

Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf) - Phase 3

Band 3.9E2 der Antragsunterlage: Fachgutachten

Geologisches, Hydrogeologisches und Numerisches Modell für das Umfeld der Produktions- und Haldenstandorte des Werkes Werra; Erläuterungen zur aktualisierten geologischen Karte 1:25.000 (GK25) des Produktions- und Haldenstandortes Werk Werra der K+S Minerals and Agriculture GmbH

Vorhabenträger:

K+S Minerals and Agriculture GmbH
Werk Werra, Standort Hattorf
Hattorfer Straße
36269 Philippsthal



Verfasser:

AKVO GmbH
Torstraße 177
10115 Berlin





.....
Dipl. Ing. Volker Jungk



.....
M.Sc. Geow. Dr. Sören Wilke



.....
Dipl.-Geow. Carolin Bieck

Impressum

Fassung vom: 28.05.2021
Ansprechpartner: Dipl. Ing. Volker Jungk
Telefon: 030 - 30208900
Fax: 030 - 30873653
e-Mail: v.jungk@akvo.de
Web: www.akvo.de

Ergebnisse im Überblick:

- Für das 94,4 km² große Modellgebiet im Umfeld des Werkes Werra, Standorte Hattorf und Unterbreizbach konnte erstmals in 2013 eine einheitliche (digitale) geologische Karte im Maßstab 1:25.000 (GK25) einschließlich eines Kartierungsberichtes erstellt werden. Diese wurde 2017 erstmals fortgeschrieben. Aufgrund erheblicher Erkenntnisgewinne aus Baugrunderkundungen, Instandsetzungen und Neueinrichtungen von Grundwassermessstellen zur Erweiterung des vorhandenen Monitorings sowie weiteren geologisch-hydrogeologischen Untersuchungen erfolgte eine weitere Aktualisierung und Fortschreibung im Jahr 2021 unter Beibehaltung der Gebietsgröße.
- Die Bearbeitung stützt sich sowohl auf amtliche geologische Karten (GK25) der Blätter 5226 Stadtlengsfeld und 5126 Vacha in Thüringen sowie die Blätter 5225 Geisa und 5125 Friedewald in Hessen als auch auf unveröffentlichte Manuskriptkarten (Detailkartierungen) im Umfeld der Standorte Hattorf und Unterbreizbach.
- **Die sich in diesem Prozess ergebenden Änderungen resultieren maßgeblich aus den Erkenntnissen im Rahmen der Fortschreibung und Aktualisierung der geologischen 3D-Modells** für den Untersuchungsraum.
- **Die Kernaufnahme der neuen Bohrungen wurde von einer Expertenkommission unter Leitung von Prof. Dr. Georg Büchel von der Friedrich-Schiller-Universität Jena fachlich begleitet** und mit Vertretern des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie sowie des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz und des Regierungspräsidiums Kassel, Dezernat 31.6 abgestimmt
- Als besonders hilfreiche Methodik für die Stratifizierung der neuen Bohrungen erwies sich die Untersuchung mittels Gamma-Ray-Log.
- Im Ergebnis der Untersuchungen an den neuen Bohrkernen wurde beschlossen, die Kartiereinheit **Volpriehausen-Wechselfolge (smVW)** aus der bestehenden GK25 im Zuge der hier vorgelegten Aktualisierung und Fortschreibung in **einen oberen, sandigen Teil (smVW2) und einen unteren, tonigen Teil (smVW1) zu untergliedern.**
- Die neuen Daten liefern starke Indizien dafür, dass die in der **bisherigen** GK25 ausgewiesene **Störung Nr. 17** im Norden der ESTA-Rückstandshalde Hattorf nicht in der bisher angenommenen Form existiert. Diese Störung wurde im Rahmen der Fortschreibung und Aktualisierung der GK25 **gekürzt.**
- Die durchgeführten Änderungen machten eine Neuinterpretation von Aufschlüssen und Lesesteinen aus dem Bereich Ochsengraben notwendig.



AKVO GmbH · 10115 Berlin · Torstraße 177 · www.akvo.de

K+S Minerals and Agriculture GmbH

Postfach 102029

34111 Kassel

Ihr Zeichen:

Ihre Nachricht vom:

Unsere Zeichen: P_22_2020

Unsere Nachricht vom:

Bearbeiter: Dr. rer. nat. Sören Wilke

Telefon: 030 / 398 77 015

Fax: 030 / 308 736 53

E-Mail: s.wilke@akvo.de

Datum: 28.05.2021

Projekt: Geologisches, Hydrogeologisches und Numerisches Modell für das Umfeld der Produktions- und Haldenstandorte des Werkes Werra

Teilgebiet 1: Hattorf/Unterbreizbach

Bericht: Erläuterungen zur aktualisierten geologischen Karte 1 : 25.000 (GK25) des Produktions- und Haldenstandortes Werk Werra, Teilgebiet Hattorf/Unterbreizbach, der K+S Minerals and Agriculture GmbH

AKVO GmbH

Handelsregister

Geschäftsführer

Bankverbindung

Torstraße 177

Amtsgericht

Dipl.-Ing. Volker Jungk

Commerzbank Berlin (West)

10115 Berlin

Berlin-Charlottenburg

IBAN: DE30 1004 0000 0107 9110 00

HRB 117254

BIC: COBADEFFXXX

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass, Aufgabenstellung.....	9
2	Einleitung	11
3	Stratigraphie	16
4	Ausgangssituation.....	27
4.1	Bohrungen.....	27
4.2	Reflexionsseismik	28
4.3	Hubschrauberelektromagnetik (HEM) und Transientelektromagnetik (TEM).....	35
4.4	Radiometrie.....	36
4.5	Bohrlochgeophysik.....	38
4.6	Geoelektrik	40
4.7	Schürfe	41
4.8	Geologische Kartierungen	41
4.9	Zusätzliche Daten.....	46
5	Methodik.....	47
5.1	Vereinheitlichung der Kartiereinheiten.....	47
5.2	Aktualisierung der GK25.....	51
6	Ergebnisse.....	52
6.1	Kartiereinheiten im Modellgebiet.....	52
6.2	Räumliche Verbreitung der Kartiereinheiten im Modellgebiet	55
6.3	Morphologisch-geologische Situation im Bereich des Höhenrückens der Stöckig- Ruppershöhe	57
6.4	Tektonik.....	58
6.4.1	Störungen	60
6.4.2	Klüfte.....	72
6.4.3	Subrosion	73
7	Übersichtsdarstellung und Zusammenfassung	75
	Literaturverzeichnis.....	78

Abbildungsverzeichnis:

- Abbildung 1: Geographische Lage des Modellgebiets (umrandet durch den inneren blauen Rahmen). Topographische Karte im Hintergrund vom BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (2013). 13
- Abbildung 2: Übersicht der verwendeten Flächenbereiche der herangezogenen Karten sowie Schwerpunkte der Geländearbeiten 2016 – 2017 im Rahmen der Modellaktualisierung. Im Hintergrund topographische Karte (TÜK200; BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE, 2013). 15
- Abbildung 3: Beziehung seismischer Reflexionsprofile zu Oberflächenkartierung am Beispiel von Profil 43 [U35] am Grasberg auf GK25 Blatt 5225 Geisa. Im Profilschnitt bezeichnet Reflektor x den Plattendolomit, Reflektor y wird als Basis der Werra-Salze interpretiert. 29
- Abbildung 4: Aus den radiometrischen Messungen berechnete Kaliumkonzentrationen im Nordwesten des Modellgebietes. 36
- Abbildung 5: Ausschnitt aus der GK25 Friedewald überlagert mit Abb. 42 aus [U59]. Die roten Pfeile zeigen Waldwege, welche fast genau den postulierten Geländestufen (gelbe Linien) entsprechen. In anderen Fällen (grüne Pfeile), wo die Geländestufen nicht dem Wegenetz folgen, bestätigen diese die kartierten Grenzen. 61
- Abbildung 6: Stilisierter Profilschnitt bei Hochwert 5633760 (EPSG = 31467) mit Bohrmarkern der neuen Kernbohrungen, Regressionsgeraden als hypothetischem Schichtverlauf und Schnittflächen der ehemals postulierten Gabelstörung 17 (schwarz-gestrichelte Linie). 64
- Abbildung 7: Die Subrosionssenke von Unterbreizbach. Blickrichtung nach Norden. 72

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1:	Übersicht ermittelter Mächtigkeiten im Buntsandstein in der Literatur.....	18
Tabelle 2:	Übersicht ermittelter Mächtigkeiten im Buntsandstein in den Bohrungen im Modellgebiet.....	19
Tabelle 3:	Übersicht der aus den reflexionsseismischen Profilen ermittelten Störungsindikatoren (Schnittpunkte einer Störung mit der Geländeoberkante, vgl. Anlage 7); Erläuterungen zur Vorgehensweise im Text.....	31
Tabelle 4:	Änderungen der Einstufung der Fundpunkte Ochsengraben.....	44
Tabelle 5:	Aktuelle und ältere Bezeichnungen der Einheiten des Mittleren Buntsandstein (unter Verwendung von [U56]).	47
Tabelle 6:	Übersicht der Gliederung des Röt bei verschiedenen Bearbeitern. Die hier vorgeschlagene Korrelation ist mit Grautönen hinterlegt (siehe Erläuterungen im Text).....	50
Tabelle 7:	Datengrundlage und Bezeichnung sowie Kurzbezeichnung (nach SEP-3, 6. Auflage, 2013) der Kartiereinheiten des Modellgebiets.....	53
Tabelle 8:	Übersicht über die Störungen im Modellgebiet (vgl. Anlage 4.1).....	67

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Schichtenverzeichnis der genutzten Bohrungen (nur digital)
Anlage 2:	Detailbeschreibung von Aufschlüssen
Anlage 3:	Tabellarische Beschreibung aller Fundpunkte
Anlage 4-1:	Tektonische Karte
Anlage 4-2:	Vereinfachte Tektonische Karte mit repräsentativen Klüftrosen
Anlage 5:	Geologische Karte
Anlage 6:	Quartär-abgedeckte Geologische Karte
Anlage 7:	Lageplan Reflexionsseismik und Geoelektrik

Abkürzungsverzeichnis

BR	Brunnen
GIS	Geoinformationssystem
GK25	geologischen Karte im Maßstab 1:25.000
GOK	Geländeoberkante
GWM	Grundwassermessstelle
HEM	Hubschrauberelektromagnetik
INK	Inklinometerbohrung
SV	Schichtenverzeichnis
TEM	Transientenelektromagnetik

1 Anlass, Aufgabenstellung

Die K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Werra plant am Standort Hattorf im Rahmen des Rückstandsmanagements die erneute Erweiterung der ESTA-Rückstandshalde Hattorf (ESTA: Elektrostatische Aufbereitung). Bereits im Rahmen früherer Erweiterungen, bzw. der in diesem Zusammenhang notwendigen Genehmigungsverfahren, wurden für den Standort Hattorf ein geologisches 3D-Modell und ein hydrogeologisches Strukturmodell erarbeitet.

Als Ausgangsbasis der Erarbeitung der genannten Modelle war 2012 in einem ersten Schritt die Erstellung einer geologischen Karte im Maßstab 1:25.000 (im Folgenden als GK25 bezeichnet) im ostthessischen und westthüringischen Werra-Kaligebiet notwendig, dessen Erstellung mit dem Bericht zur geologischen Kartierung [U1] dokumentiert wurde.

Im Zeitraum von 2013 bis 2017 waren im Rahmen von Baugrunderkundungen, Instandsetzungen und Neueinrichtungen von Grundwassermessstellen zur Erweiterung des vorhandenen Monitorings sowie weiteren geologisch-hydrogeologischen Untersuchungen im Umfeld der Halden des Standortes Hattorf umfangreiche zusätzliche Erkenntnisse über das Untersuchungsgebiet gewonnen worden, die zum Zeitpunkt der ursprünglichen Erstellung der GK25 [U1] (Stand: 01/2014) noch nicht verfügbar waren. Aufgrund der Vielzahl und der hohen Relevanz der neu verfügbaren Daten wurde Jungk Consult GmbH daher in 2017 mit einer ersten Aktualisierung und Fortschreibung der GK25 beauftragt. Das Ergebnis dieser ersten Fortschreibung und Aktualisierung liegt als [U2] vor. Die Umsetzung erfolgte in enger Rückkopplung mit dem zeitgleich ebenfalls fortgeschriebenen und aktualisierten geologischen 3D-Modell des Standortes [U3], um die gegenseitige Konsistenz herzustellen.

Seit Redaktionsschluss der [U2] konnten im Zielgebiet erneut umfangreiche neue Erkenntnisse aus Baugrunderkundungen, Instandsetzungen und Neueinrichtungen von Grundwassermessstellen gewonnen werden. Die AKVO GmbH (ehem. Jungk Consult GmbH) wurde daher mit einer erneuten Fortschreibung und Aktualisierung der geologischen Karte (dieser Be-

richt) und, in erneut enger Ankoppelung, des geologischen 3D-Modells [U4] beauftragt. Wesentliche Änderungen gegenüber der Vorgängerkarte [U2] ergeben sich vor allem in Bezug auf die folgenden Sachverhalte:

- Errichtung von 20 neuen GWM im Nordwesten der ESTA-Rückstandshalde Hattorf
- In diesem Zusammenhang: Vereinheitlichung der Stratifizierung von Schichtenverzeichnissen mit Hilfe von Gamma-Ray-Logs in enger Abstimmung mit dem HLNUG [U5], [U6], [U7]
- In der Folge: Unterteilung der Kartiereinheit Volpriehausen-Wechselfolge (smVW) in einen oberen, sandigen Teil smVW2 und einen unteren, tonigen Teil smVW1
- In Konsequenz daraus: Aktualisierung der Interpretation von Schichtenverzeichnissen bestehender Bohrung im näheren Umfeld der neuen GWM
- Errichtung von 3 neuen GWM im Bereich Stöckig-Ruppershöhe zur weiteren Untersuchung der Ausbreitung des dort lokal auftretenden Röt-Vorkomens

2 Einleitung

Zur Erstellung der ursprünglichen GK25 in 2013 [U1] wurde auf Datensätze der geologischen Landesämter HLUG (heute HLNUG: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) und TLUG (heute TLUBN: Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz) zurückgegriffen. Vom Auftraggeber wurde ein Modellgebiet (Abbildung 1) bestehend aus Flächenbereichen der folgenden vier amtlichen GK25 festgelegt (Abbildung 2):

- LÜTZNER, ELLENBERG, FALK u. GRUMBT (1961–66, 1976, 1978): Blatt 5226 Stadtlengsfeld. – [In:] THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE (Hrsg.): Geologische Karte von Thüringen 1:25.000, 3. neu bearbeitete Auflage, Weimar, 1997; [U8]
- LÜTZNER, GRUMBT, ELLENBERG, REDLICH (1961–1966, 1998): Blatt 5126 Vacha. – [In:] THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE (Hrsg.): Geologische Karte von Thüringen 1:25.000, 3. neu bearbeitete Auflage, Weimar, 2000; [U9]
- LAEMMLEN (1969–1972) u. KOENEN (1876–1880): Blatt 5225 Geisa. – [In:] HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.): Geologische Karte von Hessen 1:25.000, 2., neu bearbeitete Auflage, Wiesbaden, 1975; [U10]
- BÜCKING (1921): Friedewald. – [In:] HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.): Behelfsausgabe der Geologischen Karte von Hessen 1:25.000, Faksimilierter Nachdruck der 2. Auflage, erschienen 1927, Blatt 5125 Friedewald, Wiesbaden, 1992; [U11]

Zusätzlich einbezogen wurden Flächenbereiche folgender, bereits existierender Manuskriptkarten, die vom Auftraggeber bzw. den jeweiligen Landesämtern zur Verfügung gestellt wurden:

- FALK, GRUMBT, LÜTZNER u.a. (1961–1963 u. 1976): Grubenfeld Unterbreizbach, Geologische Karte M 1:25.000; [U12]
- ELLENBERG, GRUMBT u. LÜTZNER (1961–63): Vacha, 1:25.000; [U13]
- LANGE (1959): Werk Hattorf, Geologische Karte der Reservefelder, M. 1:25.000. – Salzdetfurth A.-G. Hannover; [U14]
- ELLENBERG, FALK, GRUMBT u. LÜTZNER (1976): Geologische Kartierung Werra-gebiet 1976 Mbl. Geisa (5225) NE-Teil M. 1:10.000. – AdW Zentralinstitut für Physik der Erde, Jena; [U15]
- LEISTER (1988): Geologie des Landecker-Bergs. Geologische Karte 1:10.000, Auszug aus: 5125 Friedewald, Gießen 1988. – Archiv Hessisches Landesamt für Bodenforschung; [U16]
- LOHMANN (unveröffentlicht): Geologische Kartierung des Schürffeldes Treischfeld, Blatt 5225 Geisa. – Archiv Hessisches Landesamt für Bodenforschung; [U17]
- HERZBERG, HOCHSCHEID, PAUL (1996): Geologische Karte 1:10.000, Ausschnitt aus TK25 5225 Geisa, Gießen 1996. – Archiv Hessisches Landesamt für Bodenforschung; [U18]
- LAEMMLEN (1977): Lageplan mit Geologie (abgedeckt) u. Schürfen, 1:5.000, Anl. 2. – [In:] FINKENWIRTH, LAEMMLEN, PRINZ (1977): Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung über die Erweiterung der Rückstandshalde des Kaliwerkes Hattorf, Philippsthal (Werra), Kreis Hersfeld-Rotenburg, TK25 Blatt 5125 Friedewald. [U19]

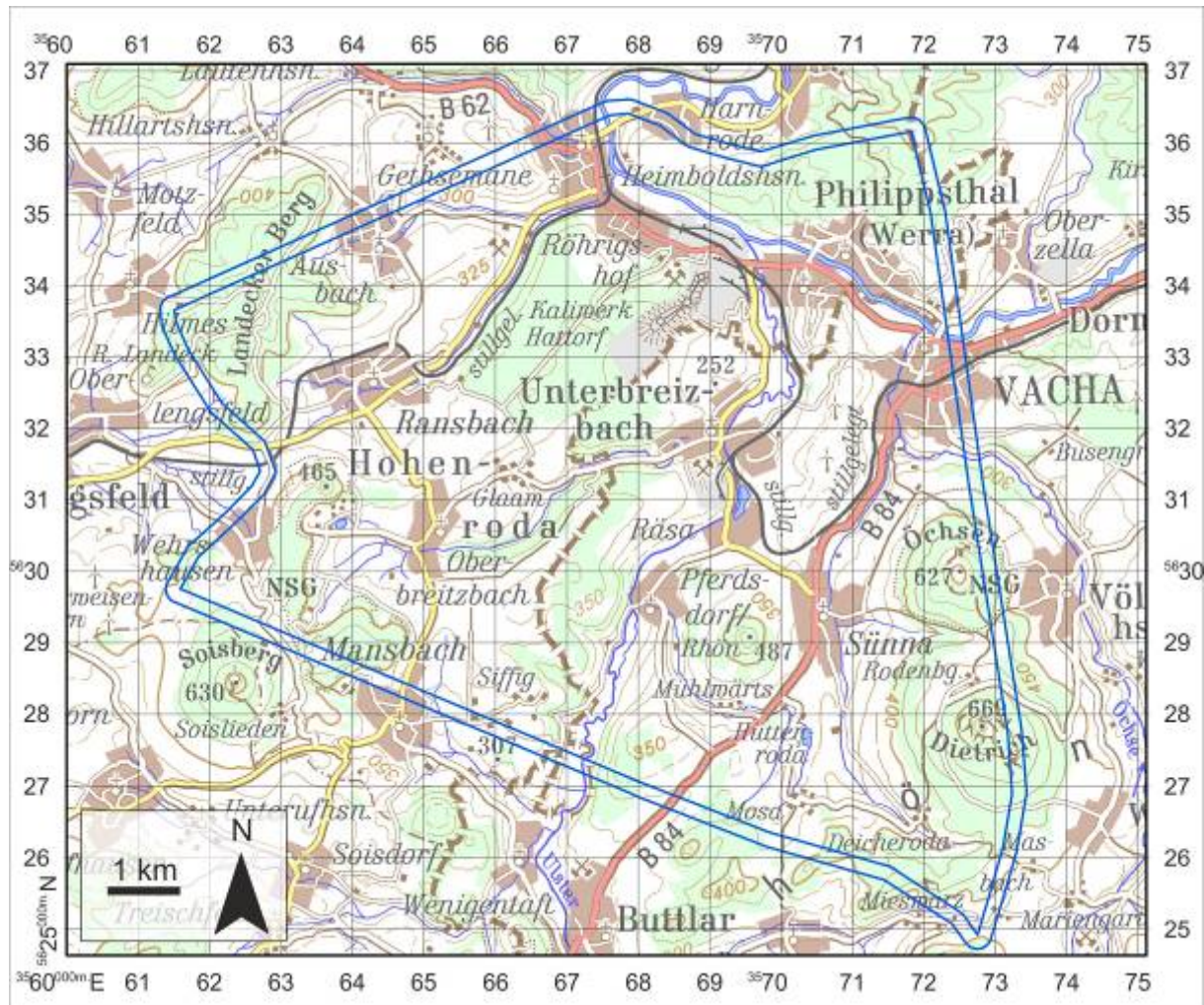


Abbildung 1: Geographische Lage des Modellgebiets (umrandet durch den inneren blauen Rahmen). Topographische Karte im Hintergrund vom BUNDES-AMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (2013).

Voraussetzung für die ursprüngliche Erstellung der GK25 war die Überprüfung auf Plausibilität der o.g. Karten im Bereich des Modellgebiets (Abbildung 2). Diese Prüfung diente der Beseitigung offensichtlicher Unstimmigkeiten zwischen aneinandergrenzenden Kartenblättern bzw. sich überlagernden Kartierungen, die durch unterschiedliche Kartierungskonzepte und voneinander abweichenden stratigraphischen Gliederungen der jeweiligen Bearbeiter

entstanden waren. Dazu wurden vom 29. April bis 5. Mai 2013 durch Dipl.-Geol. Andreas Brosig und Dipl.-Geol. Frank Scholze (TU Bergakademie Freiberg) geologische Neukartierungen im Bereich der ehemaligen DDR/BRD-Staatsgrenze durchgeführt (vergleiche Abbildung 2 sowie Anlagen 2 und 3).

In die erste Aktualisierung und Fortschreibung der GK25 [U2] flossen neben zusätzlichen Aufschlüssen, hydrogeologischen Untersuchungen und Unterlagen zusätzlich auch Erkenntnisse aus Geländearbeiten von Dipl.-Geol. Andreas Brosig und Dipl.-Geol. Dr. Matthias Zippel zu zwei weiteren Terminen in den Zeiträumen 28.06. bis 30.06.2016 sowie 13.06. bis 16.06.2017 (vergleiche Anlagen 2 und 3) ein.

Das Modellgebiet ist in Abbildung 1 dargestellt und wird wie folgt abgegrenzt: nach Norden durch den Werrabogen zwischen Philippsthal und Harnrode; nach Nordwesten und Westen durch die Ortschaft Ausbach und den Landecker Berg; nach Südwesten und Süden durch Wehrshausen und Mansbach; nach Osten durch den Dietrichsberg und Vacha. Die Gesamtfläche des Modellgebiets beträgt 94,4 km².

