Anlage 3). Demnach handelt es sich um eine 1,5 x 0,7 km breite und vermutlich sehr steil begrenzte Senke, die sich wahrscheinlich im Kreuzungsbereich von zwei parallel verlaufenden, herzynisch streichenden Störungen und

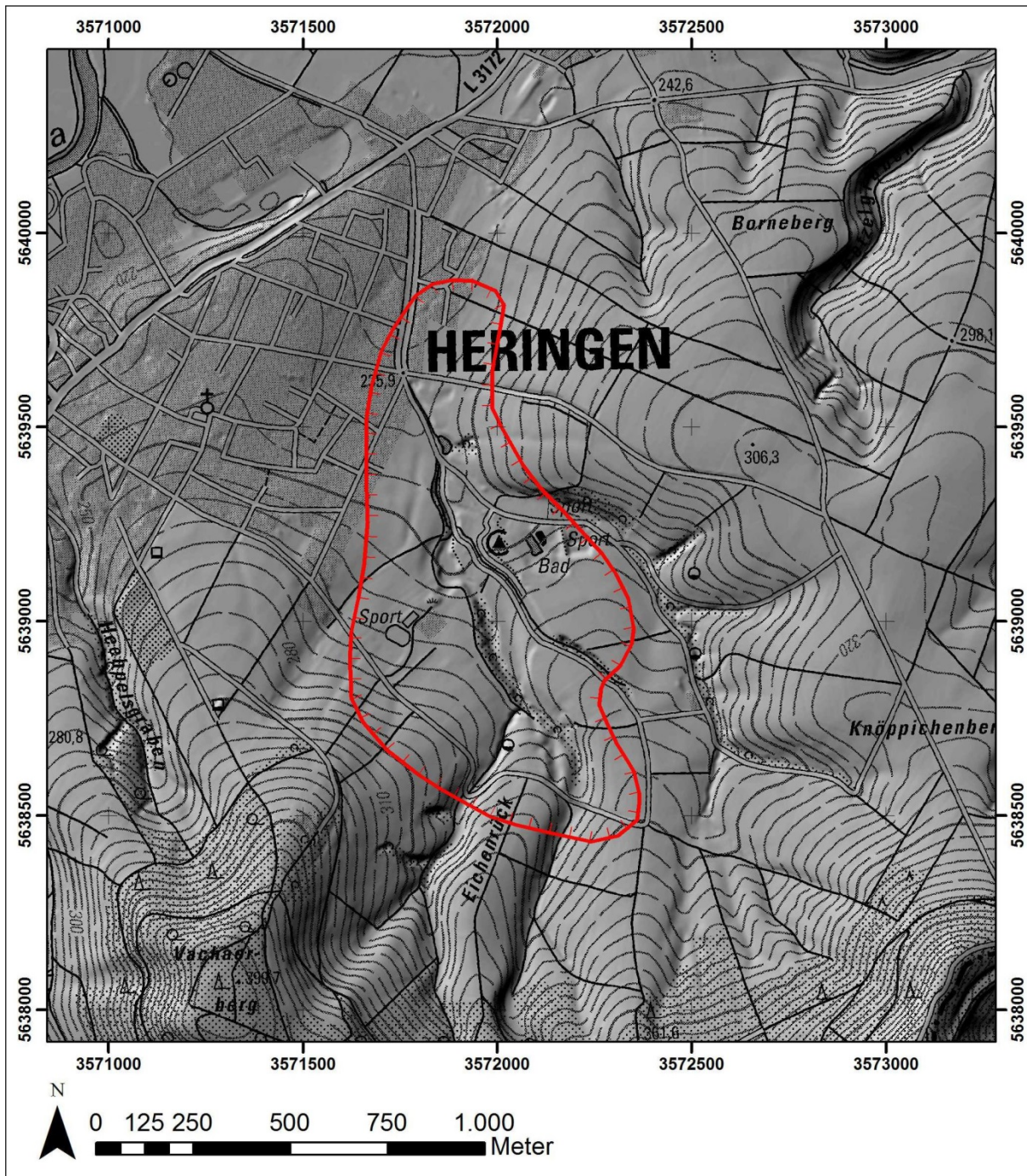


Abb. 17: Subrosionssenke Liedengraben bei Heringen (rote Linie) mit Reliefdarstellung des DGM5 sowie Höhenlinien und damit einhergehende Absenkung des Geländes (nach ZEIBIG et al., 2012).

eines N-S-streichenden Basaltgangs bildete. In der Südhälfte der Subrosionssenke wurde ein umlaufendes Streichen der Schichtflächen im Buntsandstein mit einem Einfallen von $15 - 25^\circ$ zum Zentrum der Senke hin festgestellt (KÄDING, 1959). Die Bohrung Heringen 3 zeigt im Niveau der Kaliflöze Hessen und Thüringen eine Vertaubung, eine ca. 25 m tief reichende Ablaugung des Oberen Werra-Steinsalzes sowie eine Brekziierung der hangenden Zechstein-Einheiten (ZEIBIG et al., 2012). Eine Rückkopplung aus dem parallel zu dieser Ausarbeitung erstellten geologischen 3D-Modell zeigte – im Gegensatz zur GK25 Bl. 5126 Vacha – das auf dem südwestlichen Ausläufer des Bornebergs nördlich des Schwimmbades Heringen bis zur Störung WI-3d noch Bernburg-Sandstein (suBS) anstehen muss.

5.2.3 Subrosionssenke Abteroda-Vitzeroda

Die unregelmäßig geformte, etwa 3 km lange und 1 km breite Subrosionssenke liegt am Ostrand des Kartiergebietes. Der Westrand der Subrosionssenke durchschneidet das Ausstrichgebiet der Basaltbrekzie von Vitzeroda. In der Bohrung Abteroda 1 (Nr. 169 in Anlage 1 und 4) nahe dem Zentrum der Senke sind noch 27,6 m des Oberen Werra-Steinsalzes erhalten; darüber folgt ein 41,2 m mächtiges Residualgebirge. Damit kann von etwa 80 m abgelaugtem Werra-Salz ausgegangen werden (ZEIBIG et al., 2012). Die Subrosionssenke ist in Nord-Süd-Richtung langgestreckt und wird von steilherzynisch bis rheinisch streichenden Störungen umrahmt und durchschnitten. Davon zeugen die Störungen Nr. 29, WI-6 und WI-27, die im Kartiergebiet nachgewiesen wurden. Diese gehören zu einer Störungszone, die sich nach Süden entlang des Ostrands der Subrosionssenke von Vacha-Oberzella in Richtung Dorndorf fortsetzt. Südlich der Basaltbrekzie von Vitzeroda treten untertägig auch rheinisch streichende Basaltgänge auf (WÜSTNER & WOITSCHACH, 1965).

5.2.4 Subrosionssenke Vacha-Oberzella

Diese Subrosionssenke berührt gerade noch den Südostrand des Kartiergebietes, liegt aber weitestgehend außerhalb dessen. Nach der GK25 Blatt 5126 Vacha (LÜTZNER et al., 1961-66, 1998) ist das Deckgebirge dieser Subrosionssenke in Bruchschollen zerlegt. Die Störungen WI-2, WI-3 und WI-26 sind die nördlichen Ausläufer dieser Störungen. Im Zentrum ist das Werra-Salz vollständig abgelaugt (ZEIBIG et al., 2012). Nach neueren Untersuchungen

(BARNASCH et al., 2014) deutet sich eine Aufgliederung in zwei Teilsenken an. Dies hat jedoch keine Relevanz im hier beschriebenen Kartiergebiet.

5.2.5 Mögliche Einbruchstrichter im Süden und Westen des Kartiergebietes

Im Westen des Kartiergebietes wurden durch KÄDING (1959) und KÜPER (1984) eine Reihe oval bis kreisrund geformter, 150 bis über 200 m im Durchmesser ausgedehnter Einbruchstrichter (s. Anlage 3) in den Taleinschnitten des Höhenzuges Wackenbühl – Kimmenberg - Alterberg, welcher nordöstlich an den Eitzeröder Grund angrenzt und westlich der Halde IV Wintershall liegt, kartiert. Weitere mögliche Einbruchstrichter wurden im Süden und Osten von Heringen kartiert (Beispiel s. Abb. 18). Einige weitere gleichartige Hohlformen konnten durch Analyse des DGM5 lokalisiert werden. Sie befinden sich damit ausnahmslos im Bereich der intakten Salzlagerstätte und am Rande der Salzhanginnengrenze. Nach LANGE & KÄDING (1961) sind die erweiterten Taleinschnitte linear aneinandergereiht und könnten daher mit herzynisch streichenden Störungen assoziiert sein. Nicht sicher ist jedoch, ob überhaupt eine lokale Ablaugung des Oberen-Werra-Steinsalzes stattgefunden hat.

