SACHSEN-ANHALT

Stellungnahme des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) zum „Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG“ der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) vom 28.09.2020 – zur Betroffenheit des Landes Sachsen-Anhalt

Halle, den 03.06.2021

Landesamt für Geologie und Bergwesen, Abt. Geologischer Dienst

Verantwortliche Bearbeiter: Ehling, Bodo-Carlo & Hartmann, Klaus-Jörg,

Inhaltverzeichnis

1. Einleitung 5
2. Datenbereitstellung zur Anwendung der Ausschlusskriterien und der Mindestanforderungen ... 7
3. Prüfung der Anwendung der Mindestanforderungen 11
3.1 Teilgebiete Tongestein 11
3.1.1 Methodik zur Überprüfung der Teilgebiete mit dem Wirtsgestein Tongestein 12
3.1.2 Prüfergebnis in den ausgewiesenen Teilgebieten mit Tongesteinen 12
Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg 12
Teilgebiet 005_00TG_055_00IG_T_f_jm 14
Teilgebiet 006_00TG_188_00IG_T_f_ju 16
Teilgebiet 007_00TG_202_02IG_T_f_kru 17
3.2 Teilgebiete Salzgestein 19
3.2.1 Methodik zur Überprüfung der Teilgebiete mit dem Wirtsgestein Salzgestein 20
3.2.2 Prüfergebnis in den ausgewiesenen Teilgebieten mit steilem Salzgestein 21
Teilgebiet 052_00TG_119_00IG_S_s_z 21
Teilgebiet 054_00TG_124_00IG_S_s_z 21
Teilgebiet 055_00TG_130_00IG_S_s_z 22
Teilgebiet 056_00TG_132_00IG_S_s_z 23
Teilgebiet 057_00TG_133_00IG_S_s_z 23
Teilgebiet 058_00TG_136_00IG_S_s_z 23
Teilgebiet 059_00TG_137_00IG_S_s_z 23
Teilgebiet 060_00TG_144_00IG_S_s_z 24
Teilgebiet 061_00TG_145_00IG_S_s_z 24
Teilgebiet 062_00TG_146_00IG_S_s_z 24
Teilgebiet 073_00TG_183_00IG_S_s_z 25
Zusammenfassung steile Salzstrukturen 25
3.2.3 Prüfergebnis in den ausgewiesenen Teilgebieten mit stratiformen Salzgestein 25
Teilgebiet 078_05TG_197_05_IG_S_f_z 26
Teilgebiet 078_02TG_197_02IG_S_f_z 27
Teilgebiet 078_01TG_197_01IG_S_f_z 29
Fazit zur Anwendung der Mindestanforderungen und dem Ausmaß der Teilgebiete 29
3.3 Teilgebiete Kristallingestein 31
3.3.1 Methodik zur Überprüfung der Teilgebiete mit kristallinem Wirtsgestein 31
3.3.2 Prüfergebnis in den ausgewiesenen Teilgebieten mit kristallinem Wirtsgestein 32
Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO 32
Teilgebiet 010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ 34
Teilgebiet 011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ 36

Teilgebiete 012_01TG_198_01IG_K_g_RHE und 012_02TG_198_02IG_K_i_RHE 37
Anmerkungen zur verwendeten Datengrundlage 39
4. Geowissenschaftliche Abwägungskriterien 40
5. Datenlieferung nach Zwischenbericht 41
6. Zusammenfassung 42
Literatur- und Quellenverzeichnis 43
Tabellenverzeichnis 45
Abbildungsverzeichnis 45

1. Einleitung

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) hat im Rahmen der Suche nach einem Standort für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle am 28. September 2020 den Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 Abs. 2 S. 3 des Standortauswahlgesetzes (StandAG) veröffentlicht. In dem Zwischenbericht stellt die BGE die grundsätzlich geeigneten Gebiete, die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle in einem der drei Wirtsgesteine Tongestein, Steinsalz oder Kristallingestein erwarten lassen, dar.

Mit der Ausweisung der Teilgebiete ist die erste Entscheidung gefallen, welche Regionen im weiteren Prozess der Standortauswahl verbleiben. Von den 90 identifizierten Teilgebieten betreffen 23 auch das Bundesland Sachsen-Anhalt, dabei liegen nicht alle Teilgebiete ausschließlich in Sachsen-Anhalt, sondern auch in den Nachbarländern Brandenburg, Sachsen, Thüringen und Niedersachsen. Insgesamt sind 12.264 km^2, also rund 60 % der Landesfläche von Sachsen-Anhalt, als Teilgebiet ausgewiesen.

Tab. 1: Übersicht der Teilgebiete, der betroffenen Landkreise, Gesamtflächen und Flächen innerhalb von Sachsen-Anhalt.

Wirtsgestein	Teilgebiet	Stratigraphie Struktur-name	Landkreis	Gesamtfläche [km^2]	Fläche in ST [km^2]
Tongestein	004_00TG_053_00IG_T_f_tpg	Tertiär (Unteres Paläogen)	Altmarkkreis Salzwedel, Landkreise Börde, Jerichower Land und Stendal	62.885	3.478
	005_00TG_055_00IG_T_f_jm	Mittlerer Jura (Dogger)	Altmarkkreis Salzwedel, Landkreise Anhalt-Bitterfeld, Börde, Jerichower Land, Stendal und Wittenberg	18.811	3.329
	006_00TG_188_00IG_T_f_ju	Unterjura (Lias)	Altmarkkreis Salzwedel, Landkreise Anhalt-Bitterfeld, Börde, Jerichower Land, Stendal und Wittenberg	18.564	4.306
	007_00TG_202_02IG_T_f_kru	Unterkreide	Altmarkkreis Salzwedel, Landkreise Harz, Jerichower Land und Stendal	14.914	1.567
Steinsalz in steiler Lagerung	052_00TG_119_00IG_S_s_z	Allertal	Landkreis Börde	31	13
	054_00TG_124_00IG_S_s_z	Dannefeld	Altmarkkreis Salzwedel	10	
	056_00TG_132_00IG_S_s_z	Lüge-Liesten	Altmarkkreis Salzwedel	26	
	055_00TG_130_00IG_S_s_z	Jahrstedt	Altmarkkreis Salzwedel	9	
	062_00TG_146_00IG_S_s_z	Waddekath	Altmarkkreis Salzwedel	19	17
	057_00TG_133_00IG_S_s_z	Meßdorf	Altmarkkreis Salzwedel, Landkreis Stendal	34	
	058_00TG_136_00IG_S_s_z	Poppau	Altmarkkreis Salzwedel	7	
	059_00TG_137_00IG_S_s_z	Ristedt	Altmarkkreis Salzwedel	21	
	060_00TG_144_00IG_S_s_z	Bonese	Altmarkkreis Salzwedel	6	
	073_00TG_183_00IG_S_s_z	Offlebener Sattel	Landkreis Börde	19	3
	061_00TG_145_00IG_S_s_z	Nettgau	Altmarkkreis Salzwedel	8	1
Steinsalz (stratiform)	078_01TG_197_01IG_S_f_z	Niederlausitzer Becken	Landkreis Wittenberg	2.582	365
	078_02TG_197_02IG_S_f_z	Thüringer Becken	Burgenlandkreis, Kreisfreie Stadt Halle (Saale), Landkreis Mansfeld-Südharz, Saalekreis	6.151	1.631
	078_05TG_197_05IG_S_f_z	Subherzyne Mulde und Calförde-Scholle	Altmarkkreis Salzwedel	3.808	2.979
Kristallingestein	009_00TG_194_00IG_K_g_SO	Saxothuringikum	Burgenlandkreis, Saalekreis, Landkreise Anhalt-Bitterfeld und Wittenberg	32.655	768
	010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ	Mitteldeutsche Kristallinzone	Burgenlandkreis, Kreisfreie Stadt Dessau-Roßlau, Landkreise Anhalt-Bitterfeld, Mansfeld-Südharz und Wittenberg, Saalekreis, Salzlandkreis	10.066	1.268
	011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ	Südliche Phyllitzone	Burgenlandkreis, Saalekreis, Landkreise Anhalt-Bitterfeld und Wittenberg	991	547
	012_01TG_198_01IG_K_g_RHE	Rhenoherzynikum	Landkreis Harz	175	113
	012_02TG_198_02IG_K_i_RHE	Rhenoherzynikum	Landkreis Börde	53	

Diese Stellungnahme stellt eine erste Prüfung des LAGB Sachsen-Anhalt zur Anwendung der Ausschlusskriterien und der Mindestanforderungen (§ 22 und § 23 StandAG) in Hinblick auf die ausgewiesenen Teilgebiete dar und wird kontinuierlich fortgesetzt. In der vorgelegten Stellungnahme werden für die einzelnen Teilgebiete die Prüfungsergebnisse erläutert sowie Hinweise gegeben, welche Daten im weiteren Prozess der Endlagersuche eingehen sollten, um so zukünftig zielgerichtete Untersuchungen durchführen zu können.

2. Datenbereitstellung des LAGB für die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH zur Anwendung der Ausschlusskriterien und der Mindestanforderungen (§ 22 und § 23 StandAG)

Zu den Ausschlusskriterien

Die Datenabfragen und Bereitstellungen für die Anwendung von § 22 (Ausschlusskriterien) und § 23 StandAG (Mindestanforderungen) durch die BGE im Kontext der Teilgebietsausgrenzung erfolgten zu mehreren Zeitpunkten in den Jahren 2017 bis 2019. Eine Zusammenstellung der Ausschlusskriterien nach § 22 StandAG (Tab. 2) und Mindestanforderungen nach § 23 StandAG (Tab. 3) sind zusammen mit den bereitgestellten Daten, Quellen und einer groben Einschätzung der Verwendung bei der Teilgebietsausgrenzung im Folgenden aufgeführt.

Tab. 2: Bereitgestellte Daten für die Anwendung der Ausschlusskriterien (§ 22 StandAG).

Thema	Daten	Referenz	BGE*
1. Großräumige Vertikalbewegungen	Störungen, rezent mobil	Ellenberg (1988)	-
	Relativbewegungen	Ellenberg (1988)	-
	Satellitengestützte Bodenbewegungen Sachsen-Anhalt	SAR-Radardaten der Sensoren ERS-1 und ERS-2 (European Remote Sensing Satellites)	-
2. Aktive Störungszonen	Aktive Störungszonen (atektonisch)	Wansa (2004)	°
	Aktive Störungszonen (tektonisch)	Beutler (2001)	°
	Fotolineationen kosmischer Aufnahmen	ZGI Berlin (1989)	-
	Salzsättel und -stöcke	Martiklos (2001)	+
3. Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit	Rohstoffabhängige Bergbauberechtigungen des untertägigen Bergbaus		+
	Bohrungen mit einer Teufe über 100 m	ADB**	°
	1.352 Schichtenverzeichnisse Bohrungen Teufe >= 300m	ADB**	°
4. Seismische Aktivität	Seismische Aktivität in Sachsen-Anhalt (nach DIN EN 1998-1/NA 2011-2)	DIN EN 1998-1/NA 2011-2 (2011)	+
5. Vulkanische Aktivität	Keine Daten vorhanden	-	
6. Grundwasseralter	Keine digitalen Daten vorhanden	-	

**Nutzung der übermittelten Daten durch die BGE. Schlüssel: Nachvollziehbar nicht berücksichtigt (-) nachvollziehbar berücksichtigt (+) nachvollziehbar teilweise berücksichtigt (°). **Aufschlussdatenbank (ADB) des Landes Sachsen-Anhalt im LAGB.*

Zu 1. Großräumige Vertikalbewegungen

In der Datenlieferung des LAGB vom 28. Februar 2018 teilte das LAGB u. a. die Ergebnisse der Auswertung von satellitengestützten SAR-Radardaten der Sensoren ERS-1 und ERS-2 Messwerte aus fünf Szenen mittels PSI-Verfahren (Persistent Scatterer Interferometry) mit 65 992 mehr oder weniger gleichmäßig auf der Landesfläche verteilten Messpunkten mit. Eine erhebliche Anzahl von Messpunkten, verteilt über die gesamte Landesfläche, zeigt relative Bodenbewegungen von mehr als 1 mm pro Jahr an. Die Koordinaten dieser Objekte mit Relativbewegungen von mehr als 1 mm pro Jahr im Lage-Bezugssystem ETRS89 UTM Zone 32N (EPSG 25832) wurden der BGE übergeben. Seitens des LAGB wurde darauf hingewiesen, dass eine flächengenaue Aussage zu Hebungsvorgängen erst möglich ist, wenn die Ursache für die Hebung, der nach der PSI-Verfahren ermittelten Punkte geklärt wurde. Diese komplexe und äußerst aufwendige Bewertung sowie die Prognose von Hebungsereignissen konnte bislang nicht geleistet werden. Eine Bewertung der z. T. widersprüchlichen Datenlage erfolgte seitens der BGE insofern, dass von der BGE kein Gebiet in Sachsen-Anhalt im Zwischenbericht Teilgebiete auf

Grundlage des Kriteriums großräumige Vertikalbewegungen ausgeschlossen wurde. Hierbei bleibt die Rolle des Bergbaus zu prüfen.

Die Ergebnisse von Modellen zur zukünftigen geodynamischen Entwicklung sind mit der vorhandenen Datenbasis nur eingeschränkt validierbar (Jähne-Klingberg et al. 2019).

Zu 2. Aktive Störungszonen

Aus der Vielzahl der analogen tektonischen Daten erfolgte die Bereitstellung einer Auswahl von Kartenwerken, die Indikationen zu aktiven tektonischen und atektonischen Störungszonen sowie Salzsättel und -stöcke beinhalten (Tab. 2). Hierbei handelt es sich in erster Linie um Linieninformationen. Weitere Geometriedaten wie Einfallen, Längenangaben und Reichweite unter GOK liegen nicht vor. Belastbare Grundlagen zu genauem Alter und räumlicher Dimension tektonischer Störungen und deren Wiederaktivierungszeiten liegen aktuell nicht vor. Fotolineationen sind aus Sicht des LAGB möglicherweise als Indikationen für junge tektonische oder atektonische Bewegungen anzusehen. Nach Ansicht des LAGB besteht hier noch erheblicher Untersuchungsbedarf in Hinblick auf Genese, Alter und räumliche Erstreckung. Die BGE verwendete eine komplexe Methodik zur Anwendung dieses Ausschlusskriteriums (BGE 2020a). Nur einige der Störungen, die als Ausschlusskriterium genutzt wurden, decken sich gut mit den gelieferten Datensätzen. Im Zwischenbericht Teilgebiete der BGE (BGE 2020a, S. 50) wird darauf verwiesen, dass die räumliche Dimension von geologischen Störungen vom Millimeter bis Kilometer variiert – Zitat: „Die räumliche Dimension von geologischen Störungen erstreckt sich über viele Maßstäbe und reicht vom Millimeterbereich, z. B. einem Versatz zwischen Kristallkörnern, bis hin zu Störungszonen, deren Versatz viele Kilometer betragen kann.“ Diese räumliche Variation der geologischen Störungen findet sowohl in der Vertikalen als auch in der Horizontalen statt. Insofern erscheint der pauschale Sicherheitsabstand von 1000 m um die als aktiv klassifizierte Störungszone aus Sicht des LAGB fachlich nicht ohne Weiteres nachvollziehbar. Exemplarisch sei hier nur auf die tektonische Kartierung der Zechsteinbasis (Untertagekartierung der Tektonik im Bereich des abgebauten Kupferschieferflözes) im Mansfelder Revier verwiesen (Abb. 1, König 1991), die eine hohe räumliche Variation der Störungen belegt.

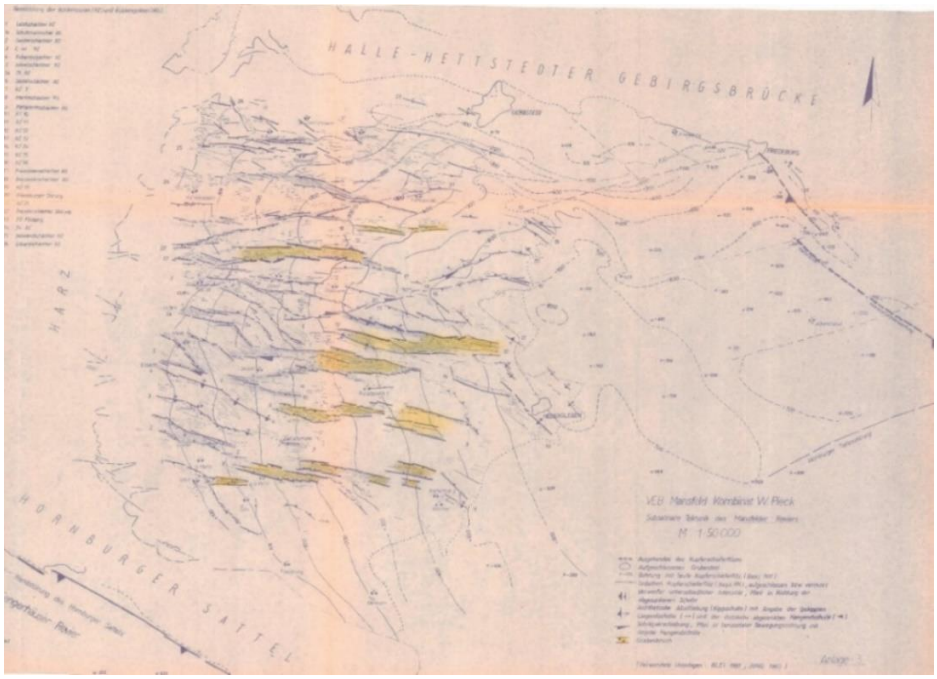

Abb. 1: Subsalinare Tektonik (Störungen in der Zechsteinbasis) des Mansfelder Kupferschieferreviers im Maßstab 1:50000 (König 1991).