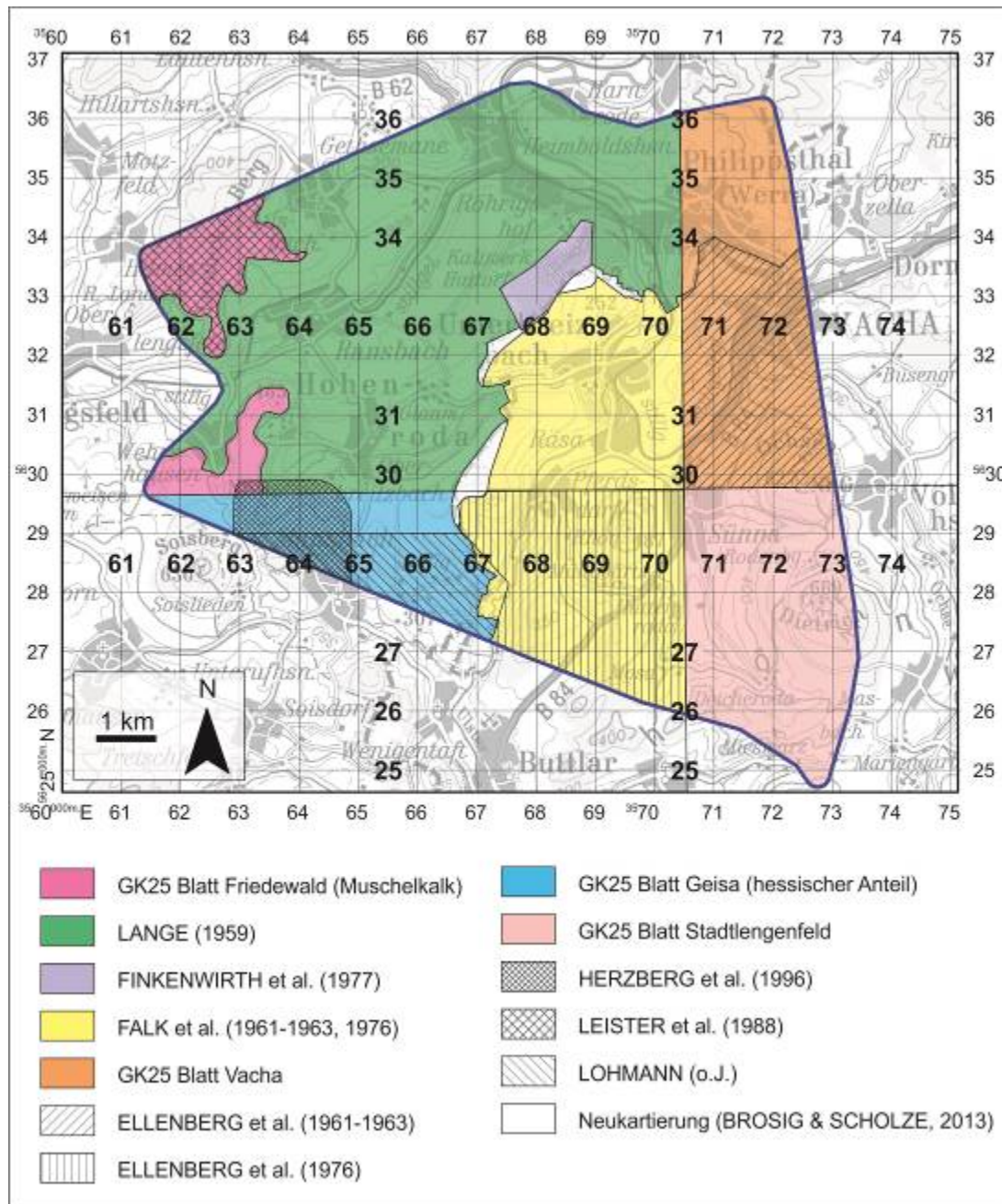


Abbildung 2: Übersicht der verwendeten Flächenbereiche der herangezogenen Karten sowie Schwerpunkte der Geländearbeiten 2016 – 2017 im Rahmen der Modellaktualisierung. Im Hintergrund topographische Karte (TÜK200; BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE, 2013).

3 Stratigraphie

Als lithostratigraphische Einheiten sind im Modellgebiet Unterer Buntsandstein (Bernburg-Formation; die Calvörde-Formation ist nicht aufgeschlossen), Mittlerer Buntsandstein, Oberer Buntsandstein und Muschelkalk flächenkartierbar. Weiterhin sind känozoische Einheiten, im Modellgebiet v.a. durch tertiäre Basalte und untergeordnet tertiäre Lockersedimente sowie quartäre Lockersedimente vertreten, flächenhaft kartierbar.

Die hier verwendeten stratigraphischen Termini entsprechen auftragsgemäß dem „SEP-3“-Symbolschlüssel Geologie (LBEG, 2015). Für den Buntsandstein waren Anpassungen notwendig. In früheren Kartierungen wurde der Untere Buntsandstein (su) unterschiedlich definiert, auf Blatt Stadtlengsfeld (ehemals Lengsfeld; KOENEN, 1874 u. 1875 & BÜCKING et al, 1926 [U20]) als su mit dem Bröckelschiefer su1 und einem nicht mit Signatur versehenen „feinkörnigen Buntsandstein“, auf Blatt Vacha (KOENEN, BÜCKING, 1920 & FULDA, 1924 [U21]) als Bröckelschiefer (su1) und feinkörniger Sandstein (su2) und auf Blatt Friedewald (KOENEN, BÜCKING & DIETZ, 1926 [U22]) als „Unterer oder feinkörniger Buntsandstein (su)“ mit einer „unteren Abteilung“ Bröckelschiefer (su1). Davon abweichend gliederte LAEMMLEN (1975, [U23]) für das Blatt Geisa in Hessen den Unteren Buntsandstein von unten nach oben in Bröckelschiefer-, Gelnhausen- und Salmünster-Folge. Parallel fanden in Ostdeutschland auch Begriffe wie Übergangs- (su1), Nordhausen- (su2) und Bernburg-Folge (su3) bzw. Bröckelschiefer, Untere und Obere Folge Anwendung (z.B. SCHULZE, 1969, [U24]; TGL 25234/11, 1974, [U25]). Mit dem Ziel einer besseren Vergleichbarkeit sowie Vereinheitlichung der verschiedenen Begriffe wurde per Beschluss der Subkommission Perm-Trias der Untere Buntsandstein von unten nach oben in Calvörde- (suC) und Bernburg-Folge (suB) zweigeteilt sowie der Bröckelschiefer in den oberen Teil des Zechsteins eingegliedert (LEPPER, 1993, [U26]). Nach KÄDING (2000, [U27]) wurde der Bröckelschiefer in die sog. Fulda-Folge (z7) umbenannt. Ebenso wird in jüngeren Arbeiten aus Gründen der Vereinheitlichung zunehmend der Begriff „Folge“ durch „Formation“ ersetzt.

Der Mittlere Buntsandstein wurde im Modellgebiet von früheren Bearbeitern der Blätter Stadtlengsfeld [U20], Vacha [U21] und Friedewald [U22] lediglich in Bausandstein und Thüringer Chirotheriensandstein bzw. Chirotheriensandstein-Äquivalente unterteilt. Ein Aushalten der Volpriehausen-, Detfurth-, Hardeggen- und Solling-Formation erfolgte erstmals in den Erläuterungen der Blätter Geisa [U23] und Vacha [U28].

Nachfolgend werden die stratigraphischen Einheiten des Modellgebiets kurz beschrieben. Ausführliche Darstellungen der Lithologie und stratigraphischen Feingliederung sind in den Erläuterungen zur GK25 Blatt Geisa [U23] zu finden. Verschiedene Bearbeiter geben unterschiedliche Werte für die Mächtigkeiten der Kartiereinheiten an (Tabelle 1). Dabei ist zu beachten, dass sich die Angaben auf das jeweilige Gesamt-Modellgebiet der Messtischblätter beziehen und daher nicht unbedingt für die hier betrachteten Teilbereiche dieser Gebiete repräsentativ sind.

Im Rahmen der Erstellung und der Aktualisierung der GK25 und des geologischen 3D-Modells [U4] wurden die Bohrungen im Modellgebiet (vergleiche Anlage 1) ausgewertet. Die daraus gewonnenen Daten zu den Mächtigkeiten der Kartiereinheiten im Buntsandstein sind neben den Angaben der amtlichen Karten Grundlage der Mächtigkeitstafel für das Modellgebiet (Tabelle 2; siehe auch Anlagen 5 und 6).

Tabelle 1: Übersicht ermittelter Mächtigkeiten im Buntsandstein in der Literatur

Einheit	Kartierungen					
	LANGE & KÄDING	LÜTZNER	Mächtig- keitstafel	Mächtig- keitstafel	LAEMMLEN (1975)	LÜTZNER et al.
	(1961)	(unpubl.)	GK25 Vacha	GK25 Stadt- lengsfeld	GK25 Geisa	(1976)
	Mächtigkeit in Metern					
Röt			105	88–155	96–140	90–123
smTC		10–12			8–10	
smS	20–25	30–37	35–37	30–32	17–28	20–27
smHW	30–40	15–30	15–30	15–25	27–35	10–25
smHS	15–20	20–25	25–30	20–25	10	15–25
smDW	50	10–40	10–40	0–30	30–40	0–25
smDS	15–20	10–30	12–30	10–20	20	20
smVW	70–75	40–65	40–65	60–65	85–95	60
smVS	25–30	40–50	45	40–45	25–30	45
suB	100–110	130–170	135–190	130–150		
suC		140–160	90–240	140–160		

Tabelle 2: Übersicht ermittelter Mächtigkeiten im Buntsandstein in den Bohrungen im Modellgebiet

Einheit	Spanne der Mächtigkeiten [m]	Minimum erbohrt in	Maximum erbohrt in
so	137,5-151,0	Ufhausen 1 (K+S-Nr.: 511)	Rodenberg 1 (K+S-Nr.: 637)
smTC	5,4-13,3	GWM 86/2020 HA (K+S-Nr.: 9795)	GWM 58/2016 HA (K+S-Nr.: 8717)
smSS	8,0-16,6	GWM 12 (K+S-Nr.: 1090)	Inklinometer 12 Halde HA (K+S-Nr.: 939)
smHW	13,0-34,9	Ausbach 2/2010 (z3) (K+S-Nr.: 936)	GWM 65/2018 HA (K+S-Nr.: 9287)
smHS	5,0-19,0	Treischfeld 1 (K+S-Nr.: 219)	Ausbach 2/2010 (z3) (K+S-Nr.: 936)
smDW	17,4-44,2	Sünna 3 (K+S-Nr.: 447)	Hy Oberbreitzbach II/64 (K+S-Nr.: 1368)
smDS	8,0-40,0	Hy Unterbreitzbach 5/74 (K+S-Nr.: 1060)	Wehrshausen 1 (K+S-Nr.: 273)
smVW2	41,8-45,2	GWM 72/2018 HA (K+S-Nr.: 9638)	GWM 80/2018 HA (K+S-Nr.: 9646)
smVW1	n.m.*	keine*	keine*
smVS	16,0-48,7	Hy Hattorf 1/60 (K+S-Nr.: 1366)	Mansbach 3/2014 (su) (K+S-Nr.: 5920)
suB	104,0-180,0	Mansbach 1 (K+S-Nr.: 210)	Vacha 4 (K+S-Nr.: 197)
suC	149,5-235,0	Schorngraben 3 (K+S-Nr.: 452)	Schluckbrunnen Hattorf 2 (K+S-Nr.: 191)

*Die Einheit des smVW2 wurde für die Aktualisierung und Fortschreibung des geologischen 3D-Modells [U4] neu ausgewiesen und nur für Bohrungen festgelegt, die im Rahmen dieser Arbeiten erst- oder neu-klassifiziert wurden. Keine dieser Bohrungen, in denen eine Durchteufung des smVW2 ausgewiesen wurde, hat jedoch zusätzlich auch die Basis des smVW1 durchteuft. Umgekehrt ist in keiner Bohrung die die Basis des smVW1 (ehemals smVW) durchteuft hat die Grenze zum smVW2 bestimmt worden, so dass eine Bestimmung der Mächtigkeit des smVW1 formal nicht möglich ist. Basierend auf den Mächtigkeiten des gesamten smVW und denen des smVW2, kann man jedoch von einer Mächtigkeit für den smVW1 im Bereich von 45-48 m ausgehen.

Bernburg-Formation (suB): Die Bernburg-Formation lässt eine deutliche Zweiteilung erkennen. Ihr unterer Teil besteht aus dem überwiegend feinkörnigen Bernburg-Sandstein (suBS). Die blassroten, dick- bis dünnbankigen Sandsteine zeichnen sich durch mittel- bis kleindimensionale Schrägschichtungen sowie Strömungsrippeln, Flaser- bis Linsenschichtung und horizontale Feinschichtung aus [U28].

Hiervon unterscheidet sich der als Bernburg-Wechselfolge (suBW) bezeichnete obere Teil der Formation durch zum Hangenden zunehmende Anteile an Tonlagen und roten bis stellenweise violett-roten, dünnplattigen Sandsteinen [U28].

Volpriehausen-Formation (smV): Die Volpriehausen-Formation wurde in den früheren Arbeiten [U1], [U2] ebenfalls in zwei Untereinheiten, einen Sandstein (smVS) im Liegenden und eine Wechselfolge (smVW) im Hangenden, unterteilt. Für die hier vorgelegte Fortschreibung und Aktualisierung der geologischen Karte wurde in Übereinstimmung mit [U6], [U5] und [U4] eine weitere Unterteilung der Wechselfolge smVW in die Schichten smVW2 im Hangenden und smVW1 im Liegenden vorgenommen, so dass die Volpriehausen-Formation sich nun aus insgesamt drei Schichten zusammensetzt (siehe Tabelle 2).

Generell zeichnen sich die Schichten der Volpriehausen-Wechselfolge durch das Auftreten von hellrot bis kräftig rot gefärbten, plattigen bis bankigen, häufig quarzitisches zementierten Fein- bis Mittelsandsteinen, untergeordnet auch Grobsandsteinen, mit Horizontalschichtung aus [U23]. In Folge sekundärer Entfärbungen zeigen sich in den sandigen Bereichen vielfach rotweiße Bänderungen, Streifungen oder Flecken [U23]. Oft schalten sich in die Sandsteine rote, feinsandige Ton- und Schluffsteine ein, welche in der Regel nicht mächtiger als 15 cm sind [U23].

Die Unterteilung der smVW in die Hangende smVW2 und die liegende smVW1 erfolgte auf Basis von Gamma-Ray-Log-Untersuchungen an Bohrkernen [U5]–[U7]. Demnach zeigt sich innerhalb der smVW ein markanter Übergang im Niveau der gemessenen Gammastrahlung [U6]. Dieser in [U6] als Markerpunkt II bezeichnete Anstieg im Strahlungsniveau hin zu größeren Teufen wird als Zunahme des Tongehaltes interpretiert [U5]. Höhere Tongehalte sind demnach auch das postulierte lithologische Unterscheidungsmerkmal zwischen smVW2 und smVW1. Die Grenze zwischen smVW2 und

smVW1 wurde in den folgenden Bohrungen identifiziert (vergleiche [U6]) und entsprechend in [U4] berücksichtigt:

GWM 3 (K+S-Nr.: 1387), GWM 5 (K+S-Nr.: 1545), GWM 29/2012 HA (K+S-Nr.: 5225), GWM 45/2015 HA (K+S-Nr.: 8389), GWM 57/2016 HA (K+S-Nr.: 8716), GWM 66/2018 HA (K+S-Nr.: 9632), GWM 69/2018 HA (K+S-Nr.: 9635), GWM 72/2018 HA (K+S-Nr.: 9638), GWM 75/2018 HA (K+S-Nr.: 9641), GWM 80/2018 HA (K+S-Nr.: 9646), GWM 83/2018 HA (K+S-Nr.: 9649)

Der Volpriehausen-Sandstein (smVS) zeichnet sich durch blaßrotbraune bis rotbraune und gelblich-braune Mittel- bis Grobsandsteine aus, welche bis zu 2,5 mm große, gut gerundete und mattierte Körner enthalten [U23]. Diese bestehen überwiegend aus Quarz, während Glimmer und oft schon stark zersetzte Feldspäte untergeordnet vertreten sind [U23]. Die Sandsteinbänke führen Tongerölle und lassen überwiegend eine Schrägschichtung erkennen [U28]. Ton- und Schluffsteine kommen als wenige Zentimeter mächtige Zwischenlagen vor [U23].

Detfurth-Formation (smD): Den unteren Teil dieser Formation bildet der Detfurth-Sandstein (smDS), welcher an seiner Basis hauptsächlich aus gut sortierten Mittel- bis Grobsandsteinen besteht [U28]. In den gröberkörnigen Bänken treten 2–3 mm große, milchige Quarzkörner oft in großer Zahl auf. In manchen Lagen der unteren Hälfte sind auch vereinzelt bis zu 5 mm große, schlecht gerundete Quarzklasten vorhanden [U23]. Die feldspatreichen, meist tonig-ferritisch zementierten Sandsteine sind nur schwach verfestigt bzw. können bei quarzitischer Zementierung ein charakteristisches Reflektieren im Sonnenlicht zeigen [U23]. Zusätzlich sind braune Eisenoxidflecken weit verbreitet [U23].

Die sich im Hangenden anschließende Detfurth-Wechselfolge (smDW) besteht aus Sand-, Schluff- und Tonsteinen. Insgesamt dominieren Fein- bis Grobsandsteine, welche sich durch markant bunte Verwitterungsfarben wie rosa, rot, rotviolett, blaßviolett und weiß auszeichnen [U28]. Sehr häufig sind Farbbänderung oder -streifung [U28]. Die meist tonig-ferritisch zementierten Sandsteine zeigen häufig Sedimentstrukturen wie Rippeln und Netzleisten [U23]. In Wechsellagerung treten geringmächtige rotbraune, z.T. feinsandige Ton- und Schluffsteinlagen auf [U23].

Hardeggen-Formation (smH): Die Hardeggen-Formation ist ebenfalls in einen Sandstein und in eine hangende Wechselfolge zweigeteilt. Der Hardeggen-Sandstein (smHS) besteht aus meist stark

schräggeschichteten, blassen, gelblichroten bis weißlichgelben und auch rosavioletten Mittel- und Grobsandsteinen sowie geringmächtigen roten und grauen Ton- und Schluffsteinlagen [U23]. Markant sind rote bis braunrote, opake Quarzkörner sowie eine auffällig gute Kornsortierung [U23]. Zusätzlich treten häufig Tonsteinklasten [U28] oder einzelne bis zu 2 mm große, sehr gut gerundete, mattierte Quarzkörner sowie bis zu 4 mm große Quarzgerölle [U23] 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 [U23], [U28].

Der Unterschied der mittleren Korngrößen zwischen dem Sandsteinglied und der Wechselfolge fällt in der Hardeggen-Formation weit geringer als in den Volpriehausen- und Detfurth-Formationen aus [U28]. Die Hardeggen-Wechselfolge (smHW) enthält vor allem rötliche und blassrotbraune bis violette, z.T. gelblichbraun bis gelblichweiß gefleckte oder gebänderte Fein- bis Mittelsandsteine, aber auch Grobsandsteinhorizonte [U23]. Die plattigen bis dünnbankigen Sandsteine treten in Wechselagerung mit feinsandigen Ton- und Schluffsteinlagen auf [U23]. Als besonderes Merkmal der Sandsteine dienen gut gerundete, oft rot gefärbte Quarzkörner [U23]. Zemente sind überwiegend tonig-ferritisch, infolge sekundärer Einkieselung ist auch quarzitischer Zement in wechselnden Anteilen vorhanden [U23], [U28].

Solling-Formation (smS): Der basale Teil der Solling-Formation besteht aus rotbraunen Mittel- bis Grobsandsteinen mit typischen hellbraunen, gelbbraunen und blaßroten Verwitterungsfarben [U28]. Auf Blatt Geisa besteht nach [U23] zu den unmittelbar unterlagernden Gesteinen der Hardeggen-Wechselfolge lithologisch kein sehr großer Unterschied. Jedoch sind besonders die Sandsteine nahe der Basis oft durch schlechte Sortierung, das Vorkommen von Glimmern und vereinzelt auch durch 0,5 bis 3 cm große Gerölle charakterisiert [U23]. Der auf Blatt Geisa 9–18 m mächtige Solling-Sandstein (smSS; auch Solling-Bausandstein genannt) tritt im Gelände durch morphologisch steile Anstiege in Erscheinung [U23]. Bei geringer tonig-ferritischer Zementierung ist der Sandstein schwach verfestigt [U28]. Vereinzelt treten grüne, violette und rotbraune Ton- und Schluffsteinlagen in Form von 5–10 cm, max. 20 cm mächtigen Linsen auf [U23].

Darüber schließt sich der Thüringer Chirotheriensandstein (smTC) an. Namensgebend hierfür sind lokal häufige Vorkommen von Chirotherium-Fährten. Es handelt sich um einen weißen und weiß-grauen, z.T. auch grauioletten, überwiegend mittel-, selten feinkörnigen Sandstein [U23], welcher das oberste Schichtglied des Mittleren Buntsandstein repräsentiert. Der Thüringer Chirotheriensandstein ist partiell karbonatisch und quarzitisch zementiert sowie intern klein- bis mitteldimensional schräggeschichtet [U28]. Die Mächtigkeit beträgt zwischen 8 und 12 m [U23], [U28].

Röt-Formation (so): Die Mächtigkeit des Röts schwankt je nach Intensität der lokalen Subrosion (vgl. Tabelle 1). Die Röt-Abfolge beinhaltet von unten nach oben folgende Schichtglieder [U28]: Unterer Rötton, Röt-Plattensandstein, Mittlerer Rötton, Rötquarzit, Obere Röttonsteine mit Myophorienschichten. Im Modellgebiet sind vor allem Rötquarzite als Lesesteine in Form von kantigen, hell-grauen, quarzitisch zementierten Feinsandsteinen charakteristisch. Das Röt bleibt in der vorliegenden Arbeit ungegliedert.