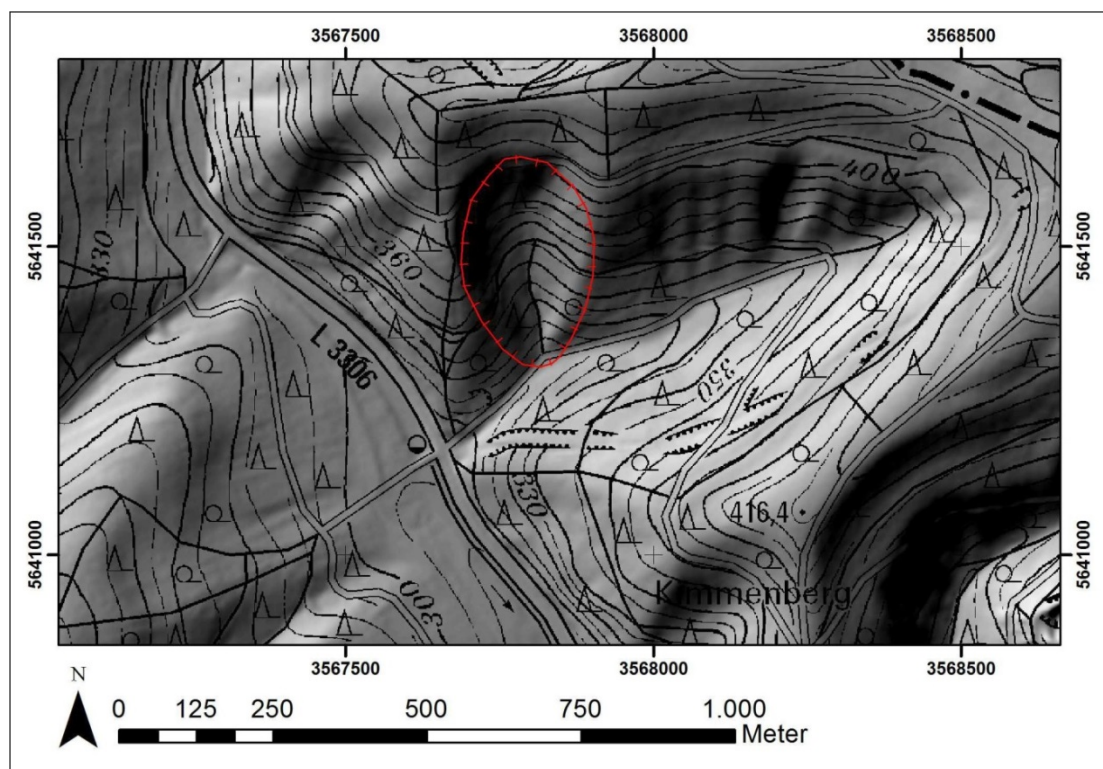


Abb. 18: Beispiel einer nach KÄDING (1959) und LANGE & KÄDING (1961) als Einbruchstrichter anzusehenden Geländeform (rote Linie) in einem größeren Taleinschnitt entlang des Herfatals westlich der Halde IV Wintershall mit Reliefdarstellung des DGM5 sowie Höhenlinien

Die Einbruchstrichter weisen einen strukturell gestörten Untergrund und eine geringmächtige Füllung aus wenig umgelagertem Schutt vom unmittelbar Anstehenden auf. Da diese Senken nicht mit pleistozänen Sedimenten verfüllt sind, besitzen sie vermutlich ein sehr junges Alter (LANGE & KÄDING, 1961). Ein Zusammenhang zwischen Subrosion und Basaltgängen kann für die Entstehung dieser Trichter nicht ausgeschlossen werden, da die Subrosion des Werra-Salzes allein wahrscheinlich nicht ausreicht, um eine Senkung bis an die Oberfläche durchzupausen (LANGE & KÄDING, 1961). Die als Indikator für einen Einbruchstrichter angeführten Schichtverstellungen (LANGE & KÄDING, 1961) sind auch an anderen steilen Hängen (besonders am Ausgang des Zinkesgrabens nordöstlich der Halde IV Wintershall lokalisiert) zu beobachten und möglicherweise auf hangabwärts gerichtete Gleitbewegungen zurückzuführen. Letztlich kann auch heute noch kein überall erkennbarer Zusammenhang dieser Geländeformen mit kartierten, reflexionsseismisch oder durch Bohrungen nachgewiesenen Störungen oder Basaltgängen festgestellt werden. Damit bleibt offen, ob diese Geländeformen tatsächlich auf die Subrosion des Werra-Salzes zurückgehen.

6 Geophysik

6.1 Reflexionsseismik

In der Regel ermöglichen reflexionsseismische Untersuchungen interpretative Aussagen zu lithologisch-strukturellen Kontrasten im Untergrund sowie zur Tiefenlage der Reflektoren. Aufgrund der geringen lithologischen Unterschiede sind im Buntsandstein des Kartiergebietes keine durchgängigen Reflektoren nachgewiesen. Im Wesentlichen gibt es in den vorliegenden reflexionsseismischen Profilen nur zwei durchgängig nachweisbare Reflektoren: den Plattendolomit (Leine-Formation, z3) und die Basis des Werra-Salzes (Werra-Formation, z1). In den vorliegenden reflexionsseismischen Profilen wird nicht das gemessene Signal, sondern nur die bereits gepickten Reflektoren mit ihrer Reflexionsqualität dargestellt. Da die Auswertung von verschiedenen Bearbeitern vorgenommen wurde, kann es zu Abweichungen bei der Interpretation der Reflektoren gekommen sein. Abb. 19 zeigt ein repräsentatives reflexionsseismisches Profil mit der in das Profil projizierten Tiefbohrung Alexandershall 3 (Nr. 8), mit deren Hilfe Bezugspunkte für die Tiefenmigration gesetzt werden konnten. Bedingt durch das vorwiegend viskoplastische Verhalten der Evaporite bei tektonischer Beanspruchung, haben die meisten Störungen, die den Plattendolomit versetzen, keine Fortsetzung an der Salzbasis und umgekehrt. Aufgrund dieser tektonischen Entkopplung sind nur die im Plattendolomit nachgewiesenen Störungen auch im Buntsandstein zu erwarten.

Zwecks der Lokalisierung von möglichen Störungen wurden die vorhandenen reflexionsseismischen Profile innerhalb des Kartiergebietes und angrenzend bis etwa 2 km über die Kartiergrenze hinaus ausgewertet. Einen Überblick über die vorhandenen reflexionsseismischen Profile gibt Abb. 20. Aus Anlage 6 geht ein detaillierter Lageplan der reflexionsseismischen Messungen einschließlich der Positionen der Schusspunkte hervor. Folgende reflexionsseismischen Messkampagnen wurden betrachtet:

- Eschwege-Rotenburg (HOLLÄNDER & KÖHLER, 1955)
- Heringen (HOLLÄNDER & KÖHLER, 1956)
- Hattorf I (KREITZ et al., 1956)
- Hattorf II (CEYP & WIERCZEYKO, 1962)
- Vacha I (GERLACH, 1961)
- Vacha II (WÜSTNER, 1962)
- Vacha III (WÜSTNER, 1963)
- Vacha IV (WÜSTNER, 1963)

- Werra-Kali Ergänzung (WÜSTNER & WOITSCHACH, 1965)
- Gerstungen (WOITSCHACH, 1980)

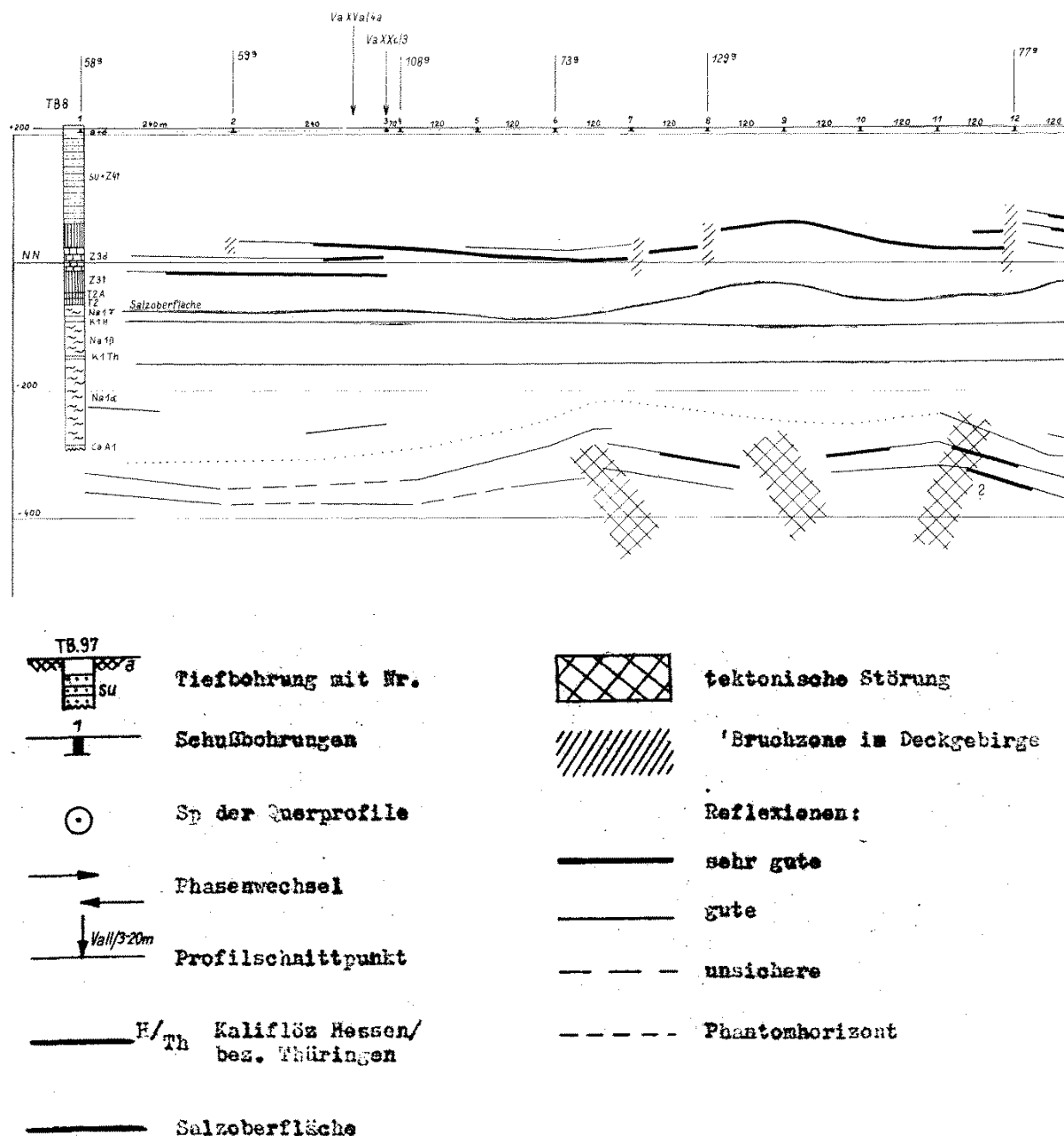


Abb. 19: Repräsentativer Ausschnitt aus dem reflexionsseismischen Profil Rx20 der Messkampagne Vacha IV (WÜSTNER, 1963). Die Lage des Profils kann aus Abb. 20 oder der Anlage 6 entnommen werden. Die nahe des Profilschnittes positionierte Tiefbohrung Alexandershall 3 (Nr. 8) ermöglicht die Tiefenmigration der nachgewiesenen Reflektoren (z3d: Plattendolomit). Auf der rechten Bildhälfte des Profils ist eine Störungszone (schraffiert) im Niveau des Plattendolomits und der Salzbasis zu erkennen.