Zu 3. Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit
Seitens der BGE wurde die Abfrage nach Bergbaudaten auf im Tiefbau bergmännisch gewonnene Erze und Salze beschränkt. Hilfsweise wurde zur Darstellung der Bereiche auf die Bergbauberechtigungen (welche in einigen Bereichen an die im Risswerk verzeichnete tatsächliche laterale Ausdehnung angepasst wurde) bzw. im Altbergbau auf die Umhüllende des aufgefahrenen Grubengebäudes zurückgegriffen. Erdöl/Erdgaslagerstätten sowie Solegewinnung – auch die damit verbundenen Bohrungen wurden ausdrücklich nicht berücksichtigt. Hier hätte ebenso hilfsweise auf die bestehenden Bergbauberechtigungen zurückgegriffen werden können. Dieser bewusste Verzicht seitens der BGE hat nun zur Folge, dass zum Beispiel das abbauhorizontüberdeckende Tongestein im Bereich Altmark zwar als Teilgebiet deklariert wurde, durch die mannigfaltigen Bohrungen aber kein ungestörter Horizont mehr ist. Die Generierung der „Ausschlussflächen“ der bergbaulich beeinflussten Bereiche an sich ist nachvollziehbar und methodisch schlüssig. Nach bilateralen Gesprächen wurde festgelegt, dass die Bergbauberechtigungen Struktur Altmark/Salzstock Peckensen, Zielitz II und Bernburger Hauptsattel – 1- Mitte grob, gemäß dem analog vorliegenden Risswerk an die bergmännsichen Auffahrungen angepasst werden sollen. Diese Flächen entsprechen nicht den jeweiligen Bergbauberechtigungen, sondern sind kleiner, da seitens der BGE deutlich gemacht wurde, dass die Umhüllende, in Anlehnung an die Darstellung der lateralen Ausdehnung des Altbergbaus möglichst genau das zum Erstellungszeitpunkt aufgefahrene Grubengebäude widerspiegeln sollte. So wurde seitens der BGE auch auf die Berücksichtigung der Bergbauberechtigungen Zielitz III, Nienburger Mulde und Solfeld Bründelscher Berg in Gänze verzichtet, da zum Zeitpunkt der Datenübermittlung diese Bergbauberechtigungen noch unverritzt waren. Auch die Verwendung eines Puffers um die Umhüllenden der bergmännischen Hohlräume ist nachvollziehbar. Hier wurde zunächst auf einen pauschalen Parameter, Grenzwinkel 85 Gon, abgestellt. Die jeweiligen Lagerstätten im Land Sachsen-Anhalt weisen in situ wesentlich flachere Grenzwinkel auf. So verweist das Werk Bernburg auf einen im Kali- und Steinsalzbergbau Mitteldeutschlands langfristig bestätigten Wert, welcher auch in der Senkungsprognose des Institutes für Gebirgsmechanik GmbH (IfG Leipzig) von 2007 Anwendung findet. Der hier angesetzte Grenzwinkel beträgt 50 Gon.

Da nicht von allen Bergwerken des Landes, auch vom Altbergbau nicht, messtechnisch/markscheiderisch nachgewiesene Grenzwinkel vorliegen, scheint in der ersten Auswahl/Ausschlussstufe die Verwendung des pauschalen Grenzwinkels von 85 Gon hinreichend.

Zu 4. Seismische Aktivität
Es wurden Daten zu seismischer Aktivität in Sachsen-Anhalt (nach DIN EN 1998-1/NA 2011-2) an die BGE übermittelt. Aufgrund der geringen seismischen Aktivität wurde das Ausschlusskriterium nicht angewendet.

Zu 5. Vulkanische Aktivität
Im Gebiet von Sachsen-Anhalt ist seit der Kreidezeit keine magmatischen Aktivität bekannt (Bachmann et al. 2008), somit sind keine Daten bzgl. rezenter vulkanischer Aktivität beim LAGB vorhanden. Dementsprechend sind keine Daten für dieses Ausschlusskriterium an die BGE übermittelt worden.

Zu 6. Grundwasseralter
Im LAGB liegen bisher keine digital verfügbaren Isotopendaten vor, aus denen auf das Alter des Grundwassers geschlossen werden kann, weswegen keine Übermittlung an die BGE stattgefunden hat.

Zu den Mindestanforderungen

Neben den Fachinformationen zur Anwendung der Ausschlusskriterien (Tab. 2) sind vom LAGB Sachsen-Anhalt Daten zur Erfüllung der Mindestanforderungen (Tab. 3) mit einer weiteren Datenabfrage an die BGE übermittelt worden. In dieser Datenabfrage befanden sich Flächeninformationen zu der räumlichen Verbreitung der drei Wirtsgesteine Salzgestein, Tongestein und Kristallingestein. Im Gegensatz zu den Ausschlusskriterien wurde ein Großteil dieser Daten eigens für die Anwendung als Mindestanforderung aus bestehenden Datengrundlagen am LAGB modelliert und kompiliert. Die Datengrundlage wurde aber weitestgehend nicht genutzt.

Die BGE hat auf Kartenwerke und Literatur (u. a. Doornenbal & Stevenson 2010; Reinhold 2005; Bachmann et al. 2008; Franke et al. 2020) zurückgegriffen und eigene Modelle erstellt (BGE 2020a). Viele Flächen stimmen grob mit übermittelten Unterlagen für die Mindestanforderungen überein. In Kapitel 3 werden die Teilgebiete in Sachsen-Anhalt mit der Aufschlussdatenbank (ADB) des Landes Sachsen-Anhalt wirtsgesteinspezifisch überprüft, um aufzuzeigen wo sich Endlager-relevante Lithologien der drei Wirtsgesteine in ausreichender Mächtigkeit befinden.

Tab. 3: Bereitgestellte Unterlagen zur Anwendung der Mindestanforderungen (§ 23 StandAG).

Thema	Daten	Referenz	BGE*
Steinsalzformationen	Stratiforme Steinsalzformationen	Reinhardt (1989a, 1989b)	?
	Stratiforme Steinsalzformationen, Speicher-Kataster Deutschland: Teilprojekt Sachsen-Anhalt	Brandes (2011), Müller & Reinhold (2011)	?
	Salzformationen in steiler Lagerung	Martiklos (2001)	?
Tongesteinsformation	Tithonium	Bach (1976), Reinhardt (1989c, 1989d)	?
	Obersinemurium bis Unteraalenium	Tessin (1975a, 1975b)	?
	Obersinemurium bis Unterpliensbachium	Tessin (1975b)	?
	Toarcium	Tessin (1975a)	?
	Barremium bis Unteralbium	Diener (1973), Reinhardt (1989e)	?
Kristallingesteinsformationen	Verbreitung plutonischer Gesteine und der Mitteldeutschen Kristallinzone	Bachmann et al. (2008)	?

**Nutzung der übermittelten Daten durch die BGE. Schlüssel: Nachvollziehbar nicht berücksichtigt (-) nachvollziehbar berücksichtigt (+) nachvollziehbar teilweise berücksichtigt (°) nicht nachvollziehbar (?).*

3. Prüfung der Anwendung der Mindestanforderungen

In Sachsen-Anhalt wurden insgesamt 23 Teilgebiete der Wirtsgesteine Tongestein, Salzgestein und Kristallingestein mit dem Zwischenbericht Teilgebiete durch die BGE am 28. September 2020 ausgewiesen (BGE 2020a). Hierfür wendete die BGE die gesetzlichen Mindestanforderungen für die Einlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen nach § 23 StandAG an. Die generellen Mindestanforderungen für die Endlagerung sehen nach § 23 Abs. 5 StandAG u. a.

(I) eine minimale Tiefenlage der Oberfläche der einschlusswirksamen Gebirgseinheit (ewG) von mindestens 300 m,
(II) eine maximale Tiefenlage des ewG von 1.500 m zur Gewährleistung der technischen Machbarkeit (AkEnd 2002, S. 97)
(III) und eine Mächtigkeit des ewG von mindestens 100 m vor.

Die BGE verfolgte bei der Identifizierung der Teilgebiete einen chronostratigraphischen Ansatz für Ton- und Salzgesteine bzw. einen tektonostratigraphischen Ansatz für die Kristallingesteine (BGE 2020a). Zur Überprüfung der Mindestanforderungen für die Teilgebiete empfiehlt das LAGB einen lithologischen bzw. lithostratigraphischen Ansatz. Dieser Ansatz ist in den folgenden Abschnitten wirtsgesteinspezifisch erklärt und die Ergebnisse der Überprüfung werden teilgebietsspezifisch zusammengefasst.

3.1 Teilgebiete Tongestein

Die BGE hat mit dem Zwischenbericht insgesamt vier identifizierte Gebiete und Teilgebiete mit dem Wirtsgestein Tongestein in Sachsen-Anhalt ausgewiesen (BGE 2020a). Potenziell für die Endlagerung geeignete Gesteine sind Tone, Tonsteine, Tonmergel und Tonmergelsteine (BGE 2020b). Diese dürfen auch untergeordnete Einschaltungen von Gesteinen wie Sandstein, Schluffstein und Kalkstein mit allen Zwischenstufen enthalten.

Basierend auf Hoth et al (2007) werden im Datenbericht Teil 2 (BGE 2020d) ein Anteil von mehr als 60 % Ton bzw. Tonstein sowie in Wechselfolgen Fremdgesteins-Zwischenlagen von mehreren Metern Mächtigkeit nutzbar eingestuft.

In Sachsen-Anhalt kommen Tongesteine und Tone im Unterjura (Hettangium, Sinemurium, Pliensbachium, Toarcium), Mitteljura (Aalenium, Bajocium, Bathonium, Callovium), in der Unterkreide (Valanginium, Hauterivium, Barremium, Aptium, Albium) und im Paläogen (Thanetium, Ypresium, Rupelium) vor. Die BGE sieht die Mindestanforderungen als erfüllt an, wenn eine Mächtigkeit des ewG im Tongestein von mindestens 100 m in einem Tiefenbereich von 300 bis 1.500 m in 3D-Modellen, thematischen Karten oder Bohrungen angezeigt wurde (BGE 2020b).

Als Datengrundlage nutzt die BGE (BGE 2020a) weitgehend Literaturdaten (Bachmann et al. 2008) und thematische Karten (Diener 1973, Tessin 1975a, Tessin 1975b, Doornenbal & Stevenson 2010). Zum Zeitpunkt der Erstellung des Zwischenberichtes lag für Sachsen-Anhalt noch kein 3D-Modell vor. Darüber hinaus wurden Bohrdaten aus der Tonstudie (Hoth et al. 2007) und die Kohlenwasserstoffdatenbank genutzt, die der BGE von der BGR zur Verfügung gestellt wurde (BGE 2020d). Diese Bohrungsdaten wurden jedoch nur stichprobenartig ausgewertet (BGE 2020d).

3.1.1 Methodik zur Überprüfung der Teilgebiete mit dem Wirtsgestein Tongestein

Für die Überprüfung der Teilgebiete des Wirtsgesteins Tongestein hat das LAGB Sachsen-Anhalt die digital in einer Datenbank vorliegenden Schichtenverzeichnisse (SVZ) für Bohrungen mit einer Endteufe größer 100 m herangezogen. Es wurde geprüft, ob die oben aufgeführten stratigraphischen Einheiten (Unterjura, Mitteljura, Unterkreide und Paläogen) die relevante lithologische Ausbildung mit der benötigten Mächtigkeit von mindestens 100 m im Teufenbereich von 300 bis 1.500 m enthalten. Basierend auf diesen Kriterien wurden die Bohrungen in vier Kategorien eingeteilt:

I) Alle Kriterien wurden erfüllt.
II) Lithologie und Mächtigkeit sind möglicherweise ausreichend vorhanden
III) Mindestens ein Kriterium (Teufe, Lithologie, Mächtigkeit) ist nicht erfüllt
IV) Wirtsgestein (Stratigraphie bzw. Lithologie) nicht angetroffen bzw. maximale Teufe von 1.500 m wurde nicht erreicht.

3.1.2 Prüfergebnis zur Anwendung der Mindestanforderungen in den ausgewiesenen Teilgebieten mit Tongesteinen

Die in Sachsen-Anhalt ausgewiesenen Teilgebiete Tongesteine nehmen eine summierte Gesamtfläche von 12.680 km^2 ein. Da sich alle Teilgebiete im Norden von Sachsen-Anhalt befinden, gibt es große Flächen, in denen sich mehrere Teilgebiete überschneiden. Auf die Oberfläche projiziert, sind 5.325 km^2 der Landesfläche von mindestens einem Teilgebiet betroffen (Landkreise Altmarkkreis Salzwedel, Stendal, Börde, das Jerichower Land, der Norden der Landkreise Anhalt-Bitterfeld und Wittenberg). In diesen Teilgebieten stehen zahlreiche Bohrungen (Tab. 4), die zum Teil mehrere Zielhorizonte angetroffen haben. Sie sind jedoch sehr unterschiedlich verteilt. Da die meisten der tiefen Bohrungen im Zusammenhang mit der Kohlenwasserstoffexploration in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts niedergebracht wurden, konzentrieren sie sich vor allem auf die Westaltmark (Altmarkkreis Salzwedel und nördliche Bördekreis). In den übrigen Gebieten überwiegen flache Bohrungen, von denen die meisten die Zielhorizonte nicht erreicht haben (Abb. 2 bis Abb. 5).

Tab. 4: Ergebnisse der Überprüfung von Bohrprofilen in den Teilgebieten mit Tongestein.

Teilgebiet	Anzahl Bohrungen im Teilgebiet	Anzahl Bohrungen tiefer als 300 m	Stratigraphische Einheit zwischen 300 und 1.500 m Teufe nachgewiesen	Tonstein und Tonmergelstein mit 100 m Mächtigkeit nachgewiesen	Alle Bedingungen erfüllt
004_00TG_053_00IG_T_f_tpg	767	508	402	63	60
005_00TG_055_00IG_T_f_jm	388	171	48	28	15
006_00TG_188_00IG_T_f_ju	633	373	138	95	78
007_00TG_202_02IG_T_f_kru	341	272	145	161	83

Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg

Das Teilgebiet „Tertiäre Tongesteine“ umfasst große Gebiete in mehreren Bundesländern. Es nimmt insgesamt eine Fläche von 62.885 km^2 ein, davon liegen 3.478 km^2 im Norden von Sachsen-Anhalt in den Landkreisen Altmarkkreis Salzwedel und Stendal sowie jeweils im nördlichen Teil der Landkreise Börde und Jerichower Land (Abb. 2).

Im Teilgebiet stehen in Sachsen-Anhalt 767 Bohrungen, deren digital in einer Datenbank vorliegenden Schichtenverzeichnisse ausgewertet wurden (Tab. 4). Davon haben 508 Bohrungen eine Endteufe von mehr als 300 m erreicht. 442 Bohrungen haben Paläogen aufgeschlossen. In 30 weiteren ist die Aussage der Datenbank zur stratigraphischen Einstufung nicht detailliert genug. 24 Bohrungen haben kein Paläogen angetroffen (Abb. 2).

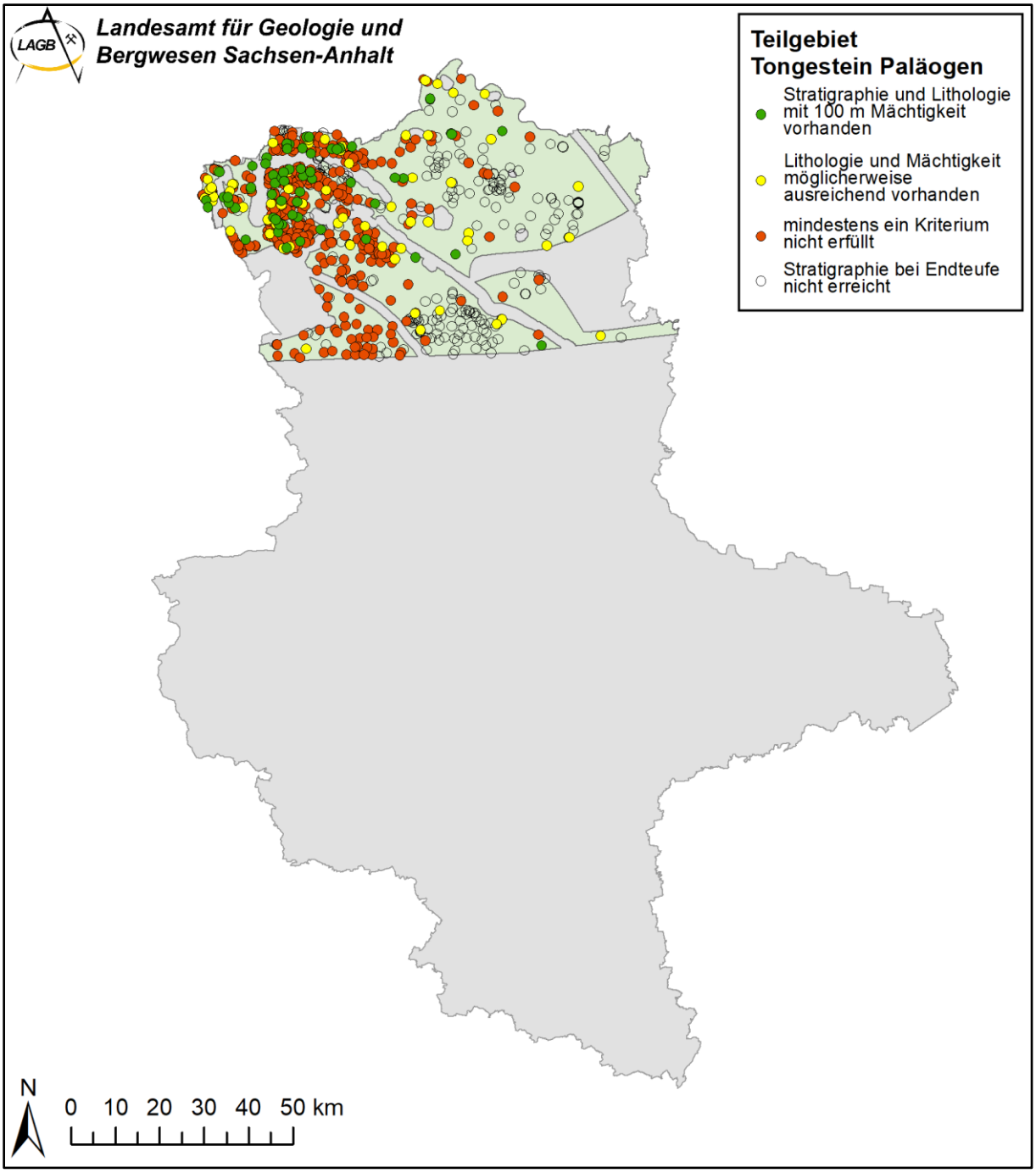

Abb. 2: Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg (Tertiäre Tongesteine) mit Lage der untersuchten Bohrungen.

Das Paläogen Sachsen-Anhalts wurde am Südrand eines sich nach Nordwesten ausdehnenden Schelfmeeres abgelagert (Blumenstengel & Krutzsch 2008). Nach Süden schließen sich kontinentale bis ästuarine Ablagerungsräume an, die sich ab dem höheren Eozän zyklisch weiter nach Süden verlagern. Die Lithologie des marinen Paläogens in Sachsen-Anhalt ist deshalb vor allem durch schluffig-sandige Wechsellagerungen mit nur geringen Tonanteilen gekennzeichnet. Das zeigt die Auswertung der

Schichtenverzeichnisse deutlich. 95 Bohrungen haben mit Tonen oder Tonsteinen eine geeignete Lithologie angetroffen, 63 sind nur möglicherweise geeignet, 328 Bohrungen haben überwiegend sandig-schluffige Profile mit zu geringen Tonanteilen aufgeschlossen.

Die Mächtigkeit der Tongesteine liegt bei 63 Bohrungen über 100 m. 85 Bohrungen haben keine ausreichende Mächtigkeit aufgeschlossen.