Muschelkalk (m): Der Untere, Mittlere und Obere Muschelkalk (mu, mm und mo) wird im Modellgebiet durch die folgenden Schichtglieder vom Liegenden zum Hangenden aufgebaut [U23]: Unterer Wellenkalk (muWU), Oolithzone (muO), Mittlerer Wellenkalk (muWM), Terebratelzone (muT), Oberer Wellenkalk (muWO), Schaumkalkzone (muS), Mittlerer Muschelkalk (mm, inklusive orbicularis-Schichten muOr, da diese auf den anderen vorhandenen Karten nicht gesondert ausgehalten werden), Trochitenkalk (moT) und Ceratitenschichten (moC). Eine detaillierte Darstellung zur Lithologie und Feinstratigraphie im Modellgebiet gibt [U23]. Mit Ausnahme kleinerer Bereiche am Öchsen- und Dietrichsberg sowie dem Soisberg dominieren im Modellgebiet die Ausstrichflächen des Unteren Muschelkalk, dessen Mächtigkeit auf Blatt Geisa 80–82 m beträgt [U23], auf Blatt Stadtlengsfeld werden rund 80–90 m erreicht. Der Wellenkalk zeichnet sich im Modellgebiet vor allem durch markant flaserig ausgebildete, graue Mergel- und Kalksteine aus [U23]. Der Untere Wellenkalk beginnt mit dem rund einen Meter mächtigen Grenzgelbkalk, einem dolomitischen Kalkstein. Des Weiteren sind auf verschiedenen Niveaus Schilllagen und Konglomerat-Kalksteine anzutreffen. Die sich im Hangenden anschließende Oolithzone besteht aus den Oolithbänken α und β , zwischen denen sich der nur schwach wellig geschichtete Bröckelkalkstein befindet. Die Oolithbänke selbst sind dünnbankige bis

plattige, mitunter rostfleckige, gelbliche Oolithkalksteine, verschiedentlich mit fossil- und kalkgeröllführenden Lagen. Über dem Mittleren Wellenkalk, der ganz ähnlich wie der untere Wellenkalk ausgebildet ist, folgt die Terebratelzone mit den beiden Terebratelbänken, zwischen denen sich wiederum ein markant bröckelig zerfallender Kalkstein befindet. Der Obere Wellenkalk ist nur noch flachwellig geschichtet, wobei der höchste Teil durch gelbe, dickbankige Kalksteine gebildet wird. Schillagen sind geringmächtig und nur sporadisch vorhanden. Es schließt sich die Schaumkalkzone mit den drei Schaumkalkbänken und den jeweiligen kalkig-mergeligen Zwischenmitteln an [U23]. Die im Hangenden folgenden gelbgrauen, feinschichtigen, mergeligen Kalksteine bis Mergelsteine der orbicularis-Schichten werden nur von [U23] als eigene Kartiereinheit ausgehalten. Bei den anderen Bearbeitern werden diese soweit feststellbar aufgrund der ähnlichen Lithologie der Kartiereinheit des Mittleren Muschelkalk zugeschlagen.

Der Mittlere Muschelkalk besteht aus schlecht aufgeschlossenen, grauen bis gelbgrauen Mergel- und Tonsteinen mit geringeren Anteilen an mergeligen Kalksteinen, grobkristallinen Dolomitbänken und bankigen bis plattigen, dolomitischen Zellenkalken [U23].

Der Obere Muschelkalk umfasst den Trochitenkalk und die Ceratitenschichten. Der Trochitenkalk, der eine markante Geländestufe bildet, besteht aus grauen bis blaugrauen, im unteren Teil teils dolomitischen, im oberen Teil teils oolithischen, gebankten Kalksteinen. Die Ceratitenschichten sind eine Wechselfolge von Kalk-, Mergel- und Tonsteinen, wobei der Anteil der grauen, dichten und harten Kalksteine zum Hangenden hin abnimmt. Die feinschichtigen, grauen bis dunkelgrauen Mergel- und Tonsteine, welche gelb bis gelbgrau und blättrig zerfallend verwittern, nehmen dagegen zum Hangenden hin zu [U23].

Tertiär (t): Eine zum Beginn des Miozäns einsetzende vulkanische Tätigkeit äußert sich im Modellgebiet durch Basaltvorkommen (tmiB, tmiBb) in Form von Schloten und Spalten auf den Blättern Geisa [U23], Stadtlengsfeld [U20], Vacha [U21] und Friedewald [U22].

Am Dietrichsberg streichen westlich des Gipfels auf einem schmalen Streifen tertiäre Lockergesteine (Kiese, Sande, Tone und Mudden, tmi) aus, welche vom Deckenbasalt (tmiB) überlagert werden. Tertiäre Lockergesteine wurden zudem an der GWM 61/2017 HA (9095) unter Quartärer Überdeckung erbohrt (Anlage 1). Unter ca. 10,5 m mächtigem Quartär wurden ca. 10,5 m tertiäre Lockergesteine

erbohrt (Sande, Schluffe, Tone, nicht aufgeschlossen), die in [U29] mittels palynologischer Altersbestimmung in das Oberpliozän (tPlo) datiert wurden.

Quartär (q): Quartäre Bildungen treten mit schwankenden Mächtigkeiten vor allem als pleistozäne Löss- und Hanglehme, Fließerden, Solifluktionsschutte und Hangschuttmassen (qwl) sowie holozäne fluviatile Lockersedimente (qh) entlang der Werra-Aue sowie deren Nebentälern auf.

Entlang des Werra- und Ulstertals sind kleinere Schotterterassen (qps) erhalten geblieben, die dem Alt- bis Mittelpleistozän zugerechnet werden [U9]. Die Schotter, welche aufgrund der begrenzten Datenlage hier nicht weiter untergliedert werden, bestehen überwiegend aus Sandsteinen des Buntsandsteins, daneben treten in geringeren Mengen Basalt-, Rötquarzit- und Muschelkalkgerölle auf. Zumindest am Kornrod und auf dem Lohberg sind auch schwarzgrauer Hornstein und Milchquarz, auf dem Lohberg zusätzlich auch Rhyolith und Glimmerschiefer, als Gerölle vertreten.

Am Fuß der vom Muschelkalk gebildeten Erhebungen sind abgerutschte, mehrere Zehnermeter bis wenige 100 m lange, mehr oder weniger zusammenhängende Blöcke, die überwiegend aus Wellenkalk bestehen, weit verbreitet. Diese und der Muschelkalkblockschutt verdecken häufig die Muschelkalkbasis und die Myophorienschichten [U23], [U28]. Diese Rutschmassen sind gut durch ihre differenzierte Morphologie und das für das Modellgebiet ungewöhnlich steile Einfallen der Schichten charakterisiert. Im Hinblick auf die Datengrundlagen und das Ziel der Kartierung wurden die abgerutschten Blöcke mit den kartierten Blockschuttmassen (qwhg), die überwiegend aus Muschelkalk, aber auch an den entsprechenden Vorkommen aus Basalt bestehen, zusammengefasst.

Die Lockersedimente (qh) im Werra- und Ulstertal sind dabei überwiegend lehmig bis sandig, teilweise auch mit kiesigen Lagen; die Gesamtmächtigkeit erreicht nach Bohrerergebnissen 5 bis 7 m. In den Nebentälern sind teilweise größere Mengen von angeschwemmtem Lösslehm und Hangschutt vertreten [U23], [U30]. In der Ortslage Philippsthal sowie in der Umgebung von Vacha und am Meißelsgraben im Ulstertal sind an den Ausgängen kleinerer Geländeeinschnitte Schwemmkegel (qhsw) ausgebildet. Auf den Verebnungsflächen, die überwiegend von der Solling-Formation und dem Röt unterlagert werden, treten großflächig geringmächtige (1 bis 3 m nach Bohrerergebnissen und Schürfen) Lößlehmdecken auf, welche die Grenzziehung im Röt erschweren. Größere Mächtigkeiten von Hangschutt und auflagernden Lehmen und Sanden sind nur im Bereich der Anhydrithalde (bis 12,8 m

in Bohrung B62/2012 HA (K+S Nr.: 4836)) auf dem Werksgelände des Standortes Hattorf und im Bereich des Wolfsgrabens (bis ca. 10,5 m an der neu errichteten GWM 61/2017 HA (K+S Nr.: 9095) in der Subrosionssenke Unterbreizbach bekannt.

Lokal sind noch in kleinen Taleinschnitten an der Basis des Muschelkalk Quellaustritte mit Süßwasserkalken (qhK) zu verzeichnen. Diese sind bis wenige Meter mächtige Ablagerungen von zellig-porösem, weichem Kalkstein mit wechselnden Anteilen von Schlamm, Lehm und organischem Material [U23].

4 Ausgangssituation

Bisherige im Modellgebiet durchgeführte geologische Erkundungen beinhalteten u.a. Reflexionsseismik, Geoelektrik, Hubschrauberelektromagnetik (HEM), Transiente elektromagnetische Messungen (TEM), Kartierarbeiten im Gelände, Bohrungen und Schürfe [U1], [U2]. Die vorliegende Aktualisierung und Fortschreibung der geologischen Karte legt ihren Fokus auf die gewonnen Erkenntnisse aus 32 neuen und 29 neu stratifizierte Bohrungen und auf seit 2017 neu durchgeführte geoelektrische Messungen, sowie auf den basierend auf diesen Eingangsdaten gewonnen Erkenntnissen aus der geologischen 3D-Modellierung [U4]. Diese Daten werden im Folgenden detailliert erläutert.

4.1 Bohrungen

Es wurden Bohrkerndokumentationen, Schichtenverzeichnisse, lithostratigraphische Einstufungen und bohrlochgeophysikalische Daten der mit der fortgeschriebenen Anlage 1 dokumentierten Aufschlüsse im Modellgebiet aus der K+S Datenbank ausgewertet. Zur Vermeidung von Randeffekten bei der geologischen 3D-Modellierung wurden auch ausgewählte Bohrungen außerhalb des Modellgebietes verwendet (siehe [U4]).

Im Rahmen der Fortschreibung und Aktualisierung der geologischen Karte wurden 32 neue Bohrungen in die Bearbeitung aufgenommen. Deren Lithostratigraphische Einstufung wurde von einer Expertenkommission unter Leitung von Prof. Dr. Georg Büchel et al. [U5] von der Friedrich-Schiller-Universität Jena fachlich begleitet und im Rahmen einer Kernbefahrung mit Vertretern des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie sowie des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz und des Regierungspräsidiums Kassel, Dezernat 31.6 abgestimmt.

Eine wesentliche Rolle für die vorgelegte Fortschreibung und Aktualisierung der geologischen Karte spielen die erzielten Fortschritte bei der Vereinheitlichten Stratifizierung von Schichtenverzeichnissen mit Hilfe von Gamma-Ray-Log-Daten [U5], [U6], [U7]. Für eine detaillierte Diskussion der Bohrergebnisse siehe auch [U4].

4.2 Reflexionsseismik

In der Regel ermöglichen reflexionsseismische Untersuchungen interpretative Aussagen zu lithologisch-strukturellen Kontrasten im Untergrund sowie zur Tiefenlage dieser Reflektoren. Jedoch reflektieren die Ergebnisse aus einer Altseismik (z.B. [U31]) vor allem den Plattendolomit und die Basis des Werra-Salzes, wodurch sich die Altseismik zur Interpretation der lithologisch-strukturellen Kontraste der hangenden Schichtfolgen nur bedingt eignet. Für das Erstellen der digitalen GK25 beschränkt sich der potentielle Nutzen reflexionsseismischer Interpretationen somit hauptsächlich auf das Identifizieren der Untergrenze des Quartärs. Die dabei ermittelten lokalen Mächtigkeiten quartärer Bedeckungen sind aufschlussreich für die Konstruktion einer Quartär-abgedeckten GK25. Zusätzlich kann aber ein vertikaler Versatz in einem Reflektor entlang eines Messprofils Auskunft über das Vorhandensein von Störungen liefern, was bei der Darstellung der tektonischen Situation in der aktualisierten GK25 berücksichtigt wurde (siehe Anlage 4).

Zwecks der Lokalisierung von möglichen Störungen wurden in [U2] die vorhandenen reflexionsseismischen Profile innerhalb des Modellgebietes und angrenzend bis etwa 2 km über die Kartiergrenze hinaus ausgewertet. Aus Anlage 7 geht ein detaillierter Lageplan der reflexionsseismischen Messungen einschließlich der Positionen der Schusspunkte hervor (Messkampagnen Eschwege-Rotenburg [U32], Hattorf I [U33], Hattorf II [U31], Hattorf III [U34], Hattorf IV [U35] und Sünna [U36]). Anhand der Auswertungen altseismischer Untersuchungen, welche auch das Gebiet Philippsthal–Ransbach–Mansbach, und damit auch das Modellgebiet, betreffen, wurden als Reflektoren die Basis des Werrasalinars (Werraanhydrit/Anhydritknotenschiefer/Zechsteinkalk) und die Oberkante des Leine-Karbonat (Plattendolomit) von [U31] und [U35] identifiziert.

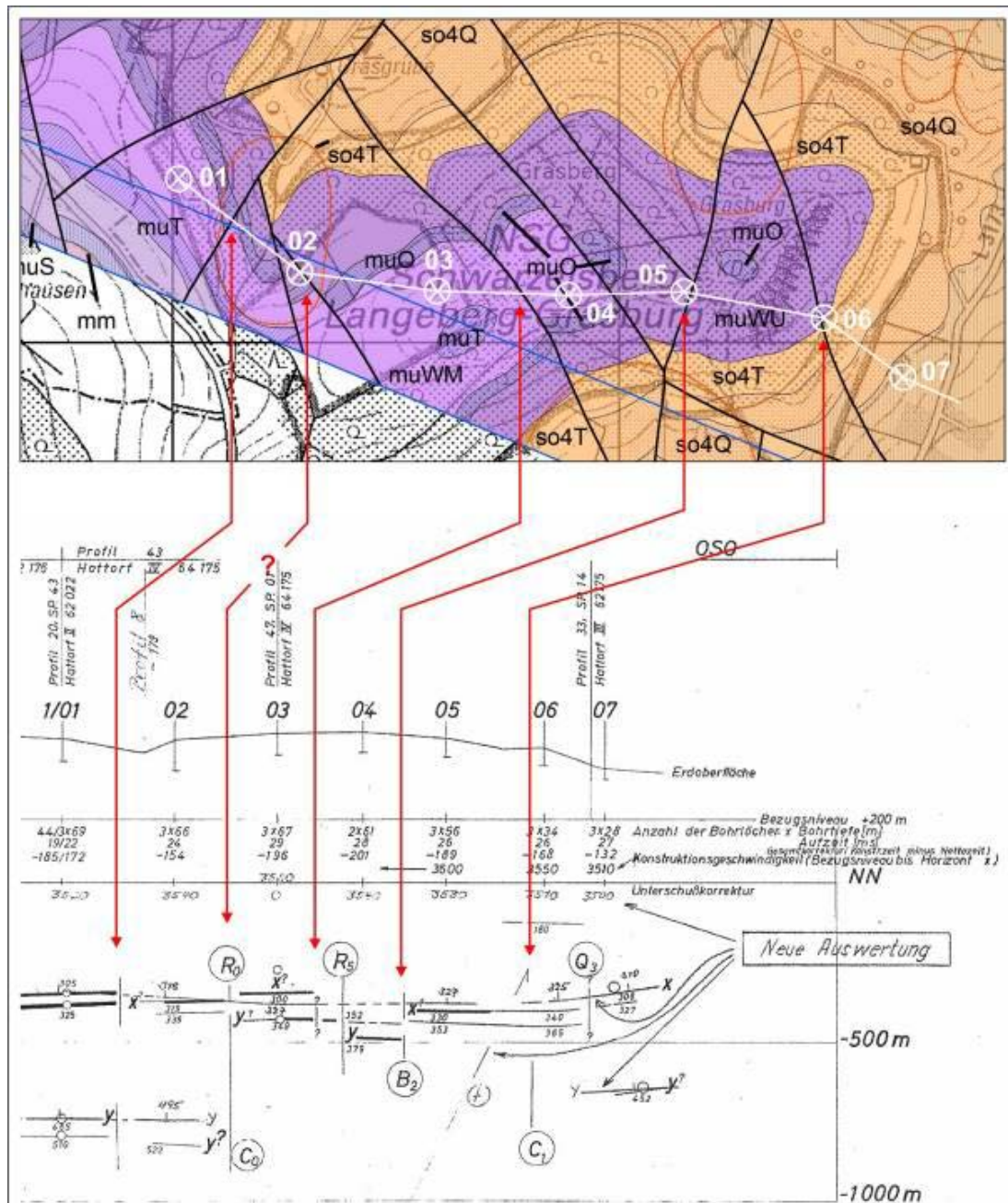


Abbildung 3: Beziehung seismischer Reflexionsprofile zu Oberflächenkartierung am Beispiel von Profil 43 [U35] am Grasberg auf GK25 Blatt 5225 Geisa. Im Profilschnitt bezeichnet Reflektor x den Plattendolomit, Reflektor y wird als Basis der Werra-Salze interpretiert.

Hierbei konnten in [U35] (S. 19) über das Untersuchungsgebiet unregelmäßig verteilte Schwankungen der Mächtigkeiten des Werrasalinars zwischen ca. 250 und 500 m nachgewiesen werden. Zusätzlich ist den Profildarstellungen in den Anlage 67–69 aus [U35] zu entnehmen, dass Störungen aufgrund vertikaler Versätze in den Reflektoren häufig entweder nur innerhalb des Werrasalinars (z.B. westlich von Pferdsdorf: Profil 41, Schusspunkt 5) oder nur im Plattendolomit (z.B. östlich von Mansbach: Profil 42, Schusspunkt 2; westlich von Pferdsdorf: Profil 41, zwischen den Schusspunkten 2 und 3) auftreten. Des Weiteren wurden aber auch Störungen lokalisiert, welche sowohl das Werra-Salz als auch den Plattendolomit durchdringen (z.B. nördlich von Mansbach: Profil 43, zwischen den Schusspunkten 2 und 3) (Abbildung 3).

Somit zeigen die seismischen Reflektoren gebietsweise tektonisch entkoppelte Störungen an. Folglich werden entkoppelte Störungen in einer Darstellung der tektonischen Situation an der Geländeoberfläche des Modellgebiets in der aktualisierten GK25 (siehe Anlage 4) nicht integriert.

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 aktualisierten GK25 wurde, sofern die Orientierung einer Störung gegeben ist, der Schnittpunkt derselben mit der Geländeoberkante bestimmt („verlängert“, vgl. Anlage 4.1 und 7). Wenn keine Orientierung bekannt ist, wurde eine saigere Störung angenommen und damit die Position der Störung senkrecht an die Geländeoberkante projiziert (vgl. Anlage 4.1 und 7).

Aus dieser Vorgehensweise und der Unterscheidung in sichere und vermutete Störungen in den Profilen ergeben sich Störungsmarker (Störungsindikatoren, vgl. Anlage 4.1 und 7) mit verschiedener Gewichtung und Positionsgenauigkeit, die bei der Analyse des tektonischen Aufbaus im Modellgebiet Verwendung fanden. Neben der Bestätigung von aus der Oberflächenkartierung bekannten Störungen betrifft dies vor allem den Nachweis von Störungen in quartärbedeckten Gebieten. Tabelle 3

gibt einen Überblick über die aus den betreffenden reflexionsseismischen Profilen (Anlage 7) ermittelten Störungsindikatoren.

Tabelle 3: Übersicht der aus den reflexionsseismischen Profilen ermittelten Störungsindikatoren (Schnittpunkte einer Störung mit der Geländeoberkante, vgl. Anlage 7); Erläuterungen zur Vorgehensweise im Text.

Störungs-mar-ker	Rechts-wert	Hoch-wert	Einstu-fung	Verschneidung mit Gelän-deoberkante (Oberfläche)	Quelle (Messkampagne, Profil, Schusspunkt(e) [SP], Reflektor)
1	3561283	5631537	unsicher	Senkrecht auf Oberfläche projiziert	Eschwege-Rotenburg Profil 1 SP 78 z1&z3
2	3560665	5631741	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 27 SP 6 z3
3	3562803	5631603	unsicher	zur Oberfläche verlängert	Eschwege-Rotenburg Profil 1 SP 86a z1&z3
4	3564120	5631647	unsicher	zur Oberfläche verlängert	Eschwege-Rotenburg Profil 1 SP 95-96 z1&z3
5	3562860	5628863	unsicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 20 SP 44-45 z3
6	3563004	5629045	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf II Profil 20 SP 43-44 z1&z3
7	3563186	5629283	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 20 SP 42-43 z3
8	3563543	5629854	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf II Profil 20 SP 39-40 z1&z3
9	3565463	5631587	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf II Profil 20 SP 29-30 z1&z3
10	3570258	5635264	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf II Profil 20 SP 20 z1&z3
11	3571311	5635841	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf II Profil 20 SP 25 z1&z3
12	3569662	5633451	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 21 SP 6-7 z3

Störungs- mar- ker	Rechts- wert	Hoch- wert	Einstu- fung	Verschneidung mit Gelän- deoberkante (Oberfläche)	Quelle (Messkampagne, Profil, Schusspunkt(e) [SP], Reflektor)
13	3569875	5633432	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 21 SP 7-8 z3
14	3570107	5633407	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 21 SP 8 z3
15	3569800	5633752	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 22 SP 3 z3
16	3570107	5633501	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 23 SP 1-2 z3
17	3570189	5633865	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 23 SP 3 z3
18	3560876	5630829	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 24 SP 1-2 z3
19	3560932	5630754	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 25 SP 3-4 z1&z3
20	3561158	5631131	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 25 SP 5-6 z3
21	3561358	5631400	unsicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 25 SP 7 z3
22	3563679	5636750	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf II Profil 28 SP 3 z3
23	3561114	5629349	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 30 SP 12-13 z3
24	3562117	5631112	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf II Profil 30 SP 3 z3
25	3561904	5630704	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf II Profil 30 SP 5-6 z1&z3
26	3561785	5630516	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf II Profil 30 SP 7 z1&z3
27	3565259	5630635	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf III Profil 33Q SP 102 z1&z3
29	3561942	5631494	unsicher	zur Oberfläche verlängert	Eschwege-Rotenburg Profil 1 SP 83-84 z1&z3

Störungs- mar- ker	Rechts- wert	Hoch- wert	Einstu- fung	Verschneidung mit Gelän- deoberkante (Oberfläche)	Quelle (Messkampagne, Profil, Schusspunkt(e) [SP], Reflektor)
30	3564808	5629048	unsicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 33 SP 13-14 z1&z3
31	3565560	5630278	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 33 SP 6-7 z3
32	3571650	5635188	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 34 SP 3 z3
33	3571989	5634856	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 34 SP 4-5 z3
34	3572102	5634611	unsicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf III Profil 34 SP 5-6 z1&z3
35	3572127	5634404	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 34 SP 6-7 z3
36	3572245	5633961	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 34 SP 8-9 z3
40	3562920	5629255	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 35 SP 1-2 z3
41	3562751	5629318	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 35 SP 3 z3
42	3561779	5629042	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf III Profil 26 SP 6-7 z1&z3
43	3561001	5628848	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf III Profil 37 SP 3-5 z1&z3
44	3561942	5630441	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf III Profil 38 SP 2-3 z1&z3
45	3562381	5630416	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 38 SP 1 z3
46	3561114	5630560	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 38 SP 6-7 z3
47	3566758	5628634	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 39 SP 7 z3
48	3565529	5629443	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf III Profil 39 SP 1-2 z3

Störungs- mar- ker	Rechts- wert	Hoch- wert	Einstu- fung	Verschneidung mit Gelän- deoberkante (Oberfläche)	Quelle (Messkampagne, Profil, Schusspunkt(e) [SP], Reflektor)
49	3565278	5629607	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf III Profil 39 SP 1a-1 z1&z3
50	3566081	5630209	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf IV Profil 41 SP 2-3 z3
51	3565510	5628315	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf IV Profil 42 SP 02
53	3563267	5629053	unsicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf IV Profil 43 SP 01-02 z1&z3
54	3563521	5628946	sicher	zur Oberfläche verlängert	Hattorf IV Profil 43 SP 02-03 z1&z3
55	3563873	5628929	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf IV Profil 43 SP 03-04 z3
56	3564124	5628929	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf IV Profil 43 SP 4-5 z3
57	3564613	5628829	unsicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf IV Profil 43 SP 6-7 z3
58	3565905	5629142	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf IV Profil 44 SP 9-10 z3
59	3566125	5627142	sicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf IV Profil 44 SP 1-2 z3
60	3563510	5628184	unsicher	senkrecht auf Oberfläche projiziert	Hattorf IV Profil 47 SP 5-6 z1

4.3 Hubschrauberelektromagnetik (HEM) und Transientelektromagnetik (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 [U37] und bis zu 300 m für TEM. 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 (siehe [U37], [U38] und [U39]). Entsprechend früherer Auswertungen der HEM-Befliegungen im Modellgebiet von [U37] 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 und Aktualisierung der GK25 sind die HEM/TEM-Befliegungen teilweise nützlich. Durch die erhöhte Leitfähigkeit sind deutlich die Ausstriche des Röt und Bereiche mit Hanglehmbedeckung erkennbar, insbesondere am Südrand des Modellgebiets [U37], [U40]. Jedoch ist die Auflösung der Daten für eine geologische Kartierung im Maßstab 1:25.000 relativ gering; vorliegende Kartierungen mit Geländemethoden zeigen häufig einen detaillierteren Grenzverlauf (siehe Anlage 5). Der Nutzen der Daten für die vorliegende Aufgabe ist v. a. in der Plausibilitätsprüfung bestehender Kartierungen zu sehen. Leider lassen sich für den Mittleren Buntsandstein in den HEM/TEM-Ergebnissen die lithologischen Signale nicht zuverlässig von den o.g. Parametern wie Wassergehalt des Gebirges und dessen Fluidchemismus trennen, wodurch die lithostratigraphische Verwertbarkeit der Daten in diesem stratigraphischen Intervall gering ist. Jedoch können aus der HEM/TEM abgeleitete Geomagnetikdaten [U40] zur Lokalisierung nicht übertägig ausstreichender Basalte verwendet werden.