Von den jeweiligen Bearbeitern wurden in den reflexionsseismischen Profilen sichere und vermutete Störungen anhand von Unterbrechungen (keine oder nur schwache Reflexion) und Teufenunterschiede der Reflektoren ermittelt. In einigen Fällen (Unterbrechung mehrerer Reflektoren) kann aus den Profilschnitten näherungsweise das Einfallen der Störung bestimmt

werden. Es zeigt sich, dass die Störungen überwiegend steil bis saiger einfallen (ca. 75 bis 90 °). Für die Verwendung in der geologischen Karte wurde, sofern die Orientierung einer Störung gegeben ist, der Schnittpunkt derselben mit der Geländeoberkante bestimmt. Wenn keine Orientierung bekannt ist, wurde eine saigere Störung angenommen und damit die Position der Störung senkrecht an die Oberfläche projiziert.

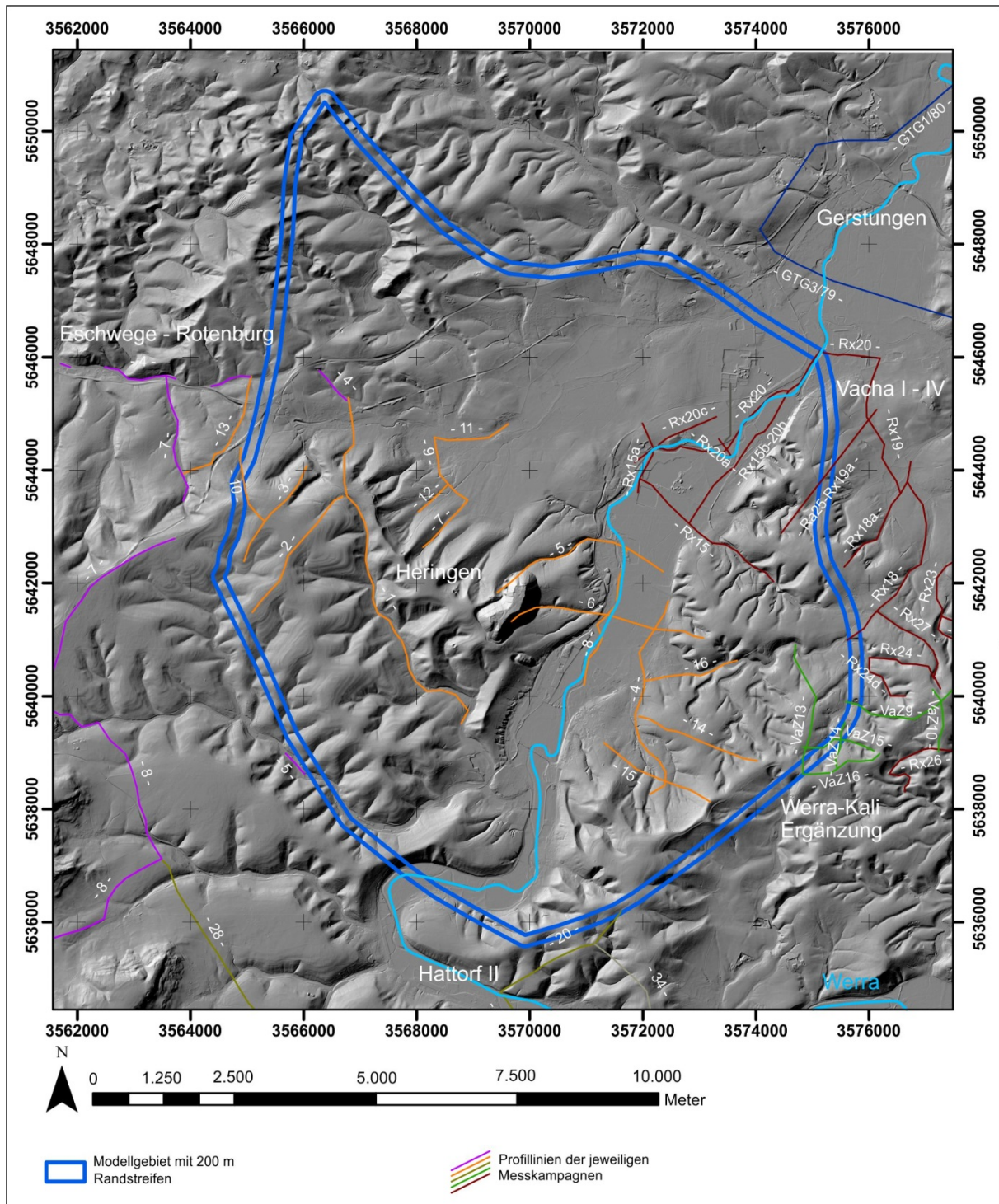


Abb. 20: Überblick über die vorhandenen reflexionsseismischen Profile (für Details s. Anlage 6). Die Profile der einzelnen Messkampagnen sind jeweils in unterschiedlichen Farben dargestellt. Die hinterlegte Reliefdarstellung des DGM5 zeigt den Bezug der Profillinien zur Topographie.

Aus dieser Vorgehensweise und der Unterscheidung in sichere und vermutete Störungen in den Profilen ergeben sich Störungsmarker mit verschiedener Gewichtung und Positionsgenauigkeit, die bei der Analyse des tektonischen Aufbaus im Kartiergebiet Verwendung fanden (s. Kap. 5.1). Neben der Bestätigung von aus der Oberflächenkartierung bekannten Störungen betrifft dies vor allem den Nachweis von Störungen in quartärbedeckten Gebieten. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die aus den betreffenden reflexionsseismischen Profilen ermittelten Störungsmarker. Weiterhin kann die Lage der Innen- und Außengrenze des Salzhangs aus den Profilen bestimmt werden. Für das betrachtete Gebiet wurde dies bereits von JUNGSMANN & BEER (2004) vorgenommen.

Tabelle 2: Übersicht der aus den reflexionsseismischen Profilen ermittelten Störungsmarker (Schnittpunkte einer Störung mit der Geländeoberkante); Erläuterungen zur Vorgehensweise im Text.

Störungs- marker	Hoch- wert	Rechts- wert	Einstu- fung in	Verschneidung mit Geländeoberkante	Quelle (Messkampagne, Profil, Schusspunkt(e) [SP], Reflektor)
1	5643945	3563881	vermutet	senkrecht projiziert	Heringen Profil 13 SP 120, z3
2	5644662	3564771	vermutet	senkrecht projiziert	Heringen Profil 13 SP 128, z3
3	5643302	3566418	vermutet	senkrecht projiziert	Heringen Profil 2 SP 36, z3 & z1
4	5643433	3565644	vermutet	senkrecht projiziert	Heringen Profil 3 SP 44-45a, z3 & z1
5	5638325	3572209	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Heringen Profil 4 SP 54-55, z3
6	5638770	3572340	vermutet	senkrecht projiziert	Heringen Profil 4 SP 52-53, z3
7	5639845	3571923	sicher	zur Oberfläche verlängert	Heringen Profil 4 SP 47-48, z3
8	5639635	3571851	sicher	zur Oberfläche verlängert	Heringen Profil 4 SP 48, z3
9	5641278	3571915	sicher	zur Oberfläche verlängert	Heringen Profil 6 SP 86, z3 & z1
11	5643532	3568815	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Heringen Profil 9 SP 75b, z3
12	5644584	3568303	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Heringen Profil 9 SP 98, z3
13	5643096	3565307	sicher	zur Oberfläche verlängert	Heringen Profil 10 SP 42d, z3
14	5643175	3565224	sicher	zur Oberfläche verlängert	Heringen Profil 10 SP 82, z3
16	5644576	3569264	vermutet	senkrecht projiziert	Heringen Profil 11 SP 105, z3
17	5644529	3568538	sicher	senkrecht projiziert	Heringen Profil 11 SP 102a, z3
18	5639647	3571931	sicher	zur Oberfläche verlängert	Heringen Profil 14 SP 127, z3
19	5638878	3571669	sicher	senkrecht projiziert	Heringen Profil 15 SP 151-152, z3
20	5638648	3572022	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Heringen Profil 15 SP 154, z3
21	5640521	3573356	vermutet	senkrecht projiziert	Heringen Profil 16 SP 167-168, z3
22	5635311	3570351	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf II Profil 20 SP 19, z3 & z1
23	5635809	3571298	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf II Profil 20 SP 24-25, z3 & z1
24	5643598	3572281	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx15 SP 12-13, z3
25	5643754	3572116	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx15 SP 13-14, z3
26	5642417	3573799	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx15 SP 4, z3
27	5644216	3572143	sicher	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx15a SP 3-4, z3 & z1
28	5641300	3575976	sicher	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx18 SP 3, z3 & z1
29	5642295	3576849	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx18 SP 8, z3
30	5643496	3576873	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx18 SP 13, z3
31	5643942	3576397	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx19 SP 2-3, z3
32	5645428	3575997	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx19 SP 9, z3
33	5645994	3576066	sicher	senkrecht projiziert	Vacha IV Rx20 SP 42-43