Insgesamt erfüllen mit 60 Bohrungen nur 4 % der Bohrungen alle Bedingungen (Tab. 4), d. h. Stratigraphie (Thanetium, Ypresium), Teufenlage (300 m bis 1.500 m) sowie die nutzbare Lithologie (80 % Ton bzw. Tonstein) in der notwendigen Mächtigkeit (100 m) sind vorhanden. Bei 63 weiteren Bohrungen lassen sich nicht alle Bedingungen sicher nachweisen. Der Tonanteil liegt zwischen 60 und 80 % bzw. die Mächtigkeit erreicht nur 95 bis 99 m. Bei 383 Bohrungen ist mindestens eine der Bedingungen (Stratigraphie, Teufe, Lithologie) nicht erfüllt (Abb. 2 und Tab. 3).

Bohrungen, die alle Bedingungen erfüllen, sind in der nordwestlichen Altmark (Altmarkkreis Salzwedel) konzentriert (Abb. 2). Östlich davon schließt sich ein Streifen an, der fast ausschließlich durch Bohrungen gekennzeichnet ist, die mindestens eine der Anforderungen nicht erfüllen. Dasselbe gilt für den nördlichen Bördekreis – in den Bohrungen dort ist ebenfalls mindestens ein Kriterium nicht erfüllt. In der Ostaltmark (Landkreis Stendal) gibt es nur wenige Bohrungen, deren Endteufe tief genug liegt, um Aussagen zu Lithologie und Mächtigkeit des Paläogens zu gestatten. Bei vielen dieser Bohrungen ist darüber hinaus mindestens ein Kriterium nicht erfüllt. Jedoch rechtfertigt das Auftreten von Bohrungen, die die Kriterien möglicherweise erfüllen, die Ausweisung der Gebiete in diesem Stadium der Bearbeitung. Weitere Untersuchungen sind nötig.

Teilgebiet 005_00TG_055_00IG_T_f_jm

Das Teilgebiet „Tongesteine der Mitteljura“ umfasst eine Fläche von 18.811 km^2 in mehreren Bundesländern. Auf Sachsen-Anhalt entfallen 3.329 km^2, die die Landkreise Altmarkkreis Salzwedel, Stendal, Börde, Jerichower Land sowie den Norden der Landkreise Anhalt-Bitterfeld und Wittenberg betreffen (Abb. 3).

Vom LAGB wurden die digital in einer Datenbank vorliegenden Schichtenverzeichnisse von 388 Bohrungen ausgewertet, die sich im Teilgebiet „Tongesteine des Mitteljura“ in Sachsen-Anhalt befinden. Davon haben 171 Bohrungen eine Endteufe von mehr als 300 m erreicht (Tab. 4). 70 Bohrungen haben den Mitteljura angetroffen.

Der Ablagerungsraum des Mitteljura in Sachsen-Anhalt ist im Wesentlichen eine Senkungszone in einem stark gegliederten Meeresbecken. Wiederholt kommt es zu mächtigen sandigen Schüttungen aus Nordosten, die zum großen Teil auch den Norden Sachsen-Anhalts erreichen (Beutler & Mönnig 2008). Der Mitteljura ist daher durch tonig-mergelige marine Gesteine gekennzeichnet, die von mächtigen Sandsteinen unterbrochen werden. Eine lithologische Ausbildung mit mehr als 80 % Tonstein und Tonmergelstein wurde in 33 Bohrungen angetroffen, 15 schlossen zwischen 60 und 80 % Tonstein und Tonmergelstein auf, 22 Profile sind zu grobklastisch oder zu kalkig ausgebildet.

Die Gesamtmächtigkeit des Mitteljura liegt in Sachsen-Anhalt bei 150 bis 300 m (Beutler & Mönnig 2008). Tonsteine und Tonmergelsteine erreichen in 28 Bohrungen eine Mächtigkeit von 100 m. Bei 12 Bohrungen liegt die Mächtigkeit geeigneter Lithologien zwischen 95 und 99 m. 30 Bohrungen erreichen nicht die notwendige Mächtigkeit von 100 m Tonstein und Tonmergelstein.

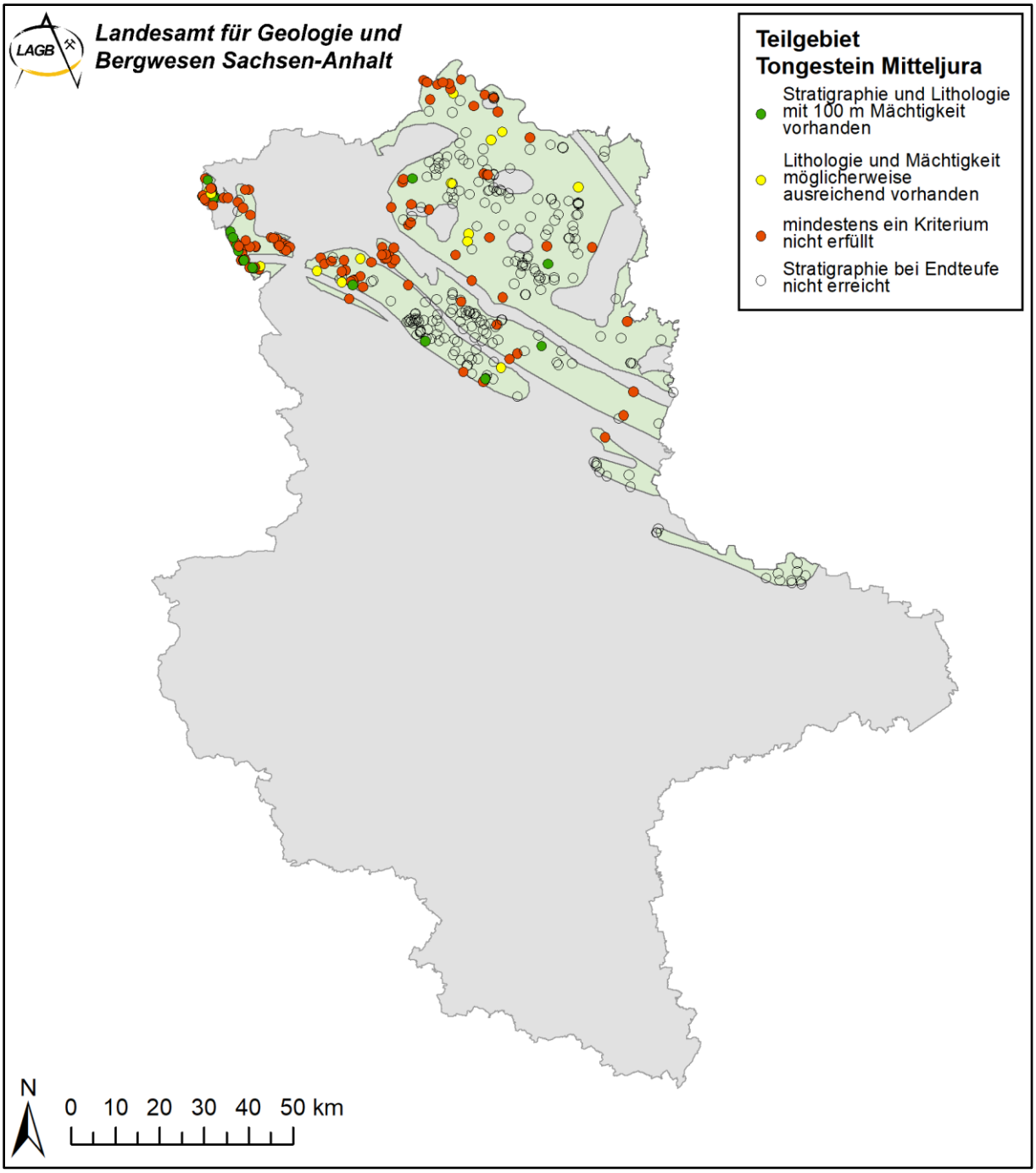

Abb. 3: Teilgebiet 005_00TG_055_00IG_T_f_jm (Tongesteine des Mitteljura) mit Lage der untersuchten Bohrungen.

Insgesamt erfüllen nur 15 Bohrungen alle Bedingungen, d. h. Stratigraphie (Aalenium, Bajocium, Bathonium, Callovium), Teufenlage (300 m bis 1.500 m) sowie die geeignete Lithologie (80 % Tonstein bzw. Tonmergelstein) in der notwendigen Mächtigkeit (100 m) sind vorhanden (Tab. 4). Bei 16 weiteren Bohrungen sind diese Bedingungen möglicherweise erfüllt – in der Regel liegt der Anteil an Tonstein und Tonmergelstein zwischen 60 und 80 % oder die Mächtigkeit erreicht nur zwischen 95 und 99 m. Bei 140 Bohrungen ist mindestens eine der Bedingungen nicht erfüllt. Bohrungen, die alle Bedingungen erfüllen, konzentrieren sich auf die Westaltmark und dort auf den Grenzbereich zu Niedersachsen (Abb. 3). Der überwiegende Teil der in der Westaltmark vorhandenen Bohrungen ist zu sandig entwickelt. Im Süden des Teilgebietes erscheinen einzelne weitere Bohrungen, die alle Anforderungen erfüllen. Für weite Teile der Ostaltmark liegen nicht genügend tiefe Bohrungen vor, um eine gesicherte

Aussage zu Lithologie und Mächtigkeit des stark differenzierten Mitteljura zu rechtfertigen. Die Ausweisung der kleinen Gebiete im Süden (Landkreise Anhalt-Bitterfeld und Wittenberg) ist auf Basis der vorhandenen Bohrungsdaten nicht nachvollziehbar. Hier gibt es keine Bohrungen, die Mitteljura aufgeschlossen haben. Es sind weitere Untersuchungen notwendig.

Teilgebiet 006_00TG_188_00IG_T_f_ju

Das Teilgebiet „Tongesteine des Unterjura“ umfasst 18.564 km^2, die sich auf mehrere Bundesländer erstrecken. Auf Sachsen-Anhalt entfallen 4.306 km^2. Das Teilgebiet befindet sich im Norden von Sachsen-Anhalt und reicht nach Süden etwa bis zum mitteldeutschen Hauptabbruch. Das Teilgebiet befindet sich im Norden von Sachsen-Anhalt (Abb. 4). Betroffen sind die Landkreise Altmarkkreis Salzwedel, Stendal, Börde, Jerichower Land sowie der Norden der Landkreise Anhalt-Bitterfeld und Wittenberg.

Vom LAGB wurden die digital in einer Datenbank vorliegenden Schichtenverzeichnisse von 633 Bohrungen ausgewertet, die sich im Teilgebiet „Tongesteine des Unterjura“ in Sachsen-Anhalt befinden. Davon haben 373 Bohrungen eine Endteufe von mehr als 300 m erreicht.

Der Unterjura tritt im Norden Sachsen-Anhalts nahezu flächendeckend auf. Nur in einigen Bereichen der westlichen Altmark fehlt er (Abb. 4). 189 Bohrungen haben Unterjura aufgeschlossen, 119 Bohrungen haben keinen Unterjura angetroffen. Bei drei Bohrungen ist die Stratigraphie nicht detailliert genug in der Datenbank erfasst. In 51 Bohrungen liegt der angetroffene Unterjura unterhalb der nutzbaren Teufe von 1.500 m.

Der Unterjura in Sachsen-Anhalt wurde in einem ausgeglichenen relativ tiefen Meeresbecken abgelagert. Sandschüttungen aus Nordosten erreichten nur im Hettangium Sachsen-Anhalt, deshalb überwiegen dunkle feinklastische marine Beckensedimente mit mehr oder weniger hohen Kalkgehalten (Beutler & Mönnig 2008). Diese ausgeglichenen Sedimentationsbedingungen spiegeln sich in den aufgeschlossenen Profilen wider. In 118 Bohrungen wurden Tonsteine und Tonmergelsteine angetroffen, in 18 Bohrungen ist die Lithologie nicht hinreichend beschrieben. 54 Bohrungen schlossen Profile auf, die mehr als 40 % nichttonigen Materials, bspw. Kalk- oder Sandsteine, enthalten.

Der Unterjura erreicht in Sachsen-Anhalt Mächtigkeiten zwischen 200 und 400 m (Beutler & Mönnig 2008). Tonsteine und Tonmergelsteine erreichen in 95 Bohrungen eine Mächtigkeit von 100 m, bei 10 Bohrungen liegt die nutzbare Mächtigkeit geeigneter Gesteine bei 95 bis 99 m. 43 Bohrungen erreichen nicht die notwendige Mächtigkeit von 100 m Tonstein und Tonmergelstein.

Insgesamt erfüllen 78 Bohrungen alle Bedingungen, d. h. Stratigraphie (Hettangium, Sinemurium, Pliensbachium, Toarcium), Teufenlage (300 m bis 1.500 m) sowie die geeignete Lithologie (80 % Tonstein bzw. Tonmergelstein) in ausreichender Mächtigkeit von 100 m sind vorhanden (Tab. 4). Bei 16 weiteren Bohrungen sind diese Bedingungen möglicherweise erfüllt – in der Regel liegt der Anteil an Tonstein und Tonmergelstein zwischen 60 und 80 % oder die Mächtigkeit erreicht zwischen 95 und 99 m. Bei 231 Bohrungen ist mindestens eine der Bedingungen nicht erfüllt (Abb. 4).

Die weitgehend ausgeglichene Sedimentation des Unterjura spiegelt sich in der Verteilung der Bohrungen wider, die alle Bedingungen erfüllen. Sie sind im gesamten Teilgebiet vertreten (Abb. 4). Eine stärkere Konzentration findet sich im Grenzgebiet zu Niedersachsen. Weiter östlich schließt sich im Altmarkkreis Salzwedel ein Streifen mit Bohrungen an, die mindestens eine der Bedingungen nicht erfüllten Eine weitere Konzentration von Bohrungen mit geeigneter Lithologie in ausreichender Mächtigkeit findet sich im Norden des Altmarkkreises. In weiten Teilen der östlichen Hälfte des Teilgebietes

(Landkreis Stendal) liegen nicht genug Daten vor, um gesicherte Aussagen treffen zu können. Allerdings befinden sich auch in den Kreisen Stendal und Jerichower Land Bohrungen, die alle Kriterien erfüllen. Die durch Bohrungen nachvollziehbare, gleichmäßige Ausbildung des Unterjura lässt eine Extrapolation und damit die Ausweisung des Teilgebietes im vorliegenden Bearbeitungsstadium als gerechtfertigt erscheinen (Abb. 4). Nicht nachvollziehbar, ist die Ausweisung im äußersten Südosten des Teilgebietes. Die wenigen hier vorliegenden Bohrungsdaten erfüllen die Bedingungen nicht. Es sind weitere Untersuchungen notwendig.

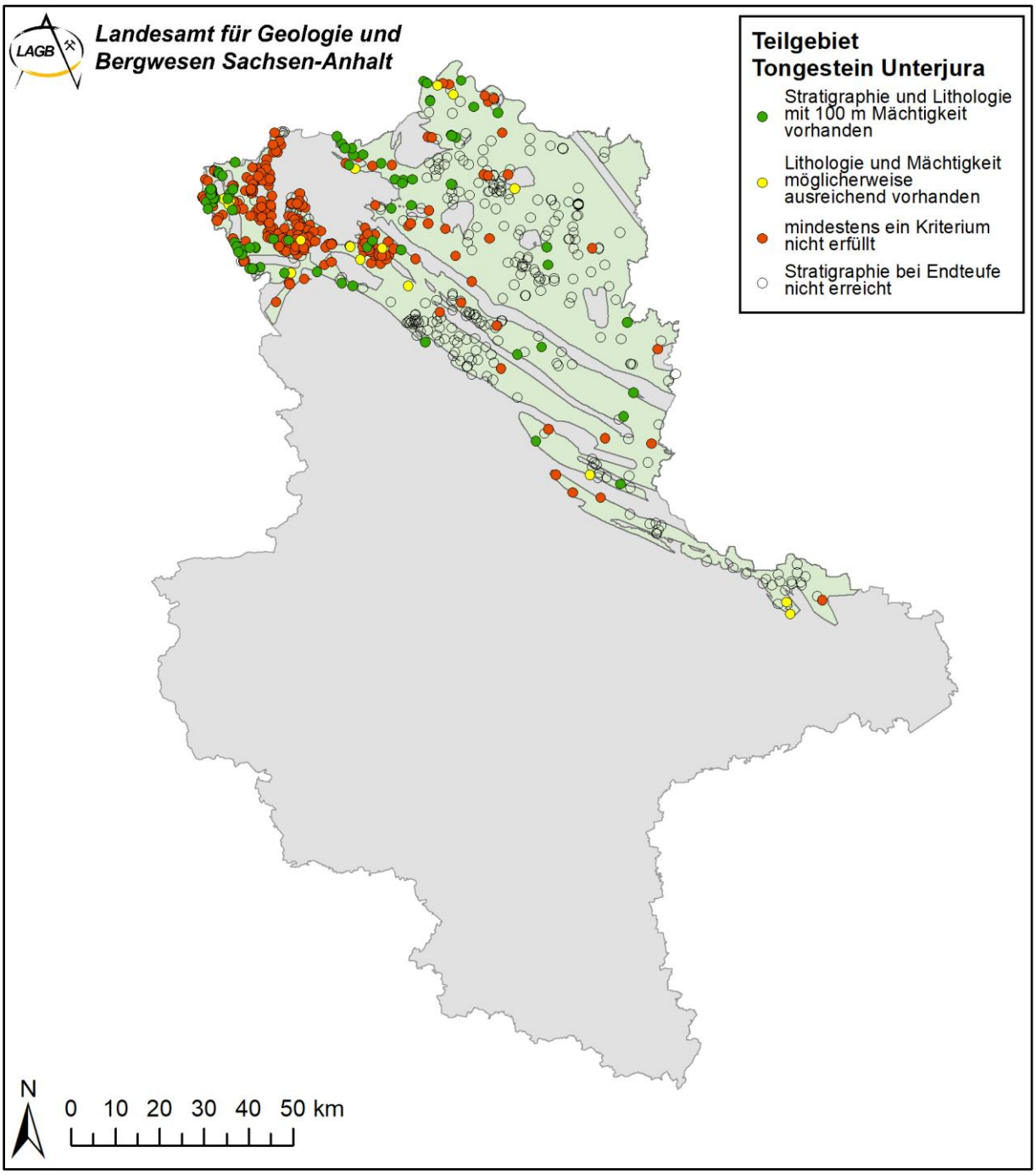

Abb. 4: Teilgebiet 006_00TG_188_00IG_T_f_ju (Tongesteine des Unterjura) mit Lage der untersuchten Bohrungen.

Teilgebiet 007_00TG_202_02IG_T_f_kru

Das Teilgebiet „Tongesteine der Unterkreide“ umfasst 14.914 km^2, die sich auf mehrere Bundesländer erstrecken. Auf Sachsen-Anhalt entfallen 1.567 km^2 (Abb. 5). Das Teilgebiet befindet sich im Norden

von Sachsen-Anhalt und beschränkt sich mit mehreren isolierten Vorkommen auf die Altmark (Landkreise Altmarkkreis Salzwedel, Stendal und das nördliche Jerichower Land).