4.4 Radiometrie

Im Zuge der HEM-Befliegung im Jahr 2008 wurde auch die Gammastrahlung in Flughöhe gemessen [U40]. 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 [U40]. 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.

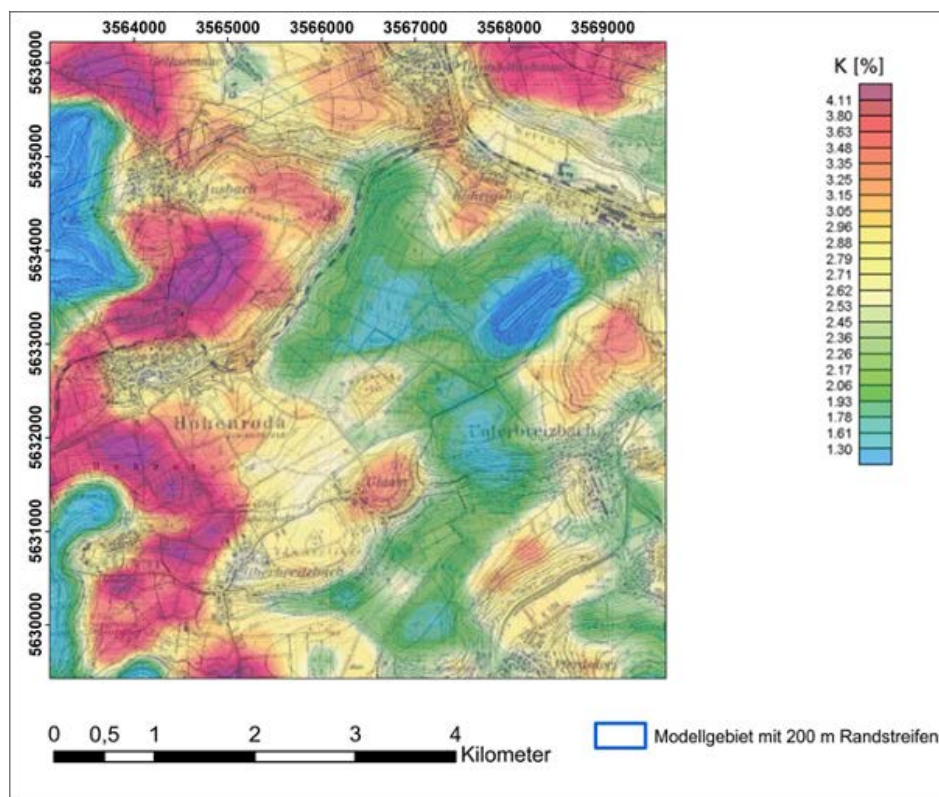


Abbildung 4: Aus den radiometrischen Messungen berechnete Kaliumkonzentrationen im Nordwesten des Modellgebietes [U40].

Jedoch sind die berechneten Äquivalentkonzentrationen stark von der Absorption durch Biomasse beeinflusst [U40]. In Waldgebieten werden durchgängig niedrigere Konzentrationen als über Feldern ausgewiesen. Dies wird anhand der Verteilung der geringen Konzentrationen (grüne Farbtöne) im Bereich der Waldflächen von Stöckig und Hobholz (Abbildung 4), im Vergleich zu den angrenzenden Feldern, deutlich. Eine Ausnahme bilden hier die leicht erhöhten Strahlungswerte im Bereich der Ruppershöhe, die Hinweise auf die Verbreitung des bindigen Quartärs bzw. des Röts (Abbildung 4) zulassen. Hinweise auf die Verbreitung des Röts (Oberer Buntsandstein) geben auch die sehr hohen Strahlungswerte im westlichen Modellgebiet (dunkelrote Farbgebung westlich Hohenroda). Dagegen spiegeln sich kartierte geologische Grenzen des Mittleren Buntsandstein in den berechneten Konzentrationen kaum wieder. (vgl. Abbildung 4). Eindeutig auf die Verhältnisse im Untergrund zurückführbar sind dagegen die geringen Strahlungswerte der ESTA-Rückstandshalde Hattorf und im Bereich der Verbreitung des Muschelkalks an den westlichen und südöstlichen Rändern des Modellgebietes. Innerhalb des betrachteten Gebietes lassen sich aus den Radiometriedaten keine weiteren verwertbaren Erkenntnisse für die geologische Kartierung ableiten.

4.5 Bohrlochgeophysik

Im Zuge des Abteufens von Tiefbohrungen, Grundwassermessstellen sowie ingenieurgeologischer Bohrungen (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 Anstieg der Gamma-Strahlung charakterisiert. Oberhalb dieser Grenze 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 des Gamma-Ray-Logs, wodurch die Grenzziehung näherungsweise nur in Kombination mit Ergebnissen der Bohrkernansprache möglich erscheint und letztlich mit gewissen Unsicherheiten behaftet ist. Beide Formationen streichen im Modellgebiet nicht übertägig aus. Die Grenze Calvörde-/Bernburg-Formation (suC/suB) 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 Gammastrahlung als die jeweils hangenden Wechselfolgen. Gammastrahlungsspitzen sind in den

Basissandsteinen meist weniger stark ausgebildet als in den Wechselfolgen des Mittleren Buntsandsteins.

Die Bedeutung der Gamma-Ray-Log-Interpretation liegt in Bezug auf das konkrete Vorhaben und das fortzuschreibende geologische 3D-Modell vor allem in der Bestimmung der Teufe von Schichtgrenzen sowie in der Beurteilung von Versatzbeträgen an möglichen Störungen. Aus diesem Grund wurden durch K+S die vorhandenen Gamma-Ray-Logs zur stratigraphischen Einstufung (bzw. Überprüfung der bestehenden SV) der betreffenden Bohrungen herangezogen. Dieses Verfahren wurde bereits in [U2] (siehe dort Tabelle 4) genutzt, um insbesondere die Unterkanten des smHW, smSW und smVW1 (dort: smVW) zu identifizieren.

Im Rahmen der hier vorgelegten jüngsten Fortschreibung und Aktualisierung der geologischen Karte i.V.m. dem ebenfalls fortgeschriebenen und aktualisieren geologischen 3D-Modell [U4] hat die Interpretation anhand von Gamma-Ray-Logs noch einmal erheblich an Bedeutung gewonnen. Das liegt vor allem daran, dass im unmittelbaren Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattorf, ein Bereich, der schon zuvor durch Bohrungen gut erschlossen war, zuletzt erneut eine große Anzahl neuer Bohrungen hinzugekommen ist (beispielsweise GWM 66-85/2018 HA). So stehen nun zahlreiche neue Gamma-Ray-Logs zur Verfügung, denen aufgrund ihres engen räumlichen Zusammenhanges eine besonders gute Vergleichbarkeit unterstellt werden kann. Dieser enge Abgleich der verfügbaren Gamma-Ray-Logs ist auch deswegen zwingend notwendig, weil bei einer hohen räumlichen Aufschlussdichte einzelne Fehler bei der Schichtenzuweisung zu lokal besonders unplausiblen Artefakten in der Schichtinterpolation der geologischen 3D-Modellierung in [U4] führen könnten.

Wie bereits Eingangs in Kapitel 4 erwähnt, hat der Quervergleich von Gamma-Ray-Logs aus neuen und Bestandsbohrungen auch zu einer Anpassung von Schichtenverzeichnissen von 29 Bestandsbohrungen geführt. Grund dafür war insbesondere die Entscheidung, eine Unterteilung des smVW in ein hangendes smVW2 und ein liegendes smVW1 auszuweisen (siehe Kapitel 3). Diese Unterteilung stützt sich weniger auf visuelle Unterschiede in den Bohrkernen, sondern beruht primär auf der Identifizierung eines markanten und bohrungsübergreifend wiederzufindenden Wechsels im Gammastrahlenniveau der beiden Schichten, der in [U6] als Markerpunkt II bezeichnet wird.

4.6 Geoelektrik

Die im Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattorf durchgeführten geoelektrischen Tiefensondierungen (zur Lage der Messprofile vgl. Anlage 7) erfolgten vornehmlich mit dem Ziel, die in der ungesättigten Bodenzone und im Grundwasser vorliegenden Zonen erhöhter Mineralisation detailliert zu erfassen (horizontale und vertikale Ausbreitung). So wurde bereits nach den Messungen des HLNUG im südlichen und südöstlichen Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattorf ([U41], [U42] und [U43]) in [U41] konstatiert, dass sich mit dieser Methode hohe Mineralisationen des Grundwassers gut beschreiben lassen. Demnach drückt sich die hohe Mineralisation in einer Erniedrigung des spezifischen elektrischen Widerstandes aus [U41].

Weitere Untersuchungen erfolgten im Bereich der Ulstermündung ([U44]GGD 2002), im südwestlichen und südlichen Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattorf, ausgehend vom Haldenrand bis zum Breizbachtal ([U45], [U46], [U47], [U48] und [U49]) sowie mit [U50] und [U51] südöstlich der ESTA-Rückstandshalde Hattorf im Bereich der Quellen 1 und 6-9 (Unterbreizbach).

Im Zuge der hier vorgelegten jüngsten Fortschreibung und Aktualisierung wurden Daten von vier weiteren geoelektrischen Profilen aus [U52] in die Anlage 7 aufgenommen. Die Profile, die ab 2018 gemessen wurden, folgen in ihrem Verlauf den Rändern des Erweiterungsbereiches Phase 1 der ESTA-Rückstandshalde Hattorf [U52]:

- P08: Etwa parallel zur Nordflanke der Erweiterung Phase 1 der ESTA-Rückstandshalde
- P09: Etwa parallel zur Südflanke der Erweiterung Phase 1 der ESTA-Rückstandshalde
- P10: Etwa parallel zur Westflanke der Erweiterung Phase 1 der ESTA-Rückstandshalde
- P11: Etwa parallel zu P10, 200-300 m westlich davon

Die im Ergebnis vorliegenden gemessenen Verteilungen der spezifischen elektrischen Widerstände entlang der einzelnen Messprofile (Anlage 7) lassen zusammengekommen eine dreidimensionale Bewertung der Mineralisation im Untergrund zu. Mögliche einschränkende Überprägungen des Signals durch anthropogene Einflüsse, Gesteinseigenschaften und Wassersättigung des Porenraumes sind analog zu den HEM/TEM-Ergebnissen zu berücksichtigen. Die Eindringtiefen sind mit max. ca.

100 m u. GOK wesentlich geringer als bei den HEM/TEM-Untersuchungen. Die Geoelektrik-Messprofile weisen aber eine erheblich höhere Auflösung (vertikal und horizontal) auf. Trotzdem können die zur Verfügung stehenden Daten aus geoelektrischen Tiefensondierungen nur wenig zur Differenzierung nach lithologischen Kriterien herangezogen werden.

4.7 Schürfe

Schürfe erfolgten im Rahmen früherer Arbeiten ([U53] und [U54]) in der unmittelbaren Umgebung der damaligen ESTA-Rückstandshalde Hattorf zur Untersuchung des oberflächennahen geologischen Aufbaus sowie für Bestimmungen von bodenmechanischen Kennwerten und Wasserdurchlässigkeitsbeiwerten. Aufgrund nachfolgender Haldenbeschüttungen sind diese Flächen inzwischen jedoch nicht mehr zugänglich. Für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu erstellende digitale geologische Karte liefern die Dokumentationen dieser ehemaligen Schürfe wichtige Informationen über die unter der ESTA-Rückstandshalde Hattorf ausstreichenden Einheiten. Demnach sind einem NE-SW-Profilschnitt und Kartendarstellungen von [U54] (dortige Anlagen 1–3) zu entnehmen, dass unterhalb der ESTA-Rückstandshalde Hattorf überwiegend Gesteine des Hardeggen-Sandstein (smHS) und Hardeggen-Wechselfolge (smHW) anstehen bzw. dass die ESTA-Rückstandshalde an ihren südwestlichen und westlichen Rändern auf Solling-Formation und Quartär aufliegt.

Die durch die K+S KALI GmbH im Rahmen der Haldenerweiterung sowie der Untersuchungen zu den Abstomsicherungen (u.a. Liniendrainage Unterbreizbach) zahlreich errichteten Schürfe im Haldenumfeld (vgl. Anlage 1) wurden insbesondere zur Erweiterung der Datenbasis zur Quartärverbreitung und dessen Mächtigkeiten herangezogen.

4.8 Geologische Kartierungen

Die Geländearbeiten zur Überprüfung der verschiedenen für das Modellgebiet bereits existierenden geologischen Kartenblättern (o.g. amtliche GK25 und Manuskriptkarten) wurden im Frühjahr 2013 durchgeführt [U1]. Dabei wurden lediglich lokal geringe Abweichungen der ausstreichenden lithostratigraphischen Einheiten an den Grenzen zwischen benachbarten Kartenblättern festgestellt.

Diese Abweichungen beschränkten sich in ihrem Auftreten im Wesentlichen auf Wald- oder Ackerflächen mit Lesesteinen. Diese Abweichungen an Blatt Schnitten und Unterschiede in der Abgrenzung stratigraphischer Einheiten sowie in ihrer Nomenklatur zwischen den jeweiligen Blättern wurden im Rahmen der Plausibilitätsprüfung und Neukartierungen durch Verwendung einheitlicher Kartierungskriterien und einer einheitlichen stratigraphischen Nomenklatur für Kartiereinheiten für das gesamte Modellgebiet bereinigt. So erwies sich beispielsweise der intensiv landwirtschaftlich genutzte Bereich auf dem Lohberg per Lesesteinneukartierung als Ausstrich des Detfurth-Sandstein anstatt wie bisher angenommen [U14] als Hardeggen-Sandstein (siehe Anlage 2 und Anlage 3). Neukartierungen waren auf Flächen beiderseits der ehemaligen DDR/BRD-Staatsgrenze notwendig.

Im Zuge der ersten Fortschreibung und Aktualisierung [U2] erfolgten weitere Geländearbeiten im Frühsommer 2016 sowie im Frühsommer 2017. Inhalt der weiterführenden Untersuchungen waren Aufschlüsse am Südwestrand der ESTA-Rückstandshalde Hattorf (Aufschluss-Nr. 115, Anlage 2, Anlage 4.1), Erdfälle an der Ruppershöhe (im Zusammenhang mit der Ausweisung der Rötverbreitung in diesem Bereich, Aufschluss-Nr. 116 und 120, Anlage 2, Anlage 4.1) sowie eine Erkundung des Schoppengrabens (Aufschluss-Nr. 115, Anlage 2, Anlage 4.1). Des Weiteren sind auf dem Betriebsgelände des Standorts Hattorf zwei neue Aufschlüsse (Aufschluss-Nr. 114 und 118, Anlage 2, Anlage 4.1)) durch Bauarbeiten entstanden.

Die in [U2] getroffene Einstufung von Aufschlüssen vor allem im Ochsengraben muss hingegen mit der hier vorgelegten jüngsten Fortschreibung und Aktualisierung in Teilen revidiert werden. Basierend auf den Erkenntnissen aus den neuesten Bohrungen im Umfeld und in Anlehnung an [U4] werden die Aufschlüsse 80-88, 105, 106, 109-111 und 113 inzwischen anderen stratigraphischen Einheiten zugerechnet als noch in [U2] (siehe Tabelle 4 Anlage 3). Als Grund für die Diskrepanz kann eine Verwechslung der lithologisch sehr homogenen Materialien im Gelände nicht ausgeschlossen werden. Zu den Schwierigkeiten einer optischen Unterscheidung der Schichten des mittleren Buntsandstein im Untersuchungsgebiet siehe insbesondere auch [U5].

Bereits in [U2] wurden an insgesamt 120 Fundpunkten (80 Aufschlüsse mit Anstehendem, 40 Punkte mit Lesesteinen, Lockermaterial, Quellen etc.) des Modellgebietes die folgenden Daten (soweit anwendbar) ermittelt: geographische Lage, Gesteinsmerkmale, lithostratigraphische Einstufung und

Raumlagen von Kluftflächen (Fallrichtung/Fallwinkel). Zusätzlich erfolgte eine Fotodokumentation der jeweiligen Lithologie und Aufschlusssituation. Für repräsentative Aufschlüsse erfolgte die Detaildokumentation und eine Profildarstellung in Anlage 2. Die Daten zu allen Fundpunkten wurden in Anlage 3 zusammengestellt. Für Positionsbestimmungen wurde das GPS-Handgerät „etrex H“ der Firma Garmin verwendet [U2]. Die Messungen erfolgten in Gauß-Krüger-Koordinaten. Die Genauigkeit der gemessenen Hoch- und Rechtswerte liegt bei ca. 5 m. Zusätzlich durchgeführte Höhenmessungen waren gerätebedingt weniger exakt. Die Lage der Fundpunkte wird in den Anlagen 4.1 und 4.2 dargestellt.

Tabelle 4: Änderungen der Einstufung der Fundpunkte Ochsengraben

Nr.	RW	HW	Einstufung 2018 [U2]	Einstufung 2021	Beschreibung in Anlage 3 zu [U2]
88	3567429	5634035	smSS	smHW	Feinkonglomerat, rosa; teilweise grau-grün gebleichte Lagen; gut gerundete Quarze; Schluffsteinklasten Ø bis 1 cm
109	3567887	5634126	smDW	smVW2	150 cm schluffiger, lagenweise mittel-sandiger Feinsandstein, 1 – 2 mm dicke rotbraune bis braune trennende Schluffsteinlagen, Sandstein dünnplattig (0,5 – 2 cm), intern feine Horizontalschichtung (1 – 3 mm), teils Rippelschichtung
110	3567873	5634134	smHS	smVW2	(Ergänzung zu Nr. 82 oben) 110 cm (drei 10 – 15 cm mächtige Bänke anstehend, Zwischenräume verschüttet) feinsandiger Mittelsandstein bis Feinsandstein, rosa, Bleichungspunkte < 2 mm und Bleichungssäume, Bänke 10 – 20 cm mächtig, an der Basis viele plattige Schluffstein-Intraklasten, ziegelrot, bis 2 cm Durchmesser, ca. 2 m oberhalb eine 80 cm mächtige Bank Mittelsandstein, Blöcke von Grobsandstein mit gut gerundeten Milchquarzen um 1 mm Durchmesser und stark glänzendem kieseligem Zement
111	3567839	5634185	smHW	smDS	Wasserriss am Werlingskopf (Ergänzung zu Nr. 83 oben) Überwiegend schrägschichtete Fein- bis Mittelsandsteine, häufig Schluffstein-Intraklasten, einige schluffige Lagen Detaildokumentation in Anlage 2
113	3567669	5633913	smHS?,	smDW	Blöcke bis 25 cm Bankmächtigkeit von grobsandigem Mittelsandstein, hell rosabraun, stark glänzender kieseliger Zement, intern Trog-schrägschichtung, Quarzklasten kantengerundet bis selten gut gerundet, mäßig sortiert
80	3567621	5633939	smHW	smDW	Feiner Mittelsandstein, blassrosa

Nr.	RW	HW	Einstufung 2018 [U2]	Einstufung 2021	Beschreibung in Anlage 3 zu [U2]
81	3567750	5634006	smHS	smDS	Gut sortierter Grobsandstein, rot; teilweise gut gerundete Klasten
82	3567873	5634134	smHS	smVW2	Grobsandstein, rot; Tonsteinklasten; im Liegenden Sandstein-Schluffstein-Wechselagerung
83	3567839	5634185	smHS	smDS	Grobsandstein, rot; Klasten Ø bis 3 mm
84	3568139	5634081	smHS	smVW2	Grobsandstein, rot; graue Bleichungs- flecken; reflektierende Zemente
86	3568165	5634392	smHS	smVW2	Grobsandstein, rot
105	3568105	5634141	smDW	smVW2	50 cm dünnplattiger Feinsandstein, rot- braun bis rosa, Bleichungs- flecken < 2 mm, Bänke 1 – 5 cm mächtig mit inter- ner Rippelschichtung
87	3567694	5634261	smHW/ Basis smSS	smDW	Grobsandstein, rosa; teilweise graugrün gebleichte Lagen
106	3568136	5634093	smHS	smVW2	30 cm mittelsandiger Grobsandstein, Grobsandkörner: gut gerundete Milch- quarze, stark glänzender Kieselzement, Bänke 5 bis 15 cm mächtig ohne er- kennbare Interschichtung, darüber 10 cm mittelsandiger Feinsandstein, rosa- rot, Bleichungs- flecken < 5 mm, man- ganfleckig, Bank mit undeutlicher inter- ner Schrägschichtung

Auf die Erhebung von Messwerten zu Fallwinkeln und Fallrichtungen der Schichtungen wurde infolge der Aufschlussbedingungen verzichtet. In den typischerweise an Hängen gelegenen Aufschlüssen sind die anstehenden Schichtpakete bereits mehr oder weniger hangabwärts verrutscht. Aufgrund der zu erwartenden flachen Lagerung führt dies zu bereits nicht mehr akzeptablen Messergebnissen, die zwar die Hangorientierung, nicht aber die Orientierung der Schichtflächen wiedergeben (vgl. z.B. auf der GK25 Blatt 5126 Vacha [U9] den Taleinschnitt am Weidenhain nördlich von Vacha). Zudem handelt es sich bei den einmessbaren Flächen häufig nur um Schrägschichtungsblätter, die keine Informationen zu den Lagerungsverhältnissen liefern.