Störungs- marker	Hoch- wert	Rechts- wert	Einstu- fung in	Verschneidung mit Geländeoberkante	Quelle (Messkampagne, Profil, Schusspunkt(e) [SP], Reflektor)
34	5645740	3574892	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx20 SP 29-30, z3
35	5645919	3574995	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx20 SP 32, z3
36	5644935	3573885	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx20 SP 19-20, z3
37	5645023	3573970	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx20 SP 20-21, z3
38	5644417	3572667	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx20 SP 7, z3
39	5644391	3572798	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx20 SP 8, z3
40	5644328	3573285	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx20 SP 12, z3
41	5639998	3577919	sicher	senkrecht projiziert	Vacha IV Rx23 SP 7-8, z3 & z1
42	5640375	3577626	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx23 SP 8-9, z3
43	5639154	3578205	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx23 SP 3-4, z3
44	5639229	3577891	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx26 SP 14-15, z3
45	5639072	3577107	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx26 SP 11, z3
46	5641214	3577849	sicher	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Rx28a SP 2, z3 & z1
47	5644764	3575893	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Vacha IV Ra25-Rx19a SP 2, z3
48	5639809	3577153	vermutet	zur Oberfläche verlängert	Werra-Kali Ergänzung VaZ9 SP 7-8, z3
50	5640252	3577609	sicher	zur Oberfläche verlängert	Werra-Kali Ergänzung VaZ9 SP 10-11, z3 & z1
51	5640161	3574968	sicher	senkrecht projiziert	Werra-Kali Ergänzung VaZ13 SP 4-5, z3 & z1
52	5639885	3575042	sicher	senkrecht projiziert	Werra-Kali Ergänzung VaZ13 SP 6-7, z3 & z1
53	5639448	3575566	sicher	zur Oberfläche verlängert	Werra-Kali Ergänzung VaZ14 SP 1-2, z3 & z1
56	5639110	3575225	sicher	zur Oberfläche verlängert	Werra-Kali Ergänzung VaZ15 SP 3, z3 & z1
57	5639210	3575662	sicher	zur Oberfläche verlängert	Werra-Kali Ergänzung VaZ15 SP 5-6, z3 & z1
58	5638635	3575211	sicher	zur Oberfläche verlängert	Werra-Kali Ergänzung VaZ16 SP2-3, z3 & z1
59	5638856	3575668	sicher	zur Oberfläche verlängert	Werra-Kali Ergänzung VaZ16 SP 5, z3 & z1

6.2 Hubschrauberelektromagnetik (HEM) und Transientenelektromagnetik (TEM)

Die Hubschrauberelektromagnetik (HEM) wie auch die Transientenelektromagnetik (TEM) liefern ein dreidimensionales Abbild der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit (bzw. des spezifischen elektrischen Widerstands) des Untergrundes bis zu einer maximalen Eindringtiefe von ca. 150 m für HEM (BARNASCH & BEER, 2010) und bis zu 300 m für TEM (AARHUS GEOPHYSICS, 2012, Karte 3b). Abgesehen von Parametern der technischen Umsetzung und den Einsatzbedingungen ist das Ergebnis noch von der Lithologie und dem Wassergehalt des Gebirges sowie dem Chemismus des Grundwassers abhängig, kann aber zusätzlich durch anthropogene Faktoren wie Ortschaften, Wälder und Hochspannungsleitungen beeinflusst werden (BARNASCH & BEER, 2010; ZEIBIG et al., 2011). Entsprechend früherer Auswertungen der HEM-Befliegungen im Kartiergebiet von

BARNASCH & BEER (2010) zeichnen sich Unterer und Mittlerer Buntsandstein aufgrund geringer lithologischer Variabilität (überwiegend Sandsteine, untergeordnet Ton- und Schluffsteine) durch einheitliche hohe bis mittlere Widerstände aus.

Für die Erstellung der digitalen geologischen Karte sind die HEM/TEM-Ergebnisse teilweise nützlich. Bereiche mit quartärer Verbreitung (z. B. Hanglehm) sind anhand erhöhter Leitfähigkeit (KERNER & SIEMON, 2009; BARNASCH & BEER, 2010) erkennbar. Jedoch ist die Auflösung der Daten für eine geologische Kartierung im Maßstab 1:25.000 relativ gering. Für den Mittleren und Unteren Buntsandstein lässt sich mittels der HEM/TEM-Ergebnisse die lithologisch bedingte Variabilität nicht zuverlässig von den oben genannten Parametern wie Wassergehalt des Gebirges und dessen Fluidchemismus unterscheiden, wodurch die lithostratigraphische Verwertbarkeit der Daten in diesem stratigraphischen Intervall gering ist. Im Süden und Westen des Kartiergebietes zeichnet sich die Volpriehausen-Wechselfolge (smVW) und teilweise der Volpriehausen-Sandstein (smVS) deutlich durch erhöhte spezifische Widerstände bei 0 bis 5 m u. GOK ab. In diesem Teufenbereich können jedoch auch quartäre Deckschichten und Verwitterungsbildungen die spezifischen Widerstände beeinflussen. In den Ausstrichgebieten dieser Einheiten nördlich von Hönebach ist dies jedoch nicht der Fall. Dort ist anhand des spezifischen Widerstands keine Unterscheidung vom Unteren Buntsandstein möglich.

Eine weitere Bedeutung des Datensatzes für diese Bearbeitung liegt in möglichen Hinweisen auf Störungen unter Quartärbedeckung im Bereich des Salzhangs und in der Bewertung von anderweitig nachgewiesenen Störungen in anderen Bereichen des Kartiergebietes (siehe hierzu JUNGK et al., 2015). Störungen können sich im tieferen Untergrund durch Diskontinuitäten in der elektrischen Leitfähigkeit und damit in unterschiedlichen spezifischen Widerständen abbilden.

6.3 Magnetik

Im Zuge der HEM-Befliegung wurde auch die Totalintensität des Magnetfeldes gemessen (SIEMON et al., 2008). Von Interesse sind hier die zeitlich unveränderlichen Anomalien, welche das Erdmagnetfeld überlagern. Die meisten dieser Anomalien im Kartiergebiet sind anthropogener Natur (z.B. Stromleitungen, Gasleitungen, Gebäude, Bahnschienen, Windräder und Brücken). Diese anthropogenen Anomalien können durch den Abgleich mit topographischen Karten und Luftbildern identifiziert werden (BÜCHEL et al., 2012, dort Abb. 6). Daneben treten auch geogene Anomalien auf, die durch unterschiedliche Gehalte an ferromagnetischen Mineralen in den Gesteinen verursacht werden. Im Kartiergebiet betrifft dies die tertiären Vulkanite, die sich von den umliegenden Gesteinen abheben. Die Auflösung

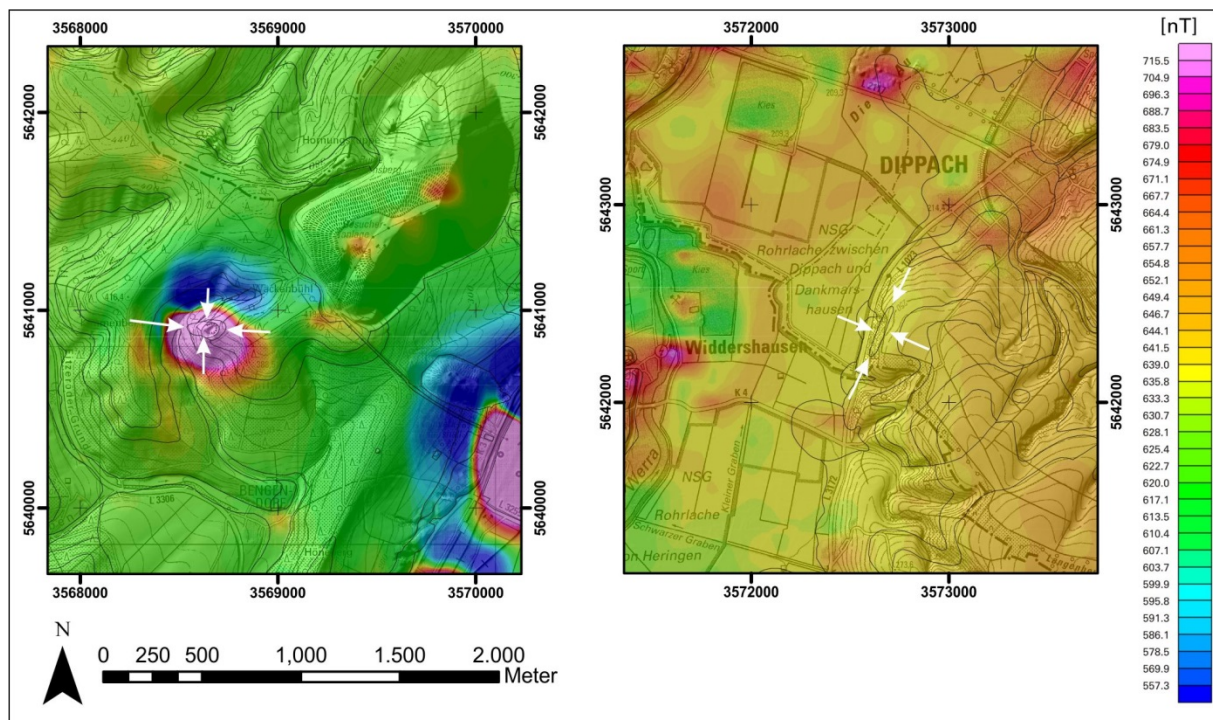


Abb. 21: Umgebung der Vulkanitvorkommen am Wackenbühl (links) und südwestlich von Berka (rechts). Die kartierte Ausdehnung liegt innerhalb der weißen Pfeile. Am Wackenbühl ist die Ausdehnung der magnetischen Anomalie wesentlich größer, südwestlich von Berka ist dagegen keine Anomalie zu erkennen.