Vom LAGB wurden die digital in einer Datenbank vorliegenden Schichtenverzeichnisse von 341 Bohrungen ausgewertet, die sich im Teilgebiet „Tongesteine der Unterkreide“ in Sachsen-Anhalt befinden. Davon haben 272 Bohrungen eine Endteufe von mehr als 300 m erreicht (Tab. 4).

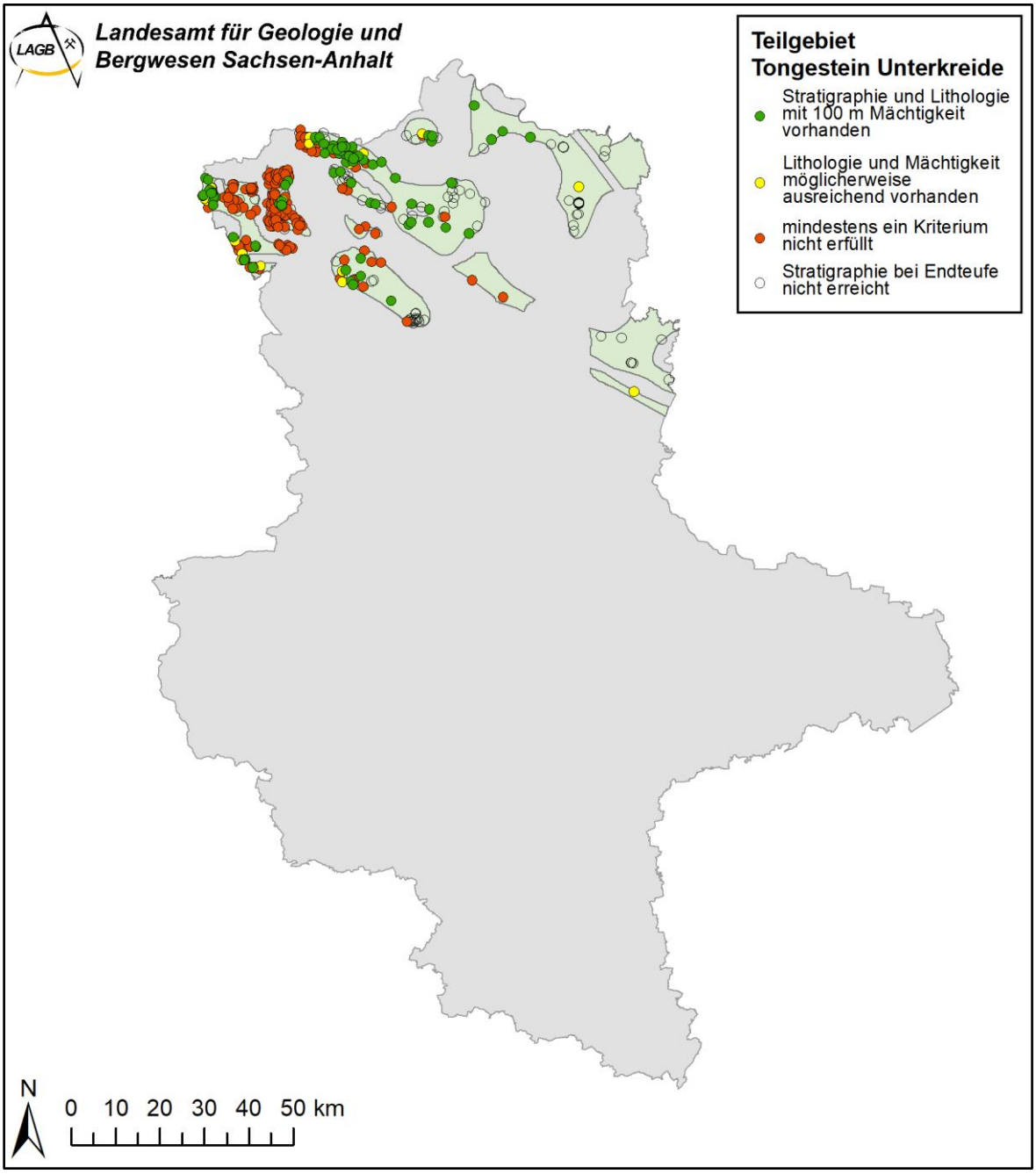

Abb. 5: Teilgebiet 007_00TG_202_02IG_T_f_kru (Tongesteine der Unterkreide) mit Lage der untersuchten Bohrungen.

Die Unterkreide tritt im Norden Sachsen-Anhalts nicht flächendeckend auf. Vielmehr ist sie auf mehrere, isolierte Vorkommen beschränkt (Abb. 5), die Restflächen einer ursprünglich weiteren Verbreitung sind (Karpe 2008). 233 Bohrungen haben Unterkreide aufgeschlossen, 21 Bohrungen nicht. Bei einer Bohrung ist die Stratigraphie nicht in der Datenbank beschrieben. In 87 Bohrungen liegt die Unterkreide unterhalb der maximalen Teufe von 1.500 m, in einer Bohrung wird die Unterkreide flacher als 300 m Teufe angetroffen.

Die Unterkreide im Norden Sachsen-Anhalts wurde in einem stark in Schwellen und Senken gegliederten Sedimentationsraum abgelagert, der bereits im Oberjura entstanden war (Karpe 2008). Tektonische und halokinetische Aktivität führten zu starken Mächtigkeitsschwankungen und Faziesvariationen, so dass sich ein sehr differenziertes Bild ergibt. Die unterste Kreide liegt in der Wealden-Fazies vor und wurde limnisch mit marinen Einflüssen sedimentiert. Sie ist sandig-tonig entwickelt. Ab Barremium fand die Sedimentation in einem stark gegliederten flachmarinen Ablagerungsraum statt. Es wurden Tonsteine bis Mergelsteine mit sandigen und kalkigen Einschaltungen sedimentiert. Mit einem Anstieg des Meeresspiegels im Alb wurden die Bedingungen etwas ausgeglichener (Karpe 2008). In 185 Bohrungen wurden Tonsteine und Tonmergelsteine angetroffen, in 14 Bohrungen ist die Lithologie möglicherweise geeignet. 17 Bohrungen schlossen Profile auf, die mehr als 40 % nichttonigen Materials, bspw. Kalk- oder Sandsteine, enthalten.

Die Unterkreide insgesamt ist durch sehr stark schwankende Mächtigkeiten gekennzeichnet. Tonsteine und Tonmergelsteine erreichen in 161 Bohrungen eine Mächtigkeit von 100 m, bei zehn Bohrungen liegt die nutzbare Mächtigkeit bei 95 bis 99 m. 47 Bohrungen erreichen nicht die notwendige Mächtigkeit von 100 m Tonstein und Tonmergelstein.

Insgesamt erfüllen 83 Bohrungen alle Bedingungen, d. h. Stratigraphie (Berriasium, Valanginium, Hauterivium, Barremium, Aptium, Albium), Teufenlage (300 m bis 1.500 m) sowie die geeignete Lithologie (80 % Tonstein bzw. Tonmergelstein) in der notwendigen Mächtigkeit (100 m) sind vorhanden (Tab. 4). Bei 18 weiteren Bohrungen sind diese Bedingungen möglicherweise erfüllt – in der Regel liegt der Anteil an Tonstein und Tonmergelstein zwischen 60 und 80 % oder die Mächtigkeit erreicht zwischen 95 und 99 m. Bei 148 Bohrungen ist mindestens eine der Bedingungen nicht erfüllt (Abb. 5).

Die Kenntnisse zur Unterkreide in Sachsen-Anhalt sind insgesamt recht lückenhaft (Karpe 2008). Am besten ist die Kenntnis auch hier in der Westaltmark auf der Basis der Kohlenwasserstoffbohrungen. Bohrungen, die alle Kriterien erfüllen, häufen sich in einem NW-SE streichenden Streifen zwischen Salzwedel und Messdorf. Ein weiteres Gebiet befindet sich ganz im Westen an der Grenze zu Niedersachsen. Auch im Norden des Landkreises Stendal liegt ein Gebiet, in dem alle Bedingungen erfüllt sind. Die im Nordosten des Kreises Jerichower Land und im Nordosten des Kreises Stendal ausgewiesenen Flächen sind mit den vorhandenen Bohrungsdaten nicht nachvollziehbar und bedürfen weiterer Untersuchungen (Abb. 5).

3.2 Teilgebiete Salzgestein

In dieser ersten Stellungnahme werden die elf steilen Salzstrukturen und drei identifizierte Gebiete bzw. Teilgebiete mit flach-lagerndem Salz in Sachsen-Anhalt (BGE 2020a) gemäß der Mindestanforderungen genauer betrachtet. Die identifizierten Gebiete des flach- und steil-lagernden Salzes stellen für Sachsen-Anhalt eine wirtschaftlich wichtige Region für Bergbau und Industrie dar.

Die BGE hat die Mindestanforderungen nach § 22 StandAG mit einem 2D- und 3D-Modell der steil und flach gelagerten Salzformationen in Sachsen-Anhalt angewendet. Diese basieren auf Strukturumrissen (von Goerne et al. 2016) und der 3D-Umsetzung des „Southern Permian Basin Atlas“ (Doornenbal & Stevenson 2010). Zusätzlich für die steilen Salzstrukturmodelle wurde ein DGM200 sowie die Zechstein-Kontur (220_z_iso) aus dem „Southern Permian Basin Atlas“ (Doornenbal & Stevenson 2010) benutzt (BGE 2020d). Für die stratiform-gelagerten Salzformationen wurden zusätzlich ein DGM10, eine BGR Salzverbreitungskarte sowie schematische Abbildungen zur Verbreitung der Staßfurt- und Leine-Formation aus Radzinski (2008) und Franke (2020) angewendet (BGE 2020d). Schichtverzeichnisse von

entscheidungserheblichen Bohrungen wurden nur für die 2D-Modelle des stratiform-gelagerten Salzes zur Überprüfung und Absicherung der Ergebnisse benutzt. Darauf basierend wurden die Teilgebiete zugeschnitten. Das LAGB lieferte zusätzlich Vektordaten aus dem Projekt Speicherkataster (Müller & Reinhold 2011) und Z_GPK (Geophysikalisches Kartenwerk; Reinhardt 1989a, Reinhardt 1989b).

Die resultierenden Teilgebiete (BGE 2020a) für das Wirtsgestein Salz beruhen auf einem stratigraphischen Ansatz, auch wenn Lithologien für das Wirtsgestein Salz bestimmt worden sind. Dabei sind Salze nur potentiell geeignet, wenn das Mineral Halit als Hauptbestandteil vorliegt. Halit ist als Hauptkomponente in Steinsalz, Halitit, Bändersalz, Fasersalz und Hartsalz vorhanden. Steinsalz (Halit) kommt in der stratigraphischen Gruppe des Zechsteins (hauptsächlich in der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation) in Sachsen-Anhalt vor, von denen das Staßfurt- und Leine-Steinsalz die Tiefen und Mächtigkeiten der Mindestanforderungen nach § 22 StandAG in Sachsen-Anhalt erfüllen. Im Gegensatz dazu haben Kalisalze (u.a. Sylvin, Carnallit, Kieserit) oder Wechsellagerungen von Steinsalz mit Ton / Anhydrit eine höhere Löslichkeit, was eine Eignung für die Endlagerung nicht erwarten lässt (BGE 2020b).

Beide Formationen enthalten neben Steinsalz weitere Lithologien als Haupt-, Neben- oder Mischkomponente, welches zu einer erhöhten Löslichkeit und Durchlässigkeit des ewG führen könnte. Daher wurde die Verbreitung des Wirtsgesteines Steinsalz innerhalb von Sachsen-Anhalt nach einem lithologischen Ansatz anhand von Bohrungen vom LAGB geprüft.

3.2.1 Methodik zur Überprüfung der Teilgebiete mit dem Wirtsgestein Salzgestein

Für die Überprüfung der lithologischen Zusammensetzung der Teilgebiete mit dem Wirtsgestein Steinsalz in Sachsen-Anhalt hat das LAGB die Schichtverzeichnisse für Bohrungen mit einer Teufe über 300 m herangezogen.

Es wurde geprüft, ob in den vorhandenen Bohrungen die Lithologien Steinsalz, Halit, Bändersalz, Fasersalz und Hartsalz mit einer Mächtigkeit von mindestens 100 m in dem Teufenbereich von 300 bis 1.500 m nach § 22 StandAG und BGE (2020b) vorkommen. Die Salzschwebe von mindestens 300 m zwischen dem Salzspiegel oder der Oberfläche des Hutgesteins und dem potentiellen ewG (BGE 2020b) bei steil liegenden Salzstrukturen wird hier erst einmal vernachlässigt. Weitere Mindestanforderungen, wie die Gebirgsdurchlässigkeit, Fläche, Erhalt der Barrierewirkung, werden hier nur untergeordnet behandelt.

Für die Lithologie wird unterschieden, ob weitere Haupt- oder Nebenbestandteile, z. B. Anhydrit, Ton, Karbonat, Schluff, Kalisalze (u. a. Sylvin, Carnallit, Kieserit), Dolomit oder Salzton in der gleichen Schicht im Schichtverzeichnis vermerkt sind. Wenn prozentuale Mengenangaben der Zusammensetzung vorhanden sind, wird eine Komponente bei mehr als 80 % als Hauptkomponente angesehen, anderenfalls als Nebenkomponente. Sofern zu der Hauptkomponente Steinsalz Nebenkomponenten (Anhydrit, Ton, Schluff, Karbonat, Kalisalze) ohne Mengenangabe in derselben Schicht vorkommen, wird das Kriterium Lithologie als erfüllt angesehen. Falls neben der Hauptkomponente Steinsalz weitere Hauptkomponenten mit anderer Zusammensetzung vorhanden sind, wird diese Bohrung derselben Kategorie zugewiesen wie Bohrungen, bei denen die Lithologie aus dem Schichtverzeichnis nicht klar ersichtlich ist. Bei zusätzlichen Angaben wie Verunreinigungen und Wechsellagerungen im Hauptbestandteil wurde das Kriterium Lithologie als nicht erfüllt angesehen.

Die Mächtigkeiten wurden für einzelne Schichten berechnet. Sofern mehrere Schichten mit einer Mächtigkeit unter 100 m, mit gleicher bzw. ähnlicher Lithologie direkt übereinander liegen, wurde die Mächtigkeit dieser Schichten zu Schichtpaketen aufsummiert. Die Unterkante der Schichtpakete wurde berechnet. Zur Vollständigkeit wurden Bohrungen mit einer Teufe über 300 m innerhalb der Stratigraphie Zechstein ohne genaue Angabe zur Petrographie in Abb. 6 bis Abb. 9 markiert, die auf die Unsicherheit der Mächtigkeit hindeuten. Basierend auf den Kriterien Lithologie, Tiefe und Mächtigkeit des ewG wurden die Bohrungen in vier Kategorien eingeteilt:

I) Alle Kriterien wurden erfüllt: Steinsalz innerhalb der Stratigraphie Zechstein hat die Mächtigkeit von mindestens 100 m innerhalb des Teufenbereiches von 300 bis 1.500 m.
II) Mindestens eines der Kriterien Tiefe oder Mächtigkeit wurde nicht erfüllt.
III) Die Lithologie ist aus dem Schichtverzeichnis nicht klar ersichtlich oder weitere Hauptbestandteile neben Steinsalz wie z. B. Ton, Anhydrit, Schluff, Dolomit, Karbonat, Kalisalze (u.a. Sylvin, Carnallit, Kieserit) oder Verunreinigungen / Wechsellagerungen im Hauptbestandteil sind vorhanden.
IV) Die Lithologie Steinsalz wurde nicht angetroffen und die maximale Endteufe von 1.500 m wurde nicht erreicht.

Basierend auf dieser Kategorisierung wurden die Bohrpunkte innerhalb der Teilgebiete unterschiedlich visualisiert (Abb. 6 bis Abb. 9). Bohrungen, die kein Steinsalz in der lithologischen Beschreibung haben, wurden anhand ihrer Endteufe in die Kategorien II (Endteufe größer als 1.500 m) und Kategorie IV (Endteufe 300 - 1.500 m) eingestuft. Dabei wird die „positivste“ Kategorie dargestellt, auch wenn mehrere lithostratigraphische Einheiten innerhalb der Bohrung geeignet / ungeeignet sind.

3.2.2 Prüfergebnis zur Anwendung der Mindestanforderungen in den ausgewiesenen Teilgebieten mit steilem Salzgestein

Die Teilgebiete mit steil-lagerndem Salz befinden sich im Nordwesten von Sachsen-Anhalt sowie innerhalb der Subherzynen Mulde. Es wurden elf Salzstrukturen als Teilgebiete von der BGE ausgewiesen. Im Folgenden (Abb. 6, Tab. 5 und Tab. 6) werden die Bohrungen mit einer Teufe über 300 m für jedes Teilgebiet einer steilen Salzstruktur dargestellt und deren Informationsgehalt im Hinblick auf die Kriterien Tiefe, Mächtigkeit und Lithologie dargestellt.

Teilgebiet 052_00TG_119_00IG_S_s_z

Die Salzstruktur Allertal befindet sich in der Subherzynen Mulde an der Grenze von Sachsen-Anhalt und Niedersachsen. Das Teilgebiet (31 km^2 Gesamtfläche) ist in drei Teile entlang der NW-SE verlaufenden Störung aufgeteilt. Zwei Teile mit 13 km² Fläche befinden sich in Sachsen-Anhalt. Die Salzstruktur Allertal wird als salzgefüllte Spalte zwischen den tektonischen Einheiten Lappwald Scholle und der Weferlinger Triasplatte beschrieben, die sich seit dem Mittelsanton hebt und abgetragen wird (Best und Zirngast 2002). Insgesamt befinden sich 14 Bohrungen tiefer als 300 m im Teilgebiet, von denen bei zwei Bohrungen die Petrographie des Zechsteins unbekannt ist und drei Bohrungen das Zechstein nicht erreichen (Tab. 5 und Tab. 6). Zwei Bohrungen, jeweils eine pro Teil, erfüllen die Kriterien.

Teilgebiet 054_00TG_124_00IG_S_s_z

Die Salzstruktur Dannefeld (10 km^2 Fläche) ist von vier Bohrungen (>300 m) angebohrt und wird vom flach lagernden Salz des Subherzynen Teilgebiets auf der Calvörde-Scholle umschlossen. Alle vier Bohrungen erfüllen das Kriterium Tiefe (Tab. 5 und Tab. 6) und reichen in die Subformationen des Staßfurt-Steinsalzes. Die Mächtigkeit von minimal 100 m kann in zwei Bohrungen bestätigt werden. In zwei Bohrungen gibt es Zwischenlagen von Ton und Anhydrit mit bis zu 1 m Mächtigkeit. Die

Gesamtbewertung weist auf eine Bohrung hin, die alle Kriterien erfüllt. Aufgrund der geringen Fläche sind genauere Untersuchungen zu den Mindestanforderungen und der Heterogenität der Salzstruktur notwendig.