4.9 Zusätzliche Daten

Weiterer Bedarf für umfangreiche Änderungen gegenüber [U2] ergab sich im Zuge der vorgelegten Fortschreibung und Aktualisierung der geologischen Karte für das Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattorf aus dem Umstand, dass gemäß [U5] die Gabelstörung mit der Nummer 17 von ihrem Nordende bis zum Bereich Kreuzgraben unterhalb der Rückstandshalde Hattorf bis auf zwei kurze Reststücke zwischen Kreuzgraben und Landesgrenze Hessen-Thüringen weitgehend entfallen ist (siehe Anlage 4.1 sowie Anlage 5 in [U4] und Kapitel 6.4.1 in diesem Bericht). Der Wegfall dieser Störung in den nun entfernten Teilbereichen ehemals zugeschriebenen Versatzes im geologischen 3D-Modell [U4] hat dort zu einer generellen, virtuellen Anhebung der Buntsandstein-Schichten gegenüber [U3] geführt. Da eine solche Anhebung im 3D-Modell [U4] dazu führt, dass Bereiche der ehemaligen Schichtverläufe über die Geländeoberkante (GOK) ansteigen, sie anschließend mit dieser verschnitten und überstehende Teile dann modelltechnisch entfernt werden müssen, ergeben sich erhebliche Änderungen für das Ausstreichen der Schichten an der GOK. Diese Änderungen sind in der GK25 entsprechend berücksichtigt (vergleiche Anlage 5 und Anlage 6) mit ihren Entsprechungen in [U2]).

5 Methodik

5.1 Vereinheitlichung der Kartiereinheiten

Bedingt durch den unterschiedlichen Bearbeitungsstand der jeweils aktuellsten Karten der jeweiligen Teilgebiete und die teils unterschiedliche Zielstellung der Kartierungen wurde in den Vorgängerversionen [U1], [U2] in einigen Fällen eine Vereinheitlichung der Kartiereinheiten notwendig.

Mittlerer Buntsandstein: Die Manuskriptkarte [U14] und die Kartierung im Kreuzgraben (Anlage 2 in [U19]) verwenden eine abweichende lithostratigraphische Untergliederung des Mittleren Buntsandstein in Eichsfeld-, Rhön-, Spessart- und Solling-Folge (da nach damaligem Kenntnisstand eine Anwendbarkeit der in Niedersachsen durch [U55] etablierten Gliederung noch nicht gesichert war), während den anderen jeweils neuesten Karten die aktuell übliche lithostratigraphische Gliederung des Mittleren Buntsandstein zu Grunde liegt. Konsequenterweise wurden im Zuge einer Vereinheitlichung die lithostratigraphischen Untergliederungen aller Kartenblätter in der GK25 an die aktuell übliche lithostratigraphische Feingliederung des Mittleren Buntsandstein angepasst. Unter Verwendung der Angaben in [U56] ergibt sich folgende Übersicht (zur Untergliederung der Formationen ist noch anzumerken, dass der Grobsandstein teils als Basissandstein und die Wechselfolge teils als Plattensandstein bezeichnet wird):

Tabelle 5: Aktuelle und ältere Bezeichnungen der Einheiten des Mittleren Buntsandstein (unter Verwendung von [U56]).

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

Oberer Buntsandstein: Eine ohne umfangreiche Geländearbeiten umsetzbare Gliederung des Oberen Buntsandstein müsste sich an der durch [U14] verwendeten Gliederung orientieren, da darin das Röt lediglich in drei Kartiereinheiten gegliedert ist. Dabei ist keine genaue Entsprechung zur Rötgliederung nach SEP-3 erreichbar. In [U14] wird eine Dreiteilung des Röt vollzogen, indem als mittlere Einheit eine so genannte „Quarzitgruppe“ ausgehalten wird. Der Vergleich der Ausstrichflächen im Überlappungsbereich dieser Karte mit dem detailliert gegliederten Röt auf der GK25 Blatt 5225 Geisa [U23] zeigt, dass die Quarzitgruppe nicht identisch mit den Quarzitschichten (soRöo, q) ist, sondern auch die Braunroten Tonsteinschichten (soRöu, t) im Liegenden einschließt. In [U56] wird als Kartiermerkmal das Vorkommen von Quarziten als Lesesteine beschrieben. Diese sind aber auch für den Grenzquarzit unmittelbar im Liegenden der Braunroten Tonsteinschichten (soRöu, t) zu erwarten (so bei Fundpunkt 39, unmittelbar an der Basis der Braunroten Tonsteinschichten, siehe Anlage 3). Im Widerspruch zum Kartenbild parallelisiert [U23] (dort Seite 75, Tab. 2) die Braunroten Tonsteinschichten jedoch mit dem obersten Abschnitt der Schiefertonschichten. In diesem Fall müsste aber auch der Grenzquarzit innerhalb der Schiefertonschichten zu finden sein. Jedoch werden in [U56] keine Quarzite innerhalb der Schiefertonschichten erwähnt. Daneben beschreibt [U23] auch grünlichgraue, quarzitisches Feinsandsteine aus den im Hangenden der Quarzitgruppe folgenden Bunten Tonsteinschichten (soRöo, t), die besonders in deren unteren Teil vorkommen. Diese Feinsandsteine sind denen der Quarzitschichten oft sehr ähnlich [U23]. Unter Beachtung der geringen Mächtigkeit des Grenzquarzits könnte also für Kartierzwecke die Basis der Braunroten Tonsteinschichten (soRöu, t) mit der Basis der „Quarzitgruppe“ parallelisiert werden. Für die Hangendgrenze ist das ohne umfangreichere Neukartierungen nicht möglich. Die Parallelisierung der Hangendgrenze des Rötquarzits mit der Hangendgrenze der „Quarzitgruppe“ ist nur als grobe Annäherung an die realen geologischen Verhältnisse zu sehen.

Bezüglich der Rötgliederung im thüringischen Teil des Modellgebietes berichtet [U28], dass diese sich an der Gliederung der Bohrung Rodenberg 1 auf dem Sattel zwischen Öchsen- und Dietrichsberg orientiert. Hier wird eine „Lithozone der Rötquarzite“ (soQ; vgl. Tabelle 4) ausgehalten, die aus roten bis rotbraunen, teils etwas schluffigen Tongesteinen und mehreren dünnen Bänken von grünlichgrauen bis weißgrauen Feinsandsteinen besteht. Nach obigen Ausführungen ist diese „Lithozone

der Rötquarzite“ mit der „Quarzitgruppe“ gleichzusetzen, nicht aber mit dem Rötquarzit. Für die Röt-Einheiten im Hangenden ist die Abgrenzung der Myophorienschichten von Bedeutung. [U23] nennt für diese eine Mächtigkeit von 5–6 m auf der GK25 Blatt 5225 Geisa, hält diese aber nicht als eigene Einheit aus, da sie zumeist durch Schuttbedeckung schlecht kartierbar sind. In [U14] werden die „Grüngrauen Mergel“ kartiert, die nach [U56] eine Mächtigkeit von 5 m erreichen, wobei die obersten 2 m durch das Vorkommen rotbrauner Tonlagen charakterisiert sind. Im Hangenden der Tonlagen folgen dem Muschelkalk zugerechnete kompakte Kalkbänke. Nach [U28] treten in den Myophorienschichten rote bis grauviolette, mergelige Pelite 4,50 m unter der Basis des Muschelkalk auf. Entsprechend der detaillierten Beschreibung der Bohrung Rodenberg 1 in [U15] (S. 40) handelt es sich um eine 1,10 m mächtige Wechsellagerung roter Ton- bis Siltsteine und gelblichgrauer Mergelsteine. Diese entsprechen sehr wahrscheinlich den von [U14] als oberster Teil der Myophorienschichten interpretierten Tonlagen. Eine konsistente Ausgliederung der Myophorienschichten erscheint daher nicht möglich. Wie schon erwähnt, ist dabei zu beachten, dass die Einheit „Bunte Tonsteinschichten“ auf dem von [U23] kartierten Bereich die quarzitführenden Tonsteine über dem Rötquarzit beinhaltet, während in allen anderen Abschnitten nur die (relativ) quarzitifreien Tonsteine dieser Einheit zugeschlagen werden. Bedingt durch die schlechte Aufschlusssituation kann voraussichtlich nur mit größerem Aufwand eine konsistente und feiner auflösende Kartierung erreicht werden, u.U. erfordert dies zusätzliche Schürfe und/oder Bohrungen.

Die folgende Tabelle 4 zeigt eine mögliche dreiteilige Gliederung des Röts, die aufgrund der geschilderten Datenlage erstellt werden kann. Unsicherheiten bestehen vor allem bei der Ausgliederung der Myophorienschichten und der stratigraphischen Position des „Mittleren Rötton“ im Sinne der GK25 Blatt 5126 Vacha [U21] und GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld [U8] (über oder unterhalb des Grenzquarzits). Aus den genannten Gründen wird das Röt (so) in der vorliegenden Aktualisierung und wie bereits in den Vorgängerversionen [U1], [U2], ungegliedert dargestellt. Im Hinblick auf das Ziel einer hydrogeologischen Modellierung ist (aufgrund seiner Lage oberhalb des Grundwasserspiegels) keine Untergliederung notwendig.

Tabelle 6: Übersicht der Gliederung des Röt bei verschiedenen Bearbeitern. Die hier vorgeschlagene Korrelation ist mit Grautönen hinterlegt (siehe Erläuterungen im Text).

		GK25 Vacha , GK25 Stadtlengsfeld, Falk et al. (1961-63 u. 1976) [U8], [U12], [U21]			vorgeschlagene Korrelation
Lange (1959) [U14]	GK 25 Geisa Laemmlen (1975) [U23]			Hinze (1967) [U57]	
Muschelkalk					
Grüngraue Mergel	Bunte Tonsteinschichten (Myophorienschichten)	Myophorienschichten	Röt 4	Myophorienschichten, Bunte Tonsteinschichten	Obere Röttonsteine mit Myophorienschichten
	(quarzitarm)	Oberer Rötton			
	(quarzitreich)	"Rötquarzit" (eigentlich: "Lithozone der Rötquarzite" nach Lützner, unveröffentlicht) [U28]		Quarzitschichten	
Quarzitgruppe	Quarzitschichten		Röt 3	Braunrote Tonsteinschichten	Zone der Rötquarzite
	Braune Tonsteinschichten				
Grenzquarzit		(Grenzquarzit) (*)	Grenzquarzit		
Schiefertonfolge	Plattensandstein, Rotbunte Wechselfolge und Grauer Basiston	Mittlerer Rötton (**)	Röt 2	Plattensandstein i.e.S. Rotbunte Wechselfolge	Untere Röttonsteine mit Plattensandstein
		Plattensandstein			
		Unterer Rötton	Röt 1	Grauer Basiston	

(*) Die Horizontbeständigkeit dieser Grenze gilt nach Ellenberg et al. (1976) [U15] wegen mangelnder Aufschlüsse als unsicher.

(**) Aus der Dokumentation in Ellenberg et al. (1976) [U15] wird nicht klar, ob bereits an der Basis des "Mittleren Rötton" ein Quarzit - der Grenzquarzit - auftritt oder ob alle Quarzite der "Lithozone der Rötquarzite" zugerechnet werden. Daher ist nicht klar, ob der "Mittlere Rötton" ein Äquivalent des unteren Teils der "Brauntonen Tonsteinschichten" ist oder nicht.

5.2 Aktualisierung der GK25

Für die Aktualisierung der GK25 des Modellgebiets (Anlagen 5 und 6) wurde die Software ArcGIS Version 10.6.1 der Firma ESRI verwendet. Grundlage der Bearbeitung war der vormals aktuellste Stand der GK25 aus [U2].

Zur Fortschreibung und Aktualisierung wurden die modellierten Flächenpolygone (Kontakte) aus dem aktualisierten geologischen 3D-Modell [U4] in das GIS importiert. Somit wurde die Konsistenz der im aktualisierten geologischen 3D-Modell [U4] verwendeten Schichtmächtigkeiten und Störungsverläufe sowie deren Versatz mit den kartierten Kontakten der GK25 sichergestellt. Diese Vorgehensweise diente insbesondere zur Verifizierung der Kontakte entlang von Schichtgrenzen und Störungen im Bereich der Quartärüberdeckungen (Quartär-abgedeckte Karte, Anlage 6). Die Quartärausstriche haben sich gegenüber [U2] nicht verändert und wird wie bisher erst ab einer Mächtigkeit von 2 m in der GK25 (Anlage 5) dargestellt

Zur korrekten Benennung der Kartiereinheiten sowie deren Kürzel orientiert sich die vorliegende Arbeit, wie schon [U1] und [U2], am SEP-3-Symbolschlüssel. Neben der aktualisierten geologischen Situation des Modellgebiets enthält die fortgeschrieben GK25 Positionsangaben zu den untersuchten Fundpunkten sowie die Standorte ausgewählter Bohrungen (aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nur Bohrungen mit ≥ 20 m Endteufe) und Quellen im Modellgebiet in den Anlagen 4 bis 7 dargestellt. Alle mit Anlage 1 dokumentierten Bohrungen (einschließlich der in den Karten dargestellten Bohrungen im Modellgebiet) wurden für die Darstellung der GK25 (Anlage 5 und 6) wie auch für die geologische 3D-Modellierung [U4] verwendet. Tektonische Daten, insbesondere der Verlauf von Störungen (vgl. Kapitel 6.4.1) und Umgrenzungen von Subrosionssenken (vgl. Kapitel 6.4.3), wurden sowohl aus früheren Karten (o.g. GK25 Blätter und Manuskriptkarten) als auch aus vorangegangenen Bearbeitungen (z.B. [U31], [U58], [U59], [U60], [U39], [U61], [U28]) und im Ergebnis der aktuellen Fortschreibung (geologische 3D-Modellierung [U4]) übernommen und digitalisiert. Die in der GK25 (Anlagen 5 und 6) dargestellten Störungen werden mit Kapitel 4.2 hergeleitet.

6 Ergebnisse

6.1 Kartiereinheiten im Modellgebiet

Zur Aktualisierung der GK25 des Modellgebiets (Anlagen 5 und 6) wurden insgesamt 30 verschiedene Kartiereinheiten verwendet und damit eine mehr als in den Vorgängerversionen [U1] und [U2]. Diese Kartiereinheiten basieren sowohl auf den lithologisch-stratigraphischen Einheiten in den bereits existierenden geologischen Karten (o.g. GK25 Blätter 5126 Vacha, 5226 Stadtlengsfeld, 5225 Geisa, 5125 Friedewald sowie diversen Manuskriptkarten) und deren Erläuterungen als auch auf den im Rahmen der Vorgängerversionen [U1] und [U2] erfolgten Plausibilitätsanalysen und Neukartierungen. Wesentliche Änderung gegenüber [U2] ist die im Zuge der vorliegenden Fortschreibung und Aktualisierung der geologischen Karte erfolgte Unterteilung der Volpriehausen-Wechselfolge (smVW in [U2]) in eine obere Wechselfolge smWV2 und eine untere Wechselfolge smVW1 (siehe Erläuterungen in Kapitel 3 und [U6] und [U5]).

Die 30 Kartiereinheiten sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Datengrundlage und Bezeichnung sowie Kurzbezeichnung (nach SEP-3, 6. Auflage, 2013) der Kartiereinheiten des Modellgebiets.

Bezeichnung der Kartiereinheiten	Kürzel (SEP-3)	Datengrundlagen der lithologisch-stratigraphischen Beschreibungen der Kartiereinheiten
Halde, Aufschüttung	A	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld
Auesediment, Talaue, Holozän der Nebentäler	qh	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld
Schwemmfächer	qhs	GK25 Blatt 5126 Vacha
Süßwasserkalk	qhK	GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld
Blockschutt, Basaltschutt, Kalkschutt	qwhg	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld
Hanglehm, lehmiger Hangschutt, Löss, Fließerde	qwl	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U14]
Pleistozäne Schotter	qps	GK25 Blatt 5126 Vacha; [U2]
Miozäne Kiese, Sande und Tone	tmi	GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld
Basalt	tmiB	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U14]; [U64]
Basaltbrekzie	tmiBb	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]
Ceratitenschichten	moC	GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U63]
Trochitenkalk	moT	GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U63]
Mittlerer Muschelkalk	mm	GK25 Blatt Stadtlengsfeld; [U63]
Schaumkalk	muS	GK25 Blatt Stadtlengsfeld; [U63]
Oberer Wellenkalk	muWO	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]
Terebratelbänke	muT	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]
Mittlerer Wellenkalk	muWM	GK25 Blatt Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]
Oolithbänke	muO	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]
Unterer Wellenkalk	muWU	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]
Röt	so	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U65]; [U66]; [U2]
Thüringer Chirotheriensandstein	smTC	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]
Solling-Sandstein	smSS	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]

Bezeichnung der Kartiereinheiten	Kürzel (SEP-3)	Datengrundlagen der lithologisch-stratigraphischen Beschreibungen der Kartiereinheiten
Hardeggen- Wechsel- folge	smHW	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]
Hardeggen-Sandstein	smHS	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]
Detfurth-Wechsel- folge	smDW	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]
Detfurth-Sandstein	smDS	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]
Obere Volpriehau- sen- Wechselfolge	smVW 2	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]; [U4]; [U6]; diese Arbeit
Untere Volpriehau- sen- Wechselfolge	smVW 1	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]; [U4]; [U6]; diese Arbeit
Volpriehausen-Sand- stein	smVS	GK25 Blatt 5126 Vacha; GK25 Blatt 5226 Stadtlengsfeld; [U62]; [U63]; [U2]
Bernburg-Wechsel- folge	suBW	[U14]

6.2 Räumliche Verbreitung der Kartiereinheiten im Modellgebiet

Für Modellgebiet ergibt sich vereinfacht folgendes Gesamtbild der räumlichen Verbreitung der ausstreichenden (z.T. übertägig aufgeschlossenen) Kartiereinheiten (vergleiche Anlagen 5 und 6):

- Der **Untere Buntsandstein** (Bernburg-Wechselfolge) streicht ausschließlich im nördlichen Modellgebiet und dort nur im Bereich der Werraue aus. Zwei insuläre Ausstrichbereiche bei Philippsthal kurz vor der Ulstermündung sind wegen der Quartärbedeckung nur in Anlage 6 zu erkennen, während im Bereich zwischen Harnrode und Heimboldshausen der suBW auch in Anlage 5 in Erscheinung tritt.
- Ausstriche des **Mittleren Buntsandstein** dominieren im Modellgebiet. Insbesondere im Zentrum des Modellgebiets entlang des mehr oder weniger N-S streichenden Taleinschnittes der Ulster (Blätter 5125 Friedewald, 5225 Vacha) ist diese Einheit aufgeschlossen. Die Volpriehausen-Formation streicht großflächig nördlich der Werra sowie in kleineren Arealen am Lohberg bei Philippsthal und als smVW2 wieder großflächig im Ulstertal aus. Die Detfurth- und Hardeggen-Formation sind an den Hängen der Täler von Werra, Ulster, Ausbach, Öchse und Breizbach vertreten. Insbesondere die Detfurth-Formation tritt im Nordosten des Modellgebietes auch flächig auf. Die potentiell verwitterungsbeständigeren Sandsteine der Solling-Formation (smSS, smTC) bilden morphologische Hochflächen. Diese werden nahezu flächendeckend land- und forstwirtschaftlich (z.B. Alter Acker und Hobholz; beide südlich der ESTA-Rückstandshalde Hattorf gelegen) genutzt, d.h. Informationen sind auf diesen Hochlagen ausschließlich anhand von Lesesteinen zu gewinnen. Die Solling-Formation ist lediglich in einer Baugrube direkt am westlichen Ortsausgang von Glaam (Blatt 5125 Friedewald) durch den Thüringer Chirotheriensandstein (smTC) gut aufgeschlossen gewesen (z.B. Aufschluss-Nr. 38; siehe Anlage 2). Der Übergang vom Solling-Sandstein (smSS) zum Thüringer Chirotheriensandstein (smTC) ist zudem an der Aufwölbung am südwestlichen Rand der ESTA-Rückstandshalde aufgeschlossen (Aufschluss 115, Anlage 2).
- Vorkommen des ausstreichenden **Oberen Buntsandstein** (Röt) konzentrieren sich im westlichen und südlichen Teil des Modellgebiets (Blätter 5125 Friedewald, 5225 Geisa) v.a. an den Hängen zwischen Landecker Berg und Grasberg sowie im Südosten am Dietrichsberg,

Öchsenberg und Ulsterberg. Sie sind lediglich mit Lesesteinen auf Ackerflächen nachweisbar (z.B. Aufschluss-Nr. 76; siehe Anlage 2). Das Rötorkommen unter Quartärer Überdeckung, auf der Hochfläche des Stöckig-Ruppershöhe, wird mit Kapitel 6.3 beschrieben.

- Ausstriche des **Muschelkalks** dominieren entlang der westlichen Grenze des Modellgebiets (Blätter 5125 Friedewald, 5225 Geisa) in Form von morphologischen Hochlagen (z.B. Landecker Berg, Schwarzelsberg, Grasberg). Muschelkalkorkommen im östlichen Teil des Modellgebiets (Blätter 5126 Vacha, 5226 Stadtlengsfeld) sind dagegen lokal auf die Hänge des Öchsen- und Dietrichsberges beschränkt.
- Die flächenmäßig größten, übertägigen Vorkommen tertiärer Basalte konzentrieren sich ebenfalls auf die morphologisch markanten Hochlagen am Öchsen-, Dietrichs- und Ulsterberg. Daneben gibt es kleinere Vorkommen von Schlotbrekzie am Ulstertal-Radweg nordwestlich von Räsa und sowie südlich der Bohrung Nr. 193 westlich von Philippsthal. Bei der Darstellung der nicht-übertägig kartierten Basalte (Anlage 4.1) wird der Zusammenstellung durch K+S (Stand Juni 2017; JUNGSMANN persönliche Mitteilung) gefolgt. Dies enthält die Basaltorkommen nach [U62] sowie die von K+S untertägig, z.B. anhand von Horizontalbohrungen nachgewiesenen Vorkommen [U67].
- **Quartäre** Lockersedimente erstrecken sich über das gesamte Modellgebiet. Häufig sind pleistozäne Schotter und Löss auf den morphologischen Hochlagen des Modellgebiets sowie Auesedimente entlang des Werra- und Ulstertals verbreitet.

6.3 Morphologisch-geologische Situation im Bereich des Höhenrückens der Stöckig-Ruppershöhe

Als für die geplante Erweiterung der ESTA-Rückstandshalde Hattorf vorhabensrelevant wurde die konkrete Abgrenzung eines relikartigen Rötorkommens (unter quartärer Überdeckung) und in diesem Zusammenhang auftretende Dolinen im Bereich der Stöckig-Ruppershöhe (Anlagen 5 und 6) eingeschätzt (Stellungnahme des HLNUG (vormals HLUG) vom 07.07.2015; [U68]). Die dortigen Dolinen geben einen Hinweis auf einen rezenten oberflächennahen Sulfatkarst. In diesem Zusammenhang war auch die vermutete Existenz eines geologischen Grabens mit Rötfüllung zu diskutieren, welcher möglicherweise sich bis in die geplante Haldenerweiterungsfläche erstreckt.

Mit der ursprünglichen GK25 [U1] wurde das Rötorkommen aufgrund der fehlenden Datengrundlage und der vollständigen Überdeckung mit Quartär nicht ausgewiesen.

Eine solche Ausweisung erfolgte erstmals in [U2] auf Grundlage der Auswertung zwischenzeitlich gewonnener Erkenntnisse aus Geländebegehungen, zusätzlichen Bohrungen und Baugrunderkundungen (siehe [U69]) sowie der Neueinstufung des ursprünglichen Quartärs (neu: q und so) zur Befahrung des Bohrkerns der Bohrung GWM 25/2012 HA durch HLNUG und K+S KALI GmbH am 07.04.2016 (siehe [U70]) und dem Verteilungsmuster der Dolinen. Dabei wurde festgestellt, dass das Rötorkommen sich auf den Bergrücken südwestlich der Bohrung INK 20/2016 HA (K+S Nr. 8777) beschränkt und somit nicht innerhalb des geplanten Haldenerweiterungsgebietes ausstreicht [U2]. Die Hypothese eines geologischen Grabens mit Rötfüllung konnte widerlegt werden [U2]. Die rezente Bildung von kleinmaßstäblichen Dolinen, die im Umfeld der Stöckig-Ruppershöhe beobachtet werden (diese geben ebenso Hinweis auf die maximale Rötverbreitung, vgl. Anlage 6), kann für das Haldenerweiterungsgebiet ausgeschlossen werden.