der Daten ist durch die Flughöhe und den Abstand der Befliegungslinien begrenzt (BÜCHEL et al., 2012). Die Vulkanite am Wackenbühl sind deutlich zu erkennen (Abb. 21). Dabei ist die Ausdehnung der Anomalien wesentlich größer als der Ausstrich der Vulkanite. Das gangartige Basaltvorkommen südwestlich von Berka ist dagegen nicht als magnetische Anomalie nachweisbar (vgl. Abb. 21). Dessen Längsachse in NNE–SSW-Richtung verläuft fast parallel zu den N–S orientierten Befliegungslinien im 200-Meter-Abstand. Befliegungslinien in E–W-Richtung haben dagegen Abstände von etwa 2 km (SIEMON et al., 2008). Damit ist zu erwarten, dass rhönisch (N-S) streichende gangförmige Basaltvorkommen bzw. deren magnetische Anomalien im vorliegenden Datensatz nur schwer nachzuweisen sind.

6.4 Radiometrie

Im Zuge der HEM-Befliegung im Jahr 2008 wurde auch die Gammastrahlung in Flughöhe gemessen. Durch einen zusätzlichen nach oben gerichteten Detektor können die Messwerte korrigiert werden, so dass nur der nahe der Erdoberfläche entstehende Anteil der Gammastrahlung übrig bleibt. Die spektrale Auflösung der Kristalldetektoren reicht aus, um die häufigsten natürlich vorkommenden Radioisotope bzw. deren Zerfallsprodukte getrennt nachweisen zu können. Unter bestimmten Bedingungen können daraus die Konzentrationen der Elemente Kalium, Thorium und Uran in den oberen Bodenschichten abgeschätzt werden

(SIEMON et al., 2008). Da eine Abhängigkeit der Konzentrationen dieser Elemente vom Kalifeldspat- bzw. Tonmineralanteil des Ausgangsgesteins zu erwarten ist, könnte man eine Differenzierbarkeit der Kartiereinheiten nach Elementgehalten vermuten. Jedoch sind die berechneten Äquivalentkonzentrationen stark von der Absorption durch Biomasse beeinflusst (SIEMON et al., 2008). In Waldgebieten werden durchgängig niedrigere Konzentrationen als über Feldern ausgewiesen. Dagegen spiegeln sich kartierte geologische Grenzen in den berechneten Konzentrationen kaum wieder. Eine scheinbare Korrelation ergibt sich im Süden und Südwesten des Kartiergebietes für den Volpriehausen-Sandstein (smVS), da die Waldgrenze ungefähr dessen Ausstrich folgt (vgl. Abb. 22). Eindeutig auf die Verhältnisse im Untergrund zurückführbar scheinen nur die geringen Strahlungswerte der Halden III und IV Wintershall zu sein. Innerhalb des betrachteten Gebietes lassen sich aus den Radiometriedaten ansonsten keine verwertbaren Erkenntnisse für die geologische Kartierung ableiten.

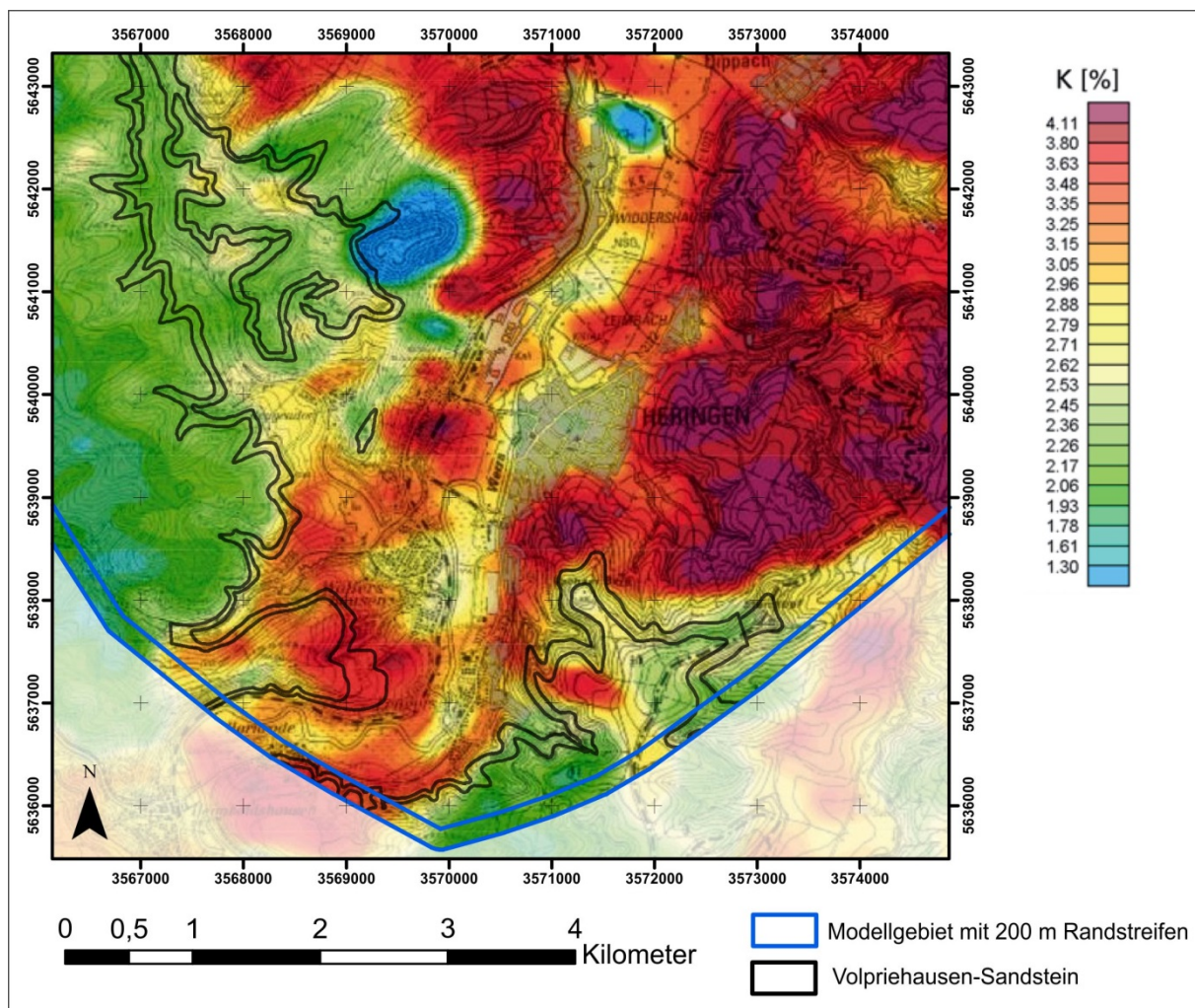


Abb. 22: Aus den radiometrischen Messungen berechnete Kaliumkonzentrationen im Süden des Kartiergebietes. Die Kaliumkonzentration scheint lokal an der Basis der Volpriehausen-Formation stark abzufallen, während es an anderen Stellen keinen erkennbaren Zusammenhang gibt. Tatsächlich wird der scheinbare Abfall der Kaliumkonzentration aber durch Waldflächen hervorgerufen, die im betrachteten Gebiet überwiegend auf Mittlerem Buntsandstein stehen. Die Halde IV Wintershall fällt durch sehr niedrige Kaliumkonzentrationen auf.

6.5 Bohrlochgeophysik

Im Zuge des Abteufens von Tiefbohrungen (in jüngerer Zeit gebohrt) wurde u. a. ein umfangreiches Programm an geophysikalischen Bohrlochmessungen durchgeführt und dokumentiert. Für die geologische Kartierung sind dabei die Gamma-Ray-Logs von besonderer Bedeutung.

Der Untere Buntsandstein zeigt aufgrund nur geringfügiger lithologischer Unterschiede gering differenzierte Gamma-Ray-Kurven, welche letztendlich die monotone Lithologie bestätigen. Als relativ sichere Abgrenzung ist der Übergang der Calvörde-Formation (suC) zur liegenden Fulda-Formation (z7) (Übergang Buntsandstein-Zechstein) durch einen markanten Rückgang der Gamma-Strahlung charakterisiert (Abb. 23). Darüber folgt ein weiterer gradueller Strahlungsrückgang über die nächsten 5 bis 15 m.