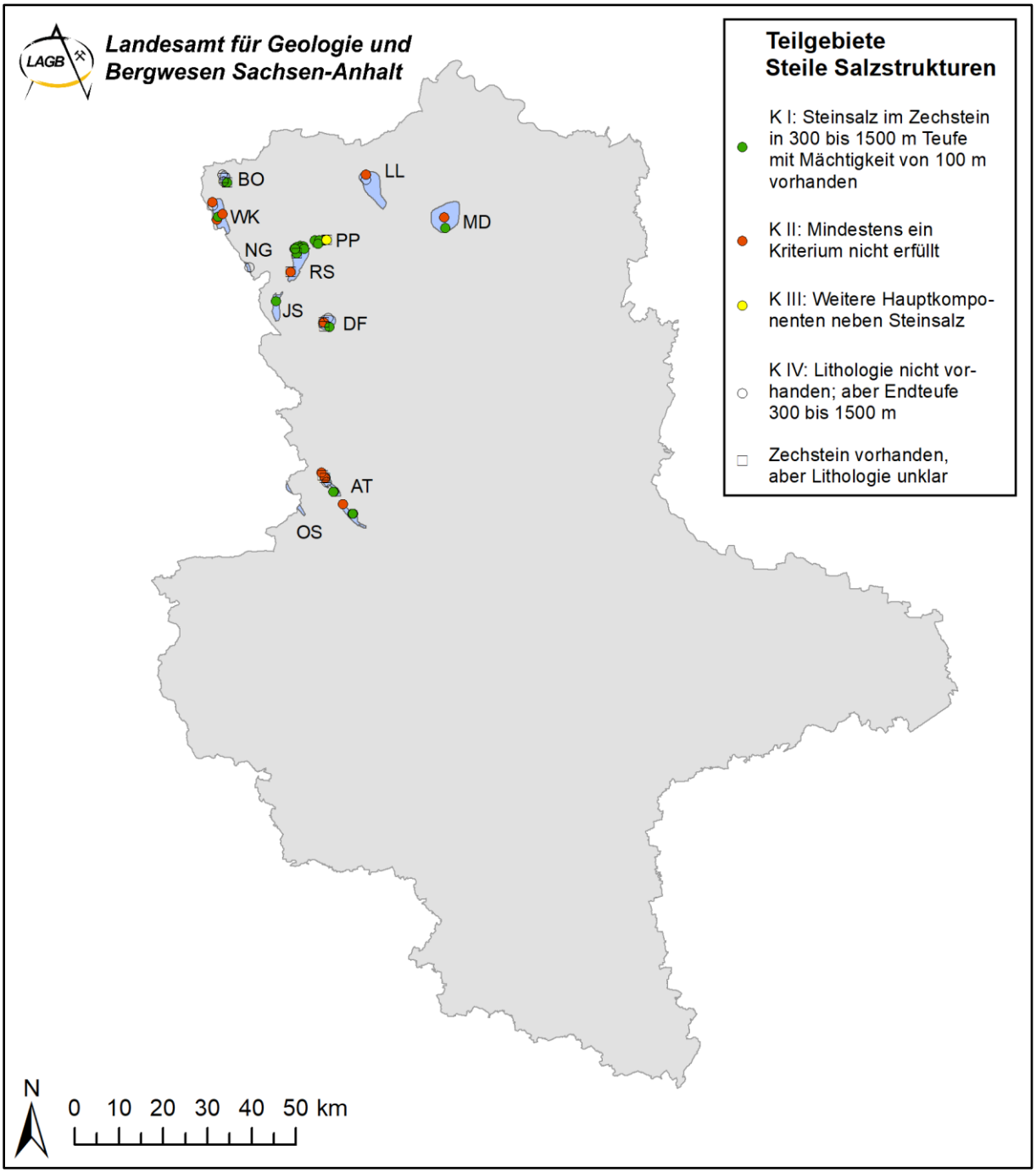

Abb. 6: Teilgebiete mit steilen Salzstrukturen in Sachsen-Anhalt dargestellt mit dem lithologischen Ansatz. Abkürzungen: Allertal (AT), Dannefeld (DF), Jahrstedt (JS), Lüge-Liesten (LL), Meßdorf (MD), Poppau (PP), Ristedt (RS), Bonese (BO), Nettgau (NG), Waddekath (WK), Offlebener Sattel (OS).

Teilgebiet 055_00TG_130_00IG_S_s_z

Die Salzstruktur Jahrstedt (9 km^2 Fläche) befindet sich im westlichen Bereich der Calvörde-Scholle nahe der Grenze zu Niedersachsen und ist mit nur einer Bohrung erschlossen (Tab. 5 und Tab. 6). Diese Bohrung hat das Staßfurt-Steinsalz zwischen 1.258 – 1.512 m erbohrt, welches mit weiteren Hauptkomponenten von Anhydrit vorkommt. Das Leine-Steinsalz ist im Bereich zwischen 830 – 1058 m mit

Anhydrit und möglicherweise Carnallit im unteren Teil und Steinsalz im oberen Teil beschrieben. Beide Subformationen entsprechen der Teufe und Mächtigkeit nach den Mindestanforderungen.

Teilgebiet 056_00TG_132_00IG_S_s_z

Im Bereich der Salzstruktur Lüge-Liesten (26 km^2 Fläche) im Norden von Sachsen-Anhalt wurden zwei Bohrungen abgeteuft. Eine Bohrung erbohrte Steinsalz in Teufen größer als 1.500 m. Die zweite Bohrung erreichte das Steinsalz vor der Endteufe von 301 m (Tab. 5 und Tab. 6). Dies lässt keine Aussage zur Erfüllung der Mindestanforderungen zu. Es sind weitere Untersuchungen für die Eignung dieser Salzstruktur notwendig.

Tab. 5: Anzahl der Bohrungen für Teilgebiete mit steilem Salz, die das jeweilige Kriterium erfüllen.

Teilgebiet	Name	Anzahl Bohrungen (>300 m Tiefe)	Tiefe 300 – 1.500 m		Mächtigkeit 100 m		Lithologie		Wirtsgestein nicht angetroffen, Endteufe > 1.500 m
			Ja	nein	ja	nein	ja	unsicher	
052_00TG_119_00IG_S_s_z	Allertal	14	5	6	4	7	8	1	3
054_00TG_124_00IG_S_s_z	Dannefeld	4	4	0	2	2	2	0	1
055_00TG_130_00IG_S_s_z	Jahrstedt	1	1	0	1	0	1	0	0
056_00TG_132_00IG_S_s_z	Lüge-Liesten	2	0	1	0	1	0	1	1
057_00TG_133_00IG_S_s_z	Messdorf	2	2	0	1	1	2	0	0
058_00TG_136_00IG_S_s_z	Poppau	5	6	0	5	1	4	1	0
059_00TG_137_00IG_S_s_z	Ristedt	11	12	1	9	4	11	0	0
060_00TG_144_00IG_S_s_z	Bonese	4	3	0	2	1	1	0	2
061_00TG_145_00IG_S_s_z	Nettgau	3	2	0	0	2	2	0	1
062_00TG_146_00IG_S_s_z	Waddekath	5	2	2	1	1	2	0	1
073_00TG_183_00IG_S_s_z	Offlebender Sattel	-	-	-	-	-	-	-	-

Teilgebiet 057_00TG_133_00IG_S_s_z

Innerhalb der Salzstruktur von Messdorf (34 km^2 Fläche) im zentralen Norden von Sachsen-Anhalt wurden zwei Bohrungen abgeteuft. Eine davon erreicht das Steinsalz bei der Endteufe 387 m und die andere erfüllt die Kriterien mit einer Tiefe von 506 – 870 m (Tab. 5 und Tab. 6).

Teilgebiet 058_00TG_136_00IG_S_s_z

Fünf Bohrungen mit einer Endteufe über 300 m wurden in die Salzstruktur Poppau (7 km^2 Fläche) abgeteuft. Vier Bohrungen erfüllen alle Kriterien, bei denen Steinsalz angetroffen wird. In einer Bohrung wurde mit Anhydrit eine weitere Hauptkomponente neben dem Steinsalz vermerkt. Bei einer weiteren Schicht in einer vorher genannten Bohrung wurde Steinsalz erst bei mehr als 1900 m Teufe angetroffen (Tab. 5 und Tab. 6).

Teilgebiet 059_00TG_137_00IG_S_s_z

Die Salzstruktur Ristedt (21 km^2 Fläche) befindet sich nordwestlich der Calvörde-Scholle und wurde mit elf Bohrungen untersucht. Zehn Bohrungen befinden sich im nördlichen Teil der Salzstruktur. Neun Bohrungen zeigen im relevanten Teufenbereich Mächtigkeiten vom Steinsalz mit bis zu 1.300 m (Tab. 5 und Tab. 6). Das Steinsalz konnte jedoch nicht genau zu einer Stratigraphie innerhalb der Zechstein-

Formation zu geordnet werden. Auch wird dieser Bereich in den Schichtverzeichnissen als Salzstocküberhang beschrieben, welches durch horizontal gelagerte Zechstein-Schichten in einer Tiefe von ca. 3.200 m angedeutet wird. Bei zwei weiteren Bohrungen werden die Kriterien Tiefe oder Mächtigkeit nicht erfüllt. Das Kriterium Lithologie ist für alle elf Bohrungen erfüllt. Die Gesamtbewertung der Salzstruktur Ristedt nach den Kriterien Tiefe, Mächtigkeit und Lithologie entsprechen im nördlichen Teil den Mindestanforderungen, jedoch lässt sich nur wenig über den südlichen Teil der in Nord-Süd-Richtung gestreckten Salzstruktur aussagen.

Tab. 6: Finale Kategorisierung für Bohrungen in Teilgebieten mit steil-gelagerten Salz.

Teilgebiet	Name	Anzahl Bohrungen (>300 m Tiefe)	Kategorie I	Kategorie II	Kategorie III	Kategorie IV	Petrographie nicht vorhanden
052_00TG_119_00IG_S_s_z	Allertal	14	2	7	-	3	2
054_00TG_124_00IG_S_s_z	Dannefeld	4	1	1	-	1	2
055_00TG_130_00IG_S_s_z	Jahrstedt	1	1	-	-	-	-
056_00TG_132_00IG_S_s_z	Lüge-Liesten	2	-	1	-	1	-
057_00TG_133_00IG_S_s_z	Messdorf	2	1	1	-	-	-
058_00TG_136_00IG_S_s_z	Poppau	5	4	0	1	-	1
059_00TG_137_00IG_S_s_z	Ristedt	11	9	2	0	-	2
060_00TG_144_00IG_S_s_z	Bonese	4	1	0	0	2	2
061_00TG_145_00IG_S_s_z	Nettgau	3	0	2	0	1	-
062_00TG_146_00IG_S_s_z	Waddekath	5	1	3	0	1	-
073_00TG_183_00IG_S_s_z	Offlebender Sattel	-	-	-	-	-	-

Teilgebiet 060_00TG_144_00IG_S_s_z

Die Salzstruktur Bonese liegt im Nordwesten von Sachsen-Anhalt und gehört mit 6 km^2 Fläche zu den kleinsten Salzstrukturen. Diese enthält vier Bohrungen, von denen nur eine Bohrung alle Kriterien erfüllt (Tab. 5 und Tab. 6). Zwei Bohrungen, die bis in eine Teufe von ~1.300 m reichen, haben kein Salz angetroffen. Bei einer anderen Bohrung war die Petrographie des Salzstockes im Schichtverzeichnis nicht detailliert beschrieben. Die geringe Fläche sowie geringe Anzahl anzutreffende Kriterien weisen auf die Notwendigkeit von weiteren Untersuchungen dieser Struktur hin.

Teilgebiet 061_00TG_145_00IG_S_s_z

Die Salzstruktur Nettgau (8 km^2 Fläche, davon nur 1 km² in Sachsen-Anhalt) befindet sich auf der Grenze zu Niedersachsen und enthält drei Bohrungen (Tab. 5 und Tab. 6). Eine Bohrung erreicht das Wirtsgestein Salz nicht. Die anderen Bohrungen erfüllten das Kriterium Mächtigkeit nicht.

Teilgebiet 062_00TG_146_00IG_S_s_z

Die Salzstruktur Waddekath (19 km^2 Fläche, davon 17 km² in Sachsen-Anhalt) befindet sich im nordwestlichen Sachsen-Anhalt an der Grenze zu Niedersachsen. Fünf Bohrungen tiefer als 300 m befinden sich in dieser Salzstruktur, von denen eine Bohrung alle Kriterien in der Tiefe von 450 – 590 m sowie 975 – 1178 m erfüllt (Tab. 5 und Tab. 6). Für zwei weitere Bohrungen treffen die Kriterien Mächtigkeit

und Tiefe nicht zu. Es gibt eine Bohrung die bis zur Endteufe von 1.207 m kein Steinsalz aufweist. Die interne Struktur des Teilgebietes müsste genauer betrachtet werden.

Teilgebiet 073_00TG_183_00IG_S_s_z

Die Salzstruktur Offlebener Sattel (19 km^2 Gesamtfläche) befindet sich in der Subherzynen Mulde im Grenzbereich zwischen Sachsen-Anhalt und Niedersachsen. Der Anteil des Teilgebietes in Sachsen-Anhalt umfasst 2,9 km^2 und hat keine Bohrung tiefer als 300 m (Tab. 5 und Tab. 6). Daher sind die Kriterien zur Bewertung der Mindestanforderungen anhand von Bohrungen hier nicht belegbar.

Zusammenfassung steile Salzstrukturen

Die hier präsentierte Anwendung der Bohrungen auf die steilen Salzstrukturen deutet zum einen auf Variationen von Mächtigkeit und Tiefe des Steinsalzes innerhalb einer Salzstruktur und zum anderen auf einen hochkomplexen strukturellen Aufbau einiger Salzstrukturen hin. Die Bohrungen präsentieren hier eine punktuelle Informationsquelle über die ganze Struktur. Mehr Daten sind notwendig, um die steilen Salzstrukturen besser aufzulösen.

3.2.3 Prüfergebnis zur Anwendung der Mindestanforderungen in den ausgewiesenen Teilgebieten mit stratiform-gelagertem Salzgestein

In Sachsen-Anhalt wurden drei Teilgebiete mit stratiform-gelagertem Salz ausgewiesen, die weite Flächen des Landes beinhalten. Im Folgenden (Tab. 7 und Tab. 8) wurden die Bohrungen mit einer Teufe größer als 300 m für jedes Teilgebiet einer flachen Salzstruktur nach den Mindestanforderungen dargestellt und dessen Informationsgehalt für die Kriterien Tiefe, Mächtigkeit und Lithologie erläutert.

Tab. 7: Beschreibung der Kriterien der Mindestanforderungen für Bohrungen in Teilgebieten mit stratiform-gelagerten Salz.

Teilgebiet	Name	Anzahl Bohrungen (>300 m Tiefe)	Tiefe 300-1.500 m		Mächtigkeit 100 m		Lithologie		Wirtsgestein nicht angetroffen und Endteufe >1.500 m
			ja	nein	ja	nein	ja	Unsicher	
078_05TG_197_05_IG_S_f_z	Subherzyne Mulde	429	281	72	111	240	253	13	76
078_02TG_197_02IG_S_f_z	Thüringer Becken	628	475	84	154	405	387	14	69
078_01TG_197_01IG_S_f_z	Niederlausitzer Becken	19	14	5	3	16	5	7	7

Tab. 8: Finale Kategorisierung für Bohrungen in Teilgebieten mit stratiform-gelagerten Salz.

Teilgebiet	Name	Anzahl Bohrungen (>300 m Tiefe)	Kategorie I	Kategorie II	Kategorie III	Kategorie IV	Petrographie nicht vorhanden
078_05TG_197_05_IG_S_f_z	Subherzyne Mulde	429	75	173	20	76	85, davon 10 Kategorie I
078_02TG_197_02IG_S_f_z	Thüringer Becken	628	149	249	3	69	158, davon 2 in Kategorie I
078_01TG_197_01IG_S_f_z	Niederlausitzer Becken	19	3	8	1	7	7

Teilgebiet 078_05TG_197_05_IG_S_f_z

Das Teilgebiet Subherzyne Mulde umfasst 3.807 km^2 in den Bundesländern Sachsen-Anhalt und Niedersachsen, von denen sich 2.979 km^2 innerhalb von Sachsen-Anhalt befindet (Abb. 7). Es umfasst Zechsteinablagerungen der Calvörde-Scholle sowie der Beckenstruktur Subherzyne Mulde, begrenzt vom Flechtinger Höhenzug, dem Harz und der Halle-Wittenberg Scholle.