Durch das Abteufen der drei Bohrungen GWM 86-88/2020 HA (K+S-Nrs.: 9795-9797) sind für die hier vorgelegte, jüngste Fortschreibung und Aktualisierung der GK25 weitere Informationen über Verbreitung und lokale Mächtigkeit des Rötorkommens an der Stöckig-Ruppershöhe hinzugekommen. Sie zeigen, dass sich das Vorkommen weiter nach Nordenwesten und Südwesten erstreckt als in [U2] angenommen. Auch eine Verbindung zum flächig auftretenden Rötorkommen im Bereich

Schwarzelsberg, die den insularen Charakter des Röstvorkommens der Stöckig-Ruppershöhe aufheben würde, ist unter Berücksichtigung der Geländemorphologie im Ergebnis der Modellierung in [U4] vorstellbar, wurde aber vor dem Hintergrund fehlender Aufschlüsse in diesem Bereich nicht umgesetzt.

6.4 Tektonik

Das ermittelte tektonische Inventar ist in den Anlagen 4.1 und 4.2 dokumentiert. Die Anlage 4.1 enthält sämtliche von den verschiedenen Bearbeitern postulierten tektonischen Elemente. In der Anlage 4.2 erfolgt die Darstellung der Klüftrosen auf der Grundlage der vereinfachten Darstellung der Anlage 4.1. Bei den in der Anlage 4.1 dargestellten tektonischen Elementen 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 [U71], [U59], [U58], [U53], [U12], [U62], [U72], [U14], [U61] sowie [U2] und dieser Bearbeitung).
2. Schichtausbisse [U59]: Aus dem DGM5 ermittelte kleine Geländestufen, die durch erosionsresistente Bänke verursacht werden. Die in [U59] 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 [U59]: Lineamente, an denen Schichtausbisse unterbrochen, jedoch nicht erkennbar versetzt sind. Diese Strukturen werden als Bruch- bzw. Klüftzonen gedeutet.
4. Fotolineationen [U72]: Können auf neueren Luftbildern (Stand 2008/09) nicht nachvollzogen werden.

5. Basaltvorkommen, Klüfte und brekziierte Bereiche aus der untertägigen Erkundung (Ergebnisse der untertägigen Bohrerkundung und der untertägigen Kartierung)

Im Rahmen der Bearbeitung der [U2] (Aktualisierung der GK25 zum Stand 2017/2018) wurden weitere Daten erhoben, die ebenfalls in Anlage 4.1 bzw. 4.2 dargestellt werden und in die Bewertung des tektonischen Inventars des Modellgebietes einfließen:

6. Überprüfung und Verfeinerung der geomorphologischen Auswertung des DGM5
7. Überprüfung von Schichtversätzen an postulierten Störungen durch Geländebegehungen.
8. Kluftmessungen an geeigneten Aufschlüssen (s. Anlagen 2 und 3) und nach Auswertung von Bohrlochscannern (Anlage 4.2)
9. Auswertung der vorhandenen reflexionsseismischen Profile im Hinblick auf die Lage von Störungsindikatoren und die Lagerungsverhältnisse der Schichtenfolgen

Im Rahmen der hier vorliegenden, jüngsten Fortschreibung und Aktualisierung wurde die Gabelarmstörung 17 nördlich des Kreuzgrabens wieder aus den Karten (und aus [U4]) entfernt (siehe Anlage 4.1, Kapitel 6.4.1 und [U4]).

Die Ergebnisse der im Rahmen früherer Geländearbeiten erfolgten Kluftmessungen in den Übertageaufschlüssen des Modellgebiets (vgl. Anlage 3) sowie die Kluftmessungen basierend auf den Daten der Trennflächen nach Bohrlochscanner der Bohrungen des Haldenmonitorings Hattorf (siehe [U73]) liegen in Form von Kluftrosen vor und wurden in Anlage 4.2 dargestellt.

6.4.1 Störungen

Aus den existierenden geologischen Karten (o.g. amtliche GK25 und Manuskriptkarten) konnten die Positionen von Störungen in die hiesige tektonische Karte des Modellgebiets übertragen werden. Des Weiteren wurden Informationen sowohl nachgewiesener als auch vermuteter Störungen aus einer bisher unveröffentlichten Strukturkarte der GK25 Blatt 5126 Vacha [U58] berücksichtigt. Zusätzlich beinhaltet die vorliegende Arbeit weitere Ergebnisse aus Laserscan-Auswertungen in [U59] und die aktuellen strukturgeologischen Datensätze aus Anlage 7 in [U39] und aus [U61]. In den Anlagen 4.1-4.2 aus [U61] wird der Kenntnisstand zur Tektonik im Werra-Kaligebiet auf Grundlage früherer Kartierungen und geophysikalischer Untersuchungen (Reflexionsseismik und Georadar) zusammengefasst. Die in [U61] erbrachte Synthese der sehr umfangreichen tektonischen Daten, insbesondere hinsichtlich unter- und übertägiger Störungen im Modellgebiet, wurde im Rahmen von [U2] auf Plausibilität überprüft und in der hiesigen tektonischen Karte (siehe Anlage 4) berücksichtigt. Hierbei ist festzustellen, dass nach reflexionsseismischen Ergebnissen (z.B. [U35]) lokalisierte untertägige Störungen oft mit Positionen von Störungen an der Geländeoberkante des Modellgebiets übereinstimmen [U1]. Daher erscheinen die tektonischen Informationen sowohl aus Anlage 4 von [U61] als auch die in der GK25 Blatt 5126 Vacha als plausibel. Die in [U59] als Störungen interpretierten Geländestufen zwischen Räsa und Ransbach, für die ein Versatz weder im Gelände nachgewiesen (durch die Kartierungen nach [U14] und [U12]) noch durch Bohrerergebnisse belegbar waren, wurden in Anlage 4 nicht als Störungen dargestellt. Des Weiteren wird die Manuskriptkarte [U18], welche sich im Modellgebiet mit der amtlichen GK25 Blatt 5225 Geisa überlappt, jedoch an den betreffenden Stellen keine Störungen aushält, als wenig plausibel eingeschätzt, da in dieser Karte auch die in Abbildung 3 gezeigten seismisch nachgewiesenen Störungen fehlen.

Die drei aus dem K+S-Regionalmodell [U71] stammenden, im Modellgebiet befindlichen Störungen Nr. 130 [entspricht Nr. 15 in diesem Bericht], Nr. 165 [entspricht Nr. 16 in diesem Bericht] und Nr. 175 [entspricht Nr. 24 in diesem Bericht] wurden ebenfalls in dieser Ausarbeitung berücksichtigt. Diese sind in der Anlage 4 in den Abschnitten, in denen sie übertägig nicht auskartiert werden konnten, als vermutete Störungen dargestellt.

Die in [U59] ausgehaltenen und als Schichtausbisse interpretierten Geländekanten können nicht vorbehaltlos als solche bestätigt werden. Abbildung 5 zeigt exemplarisch Geländekanten in der Umgebung des Schachts Heimbaldshausen. Jene Kanten, die parallel zu den in [U14] kartierten Grenzen verlaufen, können durchaus Schichtausbisse sein; jedoch zeigt sich nördlich des Ausbachs, dass schräg zu den kartierten Schichtgrenzen verlaufende Geländekanten vermutlich auf alte Wege zurückzuführen sind.

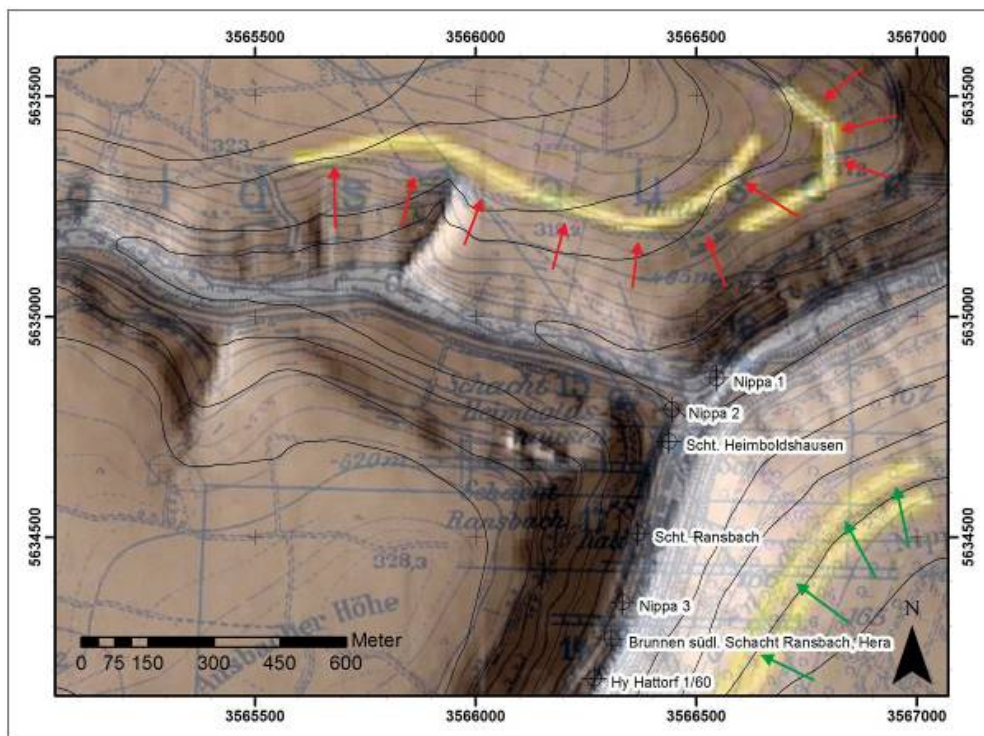


Abbildung 5: Ausschnitt aus der GK25 Friedewald überlagert mit Abb. 42 aus [U59]. Die roten Pfeile zeigen Waldwege, welche fast genau den postulierten Geländestufen (gelbe Linien) entsprechen. In anderen Fällen (grüne Pfeile), wo die Geländestufen nicht dem Wegenetz folgen, bestätigen diese die kartierten Grenzen.

Ein dichtes Netz an fotogeologischen Lineationen [U72], welche überwiegend N-S und untergeordnet SE-NW und SW-NE streichen, werden in der vorliegenden Arbeit nicht als Störungen berücksichtigt. In Anlehnung an [U28] werden diese Strukturen stattdessen als Zonen eventuell erhöhter Kluft-

dichte angesehen. Sie waren auf den vorliegenden Luftbildern als Störungslineamente nicht nachvollziehbar; ihre Richtung stimmt allerdings mit den gemessenen Klufttrichtungen (siehe Anlage 4.2) überein. Mit diesen Lineationen übereinstimmende Versätze wurden von keinem der unterschiedlichen Bearbeiter kartiert. Ebenfalls nicht als Störung nachweisbar sind die in [U59] dargestellten Lineamente des K+S-Regionalmodells (Stand: 2011) zwischen Ulsterberg und Philippsthal, die auch bereits in der dort erläuterten Analyse nicht bestätigt werden konnten. In [U59] als Brüche ausgehaltene Lineamente werden nur dort berücksichtigt, wo sie an Störungen anknüpfen oder parallel zu diesen verlaufen. Die übrigen Bruchzonen, besonders am Dietrichsberg werden ebenfalls als Zonen erhöhter Kluftdichte bzw. durch Erosion herauspräparierte Kluftzonen angesehen.

Eine auf Schürfe gestützte Kartierung im Kreuzgraben [U53] erbrachte mehrere störungsbegrenzte Schollen mit teilweise erhaltenen Röt-Basistonen, wobei die Störungen Sprunghöhen bis 40 m aufweisen sollen. Gemeint ist der Bereich der Störungen Nr. 7-10 (siehe Anlage 4.1). Dies steht im Widerspruch zur [U14], laut der im Bereich des Kreuzgrabens keine Störungen kartiert werden konnten und die Hardeggen-Wechselfolge dort als stratigraphisch höchste Einheit auftritt. Dabei ist auffällig, dass die Detfurth-Wechselfolge mit einer Ausstrichmächtigkeit von rund 50 m kartiert wurde, wohingegen Bohrungen im Haldenumfeld Mächtigkeiten von 20 bis 25 m für diese Einheit zeigen (vgl Anlage 1 und [U4]). Durch die inzwischen erfolgte Überschüttung durch die ESTA-Rückstandshalde Hattorf ist dieser Widerspruch im Gelände nicht zu klären. Anhand der vorhandenen Dokumentation kann das Auftreten von Rötsedimenten in Schurf 1.3 von [U53] nicht zweifelsfrei bestätigt werden. Falls es sich tatsächlich um verwittertes Röt handelt, könnte dieses auch die Füllung eines Erdfalls sein in [U4] sowie in der hiervorgelegten Arbeit wird das Rötorkommen weiterhin ausgewiesen.

Der Bereich Kreuzgraben-Ochsengraben war bereits in [U1] und [U2] Gegenstand umfassender Auswertungen und Diskussionen der verfügbaren (Bohr-)Daten hinsichtlich der tektonischen Situation. Dabei ging es insbesondere um die Frage, ob sie die Mächtigkeit der Detfurth-Wechselfolge im Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattorf eher im Bereich von 35-40 m oder doch im Bereich von 20-25 m bewegt (siehe [U2]), wobei letzterer Wertebereich eher den kartierten Mächtigkeiten aus [U12] entspricht. In [U2] wird im Ergebnis der Datenauswertung eine Variante mit Mächtigkeiten des Haldennahen smDW von 21,10 bis 25,10 m favorisiert, was im Nachgang i.V.m. Ergebnissen aus [U14]

die postulierte Verlängerung der Störung Nr. 14 zur Störung Nr. 10 aus [U53] bedingt, welche die Hypothese von der Existenz des im vorangegangenen Absatz beschriebenen Röt-Vorkommens im Kreuzgraben stützt.

Im Zuge der hier vorgelegten jüngsten Fortschreibung und Aktualisierung der GK25 ergibt sich für diesen Bereich noch einmal eine starke Verbreiterung der Datenbasis, die im Wesentlichen aus der Abteufung der 20 Bohrungen der GWM 66-85/2018 HA resultiert. Bei acht dieser 20 Bohrungen (GWM 66, 69, 72, 75, 78, 79, 80 und 83 - /2018 HA) handelt es sich um Kernbohrungen, die in [U5] Gegenstand einer detaillierten geologischen Studie waren. Die stratigraphische Einordnung der genannten Bohrungen in [U5] stützt sich in erheblichem Maße auf Gamma-Ray-Log-Untersuchungen nach [U6]. Die in [U6] gemachten Fortschritte in der Korrelierung von Gamma-Ray-Logs und stratigraphischen Einheiten haben auch zu einer Neuinterpretation der Schichtenverzeichnisse einer Reihe von Bestandsbohrungen geführt (siehe Anlage 3 zu [U4]). Die Mächtigkeit des smDW in den neuen und neu stratifizierten Schichtenverzeichnissen reicht nun von 21,1 m in GWM 31/2012 HA (in dieser Hinsicht hat sich also an der Interpretation der Stratigrafie dieser Bohrung gegenüber [U2] nichts verändert) bis hin zu 26 m in GWM 30/2012 HA, wobei der Mittelwert bei 23,7 m ($n = 16$) liegt. Die in den vorangegangenen beiden Absätzen beschriebenen Überlegungen zum Verlauf der Störung Nr. 10 und dem Röt-vorkommen im Kreuzgraben werden durch diese Ergebnisse bestätigt.

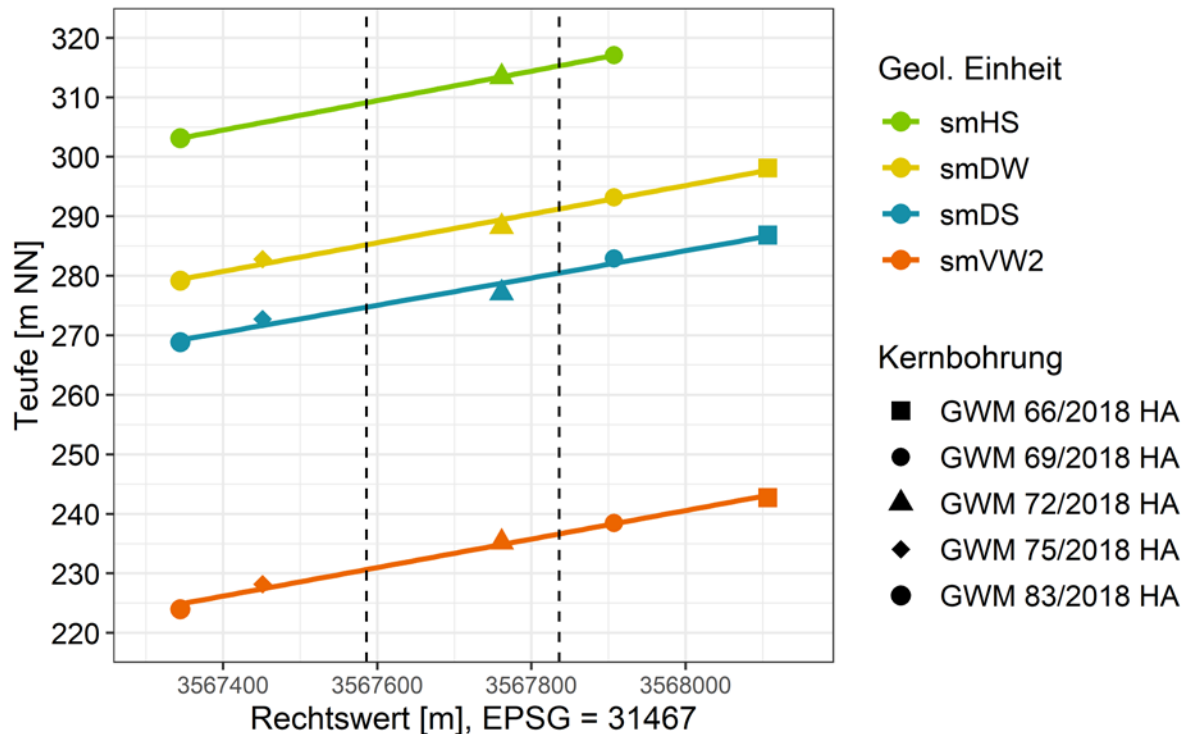


Abbildung 6: Stilisierte Profilschnitt bei Hochwert 5633760 (EPSG = 31467) mit Bohrmarkern der neuen Kernbohrungen, Regressionsgeraden als hypothetischem Schichtverlauf und Schnittflächen der in diesem Bereich entfernten Gabelstörung 17 (schwarz-gestrichelte Linie)

Deutliche Änderungen ergeben sich aus den neuen Bohrdaten jedoch für den Bereich westlich der Störung Nr. 10, in dem sich die Erweiterung der Phase 1 der ESTA-Rückstandshalde Hattorf befindet. Hier befand sich in [U1] und [U2] die Gabelstörung Nr. 17, die laut damaligem Kenntnisstand von der Zellersbachmündung im Norden bis zur Landesgrenze Hessen-Thüringen im Bereich der Bestandschalde verlaufen und dort in die Störungen Nr. 14 und Nr. 30 übergehen habe sollen.

Die Kernbohrungen GWM 66, 69, 72, 75 und 83/2018 HA fallen nahe einer gedachten Linie, die sich bei einem Hochwert von 5633760 (EPSG = 31467) etwa 750 m in exakter Ost-West-Richtung zieht und dabei beide Arme der Gabelstörung Nr. 17 nahe der Nordflanke der Phase 1 der Erweiterung der ESTA-Rückstandshalde Hattorf überfährt. Erhebliche Versätze einer solchen Doppelstörung sollten sich demnach im Vergleich der mittels Gamma-Ray-Log genau stratifizierten [U6] Schichtenverzeichnisse der Bohrungen wiederfinden lassen.

Die Abbildung 6 zeigt die Teufen der Schichtunterkanten von smHS bis smVW2 für die genannten Bohrungen entlang der gedachten Linie in einem simplen Profil-Diagramm. Zusätzlich sind für jede Schicht auf Basis der in den fünf Bohrungen verfügbaren Bohrmarkern Regressionsgeraden berechnet worden, die einen vereinfachten Schichtenverlauf im Profil symbolisieren sollen. Darüber hinaus markieren zwei gestrichelte, schwarze Vertikalbalken, wo in Abbildung 6 die Arme der postulierten Gabelstörung Nr. 17 durch das Profil schneiden.

Gäbe es in diesem Bereich tatsächlich einen erheblichen Versatz in Folge einer Störung, so müsste sich dieser im Vergleich von Bohrmarkern und Regressionsgeraden in Abbildung 6 widerspiegeln. Dies ist allerdings nicht der Fall. Tatsächlich zeigt sich für die Schichten im Liegenden des smHS, für die jeweils 5 Bohrmarker vorliegen (der smHS wurde in GWM 66/2018 HA nicht erbohrt, weil er hier entweder bereits ausgestrichen oder nur noch wenige Dezimeter mächtig und jedenfalls nicht identifiziert worden ist), dass das Einfallen der Schichten östlich wie westlich der Gabelstörung Nr. 17 identisch und der Schichtverlauf kontinuierlich ist. Im Ergebnis der hier vorgelegten jüngsten Fortschreibung und Aktualisierung der geologischen Karte i.V.m. den Ergebnissen der geologischen 3D-Modellierung [U4] wird daher davon ausgegangen, dass die Störung Nr. 17 in diesem Bereich nördlich des Kreuzgrabens nicht existiert und die Störungen Nr. 30 und Nr. 14 in diesem Bereich entsprechend nicht über den Kreuzgraben hinaus nach Norden verlängert werden dürfen (siehe Anlage 4.1 zu diesem Bericht und Anlage 5 zu [U4]), bzw. die Störung Nr. 17 so zu kürzen ist, dass sie im Kreuzgraben endet.

Der südliche Verlauf der Störungen Nr. 14 wurde bereits in [U2] im Bereich der Quellen 1, 6 bis 9 (K+S Nr.: 3348, 3351, 8708, 8709, 8711), in der Subrosionssenke von Unterbreizbach, durch die Auswertung der Geoelektrik [U46] und [U51] präzisiert und gilt weiterhin unverändert.

Eine Übersicht der für das Modellgebiet postulierten tektonischen Elemente ausschließlich der bereits diskutierten Datensätze aus [U61] und [U59] gibt die Arbeit [U60]. Der Bestand an Störungen im K+S-Regionalmodell (Stand Dezember 2013) und deren Grundlagen wird in [U71] erläutert.