Die Kartiereinheiten der Calvörde-Formation (suC) lassen sich aufgrund der monotonen Gesteinsabfolgen aus den vorliegenden Gamma-Ray-Logs nicht abgrenzen. Der hangende Bernburg-Sandstein (suBS) zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf der Strahlungskurve, wodurch die Grenzziehung näherungsweise nur in Kombination mit Ergebnissen der Bohrkernansprache möglich erscheint und letztlich mit gewissen Unsicherheiten behaftet ist. Die Grenze zur Calvörde-Formation (suC) wird an die oberste von ein bis drei sehr schmalen Strahlungsspitzen gelegt. Bei der Identifikation dieser Spitzen ergeben sich zwar Interpretationsspielräume, die sich aber grundsätzlich mit den ermittelten Mächtigkeiten aus den Kartierungsergebnissen vereinbaren lassen. Die Abgrenzung von Bernburg-Sandstein (suBS) und Bernburg-Wechselfolge (suBW) sowie der im Hangenden folgenden Basissandsteine und Wechselfolgen des Mittleren Buntsandsteins erscheint generell einfacher, da die jeweiligen Übergänge markantere lithologische und damit einhergehende deutlichere Unterschiede der Strahlungsintensitäten des Gamma-Ray-Logs aufweisen. Durch teilweise fließende Übergänge sind diese Grenzen jedoch ebenfalls mit Unschärfen behaftet. Generell zeigen die Basissandsteine des Mittleren Buntsandstein einen geringeren Mittelwert der Strahlung als die jeweils hangenden Wechselfolgen. Strahlungsspitzen sind in den Basissandsteinen meist weniger stark ausgebildet als in den Wechselfolgen des Mittleren Buntsandsteins. Während einer gemeinsamen Kernbefahrung der Bohrung Herfa 6/2013 (z3) mit dem HLUG zeigten sich die Unschärfen sowohl bei der Gamma-Ray-Log-Interpretation wie auch der lithostratigraphischen Gliederung.

Die Bedeutung der Gamma-Ray-Log-Interpretation liegt in Bezug auf das konkrete Vorhaben und das zu erstellende geologische 3D-Modell vor allem in der Bestimmung der Raumlage von Schichtgrenzen sowie in der Beurteilung von Versatzbeträgen an möglichen Störungen. Aus diesem Grund wurden anhand der vorhandenen Gamma-Ray-Logs (insgesamt 5010 Bohrmeter im hier betrachteten Kartiergebiet oberhalb der Buntsandsteinbasis) und der

Schichtenverzeichnisse (z. T. aus Bohrkern-, z. T. aus Spülprobenansprachen) aus dem Archiv (Datenbank) der K+S die bisherigen stratigraphischen Einstufungen der betreffenden Bohrungen überprüft. Dabei konnten die vorliegenden Einstufungen bestätigt werden. In einigen Fällen konnte zudem die Basis der Bernburg-Wechselfolge (suBW) korreliert und ergänzt werden, da die Bernburg-Formation (suBG) bisher überwiegend ungegliedert belassen wurde (Tab. 3).

Tabelle 3: Durch Auswertung von Gamma-Ray-Logs (GR-Log) und/oder Schichtenverzeichnissen (SV) abgeleitete Schichtunterkanten (soweit bisher nicht im Archiv (Datenbank) der K+S vorhanden).

Archiv-nummer	Bezeichnung	Schichtunterkante	Teufe in m u. GOK	Teufe in m NN	Bemerkung
161	Kleinensee 4	suBS	53,0	232,7	Einstufung nach GR-Log
773	GWM 10/2012 WI	suBW	131,0	279,34	Einstufung nach GR-Log
924	Obersuhl 3A/2010	suBW	81,0	144,6	Einstufung nach GR-Log
927	Heringen 4/2010 (su)	smVW	83,0	287,95	Einstufung nach GR-Log und SV
928	Heringen 5/2010 (z3)	suBW	215,0	155,8	Einstufung nach GR-Log und SV
933	Heringen 7/2010 (z3)	smVW	40,0	395,91	Einstufung nach GR-Log und SV
933	Heringen 7/2010 (z3)	suBW	177,0	258,91	Einstufung nach GR-Log und SV
934	Heringen 8/2010 (su)	suBW	180,0	256,54	Einstufung nach GR-Log und SV
936	Ausbach 2/2010 (z3)	suBW	328,0	-11,19	Einstufung nach GR-Log und SV
937	GWM 1/2010 Halde III WI	suBW	21,0	298,96	Einstufung nach GR-Log
3555	Herfa 5/2011 (su)	suBW	182,0	144,9	Einstufung nach GR-Log und SV
3569	Obersuhl 4/2011 (su)	suBW	92,0	116,74	Einstufung nach GR-Log und SV
3570	Obersuhl 5/2011 (z3)	suBW	63,0	208,1	Einstufung nach GR-Log und SV
3598	GWM 8/2012 WI	suBW	122,0	268,53	Einstufung nach GR-Log
3599	GWM 9/2012 WI	suBW	42,0	318,56	Einstufung nach GR-Log
5289	Herfa 7/2013 (su)	suBW	166,0	134	Einstufung nach GR-Log und SV

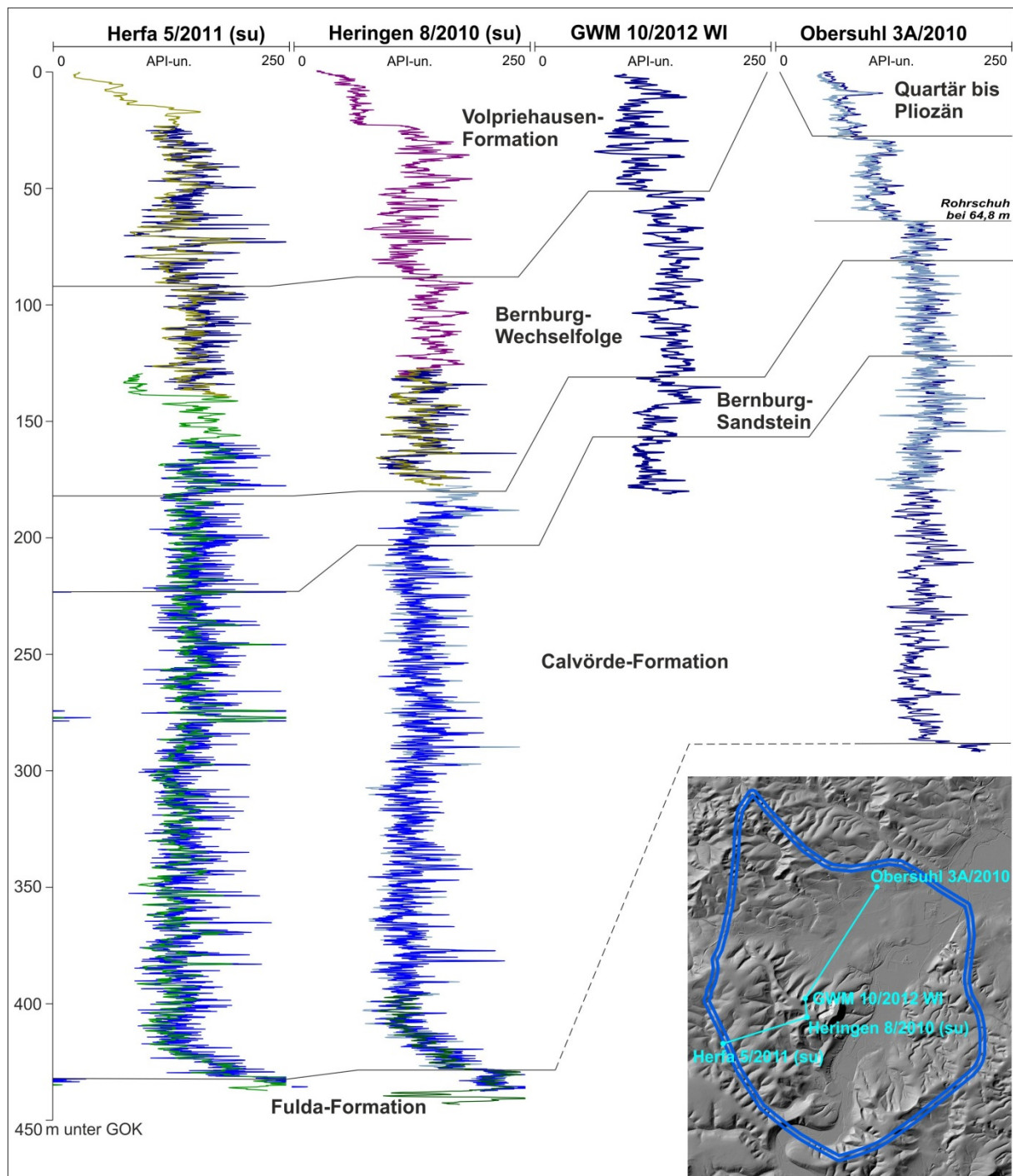


Abb. 23: Korrelation von Gamma-Ray-Logs repräsentativer Bohrungen im Kartiergebiet. Die verschiedenfarbigen Kurven zeigen verschiedene Messetappen im jeweiligen Bohrloch an. Deutlich fällt die in Kap. 4.3 diskutierte Variabilität in der Mächtigkeit des suBS auf. Das Schichtpaket suC und suBS zeigt dagegen eine gleichmäßigere Mächtigkeit, die im Kartiergebiet nach Nordosten leicht abnimmt (von etwa 250 m im Südwesten auf 200 m im Nordosten).