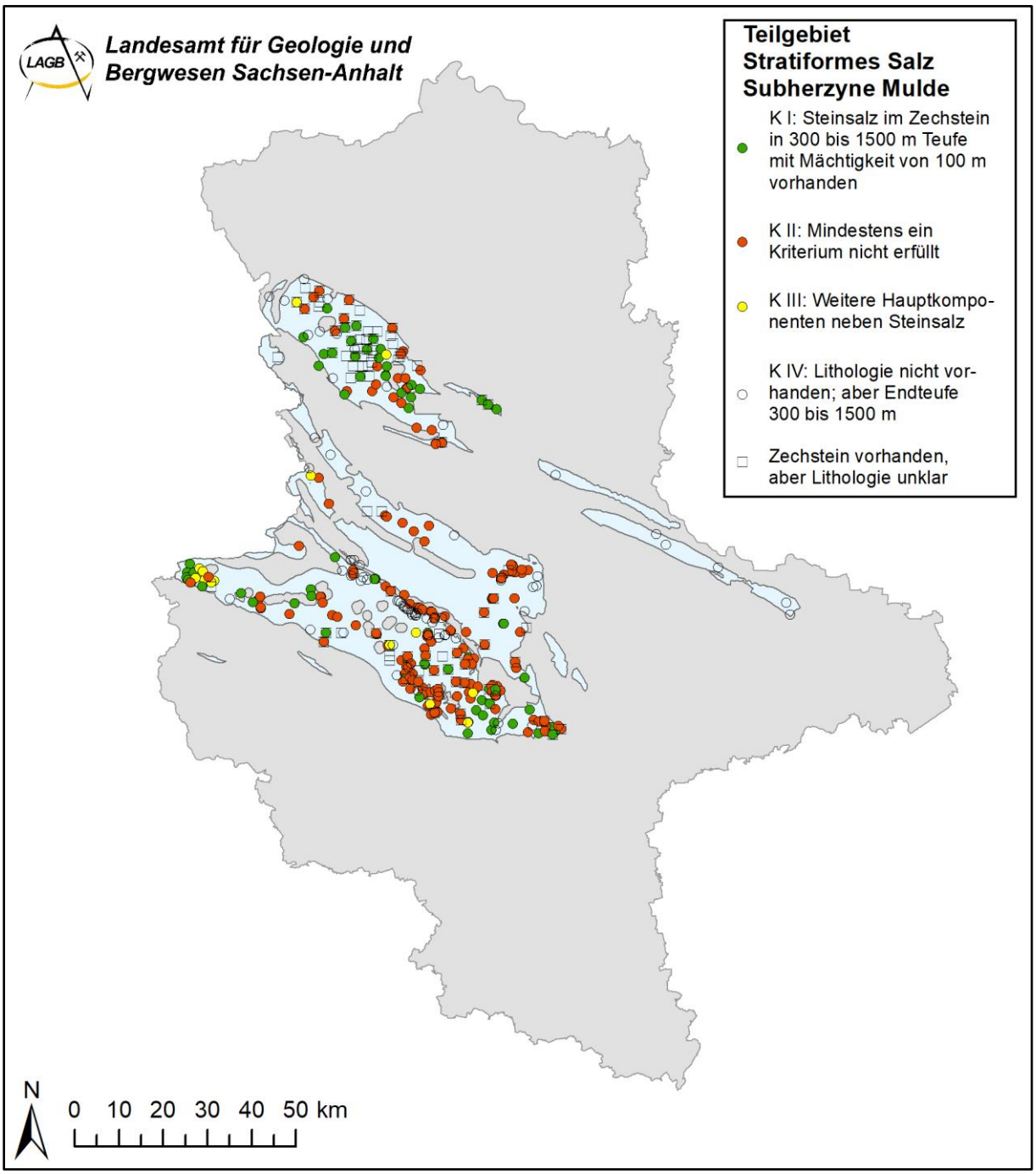

Abb. 7: Teilgebiet 078_05TG_197_05_IG_S_f_z. Stratiform-gelagertes Salz in der Subherzynen Mulde in Sachsen-Anhalt dargestellt mit dem lithologischen Ansatz für das Wirtsgestein Steinsalz.

Innerhalb des Teilgebiets wurden 429 Bohrungen mit einer Teufe >300 m verwendet, an denen die Kriterien Lithologie, Mächtigkeit und Tiefe geprüft wurden. 47 der 429 Bohrungen wurden von der BGE als entscheidungserheblich eingestuft. Die meisten der als entscheidungserheblich eingestuften Bohrungen befinden sich in den Gebieten, die aufgrund von Störungen oder Bergbauindustrie (z. B.

Staßfurt, Bernburg, Zielitz) zu den Ausschlussgebieten gezählt werden. Von den untersuchten Bohrungen erfüllen 75 Bohrungen alle Kriterien (Abb. 7). Diese befinden sich vor allem im Bereich der Calvörde-Scholle und südlich des Staßfurt-Egelner Sattels.

Die lithologische Beschreibung der Schichtenverzeichnisse zeigt vor allem in Bohrungen innerhalb der Calvörde-Scholle und südlich des Staßfurt-Egelner Sattels, dass in einigen Schichten weitere Nebenkomponenten wie Anhydrit, Ton und Schluff vorkommen. Die Steinsalz-Formation hat im Teilgebiet nur selten weitere Hauptkomponenten, die sich von Steinsalz unterscheiden.

Die Tiefe des Steinsalz-Vorkommens variiert, so dass in 281 Bohrungen sich das Steinsalz im Teufenbereich zwischen 300 – 1.500 m befindet (Tab. 7 und Tab. 8). Ca. 70 % der Bohrungen erreichen die minimale Mächtigkeit von 100 m nicht und erfüllen somit in der Gesamtbewertung nicht die Mindestanforderungen. Die Mächtigkeit von einzelnen Schichten und berechneten Schichtpaketen variiert. 111 Bohrungen erreichen das Kriterium der Mächtigkeit über 100 m. Diese befinden sich vor allem auf der Calvörde-Scholle und im südwestlichen und südlichsten Bereich des Teilgebiets. Im Vergleich zur Mächtigkeit von einzelnen Schichten erhöht die hier gewählte Methode zur oben beschriebenen Anwendung von Schichtpaketen die Anzahl der Bohrungen, bei denen das Kriterium der Mächtigkeit erfüllt ist. Des Weiteren gibt es 85 Bohrungen, die das Zechstein durchteufen, bei denen jedoch keine genaue Beschreibung der Petrographie vorliegt (Abb. 7).

Zu den Gebieten nördlich des Staßfurt-Egelner Sattels und den zwei nordwest-südost gestreckten Salzkissen bei Reuden sind nur wenige Bohrungen tiefer als 300 m vorhanden. Viele der Bohrungen über 300 m dagegen erreichen die Zechstein-Formation nicht. Anhand der Bohrungen ist eine abschließende Aussage über dieses Teilgebiet nicht möglich. Es sind weitere Untersuchungen notwendig, um festzustellen, ob dieser Teil die Mindestanforderungen erfüllt. Das Gravitationsmodell (Müller et al. in review) weist darauf hin, dass sich das Staßfurt-Salz bei den Salzkissen von Reuden in einer Tiefe > 1.500 m fortsetzt und somit nicht den Mindestanforderungen entspricht. Hingegen ist das Gebiet nördlich des Staßfurt-Egelner Sattel in der Studie des Speicherkatasters (Müller & Reinhold 2011) und basierend auf den gelieferten Flächen vom Z_GPK (Geophysikalisches Kartenwerk; Reinhardt 1989a, Reinhardt 1989b) eingeschlossen.

Zusammenfassend lässt sich aussagen, dass die Fläche des Teilgebietes weitestgehend mit den Flächen, die sich aus den Kriterien Tiefe und Lithologie ergeben, die auf die Bohrungen angewandt wurden, übereinstimmt. Diese stimmen auch mit den gelieferten Modellen des Speicherkatasters (Müller & Reinhold 2011) und Z_GPK (Geophysikalisches Kartenwerk; Reinhardt 1989a, Reinhardt 1989b) überein. Die beiden Ansätze stratigraphisch (BGE) versus lithologisch (LAGB) weisen erhebliche Unterschiede im Hinblick auf die Berechnung der Mächtigkeiten auf das Ausmaß des Teilgebietes hin. Durch die Mächtigkeiten des lithologisch betrachteten Wirtsgesteins Steinsalz in diesem Teilgebiet würden sich kleinere Flächen ergeben, welche im Hinblick auf die Auswahl der Standortregionen genauer geprüft werden müssten.

Teilgebiet 078_02TG_197_02IG_S_f_z

Das Teilgebiet 078_02TG_197_02IG_S_f_z umfasst das Thüringer Becken im südlichen Sachsen-Anhalt und nördlichen Thüringen mit einer Ausdehnung von 6.151 km^2, von dem sich 1.631 km^2 in Sachsen-Anhalt befinden. Das Teilgebiet wird in Sachsen-Anhalt im Nordosten von der Halle-Störung, im Nordwesten von der Mansfelder Mulde, im Osten vom Kyffhäuser sowie im Süden von der Landesgrenze zu Thüringen begrenzt (Abb. 8).

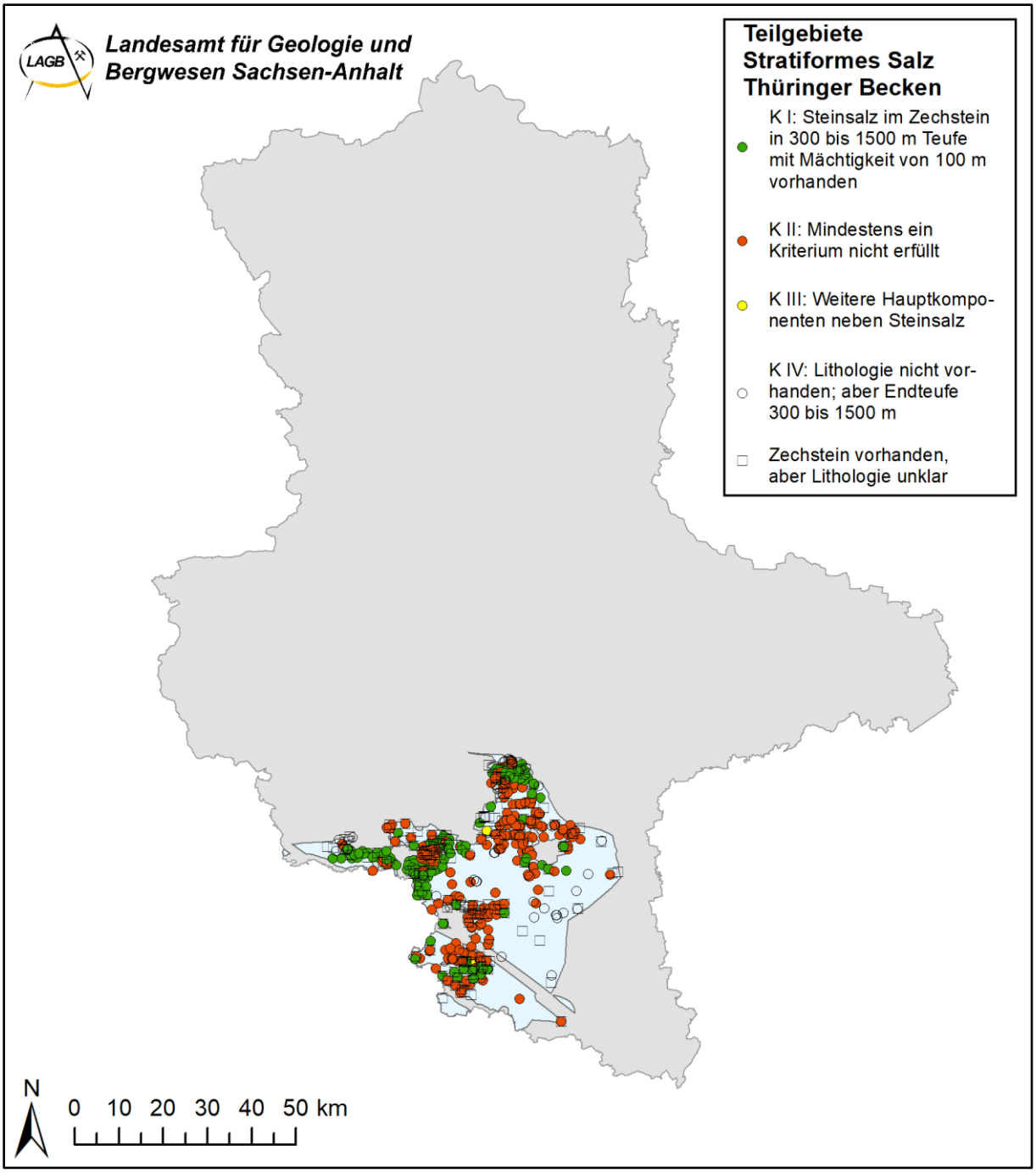

Abb. 8: Teilgebiet 078_02TG_197_02IG_S_f_z. Stratiform-gelagertes Salz im Thüringer Becken in Sachsen-Anhalt dargestellt mit dem lithologischen Ansatz für das Wirtsgestein Steinsalz.

Insgesamt durchteufen 628 Bohrungen den sachsen-anhaltischen Bereich dieses Teilgebiets (Tab. 7 und Tab. 8). Diese sind gehäuft in der Nähe von Salzbergbau oder industriell-genutzter Bergwerke. Diese liegen im Norden bei Salzmünde und Teutschenthal, im Westen bei Sangerhausen und im Südwesten bei Roßleben. Die südöstlichen Bereiche des Teilgebietes zwischen Halle (Saale) und Bad Sulza mit der Soleförderung in Bad Dürrenberg und Bad Kösen sowie der zentrale Teil bei Querfurt enthalten weniger Bohrungen mit mehr als 300 m Teufe. Hier wird nur teilweise die Zechstein-Formation erreicht.

149 Bohrungen aus diesem Teilgebiet erfüllen die Kriterien der Lithologie, Mächtigkeit und Teufe. Die lithologische Zusammensetzung des Steinsalzes variiert mit weiteren Hauptkomponenten, ins-

besondere bei den Bohrungen im südlichen Bereich bei Barnstädt und Bad Bibra. Die Tiefe des Wirtsgesteins Steinsalz liegt im überwiegenden Teil des Teilgebiets in den relevanten Teufen von 300 bis 1.500 m. Die minimale Steinsalz-Mächtigkeit von 100 m wird bei 154 Bohrungen erreicht. 405 Bohrungen erreichen die 100 m Mächtigkeit nicht, auch wenn Schichtpakete berechnet werden. Ähnlich wie im Teilgebiet Subherzyne Mulde bedarf die Mächtigkeit, basierend auf dem lithologischen Ansatz, weiterer Untersuchungen. In Anlehnung an die Stellungnahme der TLUBN (2021) können auch die geringeren festgestellten Mächtigkeiten im Vergleich zur modellierten Mächtigkeit von der BGE damit erklärt werden, dass die BGE die Mächtigkeiten über mehrere Subformationen zusammengefasst hat.

Im südöstlichen Bereich des Teilgebiets befinden sich deutlich weniger Bohrungen. Ein Vergleich zeigt, dass der vom LAGB gelieferte Z_GPK-Datensatz (Reinhardt 1989a, Reinhardt 1989b) eine gute Übereinstimmung mit dem ausgewiesenen Teilgebiet ergibt. Die Begrenzung des Teilgebiets ist somit nachvollziehbar, jedoch müssen die Mächtigkeiten genauer betrachtet werden.

Teilgebiet 078_01TG_197_01IG_S_f_z

Das Teilgebiet Niederlausitzer Becken mit einer Fläche von 2.582 km^2 befindet sich an der östlichsten Spitze von Sachsen-Anhalt und in Brandenburg (Abb. 9). Der Anteil Sachsen-Anhalts an diesem Teilgebiet beträgt 365 km^2 und wird von der Wittenberg-Störung im Süden begrenzt. Anhand der vorhandenen Bohrungen in diesem Gebiet kann die Fläche des Teilgebietes nicht deutlich nachvollzogen werden. Es sind 19 Bohrungen mit einer Teufe größer 300 m im Teilgebiet vorhanden (Tab. 7 und Tab. 8). Nur vier Bohrungen erfassen das Wirtsgestein Steinsalz der Staßfurt-Formation und erfüllen das Kriterium der Mächtigkeit mit 576 m im relevanten Teufenbereich bis maximal 1.250 m. Das Leine-Steinsalz liegt nur in einer Mächtigkeit kleiner als 30 m vor. Auch Werra- und Aller-Steinsalz treten in jeweils einer Bohrung nur mit weniger als 5 m Mächtigkeit auf. Fünf weitere Bohrungen enthalten die Formation Zechstein, jedoch ist die Petrographie unklar. Bei allen anderen Bohrungen wurde kein Zechstein erbohrt oder es befindet sich unterhalb von 1.500 m Teufe.

Dieses Ergebnis basiert auf dem lithologischen als auch stratigraphischen Ansatz. Zusätzlich weist das Gravitationsmodell (Müller et al. 2021, in review) darauf hin, dass das Staßfurt-Steinsalz nur westlich der Seyda-Störung (Abb. 9) in großen Mächtigkeiten vorkommt. Östlich der Seyda-Störung zum Beckenrand hin ist das Staßfurt-Steinsalz in nicht modellierbaren Mächtigkeiten und hauptsächlich die Werra-Formation vorhanden.

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Bohrungen kann die Ausdehnung des Teilgebiets im östlichen Teil nicht nachvollzogen werden. Es sind weitere Untersuchungen notwendig, um abzuklären ob die Mindestanforderungen erfüllt sind.

Fazit zur Anwendung der Mindestanforderungen und dem daraus resultierendem Ausmaß der Teilgebiete

Die strukturelle 3D-Modellierung zur Erstellung der Teilgebiete für steiles und stratiformes Salz sowie die Modellierung zur Anwendung der Mindestanforderungen sind nachvollziehbar im Zwischenbericht der BGE beschrieben. Auch die Anwendung von länderübergreifenden Datensätzen, um Salzstrukturen mit gleichen Annahmen im gesamten Norddeutschen Becken zu modellieren, ist nachvollziehbar. Jedoch wäre zur Validierung des Modells ein intensiverer Vergleich zu regionalen Salzstrukturdaten sowie die stärkere Einbindung von Schichtenverzeichnissen der Bohrungen wünschenswert.

Die Auswertung von Bohrungen in steilen Salzstrukturen stellt in Bezug auf den komplexen internen Aufbau sowie Änderungen in der Lithologie und Mächtigkeit eine wichtige Rolle für die Suche eines Endlagerstandortes dar, auch wenn sie nur vorerst als eine punktuelle Information zu betrachten ist. Aus den Berichten der BGE geht nicht hervor, ob und welche vorhandenen Bohrungen und Schichtenverzeichnisse für die Modellierung oder Überprüfung der Modellierung der steilen Salzstrukturen verwendet wurden. Es befinden sich keine entscheidungserheblichen Bohrungen innerhalb der ausgewählten steilen Salzstrukturen.