Die Störungen Nr. 28 bis Nr. 31 (vgl. Tabelle 8) waren aufgrund der Auswertung der Geoelektrik im Süden, Südwesten und Südosten der ESTA-Rückstandshalde Hattorf ([U46], [U47], [U51], [U48], [U49], [U41], [U42], [U43] und [U45]) bereits in [U2] hinzugekommen. Die Störung Nr. 30 (und der Seitenast

Nr. 29) wurden als Verlängerung der nun allerdings wesentlich gekürzten Störung Nr. 17 vom SW-Rand der ESTA-Rückstandshalde nach Unterbreizbach verlängert [U2]. Erkennbar sind diese als Bereiche mit geringen spez. Widerständen gemäß der geoelektrischen Messergebnisse. Diese sind mit erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten assoziiert. Der Verlauf dieser Störungen ist durch die Schnittpunkte mit diesen Messprofilen und der vermuteten Beziehung zu den Quellen 3 und 12 festgelegt [U2] und werden auch in dieser jüngsten Fortschreibung und Aktualisierung vor dem Hintergrund der überzeugenden geoelektrischen Datenlage beibehalten. Die Versätze betragen im Ergebnis der geologischen 3D-Modellierung [U3] nach weiterhin gültiger Kenntnis wahrscheinlich nur wenige Meter. Die Störung Nr. 31 verläuft in E-W Richtung vom Wolfsgaben bei Unterbreizbach in das südliche Haldenvorfeld und wurde ebenfalls anhand der Schnittpunkte mit den geoelektrischen Messprofilen festgelegt. Aufgrund der zusätzlichen Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen im Bereich der Liniendrainage an den Quellen Unterbreizbach, konnte der Verlauf der Störungen Nr. 14 und Nr. 31 (Anlage 4.1) in Teilabschnitten als sicher angenommen werden.

Zwei weitere Störungen (Nr. 28) im Hobholz südwestlich der ESTA-Rückstandshalde sind erkennbar als Bereiche mit geringen spez. Widerständen gemäß der geoelektrischen Messergebnisse (siehe Abbildung 6 und Abbildung 7 in [U2]). Diese sind mit erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten assoziiert. Der Verlauf beider Störungen ist durch die Schnittpunkte mit diesen geoelektrischen Messprofilen und den Schichtausbissen im Schoppengraben (Anlage 4.1) festgelegt. Der mögliche Versatz beträgt im Ergebnis der geologischen 3D-Modellierung [U3] nach weiterhin gültiger Kenntnis wahrscheinlich nur wenige Meter.

In der folgenden Tabelle 8 werden die Störungsgruppen nach ihren Quellen und Plausibilitätskriterien aufgelistet. Die Störungen (bzw. Störungsgruppen) sind in der Anlage 4.1 anhand ihrer Quellen dargestellt und anhand ihrer Nummern (vgl. Tabelle 8) kenntlich gemacht. Die in die aktualisierte GK25 übernommenen Störungen sind in Anlage 5, 6 und 7 dargestellt.

Tabelle 8: Übersicht über die Störungen im Modellgebiet (vgl. Anlage 4.1)

Nr.	Störung/Gruppe von Störungen	Quelle	Bearbeitung/Übernahme in GK25
1	Störung unter/N von Heimboldhausen	Nordteil: [U14], Südteil: [U2]	Übernommen, angenommener Verlauf im Süden durch die geologische 3D-Modellierung [U3] nicht vollständig bestätigt und nicht übernommen
2	Störungen am Burgholz, N der Werra	[U14]	Übernommen
3	Störungen NE Philippsthal	GK25 5126 Vacha	Übernommen (bis auf ungesicherten Teilbereich im Nordosten des Modellgebietes); Bestätigung durch Altseismik Hattorf IV (1964) Profil 34 bei Schußpunkt 4 – 7 [U35]
4	Störung N des Lohberges	[U2]	Übernommen, Geländebegehung in [U2]; Abgleich [U14] und [U12] an der ehemaligen Staatsgrenze
5	Vier Störungen unter den Ulsterwiesen	[U71]	Übernommen, Zonen erhöhter Leitfähigkeit in HEM-Daten; Bestätigung durch Reflexionsseismik (Störungsmarker), parallel zu und in Verlängerung von Nr. 2, östliche Störung entspricht Nr. 129 im K+S Regionalmodell
6	Störung östlich der Anhydrit-halde	[U2]	Übernommen, Versatz von ca. 20 m nachgewiesen durch GWM 32/2012 HA, 33/2012 HA, 34/2012 HA, 35/2012 HA; sichtbar in TEM-Daten 2012
7	Störung Kreuz-graben Ost-seite der Gra-benschulter	[U53]	Übernommen, bestätigt durch Versatz zwischen GWM 1 und GWM 35/2012 HA
8	Störung Kreuz-graben West-seite der Gra-benschulter	[U53]	Übernommen, bestätigt durch Versatz zwischen GWM 1 und GWM 31/2012 HA, Verlängerung unter Werra-Aue möglich, jedoch nicht östlich von Fundpunkt 104 verlaufend, da dort kein Versatz erkennbar
9	Störung Och-sengraben Ost-seite der Gra-benschulter	[U2]	Übernommen, nachgewiesen durch Versatz zwischen GWM 2 und GWM 31/2012 HA, Verlängerung unter Werra-Aue möglich

Nr.	Störung/Gruppe von Störungen	Quelle	Bearbeitung/Übernahme in GK25
10	Störung Röh- rigshof – Och- sengraben - Kreuzgraben (bis Grenze Hessen/ Thü- ringen)	[U53], [U2], dieser Bericht	Übernommen, Verlängerung nach NW in den Och- sengraben begrenzt neu aufgefundenen Störungs- block mit Nr. 8 und 9, Versatz an dieser Störung er- klärt die auffällig hohen Ausstrichmächtigkeiten der smDW nach der Kartierung durch [U14]
11	Störung unter Vacha	[U58]	Übernommen, bestätigt durch Bohrungen (Oberzella 3/2010, Vacha 3, Hy Vacha 61) und Kartenbild (Hö- henlage kartierter Grenzen unter Beachtung des Ein- fallens) in der GK25 5126 Vacha
12	Störungen ent- lang der Öchse und der Sünna sowie an der Westseite des Öchsenbergs	[U58]	Übernommen; plausibel nach Kartenbild GK25 5126 Vacha
13	Störung vom Wolfsgraben in das Ulstertal	[U36]	Übernommen, Altseismik Sünna 1977, nördliches Ende der Profile SUE 13/77 und VA 34/75 (s. [U36], Strukturkarte Anlage 42)
14	Zwei Störun- gen vom Rödersberg in Richtung Kreuzgraben (bis Grenze Hessen/ Thü- ringen)	[U12], GK25 5126 Vacha, [U53], [U2]	Übernommen aus den genannten Quellen, erweitert und abschnittsweise bestätigt durch Altseismik Sünna 1977 (Profile SUE 13/77, SUE 26/77 und VA 34/75, s. [U36], Strukturkarte Anlage 42), Geländebe- gehung und Versatz von Quellhorizont im smHS am Köthenacker, präzisiert durch Ergebnisse der Geo- elektrik und Baugrunduntersuchungen im Bereich der Quellen 1, 6 bis 9 und dort in Teilabschnitten als gesichert übernommen ;
15	Störung zwi- schen Phi- lippsthal und Räsa	[U71]	Störung Nr. 130 aus K+S Regionalmodell, kein über- tägig nachweisbarer Versatz (nicht übernommen)
16	Störung N Un- terbreizbach	[U71]	Störung Nr. 165 aus K+S Regionalmodell, kein über- tägig nachweisbarer Versatz (nicht übernommen)

Nr.	Störung/Gruppe von Störungen	Quelle	Bearbeitung/Übernahme in GK25
17	Gekürzte Störungen im südlichen Kreuzgraben (ab Grenze Hessen/ Thüringen) bis in das Werratal	[U53], [U2], dieser Bericht	Aus den Karten (siehe Anlage 4.1) und dem geologischen 3D-Modell [U4] entfernt im Ergebnis der Diskussion in diesem Bericht. Grundlage sind die neuen Bohrungen GWM 66, 69, 72, 75 und 83/2018 HA und deren stratigrafische Einstufung in [U6] und [U5] (vergleiche Abbildung 6)
18	Störung bei der Schellmühle	[U14]	Übernommen
19	Störung am Landecker Berg	[U61] und [U59]	Übernommen, in [U59] als „Brüche“ ausgehaltene Lineamente durch Kartierung nicht nachgewiesen; Störung bei Hilmes nach Kartenbild plausibel
20	Störungen zwischen Räsa und Ransbach	[U59]	Nicht übernommen; kein kartierbarer Versatz nach [U14] und [U12]
21	Störung von Sünna zum Ulstertal bei Räsa	[U61]	Übernommen; abschnittsweise bestätigt durch [U59]
22	Störung am Südhang des Öchsenbergs	GK25 5126 Vacha	Übernommen
23	Störung im Ulstertal von Pferdsdorf nach Räsa	[U2]	Übernommen; belegt durch Bohrungen (Pferdsdorf [Versenkbohrung], Pferdsdorf 2z, 2z2, 2/89)
24	Störung unter Oberbreitzbach und am Schwarzelsberg	[U71]	Störung Nr. 175 aus K+S Regionalmodell, nicht übertägig nachgewiesen, kein kartierbarer Versatz nach [U14] und eigener Geländebegehung, daher nicht übernommen
25	Störungen im Bereich Soisberg, Grasberg und NE Mansbach	GK25 5225 Geisa	Übernommen, teilweise bestätigt durch Altseismik Hattorf II (1962) Profil 20 zwischen Schusspunkt 39 und 45 sowie Hattorf III (1962) Profil 35 und Hattorf IV (1964) Profil 43 [U35], teilweise (Meiselsgraben und S Oberbreitzbach) bestätigt durch [U61] und [U59], im Meiselsgraben zusätzlich durch die Kartierung [U12] und zugehörige Strukturkarten nach [U63]

Nr.	Störung/Gruppe von Störungen	Quelle	Bearbeitung/Übernahme in GK25
26	Störung am Ulsterberg SW Pferdsdorf	Kartierung [U12] und zugehörige Strukturkarten nach [U63]	Übernommen; bestätigt durch [U59]
27	Störung von Mühlwärts zum Winkelsgraben, Störungen am Südhang des Ulsterbergs	Kartierung [U12] und zugehörige Strukturkarten nach [U63]	Übernommen; Verlängerung nach Osten entsprechend kartierter Grenzen bei [U12]
28	Zwei Störungen im Hobholz SW der ESTA-Rückstandshalde Hattorf	[U2]	Als vermutet übernommen, erkennbar als eng begrenzte Bereiche erniedrigter spez. Widerstände (steil orientierte Diskontinuitäten) gemäß geoelektrischer Messerergebnisse. Verlauf ist durch die Schnittpunkte mit diesen geoelektrischen Messprofilen und den Schichtausbissen im Schoppengraben festgelegt. Versatz im Ergebnis der geologischen 3D-Modellierung wahrscheinlich nur wenige Meter
29	Kurzer Seitenast der Störung 30	[U2]	Als vermutet übernommen, erkennbar als eng begrenzte Bereiche erniedrigter spez. Widerstände (steil orientierte Diskontinuitäten) gemäß geoelektrischer Messerergebnisse. Nach Süden nicht mehr in den geoelektrischen Messprofilen nachweisbar. Versatz aufgrund der geringen Längserstreckung der Störung in wahrscheinlich nur wenige Meter
30	Vom SW-Rand der ESTA-Rückstandshalde (Grenze Hessen/ Thüringen), nach Unterbreizbach	[U2]	Als vermutet übernommen, erkennbar als eng begrenzte Bereiche erniedrigter spez. Widerstände (steil orientierte Diskontinuitäten) gemäß geoelektrischer Messerergebnisse. Verlauf ist durch die Schnittpunkte mit diesen geoelektrischen Messprofilen und der vermuteten Beziehung zu den Quellen 3 und 12 festgelegt. Versatz im Ergebnis der geologischen 3D-Modellierung wahrscheinlich nur wenige Meter

Nr.	Störung/Gruppe von Störungen	Quelle	Bearbeitung/Übernahme in GK25
31	E-W verlaufende Störung vom Wolfsgraben bei Unterbreizbach in das südliche Haldenvorfeld	[U2]	Als vermutet übernommen, erkennbar als eng begrenzte Bereiche erniedrigter spez. Widerstände (steil orientierte Diskontinuitäten) gemäß geoelektrischer Messerergebnisse; Teilabschnitt im Bereich der Liniendrainage der Quellen 1 sowie 6-9 aufgrund zusätzlicher Baugrunduntersuchungen als sicher angenommen. Verlauf ist durch die Schnittpunkte mit den geoelektrischen Messprofilen festgelegt. Versatz im Ergebnis der geologischen 3D-Modellierung wahrscheinlich nur wenige Meter

Aus der Synthese der Daten ergibt sich für das Modellgebiet ein vorherrschendes Streichen der Störungen in Form von Abschiebungen in die beiden Richtungen NW-SE und NNW-SSE sowie untergeordnet auch in die Richtung NNE-SSW (siehe Anlage 4.1). Dies stimmt gut mit von früheren Bearbeitern veröffentlichten Hauptstreichrichtungen für das Werra-Kaligebiet überein (z.B. [U74], [U75], [U76], [U28]). Demnach lassen sich Störungen im gesamten Werra-Kaligebiet nach ihren Streichrichtungen in vier Klassen einteilen: flachherzynisch-herzynisch ($\pm 120^\circ$ – 135°); steilherzynisch ($\pm 160^\circ$), rheinisch ($\pm 20^\circ$); erzgebirgisch ($\pm 65^\circ$). Hinsichtlich des Modellgebiets sind die Störungen mehrheitlich herzynisch bis steilherzynisch orientiert.

Eine Besonderheit im Werra-Kaligebiet stellen annähernd N-S („rhönisch“)-streichende Zerrspalten mit teilweiser Basaltfüllung dar. Daneben wurden aber auch Basaltgänge mit Streichrichtung NNW-SSE bzw. NNE-SSW (z.B. südlich Unterbreizbach, Anlage 4.1) erkundet. Im Jungtertiär boten die Zerrspalten Schwachstellen im Deckgebirge, welche von basaltischen Magmen zum Aufstieg genutzt wurden (z.B. [U75], [U76]). Dementsprechend zeichnen sich die Basaltgänge im Modellgebiet (vgl. Anlage 4.1) auffällig durch o.g. Orientierung aus. Die mit Anlage 4.1 dargestellten Basaltgänge und untertägig erkundeten Basalte resultieren neben den Untersuchungen von [U62] aus den Untersuchungsergebnissen und Datengrundlagen der K+S KALI GmbH [U67].

6.4.2 Klüfte

Die Ergebnisse der Kluftmessungen in 16 Übertageaufschlüssen des Modellgebiets sowie die Ergebnisse der Kluftmessungen mittels Bohrlochscanner ([U73]) wurden in Form von Kluftrosen in Anlage 4.2 dokumentiert. Diese lassen eine Hauptrichtung des Streichens von Klüften in Richtung N-S bzw. NNW-SSE sowie untergeordnet in Richtung E-W erkennen. Dies stimmt gut mit früheren Ergebnissen zu den Haupt- und Nebestreichrichtungen der Klüfte von [U28] und [U77] überein und zeichnet die Hauptstörungsrichtungen im Modellgebiet nach (Anlage 4.2).



Abbildung 7: Die Subrosionssenke von Unterbreizbach. Blickrichtung nach Norden.

6.4.3 Subrosion

Nördlich von Unterbreitzbach befindet sich eine markante morphologische Senke, die Subrosions-senke von Unterbreitzbach, welche bis etwa 200 m an den Südostrand der ESTA-Rückstandshalde Hattorf heranreicht (Abbildung 7). Früheren Untersuchungen, wie beispielsweise den Kartierungsarbeiten im Werra-Kaligebiet [U62], ist zu entnehmen, dass Auslaugungssenken im Werra-Kaligebiet vergleichsweise häufig auftretende Strukturen sind. Als allgemein entscheidende Faktoren für deren Anlage und Ausbau gelten sowohl tektonische Störungen im Deckgebirge als auch Basaltdurchbrüche sowie die hydrogeologischen Verhältnisse, insbesondere die Mengen des zur Verfügung stehenden Oberflächen- und Grundwassers [U78]. Die Störungen Nr. 14, welche die Subrosionssenke im Süden und Südwesten umrahmen, zeigen einen markanten Wechsel im Versatzsinn, teilweise mehrfach entlang einer Störung. Dies wird auf die lokal variable Auslaugung im Untergrund zurückgeführt. Basierend auf reflexionsseismischen Befunden wird in [U62] auf eine Auslaugung des Werra-Salzes von über 100 m im Zentrum der Mulde als Ursache für die Entstehung der Auslaugungssenke von Unterbreitzbach geschlossen.

Des Weiteren treten im Modellgebiet auch kleinere Senken und Erdfälle im Ausstrichbereich des Röts auf. Derartige Auslaugungen sind in [U14] als „Einbruchszonen an der Oberfläche“ südlich der Ortschaft Oberbreitzbach (Gemeinde Hohenroda) sowie am Ostrand des Landecker Bergs verzeichnet. Sie werden mit Subrosion von Evaporiten im Unteren Rötton assoziiert. In [U14] wurden auch kleine Auslaugungssenken in Ausstrichgebieten des Mittleren Buntsandstein kartiert, so z.B. bei Röhrigshof und am Trieschberg nördlich von Philippsthal. Die Subrosionssenke bei Röhrigshof (Anlage 4.1) wurde nicht in die geologische Karte (Anlage 5 und 6) übernommen, da es sich den Untersuchungen zu Folge um eine Erosionsstruktur am ehemaligen Prallhang der Werra handelt [U79].

Einige unveröffentlichte Manuskriptkarten zeigen noch eine weitere Einbruchszone am Trieschberg, die in [U14] nicht dokumentiert wurde. Diese wurde nicht in diese Ausarbeitung übernommen, da an dieser Stelle keine morphologische Einsenkung erkennbar ist.

In [U80] wurden Argumente gegen die Existenz von drei vermuteten Subrosionssenkens bei Mansbach am südlichen Rand des Modellgebietes dargelegt. Die südlichste Subrosionssenke liegt direkt an der Bohrung Mansbach 3/2014 (su). Aufgrund der Bohrergebnisse konnten keine Anzeichen von

Subrosion abgeleitet werden. Diese Subrosionssenke wurde somit nicht in dieser Ausarbeitung übernommen. Die anderen beiden Subrosionssenken weisen keinen direkten Bezug zu einer Bohrung auf und werden daher als vermutet in dieser Ausarbeitung belassen.

Auch bei der mit der Stellungnahme des HLNUG (vormals HLUG) vom 07.07.2015 [U68] vermuteten Subrosionssenke am Talbeginn des Ochsengrabens im Bereich der geplanten Haldenerweiterungsfläche, handelt es sich nach unserer Meinung um eine durch Oberflächenwasser geprägte, dreiecksförmige Erosionsstruktur [U81]. Diese wurde daher ebenso nicht in diese Ausarbeitung übernommen.

Ein in jüngerer Zeit dokumentierter Erdfall nordöstlich der Ortschaft Buttlar wurde ebenfalls auf Subrosionsvorgänge in Gips- und Anhydritvorkommen in den Unteren Röttonsteinen zurückgeführt [U82]. Darüber hinaus wurden im Kreuzgraben zwei kleinere Erdfälle (⁵⁶33230, ³⁵68210; ⁵⁶33155, ³⁵68180; EPSG: 31467) in der Detfurth-Wechselfolge dokumentiert [U53].

Die Erdfälle (Dolinen) im Bereich des Rötuvorkommens am Höhenrücken der Stöckig-Ruppershöhe wurden bereits mit Kapitel 6.3 erläutert.

7 Übersichtsdarstellung und Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Bericht wurde auf der Grundlage der bestehenden Untersuchungen [U1] und [U2] die Aktualisierung und Fortschreibung der vorhandenen GK25 dokumentiert. Die Umsetzung erfolgte in enger Rückkopplung mit dem ebenfalls fortzuschreibenden geologischen 3D-Modell [U4], um die gegenseitige Konsistenz sicher zu stellen. Das Modellgebiet im Umfeld des Werkes Werra, Standorte Hattorf und Unterbreizbach umfasst eine Fläche von 94,4 km². In der aktualisierten GK25 sind die Ausstriche sämtlicher lithostratigraphischer Untereinheiten des Unteren, Mittleren und Oberen Buntsandsteins, Muschelkalks, Tertiärs und Quartärs im Modellgebiet feinstratigraphisch dargestellt. Darüber hinaus beinhaltet die vorliegende Arbeit eine abgedeckte geologische Karte ohne Quartär, sowie eine strukturgeologische Karte und eine Karte mit der Lage der durchgeführten Reflexionsseismik und Geoelektrik innerhalb des Modellgebiets. Als Datengrundlage dieser Bearbeitung dienten sowohl amtliche GK25 der Blätter 5226 Stadtlengsfeld und 5126 Vacha in Thüringen sowie die Blätter 5225 Geisa und 5125 Friedewald in Hessen als auch unveröffentlichte Manuskriptkarten im Umfeld der Werksstandorte Hattorf und Unterbreizbach. Außerdem wurde auf Datensätze der geologischen Landesämter Hessisches Landesamt für Naturschutz Umwelt und Geologie (HLNUG) und Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN) zurückgegriffen. Ferner wurde bereits die Erstellung der ursprünglichen GK25 [U1] und [U2] mehrfach in Abstimmungsgesprächen und E-Mail-Verkehr mit den Landesämtern abgestimmt.

Bereits zur Ersterstellung der ursprünglichen GK25 [U1] wurden Neukartierungen entlang der ehemaligen DDR/BRD-Staatsgrenze sowie Plausibilitätsprüfungen durch Geländebegehungen durchgeführt. In 2017 erfolgte mit [U2] eine erste Fortschreibung und Aktualisierung der GK25, erforderlich geworden durch den seit 2013 im Rahmen von Baugrunderkundungen, Instandsetzungen und Neueinrichtungen von Grundwassermessstellen zur Erweiterung des vorhandenen Monitorings sowie weiteren geologisch-hydrogeologischen Untersuchungen gewonnenen erheblichen Erkenntnisgewinn. Die Aktualisierung und Fortschreibung der bereits vorhandenen GK25 [U2] basierte zudem auf Geländearbeiten von Dipl.-Geol. Andreas Brosig und Dipl.-Geol. Dr. Matthias Zippel zu zwei weiteren Terminen in den Zeiträumen Juni 2016 sowie Juni 2017.

Seit der Fertigstellung von [U2] sind im unmittelbaren Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattorf 32 neue Bohrungen abgeteuft worden, die eine Vielzahl von Schichtkontakten gerade in dem hydrogeologische besonders bedeutenden Formationen des mittleren Buntsandsteines durchteuft haben. Die Bohrkampagne wurde durch intensive Bemühungen zur präzisen Stratifizierung der gewonnen Kerne begleitet ([U6], [U5]) und führte im Ergebnis auch zu einer Neubewertung der stratigrafischen Einstufung von 29 umliegenden Bestandsbohrungen. Als Konsequenz aus der erheblich verbesserten Datendichte gerade auch im Nordwesten der ESTA-Rückstandshalde Hattorf konnte gezeigt werden, dass die in [U2] postulierte Störung Nr. 17 sich im mittleren Buntsandstein nördlich des Kreuzgrabens nicht mit dem erwarteten Versatz darstellt (siehe Abbildung 6) und daher in der vorliegenden Arbeit nur noch in erheblich gekürzter Form in der tektonischen Karte (Anlage 4.1) geführt wird.