7 Zusammenfassung

Für das ca. 114 km² große Kartiergebiet im Umfeld des Halden- und Produktionsstandortes Wintershall, Werk Werra, K+S KALI GmbH wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine digitale geologische Karte im Maßstab 1:25.000 erstellt. In dieser Karte sind die Ausstriche der lithostratigraphischen Untereinheiten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins, Tertiärs und Quartärs im Kartiergebiet unter Berücksichtigung des konkreten Vorhabensbezuges feinstratigraphisch dargestellt. Darüber hinaus beinhaltet die vorliegende Arbeit eine abgedeckte geologische Karte ohne känozoische Sedimente sowie eine strukturgeologische Karte des Kartiergebietes. Als Datengrundlage dieser Neubearbeitung dienten sowohl amtliche GK25 der Blätter 5026 Berka (Werra) und 5126 Vacha in Thüringen sowie die Blätter 5025 Hönebach und 5125 Friedewald in Hessen als auch unveröffentlichte Manuskriptkarten (geologische Detailkartierungen) im Umfeld des Standortes Wintershall. Dazu wurde auf Datensätze der geologischen Landesämter HLOG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) und TLUG (Thüringische Landesanstalt für Umwelt und Geologie) zurückgegriffen. In Vorfeld der Geländearbeiten wurde ein Kartierkonzept erstellt und mit den geologischen Landesämtern HLOG und TLUG abgestimmt, welches als Grundlage für die notwendige Vereinheitlichung der Kartiereinheiten diente. Ferner wurde die Erstellung dieses Kartierberichts mehrfach in Abstimmungsgesprächen und im E-Mail-Verkehr mit den o.g. geologischen Landesämtern abgestimmt. Zusätzlich erfolgten Neukartierungen im Ausbiss des Unteren Buntsandsteins auf Blatt 5025 Hönebach sowie Plausibilitätsprüfungen durch Geländebegehungen.

Mit Hilfe der Neukartierungen und Plausibilitätsüberprüfungen konnten bisherige inhaltliche Unstimmigkeiten an den Grenzen zwischen benachbarten Kartenblättern im Kartiergebiet – insbesondere östlich der Halde IV Wintershall – beseitigt werden.

Im Resultat kann erstmals eine einheitliche geologische Karte für das Kartiergebiet vorgelegt werden (**Redaktionsschluss 05.11.2014**). Dabei wurde der bisherige, zwischen Hessen und Thüringen bisweilen sehr unterschiedliche Bearbeitungsstand in den amtlichen GK25 an die geologische Situation im Kartiergebiet bestmöglich und unter Berücksichtigung des konkreten Vorhabensbezugs angeglichen. Darüber hinaus erfolgte eine Integration aller verfügbaren tektonischen Daten in die digitale geologische Karte durch Berücksichtigung und Bewertung der Ergebnisse vorhandener geophysikalischer Untersuchungen im Kartiergebiet. Bedeutend ist dabei vor allem die Reflexionsseismik für die Lokalisierung und Bewertung von

Störungen. Gerade in aufschlussarmen Gebieten (z.B. im Bereich des Salzhangs) sind außerdem die HEM/TEM-Messergebnisse für die Identifikation und die ungefähre Positionierung von Störungen von großer Bedeutung. Dabei können teilweise Störungen durch Diskontinuitäten der spezifischen Widerstände charakterisiert werden.

Parallel zu den Arbeiten am vorliegenden Bericht wird ein geologisches 3D-Modell erstellt, welches die Grundlage für die Känozoikum-abgedeckte Geologische Karte (s. Anlage 5) bildet. Dabei ergaben sich auch notwendige Anpassungen in schlecht aufgeschlossenen Bereichen des Kartiergebietes (so am Borneberg nordwestlich der Subrosionssenke Liedengraben, s. Kap. 5.2.2). Mit diesem Vorgehen kann zwar nicht flächendeckend der Anspruch einer geologischen Landesaufnahme umgesetzt werden, jedoch können die vorgelegten Karten als Grundlage für die Aktualisierung der jeweiligen Teilbereiche der GK 5025 Hönebach und GK 5125 Friedewald dienen.

8 Literaturverzeichnis

AARHUS GEOPHYSICS (2012): Bericht Nr. 2012_08_a Verarbeitung und Inversion von SkyTEM-Daten. Auftraggeber: K+S KALI GmbH. Hattorf und Wintershall.

BARNASCH, J. & BEER, W. W. (2010): Hydrogeophysikalische Auswertung der Hubschrauberelektromagnetik (HEM) 2008 im Werra-Kaligebiet. – K+S Aktiengesellschaft, Kassel.

BARNASCH, J., PLÜMACHER, J., SCHÄFER, S., ZEIBIG, S. (2013): Erläuterung zur Auswahl und Bewertung des tektonischen Inventars des Werra-Kaligebietes. – Einheit Geologie der K+S Aktiengesellschaft, Kassel.

BARNASCH, J., PLÜMACHER, J., ZEIBIG, S. (2014): Ergänzende Betrachtungen zur Nebenbestimmung IV 8b des Erlaubnisbescheides 31.1/Hef 79 f 12-330/001 vom 30.11.2011 (Versenkerlaubnis). – K+S Aktiengesellschaft, Kassel.

BETZ, D., FÜHRER, F., GREINER, G. & PLEIN, E. (1987): Evolution of the Lower Saxony Basin.- Tectonophysics, 137:127-170.

BOIGK, H. (1957a): Vorläufige Mitteilung über eine neue Gliederung des Mittleren Buntsandsteins im Raume Südhannover. – Geologisches Jahrbuch 70: 325-339.

BOIGK, H. (1957b): Ausbildung und Paläogeographie des Buntsandsteins im nördlichen Teil der Niederrheinischen Bucht und seine Beziehungen zu benachbarten Gebieten. – Geologisches Jahrbuch 72: 347–366.

BROSIG, A., SCHOLZE, F. (2014): Geologisches, Hydrogeologisches und Numerisches Modell für das Umfeld der Produktions- und Haldenstandorte des Werkes Werra - Teilgebiet 1: Hattorf/Unterbreizbach. Kartierungsbericht zur digitalen geologischen Karte 1 : 25.000 des Produktions- und Haldenstandortes Werk Werra der K+S KALI GmbH. – TU Bergakademie Freiberg.

BÜCHEL, G., BURGHARDT, T., LONSCHINSKI, M., LÜTZNER, H. & PUDLO, D. (2012): Plausibilitätsanalyse und Neukartierung von Störungen im Kartiergebiet Werra. Endbericht. – Institut für Geowissenschaften, Jena.

BÜCKING, H. (1927): GK25 Blatt 5125 Friedewald, Faksimiliertes Nachdruck der 2. Auflage. – Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 1992.

BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (2013): Digitale Topographische Karte 1:200.000, Vorläufige Ausgabe. – http://sg.geodatenzentrum.de/wms_dtk200

CEYP, H. & WIERCZEYKO, E. (1962): Bericht Hattorf II über reflexionsseismische Untersuchungen im Schürfgebiet Fischbach der Vereinten Kaliwerke Salzdettfurth A.G. Werk Hattorf ausgeführt für die Vereinten Kaliwerke Salzdettfurth A.G. Hannover von der Prakla Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung GmbH Hannover. – Prakla Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung GmbH Hannover.

DIENEMANN, W. (1937): Bericht über die Aufnahmen auf Blatt Hönebach im Sommer 1937. – unpubl. Manuskript, Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin.

DIENEMANN, W. (1937-38): Reinblatt 5025 Hönebach. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

DIENEMANN, W., SCHRIEL (1938): 5025 Hönebach. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

DIETZ, C. (1928): Die Salzlagerstätte des Werra-Kaligebietes. – Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin.

ELLENBERG, J. (2004a): Strukturkarte Berka. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

ELLENBERG, J. (2004b): Strukturkarte Vacha. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

ELLENBERG, J., GRUMBT, E., LÜTZNER, H. (1961–63): 5126 Vacha 1:25.000. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

FALK, F., GRUMBT, E., LÜTZNER, H. (1964): Stratigraphie und Fazies des Unteren und Mittleren Buntsandsteins im thüringischen Werra-Kaligebiet. – *Geologie*, 13: 288 – 302.

FILLINGER, E., FRANZ, M., BARNASCH, J. (2012): Fazies und Reservoircharakteristik der Bohrung Heringen 5/2010 (Zechstein 1 bis Mittlerer Buntsandstein. – Kali & Steinsalz, Heft 3: 14-25.

FULDA, E. (1923): Salzspiegel und Salzhang.- ZDGG 75: 10 – 14.

GAHL, H. (1971): Über die Entwicklung der Rheden_Landschaft bei Obersuhl. – Oberhessische Naturwissenschaftliche Zeitschrift 38: 147 – 158.

GERLACH, H., WÜSTNER, L. (1961): Abschlussbericht Vacha. – VEB Geophysik, Leipzig.

GRUMBT, E., ELLENBERG, J., LÜTZNER, H., REDLICH, S. (1961-66, 1980, 1999, 2001): GK25 Blatt 5026 Berka (Werra), 3. neu bearbeitete Auflage. – Thüringische Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Weimar.

GRUMBT, E. & LÜTZNER, H. (1966): Störungszonen im Deckgebirge des thüringischen Werra-Kalgebietes und ihre Beziehungen zum Basaltvulkanismus und zur Auslaugung. – Geologie 15: 531 – 544.

GRUMBT, E., ELLENBERG, J., FALK, F., LÜTZNER, H. (1967): Geologische Erkundung des Deckgebirges im Werra-Kalgebiet. – Abschlussbericht zur Forschungs- und Entwicklungsarbeit, Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Geotektonisches Institut, Arbeitsgruppe Jena.

GRUMBT, E. & LÜTZNER, H. (1983): Saxonische Tektonik und Basaltvulkanismus zwischen Thüringer Wald und Vorderrhön. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften 11 (8): 943–954.

GUNZERT (1955): Geologische Karte des Gebietes zwischen Widdershausen und Hönebach 1:25.000. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

HESSMANN, W. (1981): Strukturkarte des Plattendolomits P2.3 CaD im Werra-Kalgebiet 1:25.000. – Zentrales Geologisches Institut, Berlin.