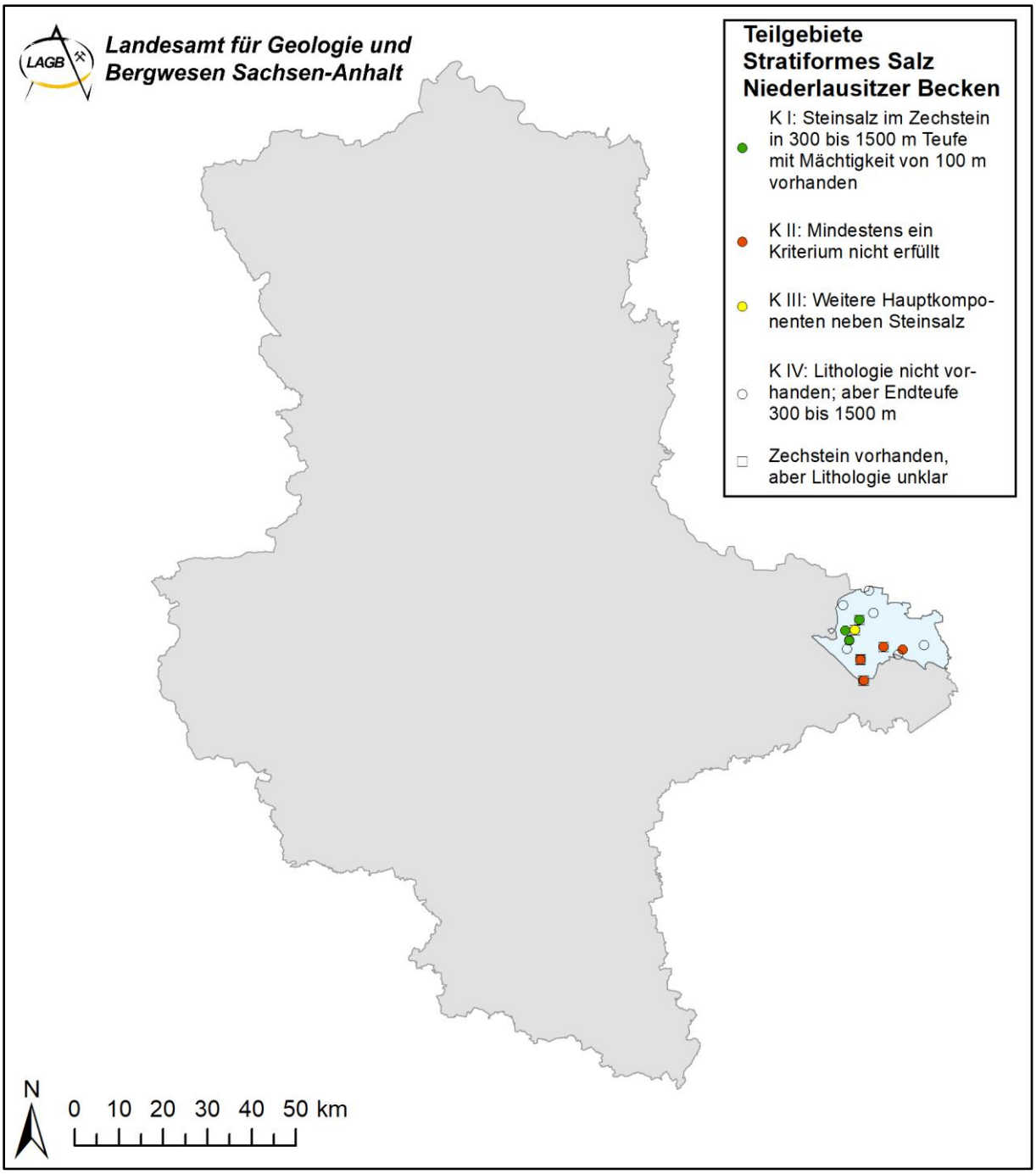

Abb. 9: Teilgebiet 078_01TG_197_01IG_S_f_z. Stratiform-gelagertes Salz im Niederlausitzer Becken in Sachsen-Anhalt dargestellt mit dem lithologischen Ansatz für das Wirtsgestein Steinsalz.

Die hier präsentierte Anwendung der Bohrungen auf die steilen Salzstrukturen deutet zum einen auf Variationen von Steinsalz in der Mächtigkeit und Tiefe innerhalb einer Salzstruktur und zum anderen

auf einen hochkomplexen strukturellen Aufbau einiger Salzstrukturen hin. Die Eignung der Salzstrukturen muss im weiteren Verlauf des Verfahrens mit der Ausweisung von Standortregionen genauer betrachtet werden. Die BGE beschreibt dazu, dass ein gewisser Abstand von einem möglichen Endlager im zentralen Teil des Salzkörpers zu den Flanken der Salzstruktur eingehalten werden muss (BGE 2020d). Es gibt jedoch dazu bisher keine genaue Angabe. Dieser müsste insbesondere für kleinflächige Teilgebiete genau definiert berücksichtigt werden.

Die Anwendung von grob-skaligen Datensätzen, einem stratigraphischen Ansatz und einer Zusammenfassung von Mächtigkeiten über unterschiedliche Subformationen führte insbesondere bei Teilgebieten mit stratiform-gelagertem Salz zu grob ausgewiesenen Flächen. In dem hier vorgestellten lithologischen Ansatz werden die Haupt- und Nebenkomponenten in den jeweils Steinsalz-enthaltenden Schichten betrachtet. Das Vorkommen von anderen Komponenten als Steinsalz hat möglicherweise einen Einfluss auf die Durchlässigkeit und Löslichkeit des Wirtsgesteins. Eine lithologische Unterscheidung weist im Gegensatz zu einer pauschalen Zusammenfassung eher auf geringere Mächtigkeiten des Wirtsgesteins hin.

Die identifizierten Gebiete des flach- und steil-lagernden Salzes stellen für Sachsen-Anhalt eine wirtschaftlich wichtige Region für Bergbau und Industrie dar. Ein zu grob ausgewähltes Teilgebiet hat erhebliche Auswirkungen auf die derzeit bergbauliche Gewinnung von Kali- und Steinsalzen sowie auf den Kavernenbergbau.

3.3 Teilgebiete Kristallingestein

Fünf Teilgebiete für kristallines Wirtsgestein wurden innerhalb von Sachsen-Anhalt ausgewiesen (BGE 2020a), welche eine Fläche 2.747 km² innerhalb von Sachsen-Anhalt (13 % der Landesfläche). Laut BGE (2020a) kommen (I) Plutonite (Granite, Granitoide, Syenite, Granodiorite, Diorite und Gabbros, siehe Streckeisen 1974, 1976) und (II) hochgradig regionalmetamorphe Gesteine (Gneise, Granulite, Amphibolite, Eklogite und Migmatite, siehe Eskola 1915) als kristallines Wirtgestein für ein Endlager hochradioaktiven Abfalls in Frage. Nicht als Wirtsgestein geeignet, sind dagegen vulkanische Gesteine (z. B. Andesite oder Rhyolite), Gesteine mit geringem oder mittleren Metamorphosegrad (z. B. Phyllite oder Grünschiefer) oder kontaktmetamorphe Gesteine (z. B. Hornfelse), da diese Gesteine die für die Endlagerung erforderlichen Eigenschaften nicht umfänglich erfüllen (BGE 2020a).

Abweichend von den anderen Wirtsgesteinen darf das Wirtsgestein Kristallingestein sowohl Deckgebirge als auch den ewG bilden. Dementsprechend kann Kristallingestein auch oberhalb der aufgeführten 300 m Oberkante des ewG zu finden sein (BGE 2020b). Im Gegensatz zu den anderen Wirtsgesteinen werden für die Mächtigkeit des ewG im kristallinen Wirtsgestein 200 m veranschlagt (BGE 2020b, DBE TEC 2016). Daraus ergibt sich eine maximale Suchteufe von 1.300 m unterhalb der Geländeoberkante (GOK) für die Oberkante des kristallinen Wirtsgesteins.

3.3.1 Methodik zur Überprüfung der Teilgebiete mit kristallinem Wirtsgestein

Wegen der abweichenden Kriterien des kristallinen Wirtsgesteins wurden die Schichtverzeichnisse von Bohrungen mit einer Teufe >100 m als Grundlage für die lithologische Überprüfung der Teilgebiete genutzt. In diesen Bohrungen wurde die Oberkante kristallinen Wirtsgesteins, dessen Lithologien den oben genannten Kriterien entspricht, identifiziert. Marmor und Quarzit wurden nicht in die Suche einbezogen, da diese in Sachsen-Anhalt nur niedrig- bis mittelgradig metamorph vorkommen (maximal

Grünschieferfazies) und damit nicht den von der BGE verwendeten Kriterien entsprechen. Die Bohrungen innerhalb der fünf Teilgebiete mit kristallinem Wirtsgestein wurden in vier Kategorien eingeteilt:

I) Kristallines Wirtsgestein mit Mächtigkeit >200 m erbohrt.
II) Kristallines Wirtsgestein mit Mächtigkeit <200 m erbohrt.
III) Kein kristallines Wirtsgestein, aber maximale Teufe von 1.300 m nicht erreicht.
IV) Kein kristallines Wirtsgestein, aber maximale Teufe von 1.300 m erreicht.

3.3.2 Prüfergebnis zur Anwendung der Mindestanforderungen in den ausgewiesenen Teilgebieten mit kristallinem Wirtsgestein

Insgesamt befinden sich 3689 Bohrungen mit einer Teufe größer 100 m in den fünf Teilgebieten mit kristallinem Wirtsgestein in Sachsen-Anhalt (Tab. 9). Obwohl nur 5 Bohrungen den Endlager-relevanten Bereich bis 1.300 m durchteufen, ohne Anzeichen für Kristallingestein zu finden, sind in einem Großteil von 3457 Bohrungen mit weniger als 1.300 m Teufe ebenfalls keine Anzeichen für Kristallin zu finden. In den nächsten Abschnitten werden die Ergebnisse der lithologischen Überprüfung für die Teilgebiete mit kristallinem Wirtsgestein im Detail erklärt.

Tab. 9: Ergebnisse der lithologischen Überprüfung der Teilgebiete mit kristallinem Wirtsgestein.

Teilgebiet	Anzahl Bohrungen	Mächtigkeit >200 m nachgewiesen	Mächtigkeit >200m nicht nachgewiesen	Kein Kristallin, Endteufe erreicht	Kein Kristallin, Endteufe nicht erreicht
009_00TG_194_00IG_K_g_SO	1.203	0	19	5	1.179
010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ	1.466	4	115	0	1.347
011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ	1.011	1	79	0	931
012_01TG_198_01IG_K_g_RHE	4*	0	4*	0	0
012_02TG_198_01IG_K_i_RHE	9	1	0	0	9

**In diesem Teilgebiet befinden sich keine Bohrungen mit >100 m Teufe. Die aufgeführten Bohrungen haben nur eine Endteufe von ~30m und wurden hier exemplarisch in die lithologische Überprüfung aufgenommen.*

Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO

Das Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO (kristallines Wirtsgestein im Saxothuringikum) befindet sich im süd- bis südöstlichen Sachsen-Anhalt mit einer Fläche von 768 km² (Gesamtfläche von 32.655 km²). Es liegt hauptsächlich im Burgenlandkreis, kleinere Flächen aber auch im Saalekreis, Landkreis Anhalt-Bitterfeld und Landkreis Wittenberg. Für die Verbreitung des kristallinen Wirtsgestein im Teilgebiet legt die BGE die Tiefenlage der Kristallinoberfläche in Deutschland zu Grunde (Reinhold 2005).

Insgesamt befinden sich im Teilgebiet des Saxothuringikums 1.203 Bohrungen mit einer Teufe >100 m. Kristallines Wirtsgestein wurde in einem großen Teil der Bohrungen nicht erschlossen (Abb. 10, Tab. 9). Die Endteufen dieser 1.179 Bohrungen liegen im Bereich zwischen 100 und 1.284 m unter GOK.

Fünf der Bohrungen südlich der Stadt Zeitz erreichen die maximale Suchteufe von 1.300 m unter GOK für die Oberkante eines möglichen Endlagers im Wirtsgestein Kristallingestein, wobei in diesen Bohrungen kein Kristallingestein aufgeschlossen wurde.

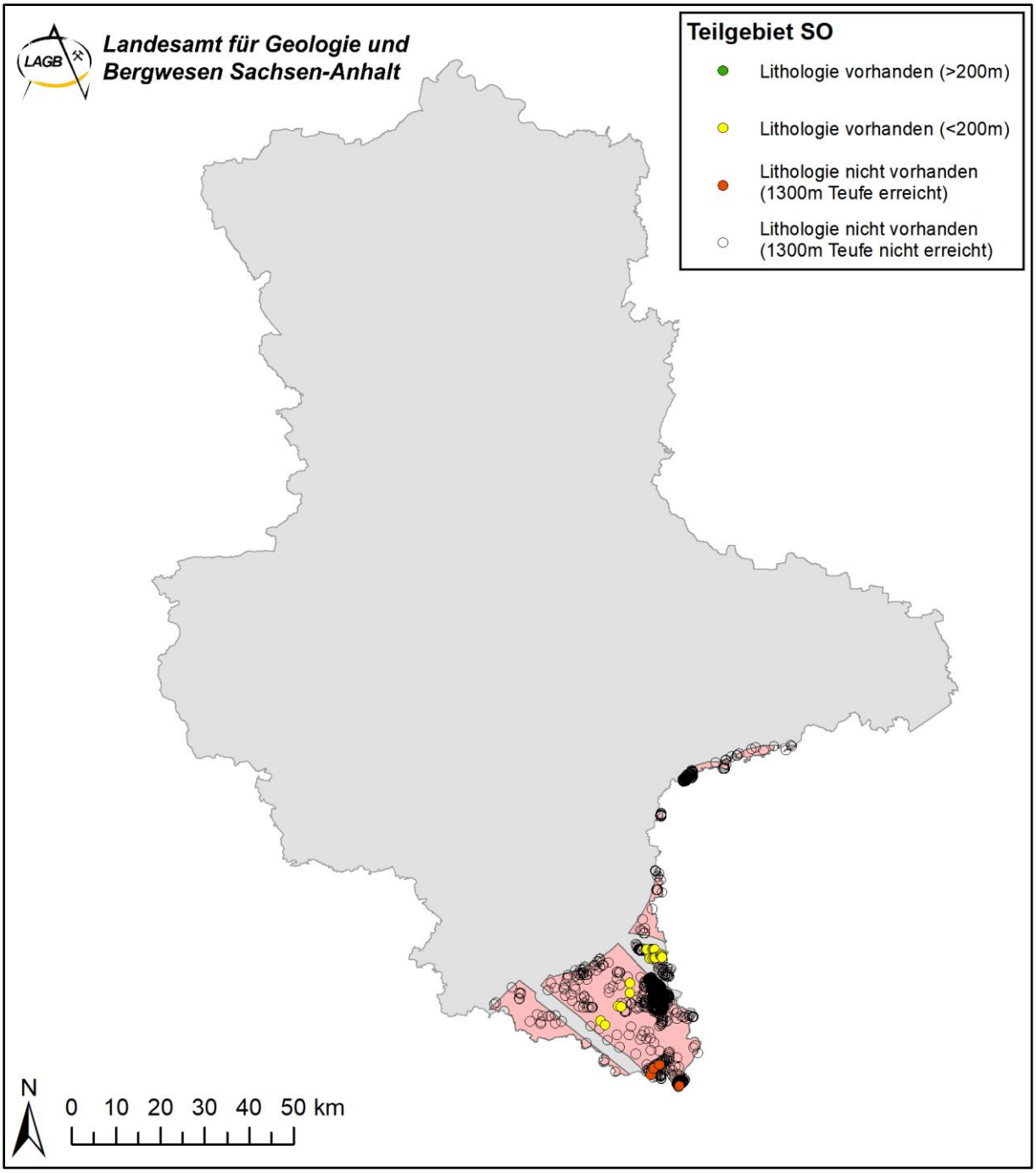

Abb. 10: Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO (Kristallines Wirtsgestein des Saxothuringikums) und Ergebnisse der Überprüfung des Teilgebiets mit dem lithologischen Ansatz.

Potenziell geeignetes kristallines Wirtsgestein ist aus 19 Bohrungen bekannt. Allerdings sind aus diesen Bohrungen nur maximal 18 m Kristallingestein von der Oberkante des Kristallinvorkommens bis zur Endteufe beschrieben wurden. Die Oberkante des Kristallinvorkommens liegt in Teufen zwischen 95 und 444 m.

Bei diesem Kristallinvorkommen handelt es sich um den Zeitz-Weißenfels-Granodiorit, welcher hauptsächlich als Granodiorit, aber teilweise auch als Granit beschrieben ist. Der Zeitz-Weißenfels-Granodiorit ist eine Intrusion cadomischen Alters, also einem räumlich begrenzten Kristallinvorkommen. Dieser Granodiorit ist von, lokal auch kontaktmetamorphen, neoproterozoischen Grauwacken des Nordsächsischen Antiklinoriums mit mehreren Kilometern Mächtigkeit umgeben, welche hier das nicht-

kristalline Grundgebirge des Saxothuringikums bilden und sich nicht für die Endlagerung eignen. Auf der Fläche des Teilgebiets 009_00TG_194_00IG_K_g_SO innerhalb von Sachsen-Anhalt ist dies das einzige Vorkommen, welches der Definition der kristallinen Wirtsgesteine der BGE entspricht.

Teilgebiet 010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ

Das Teilgebiet 010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ (Mitteldeutsche Kristallinzone) erstreckt sich zu weiten Teilen im zentralen und östlichen Sachsen-Anhalt (Landkreis Wittenberg, kreisfreie Stadt Dessau-Roßlau, Landkreis Anhalt-Bitterfeld und Saalekreis) mit einer Fläche von 1.268 km² (Gesamtfläche von 10.066 km²). Kleinere isolierte Flächen dieses Teilgebiets befinden sich in der Goldenen Aue nordöstlich des Kyffhäusers (Landkreis Mansfeld-Südharz) und im südlichen Sachsen-Anhalt (Burgenlandkreis). Für die Verbreitung von kristallinem Wirtsgestein innerhalb der Mitteldeutschen Kristallinzone nutzte die BGE die Tiefenlage der Kristallinoberfläche in Deutschland (Reinhold 2005).

Insgesamt sind 1466 Bohrungen mit einer Teufe über 100 m in diesem Teilgebiet zu finden (Abb. 11, Tab. 9). Der größte Teil der Bohrungen (1347) mit Teufen zwischen 1.232 und 100 m GOK erreicht kein kristallines Wirtsgestein. Keine Bohrung innerhalb des Teilgebietes durchteuft den kompletten Bereich bis 1.300 m. 119 Bohrungen haben kristallines Wirtsgestein getroffen. Vier dieser Bohrungen haben Kristallingestein mit Mächtigkeiten über 200 m (285 – 206 m im Schichtverzeichnis) erbohrt. Bei 115 Bohrungen wurden nur Mächtigkeiten unter 200 m von der Oberkante des Kristallinvorkommens bis zur Endteufe (191 – <1 m Schichtmächtigkeit) erschlossen.

Im Teilgebiet liegt die Oberkante der Kristallinvorkommen in Teufen zwischen 847 und 85 m. Bei den unterschiedlichen Kristallinvorkommen handelt es sich um das Plutonitmassiv von Dessau und seinen amphibolitfaziellen Rahmengesteinen bei Reupzig und Hohnsdorf. Südöstlich dieses Kristallinvorkommens treten innerhalb der Mitteldeutschen Kristallinzone allerdings auch phyllitische Gesteine auf – „Interne Phyllitzone“ (Bachmann et al. 2008). Ein weiteres größeres Kristallinvorkommen bildet das Plutonitmassiv von Pretzsch-Prettin. Zusammengefasst setzen sich diese erbohrten Vorkommen der Mitteldeutschen Kristallinzone aus amphibolitfaziellen Paragneisen, Orthogneisen variszischen Metamorphosealters sowie deformierten und undeformierten Graniten, Granodioriten und Dioriten zusammen, die von phyllitischen Deckeneinheiten unterbrochen werden.

Bei den Kristallinvorkommen von Dessau, Reupzig und Hohnsdorf im zentralen Bereich von Sachsen-Anhalt handelt es sich um tektonische Schuppen, in denen die hochmetamorphen Gneise teilweise durch variszische Intrusionen durchsetzt sind und dann später räumlich sehr begrenzt gehoben worden sind (Bachmann et al. 2008). Es handelt sich um relativ kleine und sehr heterogen aufgebaute Kristallinvorkommen. Im Gegensatz dazu stellt das Plutonitmassiv von Pretzsch-Prettin im östlichen Sachsen-Anhalt eine große und relativ homogene variszische Intrusion mit hauptsächlich monzogranitisch bis granodioritischer Zusammensetzung dar. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand sind die genannten Kristallinvorkommen nicht wesentlich größer, als durch die Bohrungen angezeigt (Hammer et al. 1999), weshalb das Teilgebiet der Mitteldeutschen Kristallinzone zu groß ausgehalten scheint.