Die weitgehende Kürzung der Störung Nr. 17 wurde in das geologische 3D-Modell [U4] übernommen, dessen Bearbeitung in enger Abstimmung mit dem vorliegenden Bericht erfolgt. In [U4] bedingt die bereichsweise Löschung der Störung Nr. 17 ein (virtuelles) Anheben der östlich der jeweiligen Störungsarme gelegenen Bereiche, die in [U2] und [U3] als abgeschobene Schollen interpretiert worden waren; eine Lesart, dem die seit dem neu hinzu gekommenen Bohrungen widersprechen. Die Anhebung der Schichten im geologischen 3D-Modell [U4], von denen eine ganze Reihe in der näheren Umgebung bedingt durch die morphologische Struktur des Geländes im Übergang zur Werraau ausstreichen, hat Folgen für die hier vorgelegte, fortgeschriebene und aktualisierte geologische Karte GK25. So haben sich die Ausbisslinien der Schichten des mittleren Buntsandsteins gegenüber [U2] entsprechend der Fallrichtung nach Südosten zurück gezogen (Anlagen 5 und 6).

Alle zur Aktualisierung der GK25 verfügbaren tektonischen Daten sowie die Lage der berücksichtigten Reflexionsseismik und Geoelektrik wurden zu deren Prüfung und Plausibilisierung in Hinblick auf die Erstellung der GK25 (Anlagen 5 und 6) in separaten Anlagen (Anlagen 4 und 7) dokumentiert.

Darüber hinaus erfolgte eine Berücksichtigung der Ergebnisse früherer geophysikalischer Untersuchungen im Modellgebiet, soweit diese die lithologischen oder struktureologischen Situationen widerspiegeln konnten. Hierbei ist jedoch festzustellen, dass lediglich eine Integration der Reflexionsseismik [U31] hinsichtlich des Nachweises von Störungen als sinnvoll betrachtet wird. Auswertungen

geoelektrischer und magnetischer (HEM, TEM) Messungen spiegeln dagegen primär den Grundwassergehalt und dessen Chemismus wider, weshalb diese Daten (z.B. [U37], [U83]) zur Erstellung und Aktualisierung der GK25 nur bedingt verwendet werden konnten. Jedoch können aus der HEM abgeleitete Geomagnetikdaten [U40] zur Lokalisierung nicht aufgeschlossener Basalte verwendet werden.

Dipl.-Ing. Volker Jungk

Dr. rer. nat. Sören Wilke

Literaturverzeichnis

- [U1] TU BERGAKADEMIE FREIBERG / JUNGK CONSULT GMBH (2014): „Bericht zur Geologischen Kartierung (M 1:25.000) um Umfeld des Produktions- und Haldenstandortes Werk Werra der K+S KALI GmbH, Freiberg, Mai 2014 – entspricht Bd. 3.9. RM HA des RBP 04/09 und dessen Aktualisierung im Entwurf, Juli 2016“, Mai 2014.
- [U2] TU BERGAKADEMIE FREIBERG / JUNGK CONSULT GMBH (2018): „Erläuterungen zur aktualisierten geologischen Karte 1 : 25.000 (GK25) des Produktions- und Haldenstandortes Werk Werra der K+S KALI GmbH, Stand: Dezember 2017“, Jan. 2018.
- [U3] Jungk Consult GmbH (2018): „Aktualisierung und Fortschreibung des geologischen, hydrogeologischen und numerischen Modells für das Umfeld der Produktions- und Haldenstandorte des Werkes Werra - Teilgebiet 1: Hattorf/Unterbreizbach - Bericht: Geologisches 3D-Modell des Produktions- und Haldenstandortes Werk Werra der K+S KALI GmbH, Stand 12/2017“, Jan. 2018.
- [U4] AKVO GmbH (2021): „Geologisches, Hydrogeologisches und Numerisches Modell für das Umfeld der Produktions- und Haldenstandorte des Werkes Werra; Teilgebiet 1: Hattorf/Unterbreizbach; Fortschreibung und Aktualisierung des geologischen 3D-Modells Hattorf; Stand: Februar 2021“, Feb. 2021.
- [U5] G. Büchel, R. Graupp, und T. Voigt (2020): „Kernaufnahme, Fazies-Interpretation und lithofazielle Korrelation am Werk Werra, Standort Hattorf, K+S Minerals and Agriculture GmbH“, Jena, 2020.
- [U6] K+S Minerals and Agriculture GmbH (2020): „Korrelation und stratigraphische Einstufung von Kernbohrungen nördlich, nordwestlich und westlich der Haldenerweiterungsfläche (Phase 1) der ESTA-Rückstandshalde Hattorf, Standort Hattorf, K+S Minerals and Agriculture GmbH“, Apr. 2020.
- [U7] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2020): „Stratigraphische Einstufung der Kernbohrungen RM-HA mit Erläuterungen“, Juni 2020.
- [U8] H. Lützner, J. Ellenberg, F. Falk, und E. Grumbt „5226 Stadtlengsfeld. – [In:] THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE (Hrsg.): Geologische Karte von Thüringen 1:25000, 3. neu bearbeitete Auflage, Weimar“.
- [U9] Lützner, Grumbt, Ellenberg, und Redlich (2000): „Geologische Karte von Thüringen 1:25.000, 3. neu bearbeitete Auflage; Blatt 5126 Vacha; THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE (Hrsg.)“, Weimar, 2000.
- [U10] M. Laemlen (1975): „Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt Nr. 5225 Geisa. – Hessisches Landesamt für Bodenforschung (Hrsg.), 2., neu bearbeitete Auflage, Wiesbaden“, 1975.
- [U11] Bücking (1992): „Behelfsausgabe der Geologischen Karte von Hessen 1:25.000, Faksimilierter Nachdruck der 2. Auflage, erschienen 1927; Blatt 5125 Friedewald; HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.)“, Wiesbaden, 1992.

- [U12] Falk, Grumbt, und Lützner (1976): „Grubenfeld Unterbreizbach, Geologische Karte M 1:25.000“, 1976.
- [U13] Ellenberg, Grumbt, und Lützner (1963): „Vacha, 1:25.000“, 1963.
- [U14] Lange (1959): „Werk Hattorf, Geologische Karte der Reservefelder, M. 1:25.000“, 1959.
- [U15] Ellenberg, Falk, Grumbt, und Lützner (1976): „Geologische Kartierung Werragebiet 1976 Mbl. Geisa (5225) NE-Teil M. 1:10.000. – AdW Zentralinstitut für Physik der Erde, Jena“, Jena, 1976.
- [U16] Leister (1988): „Geologie des Landecker-Bergs. Geologische Karte 1:10.000, Auszug aus: 5125 Friedewald, Gießen 1988. – Archiv Hessisches Landesamt für Bodenforschung“, Gießen, 1988.
- [U17] Lohmann „(unveröffentlicht) Geologische Kartierung des Schürffeldes Treischfeld, Blatt 5225 Geisa. – Archiv Hessisches Landesamt für Bodenforschung“.
- [U18] Herzberg, Hochscheid, und Paul „Geologische Karte 1:10.000, Ausschnitt aus TK25 5225 Geisa, Gießen 1996. – Archiv Hessisches Landesamt für Bodenforschung“.
- [U19] Laemmlen (1977): „Lageplan mit Geologie (abgedeckt) u. Schürfen, 1:5.000, Anl. 2. – [In:] FIN-KENWIRTH, LA-EMMLEN, PRINZ (1977): Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung über die Erweiterung der Rückstandshalde des Kaliwerkes Hattorf, Philippsthal (Werra), Kreis Hersfeld-Rotenburg, TK25 Blatt 5125 Friedewald“, 1977.
- [U20] Bücking, Koenen, Fulda, und Dietz (1926): „[5226] Lengsfeld, Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern; 2. Auflage (Lieferung 36 der 1. Auflage). Königl. Preuß. Landesaufnahme 1906. Geologisch bearbeitet durch H. Bücking 1923 unter Benutzung der ersten Aufnahme von A. von Koenen 1874-75. Bergbauliche Eintragungen von E. Fulda u. C. Dietz 1924.“, 1926.
- [U21] Bücking, Koenen, und Fulda (1924): „[5126] Vacha, Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern; 2. Auflage (Lieferung 36 der 1. Auflage). Königl. Preuß. Landesaufnahme 1905. Nachträge 1917. Für die 2. Auflage geologisch bearbeitet durch H. Bücking 1920 unter Benutzung der ersten Aufnahme von A. von Koenen 1872. Bergbauliche Eintragungen von E. Fulda 1922-23“, 1924.
- [U22] Bücking, Koenen, Fulda, und Dietz (1926): „[5125] Friedewald, Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern; 2. Auflage (Lieferung 36 der 1. Auflage). Königl. Preuß. Landesaufnahme 1906. Geologisch bearbeitet durch H. Bücking 1921 unter Benutzung der ersten Aufnahme von A. von Koenen 1877. Bergbauliche Eintragungen von E. Fulda u. C. Dietz 1924“, 1926.
- [U23] Laemmlen und Koenen (1975): „Geologische Karte von Hessen 1:25.000, 2., neu bearbeitete Auflage; Blatt 5225 Geisa; HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.)“, Wiesbaden, 1975.
- [U24] G. Schulze (1969): „Der Untere Buntsandstein der Scholle von Calvörde und benachbarter Gebiete.“, *Geologie*, **Band** 18, Nr. 1, 1969.
- [U25] Staatssekretariat für Geologie der DDR (1974): „TGL 25234/11 -Stratigraphische Skala der DDR, Trias.“, Berlin, 1974.

- [U26] J. Lepper (1993): „Resolutions on the fixing of the lithostratigraphic boundaries between the Zechstein, Bunter, and Muschelkalk and on the renaming of the sub-units of the Lower Bunter in the Federal Republic of Germany“, *njgpm*, **Band** 1993, Nr. 11, S. 687–692, Nov. 1993.
- [U27] K.-C. Käding „Die Aller-, Ohre-, Friesland- und Fulda-Folge (vormals Bröckelschiefer-Folge).“, *Glückauf*, **Band** 136, Nr. 12, S. 760–770.
- [U28] H. Lützner „Erläuterung Blätter Vacha und Berka. Kapitel 3.4. Trias; Kapitel 4. Lagerungsverhältnisse, Tektonik, Atektonik. – Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie“.
- [U29] O. Lenz (2017): „Bericht zu den pollenanalytischen Untersuchungen der Bohrung GWM 61/2017 HA der K+S KALI GmbH, Werk Werra“, TU Darmstadt, Darmstadt, 2017.
- [U30] Koenen, Bücking, und Dietz (1927): „Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt Vacha. – Preußische Geologische Landesanstalt (Hrsg.), Berlin, 1925.“, 1927.
- [U31] H. Ceyn und E. Wierczyko (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.“, 1962.
- [U32] F. Holländer und R. Köhler (1955): „Bericht über reflexionsseismische Untersuchungen im Konzessionsgebiet Eschwege-Rotenburg ausgeführt für die Wintershall-Aktiengesellschaft Celle und die Deutsche Vacuum Oel Aktiengesellschaft Celle Hannover von der Prakla Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung GmbH Hannover“, 1955.
- [U33] E. Kreitz, W. Müntefering, und L. Ruprecht (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 GmbH Hannover.“, 1956.
- [U34] D. Gottlieb und E. Wierczyko (1962): „Bericht Hattorf III über reflexionsseismische Ergänzungsmessungen 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.“, 1962.
- [U35] E. Wierczyko (1965): „Bericht Hattorf IV über reflexionsseismische Messungen im Schürfgebiet Fischbach der Vereinigten Kaliwerke Salzdettfurth AG Werk Hattorf ausgeführt für die Vereinigten Kaliwerke Salzdettfurth AG Hannover von der Prakla Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung GmbH Hannover.“, 1965.
- [U36] E. Woitschach (1977): „Ergebnisbericht Sünna 1.2. – VEB Geophysik Leipzig“, 1977.
- [U37] J. Barnasch und W. Beer W. (2010): „Hydrogeophysikalische Auswertung der Hubschrauber-elektromagnetik (HEM) 2008 im Werra-Kaligebiet. – K+S Aktiengesellschaft, Kassel“, 2010.

- [U38] S. Zeibig, J. Barnasch, und W. Beer 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“, 2011.
- [U39] S. Zeibig, J. Barnasch, und W. Beer W. (2011): „Nachweis und Bewertung der hangenden geologischen Barriere (Schutzschichten) für die Verbundgrube Hattorf/Wintershall. – K+S Aktiengesellschaft Kassel“, 2011.
- [U40] T. Kerner und B. Siemon (2009): „Aerogeophysikalische Erkundung der elektrischen Leitfähigkeit (HEM-Hubschrauberelektromagnetik) im Bereich des Staßfurt-Egelter Sattels.“, *Exkursionsführer und Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, **Band** 242, S. 9–19, 2009.
- [U41] R. Blum (2001): „Bericht über geoelektrische Tiefensondierungen am SW-Rand der Halde Hattorf. – HLUG“, 2001.
- [U42] R. Blum (2003): „Bericht über geoelektrische Tomografiemessungen an der Halde Hattorf. – HLUG“, 2003.
- [U43] R. Blum (2005): „Bericht über geoelektrische Tomografiemessungen 2005 an der Halde Hattorf. – HLUG“, 2005.
- [U44] GGD Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste mbH (2002): „Ergebnisbericht Nördliches Werra – Kaligebiet(Ulstermündung, Rhäden-Obersuhl, Sauergraben, Gißlingskirche) Geoelektrische Untersuchungen“, 2002.
- [U45] HLUG (2012): „Lageskizze und Profil zu den geoelektrischen Messungen (SW Halde HA) am 11.09.2012“, 2012.
- [U46] GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (2016): „Ergebnisbericht - Geoelektrische Messungen im südlichen Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattorf - zwischen GWM 9 und GWM 53/2016 HA“, Okt. 2016.
- [U47] GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (2016): „Ergebnisbericht, Geoelektrische Untersuchungen im Südwesten der Halde Hattorf“, 2016.
- [U48] GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (2017): „Ergebnisbericht - Ergänzende Geoelektrische Messungen im südlichen Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattorf - zwischen GWM 9 und GWM 53/2015 HA“, Feb. 2017.
- [U49] GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (2017): „Ergebnisbericht - Geoelektrische Untersuchungen im Süden und Südwesten der Halde Hattorf - Teil 1: Breitzbachtal (20.07.2017), Teil 2: Süd (08.08.2017), Teil 3: Halde Südwest (24.08.2017) sowie zugehörige raumbezogene digitale Daten“, 2017.
- [U50] GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (2016): „Ergebnisbericht - Geophysikalische Untersuchungen bei Unterbreitzbach (Thüringen)“, Nov. 2016.

- [U51] GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (2017): „Ergebnisbericht - Geophysikalische Untersuchungen bei Unterbreizbach (Thüringen) Ergänzende Messungen im Bereich Quelle 6“, März 2017.
- [U52] GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (2018): „Ergebnisbericht 18-081: Geoelektrische Messungen im Westen und Süden der geplanten Haldenerweiterung der ESTA-Rückstandshalde Hattorf“, Dez. 2018.
- [U53] A. Finkenwirth, M. Laemmlen, und H. Prinz (1977): „Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung über die Erweiterung der Rückstandshalde des Kaliwerkes Hattorf, Philippsthal (Werra), Kreis Hersfeld-Rotenburg. – Archiv Hessisches Landesamt für Bodenforschung“, 1977.
- [U54] K.-H. Voigt (1998): „Darstellung der geologischen und hydrogeologischen Situation für die Planfeststellungsverfahren in Hessen und Thüringen zur Erweiterung der Rückstandshalde Standort Hattorf, Werk Werra der Kali und Salz GmbH. – Bereich Geologie, Kali und Salz GmbH“, 1998.
- [U55] H. Boigk (1957): „Ausbildung und Paläogeographie des Buntsandsteins im nördlichen Teil der Niederrheinischen Bucht und seine Beziehungen zu benachbarten Gebieten“, *Geologische Jahrbuch*, **Band** 72, S. 347–366, 1957.
- [U56] P. Lange R. und K.-C. Käding (1961): „Stratigraphie und Tektonik im Buntsandstein des hessischen Werra-Kaligebietes östlich Bad Hersfeld.“, *Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zu Wiesbaden*, **Band** 89, S. 242–265, 1961.
- [U57] C. Hinze (1967): „Der Obere Buntsandstein (Röt) im südniedersächsischen Bergland.“, *Geologisches Jahrbuch*, **Band** 84, S. 637–716, 1967.
- [U58] J. Ellenberg (2004): „Strukturkarte. – [In:] THÜRINGER LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (unveröffentlicht): Beilage, Geologische Karte von Thüringen 1:250000, Blatt 5126 Vacha.“, 2004.
- [U59] G. Büchel, T. Burghardt, M. Lonschinski, H. Lützner, und D. Pudlo (2012): „Plausibilitätsanalyse und Neukartierung von Störungen im Modellgebiet Werra“, 2012.
- [U60] O. Jungmann (2012): „Anlage 3. Werk Werra, Standort Hattorf, Vorläufige strukturgeologische Situation und Basaltverbreitung, Modelllupe Teilgebiet 1 (Hattorf/Unterbreizbach) 1:20000. – K+S KALI GmbH, WE_F/U_G, Nr. 531, Philippsthal“, Nov. 2012.
- [U61] S. Zeibig, J. Barnasch, W. Beer W., S. Höntzsch, K.-C. Käding, S. Kluge, J. Plümacher, und J. Reuther (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“, 2012.
- [U62] E. Grumbt, J. Ellenberg, F. Falk, und H. Lützner (1967): „Geologische Erkundung des Deckgebirges im Werra-Kaligebiet. – Abschlussbericht zur Forschungs- und Entwicklungsarbeit, Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Geotektonisches Institut, Arbeitsgruppe Jena“, 1967.

- [U63] H. Lützner, J. Ellenberg, F. Falk, E. Grumbt, W. Stackebrandt, A. Stoll, und F. Wendland (1976): „Geologische Aufnahme des Deckgebirges im südlichen Werra-Kaligebiet. – Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde“, 1976.
- [U64] R. Geyer, H. Jahne, und S. Storch (1999): „Geologische Sehenswürdigkeiten des Wartburgkreises und der kreisfreien Stadt Eisenach.“, *Naturschutz im Wartburgkreis*, **Band 8**, S. 113–140, 1999.
- [U65] M. Laemmlen (1966): „Die Gliederung des Röt im Raum Bad Hersfeld/Eiterfeld.“, *Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zu Wiesbaden*, **Band 94**, S. 373–378, 1966.
- [U66] M. Laemmlen (1975): „Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt Nr. 5225 Geisa. – Hessisches Landesamt für Bodenforschung (Hrsg.), 2., neu bearbeitete Auflage, Wiesbaden“, 1975.
- [U67] K+S KALI GmbH (2017): „Digitale Daten Verbreitung Basalte Stand 11/2013 und Aktualisierung 07/2017“, 2017.
- [U68] HLNUG (2015): „Erweiterung der Rückstandshalde des Werks Werra, Standort Hattorf, Bergrechtliches Planfeststellungsverfahren; Stellungnahme des HLNUG vom 07.07.2015, Az: 89 07 48 – 158 / 11 Ab“, 2015.
- [U69] K+S KALI GmbH (2017): „Werk Werra, Standort Hattorf – Bohrberichte, digitale Stammdaten, Stratigrafie, Lithologie (K+S Datenbank) und Unterlagen zur Modellfortschreibung 2017, Juni 2017“, 2017.
- [U70] K+S KALI GmbH (2016): „Befahrung Bohrkern GWM 25/2012 HA, Kernlager des Hessischen Landesamts für Umwelt, Naturschutz und Geologie (HLNUG) in Hünstetten-Limbach am 07.04.2016; Protokoll“, 2016.
- [U71] J. Barnasch, J. Plümacher, S. Schäfer, und S. Zeibig (2013): „Erläuterung zur Auswahl und Bewertung des tektonischen Inventars des Werra-Kaligebietes. – Einheit Geologie der K+S Aktiengesellschaft“, 2013.
- [U72] W. Hessmann und A. Schwandt (1981): „Zur Bruchtektonik im Salinar und Deckgebirge“, *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, **Band 9**, S. 283–292, 1981.
- [U73] K+S KALI GmbH (2017): „Werk Werra, Standort Hattorf – digitale Daten der Trennflächen nach Bohrlochscanner Bohrungen Hattorf im Excel-Format“, Aug. 2017.
- [U74] P. Lange R. (1960): „Bericht über die Buntsandsteinkartierung im Haupt- und in den Reservefeldern des Kaliwerkes Hattorf im Sommer 1959“, Hera, 1960.
- [U75] W. Hessmann und E. Richter (1978): „Zu den strukturgeologisch-tektonischen Verhältnissen des Werra-Kaligebiets der DDR.“, *Zeitschrift für angewandte Geologie*, **Band 24**, Nr. 7/8, S. 292–296, 1978.
- [U76] E. Grumbt und H. Lützner (1983): „Saxonische Tektonik und Basaltvulkanismus zwischen Thüringer Wald und Vorderrhön.“, *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, **Band 11**, Nr. 8, S. 943–954, 1983.

- [U77] W. Hessmann (1983): „Zur strukturellen Formung und Beanspruchung des postvariszischen Gebirges im Südwesten der DDR.“, *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, **Band** 11, Nr. 8, S. 955–971, 1983.
- [U78] E. Grumbt und H. Lützner (1966): „Störungszonen im Deckgebirge des thüringischen Werra-Kaligebietes und ihre Beziehungen zum Basaltvulkanismus und zur Auslaugung“, *Geologie*, **Band** 15, Nr. 4/5, S. 531–544, 1966.
- [U79] TU BERGAKADEMIE FREIBERG / JUNGK CONSULT GMBH (2014): „Bergrechtliches Planfeststellungsverfahren zur Erweiterung der Rückstandshalde des Werkes Werra, Standort Hattorf in Philippsthal; Vollständigkeitsprüfung der Antragsunterlagen, Anmerkungen zur Stellungnahme des HLUG vom 01.09.2014 (Az.: 890748-158/11 Ab)“, Dez. 2014.
- [U80] J. Barnasch (2017): „Stellungnahmen zu den vermuteten Subrosionssenken bei Mansbach, Stand Juni 2017“, 2017.
- [U81] K+S KALI GmbH (2017): „Ergänzungsband 3.9E, Vermutete Subrosionssenke am Talbeginn des Ochsengrabens im Bereich der geplanten Haldenerweiterungsfläche sowie Rötorkommen im Bereich Stöckig-Ruppershöhe, Anhang 1N:Besprechungsprotokoll nebst Anlagen des Fachgespräches zwischen dem HLNUG und der K+S KALI GmbH am 18.09.2015, Anhang 2N Notiz nebst Anlagen zu ‚RM HA: Aktuelle Ergebnisse der Bohrungen GWM 41/2015 HA, GWM 58/2016 HA und INK 20/2016 HA‘ (Dr. P. Huttel, O. Jungmann, K+S KALI GmbH, 03.02.2017)“, 2017.
- [U82] O. Jungmann und W. Beer W. (2005): „Geologische Stellungnahme zum Erdfallereignis am 14.12.2004 nordöstlich der Ortschaft Buttlar im Werra-Kaligebiet. – interner Bericht der K+S Aktiengesellschaft“, 2005.
- [U83] J. Plümacher und J. Reuther (2012): „Hydrogeologische Auswertung der TEM-Messungen im Bereich der Rückstandshalde Hattorf bei Philippsthal. – K+S Aktiengesellschaft“, 2012.