HILL-BRADDER, G. (1981): Geologische Karte des Gebietes Nentershausen-Ronshausen (Richelsdorfer Gebirge) 1:25.000. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

HOLLÄNDER, F., KÖHLER, R. (1955): Bericht über reflexionsseismische Untersuchungen im Konzessionsgebiet Eschwege-Rotenburg ausgeführt für die Wintershall Aktiengesellschaft Celle und die Deutsche Vacuum Oel Aktiengesellschaft Celle von der Prakla Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung G.m.b.H. Hannover. – Prakla Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung GmbH, Hannover.

HOPPE, W. (1960): Die Kali- und Steinsalzlagerstätte des Zechsteins in der Deutschen Demokratischen Republik. Teil 1: Das Werra-Gebiet. Freiburger Forschungshefte C 97, Berlin.

JUNGEMANN, O., BEER, W. W. (2004): Neukartierung des Salzhangs im thüringischen Werra-Kaligebiet anhand reflexionsseismischer Tiefenprofile und Tiefbohrungen. – K+S Aktiengesellschaft, Kassel.

JUNGK, V., BIECK, C. (2015): Geologisches und Hydrogeologisches Modell für das Umfeld der Produktions- und Haldenstandorte des Werkes Werra, Teilgebiet 2: Wintershall, Bericht: Geologisches 3D-Modell, Berlin, 17.03.2015

JUNGK, V., ZIPPEL, M. (2015): Geologisches und Hydrogeologisches Modell für das Umfeld der Produktions- und Haldenstandorte des Werkes Werra, Teilgebiet 2: Wintershall, Bericht: Auswertung und Dokumentation der im Werra-Kaligebiet durchgeführten aerogeophysikalischen Messungen, Berlin, 17.03.2015

KÄDING, K.-C. (1959a): Buntsandsteinkartierung im Werra-Kaligebiet östlich Bad Hersfeld. – unpubl. Diplomarbeit, FU Berlin.

KÄDING, K.-C. (1959b): ohne Titel [Geologische Kartierung 1:25.000 auf Teilen von Blatt 5025 Hönebach, Blatt 5026 Berka (Werra), Blatt 5125 Friedewald und Blatt 5126 Vacha]. – unpubl. Manuskriptkarten.

KÄDING, K.-C. (1962): Geologische, magnetische und petrographische Untersuchungen tertiärer Vulkanite und ihrer Begleiterscheinungen im Bereich des hessischen Werra-Kaligebietes. – unpubl. Dissertation, FU Berlin.

KÄDING, K.-C. (2000): Die Aller-, Ohre-, Friesland- und Fulda-Folge (vormals Bröckelschiefer-Folge). – Glückauf 136 (12): 760–770.

KASCH, N., HUNGER, Y., KÖSTER, J. (2009): Sedimentologische und Strukturgeologische Untersuchungen im Unteren Buntsandstein des Werra-Kaligebietes SW-Thüringens – Eine Aufnahme der Steinbrüche nordwestlich von Dorndorf/Rhön. – Beitr. Geol. Thüringen 16: 99 – 115.

KERNER, T. & SIEMON, B. (2009): Aerogeophysikalische Erkundung der elektrischen Leitfähigkeit (HEM-Hubschrauberelektromagnetik) im Bereich des Staßfurt-Egelner Sattels. – Exkursionsführer und Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 242: 9–19.

KLEDITZSCH, O. (2014): Geologischer Abschlussbericht Bohrung Herfa 6/2013 (z3). – K+S Aktiengesellschaft, Kassel.

KLEDITZSCH, O., STEUERWALD-SIMON, S. (2010): Bohrbericht Obersuhl 3A/2010. – K+S Aktiengesellschaft, Kassel.

KOENEN, A. v., BÜCKING, H., FULDA, E. (1925): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt Vacha. – Preußische Geologische Landesanstalt (Hrsg.), 2. Auflage, Berlin.

KOENEN, A. v., BÜCKING, H., DIETZ, C. (1927): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt Friedewald. – Preußische Geologische Landesanstalt (Hrsg.), 2. Auflage, Berlin.

KREITZ, E., MÜNTEFERING, W., RUPRECHT, L. (1956): Bericht über reflexionsseismische Messungen im Schürfgebiet Fischbach der Vereinigten Kaliwerke Salzdettfurth AG Werk Hattorf ausgeführt für die Salzdettfurth AG von der Prakla Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung G.m.b.H. Hannover. – Prakla Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung GmbH, Hannover.

KÜPER (1984): ohne Titel [Detailkartierung 1:25.000 im Raum Hönebach – Ronshausen]. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

LAEMMLEN, M. (1969-72, 1975) & KOENEN, A. v. (1876-80): GK25 Blatt 5225 Geisa mit Erläuterungen, 2. neu bearbeitete Auflage. – Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden.

LANGE, P. R. (1959): Werk Hattorf, Geologische Karte der Reservefelder, M. 1:25.000. – Salzdetfurth A.-G. Hannover, unveröffentlichte Manuskriptkarte.

LANGE, P. R., KÄDING, K.-C. (1961): Stratigraphie und Tektonik im Buntsandstein des hessischen Werra-Kaligebietes östlich Bad Hersfeld. – Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zu Wiesbaden 89: 242–265.

LBEG (2013): Symbolschlüssel Geologie. – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie im GeoZentrum Hannover, überarbeitet und zusammengestellt von H. PREUSS, 6. Auflage der digitalen Fassung, Hannover.

LEPPER, J. (1993): Beschlüsse zur Festlegung der lithostratigraphischen Grenzen Zechstein/Buntsandstein/Muschelkalk und zu Neubenennungen im Unteren Buntsandstein in der Bundesrepublik Deutschland. – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte 11: 687–692.

LEPPER, J., RAMBOW, D., RÖHLING, H.-G. (2013): Lithostratigraphie des Buntsandstein in Deutschland. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland XI. Buntsandstein. – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für geowissenschaften, Heft 69: 69-149; Hannover.

LÜTZNER, H. (unpubl.): Erläuterung Blätter Vacha und Berka. Kapitel 3.4. Trias; Kapitel 4. Lagerungsverhältnisse, Tektonik, Atektonik. – Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie.

LÜTZNER, H., GRUMBT, E., ELLENBERG, J., REDLICH, S. (1961-66, 1998, 2000): GK25 Blatt 5126 Vacha, 3. neu bearbeitete Auflage. – Thüringische Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Weimar.

MOESTA, F. (1876): GK25 Blatt 5025 Hönebach. – Verlag der Naumann'schen Kartenhandlung, Berlin.

MOESTA, F. (1876): Erläuterungen zur Geologischen Specialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten. Gradabtheilung 69, No. 4. Blatt Hönebach. – Verlag der Naumann'schen Kartenhandlung, Berlin.

MOESTA, F., BÜCKING, H., FULDA, E. (1925): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt Berka. – Preußische Geologische Landesanstalt (Hrsg.), 2. Auflage, Berlin.

MOTZKA-NÖRING, R. (1987): GK25 Blatt 4925 Sontra mit Erläuterungen, 2. neu bearbeitete Auflage. – Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden.

PIEPER, J.-B. (1995): Geologische Karte der Umgebung von Obersuhl 1:10.000. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

RAINHARDT (1980?): ohne Titel [Geologische Manuskriptkarte 1:25.000 Blatt 5025 Hönebach]. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

RICHTER, G. (1940): Beilage 2 [Detailkartierung Richelsdorfer Gebirge]. – unveröffentlichte Manuskriptkarte.

SIEMON, B., IBS-VON SEHT, M., VASTERLING, M., ULLMANN, A., VOß, W. & PIELAWA, J. (2009): Technischer Bericht zur Befliegung Heringen (Werra). Mai–Juli 2008. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

WOITSCHACH, E. (1980): Reflektionsseismik/GSX Ergebnisbericht Gerstungen 1.1. – VEB Kombinat Geophysik, Leipzig.

WÜSTNER, L. (1962): Ergebnisbericht Reflexionsseismische Erkundung Vacha II. – VEB Geophysik, Leipzig.

WÜSTNER, L. (1963): Ergebnisbericht Reflexionsseismische Erkundung Vacha III. – VEB Geophysik, Leipzig.

WÜSTNER, L. (1963): Ergebnisbericht Reflexionsseismische Erkundung Vacha IV. – VEB Geophysik, Leipzig.

WÜSTNER, L., WOITSCHACH, E. (1965): Reflexionsseismische Erkundung Werra-Kalergang. – VEB Geophysik, Leipzig.

ZEIBIG, S., BARNASCH, J., BEER, W. W. (2011): Nachweis der Schutzschichten für die Grube Hattorf/Wintershall einschließlich der UTD Herfa-Neurode unter Berücksichtigung der

Bewertung einer geplanten Rückförderung aus dem Plattendolomit. – K+S Aktiengesellschaft, Kassel.

ZEIBIG, S., BARNASCH, J., BEER, W. W., HÖNTZSCH, S., KÄDING, K.-C., KLUGE, S., PLÜMACHER, J., REUTHER, J. (2012): Zur Ausbildung, Mächtigkeit und hydrogeologischen Bewertung der Schichtenfolge vom Oberen Werra-Steinsalz bis Leine-Karbonat (Plattendolomit) unter besonderer Berücksichtigung ihrer tektonischen und atektonischen Beanspruchung im Werra-Kaligebiet. – K+S Aktiengesellschaft, Kassel.

ZIEGLER, P. A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe. Second and completely revised edition. – Shell International Petroleum Maatschappij B.