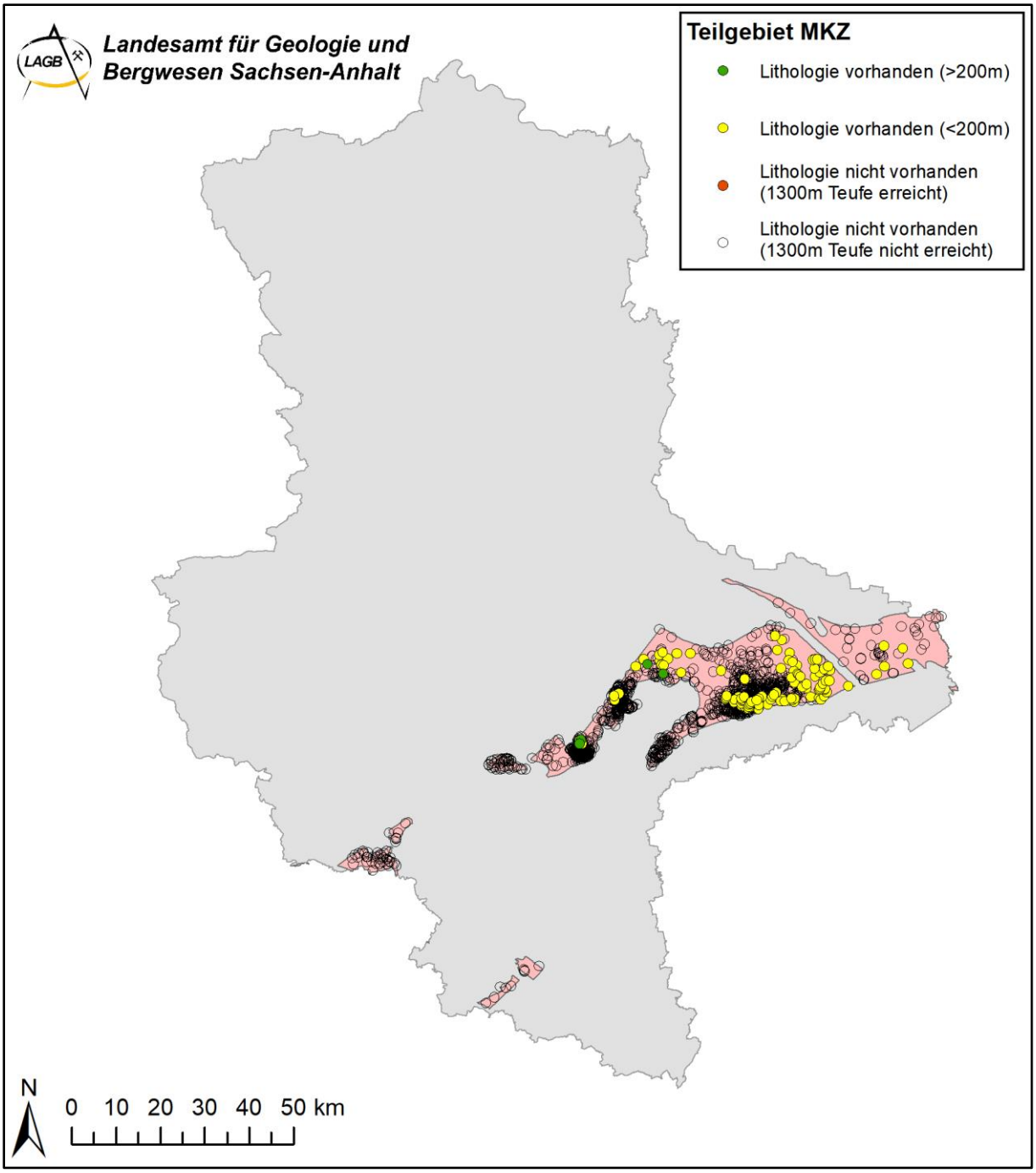

Abb. 11: Teilgebiet 010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ (Kristallines Wirtsgestein der Mitteldeutschen Kristallinzone) und Ergebnisse der Überprüfung des Teilgebiets mit dem lithologischen Ansatz.

Dies gilt auch für die isolierten Flächen des Teilgebiets im Südosten (Landkreis Mansfeld-Südharz) und Süden (Burgenlandkreis) von Sachsen-Anhalt. Im nördlichsten Kyffhäuser stehen hochmetamorphe und plutonische Gesteine des Kyffhäuser-Kristallins, welches zu der Mitteldeutschen Kristallinzone gehört, an der Erdoberfläche an. Vom Kyffhäuser-Kristallin befindet sich nur der Bärenkopf-Granit in Sachsen-Anhalt. Da der Nordrand des Kyffhäusers durch markante steil stehende Störungen begrenzt ist, ist es äußerst fragwürdig, dass Kristallingestein nördlich vom Kyffhäuser in Endlager-relevanten Teufen ansteht. Entsprechendes gilt auch für die zwei weiteren Flächen im Süden von Sachsen-Anhalt (Burgenlandkreis).

Das LAGB geht bei den vier kleineren Flächen davon aus, dass es sich um Reststücke der Karte über die Tiefenlage der Kristallinoberfläche in Deutschland (Reinhold 2005) handelt, die nach Anwendung der Mindestanforderungen und der Ausschlusskriterien übriggeblieben sind. Von der kleinen Fläche des Kyffhäuser-Kristallins abgesehen, sind dem LAGB in diesen Gebieten keine weiteren Kristallinvorkommen bekannt.

Teilgebiet 011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ

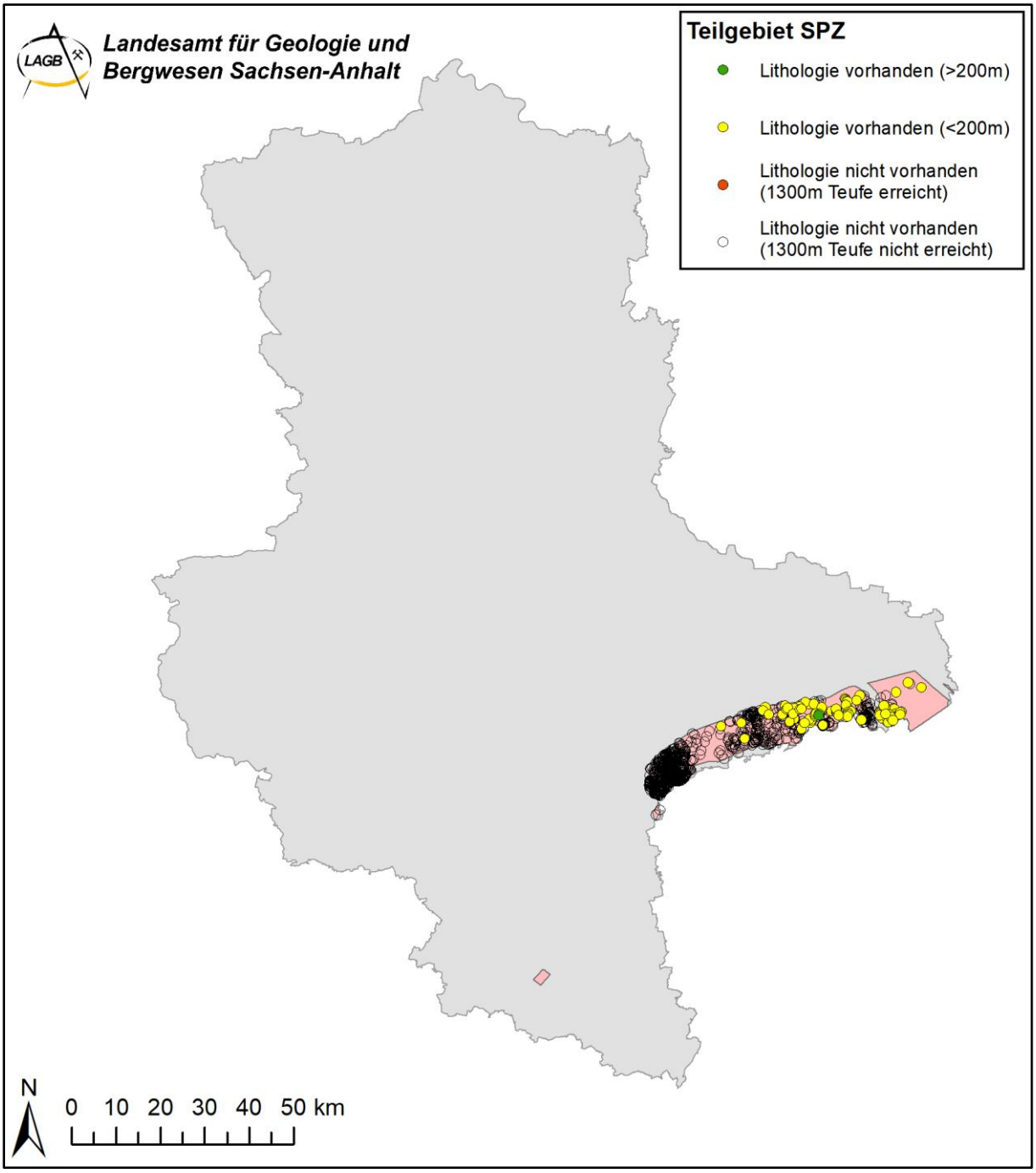

Abb. 12: Teilgebiet 011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ (Kristallines Wirtsgestein des Südliche Phyllitzone) und Ergebnisse der Überprüfung des Teilgebiets mit dem lithologischen Ansatz.

Der größte Teil des Teilgebiets 011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ (Südliche Phyllitzone) befindet sich im zentral-östlichen Bereich von Sachsen-Anhalt (Saalekreis, Landkreise Anhalt-Bitterfeld und Wittenberg) mit einer Fläche von 547 km² (Gesamtfläche von 990 km²). Eine kleine isolierte Fläche des

Teilgebiets liegt im südlichen Sachsen-Anhalt (Burgenlandkreis). Als Grundlage für das Teilgebiet der Südlichen Phyllitzone dient der BGE die Karte über die Tiefenlage der Kristallinoberfläche in Deutschland (Reinhold 2005).

Die Südliche Phyllitzone im geologischen Sinne bezeichnet anchimetamorph bis grünschieferfazielle Phyllite und Metavulkanite der neoproterozoischen Rothstein-Formation, welche aus Bohrungen aus dem Raum Bitterfeld bekannt sind. Phyllite und andere grünschieferfazielle Metasedimente oder Metavulkanite sind aber für die Endlagerung ungeeignet. Laut Definition der BGE erfüllen nur hochmetamorphe Gesteine und Plutonite die Anforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (BGE 2020a, siehe auch LfULG 2021). Dessen ungeachtet, sind auf der Fläche 1.011 Bohrungen mit einer Teufe größer 100 m zu finden (Tab. 9). Keine der Bohrungen durchteuft den kompletten Endlager-relevanten Bereich bis 1.300 m, aber 931 Bohrungen, deren Endteufen sich im Bereich von 100 bis 933 m befinden, erbohrten kein Kristallin. Nur 80 Bohrungen haben Kristallin angetroffen, wobei in nur einer mehr als 200 m Kristallingestein nachgewiesen werden konnte. Die Oberkante der Kristallinvorkommen liegt in Teufen zwischen 98 und 483 m. Bei diesen Kristallinvorkommen handelt es sich um die südlichen Teile des Plutonitmassivs von Pretzsch-Prettin, deren nördliche Teile im Teilgebiet der Mitteldeutschen Kristallinzone liegen. Dort sind homogene, teilweise deformierte Granodiorite, Diorite und Granite variszischen Ursprungs zu finden. Weitere Kristallinvorkommen im Endlager-relevanten Teufenbereich lassen sich aus den verfügbaren Daten nicht ableiten.

Ähnlich wie die isolierten Flächen im Teilgebiet 010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ findet sich auch im Teilgebiet der Südlichen Phyllitzone (011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ) im Süden von Sachsen-Anhalt (Burgenlandkreis) eine kleine isolierte Teilgebietsfläche. Die Fläche ergab sich möglicherweise nach Anwendung der Mindestanforderungen und Ausschlusskriterien, lässt sich aber mit den vorhandenen Unterlagen, wie zum Beispiel Bohrungen, nicht belegen.

Teilgebiete 012_01TG_198_01IG_K_g_RHE und 012_02TG_198_02IG_K_i_RHE

Das Teilgebiet 012_01TG_198_01IG_K_g_RHE (Rhenoherzynikum ohne Überdeckung) beinhaltet die sachsen-anhaltinischen Teile des Brocken-Granits, des Eckergneises, des Gabbronorits von Bad Harzburg nahe der Grenze zu Niedersachsen, sowie den Ramberg-Granit im Ost-Harz. Die Fläche innerhalb von Sachsen-Anhalt beträgt 113 km² und die Gesamtfläche ist 175 km². Die BGE hat die Flächen aus der Geologischen Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland (BGR 2019) entnommen. Die oberflächlich anstehenden Gesteine sind sehr gut auskartiert.

Brocken- und Ramberg-Granit stehen übertägig über mehrere hundert Höhenmeter bis zu den Gipfeln von Brocken und Ramberg an. Deswegen ist bei beiden Kristallinvorkommen anzunehmen, dass eine ausreichende Mächtigkeit von 200 m erreicht ist. Zumindest beim Brocken-Granit sind offensichtlich auch die benötigten 300 m Deckgebirge vorhanden. Innerhalb des Teilgebiets gibt es keine Bohrungen mit Teufen über 100 m. Der Vollständigkeit halber werden in Abb. 13 vier nah bei einander liegende bis zu 30 m tiefe Bohrungen vom Brockengipfel gezeigt, die im Zuge der ingenieurgeologischen Erkundung zum Bau des Fernsehturm 1969-1970 abgeteuft worden sind und den Brocken-Granit erschlossen haben. Die Flächen des Teilgebiets lassen sich aus den verfügbaren Daten nachvollziehen.

Das Teilgebiet 012_02TG_198_02IG_K_i_RHE (Rhenoherzynikum mit Überdeckung) liegt komplett in Sachsen-Anhalt mit einer Fläche von 53 km². Es erstreckt sich östlich von Haldensleben entlang des Flechtinger Höhenzugs, wo ältere paläozoische Gesteine zu Tage treten. Der Flechtinger Höhenzug

gehört zu der Flechtingen-Roßlau-Scholle, welche das Norddeutsche Becken von dem Subherzynem Becken trennt. In diesem Gebiet befindet sich der Granit von Flechtingen unter paläozoischer Bedeckung.

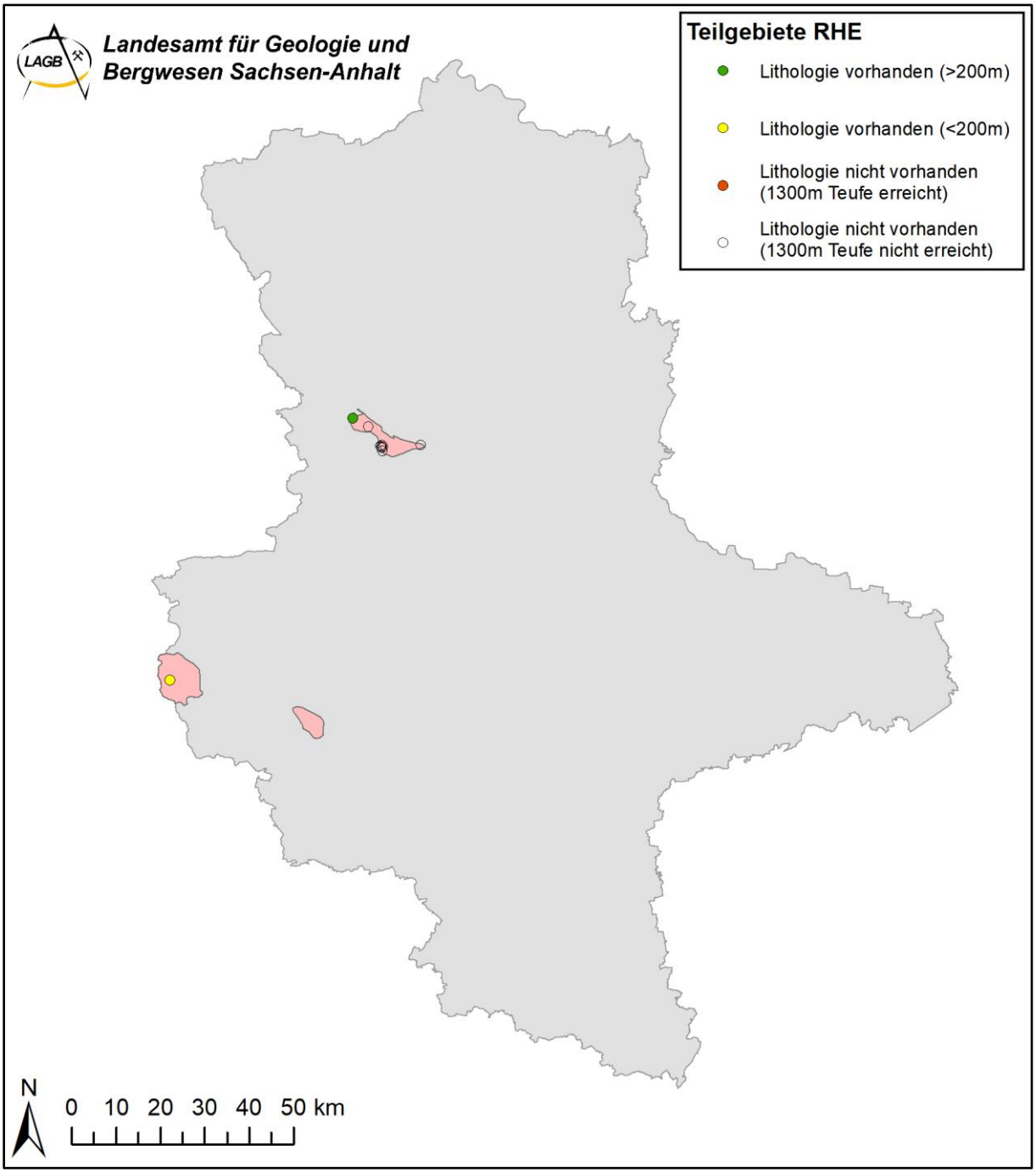

Abb. 13: Teilgebiete 012_01TG_198_01IG_K_g_RHE und 012_02TG_198_02IG_K_i_RHE (Rhenoherzynikum ohne und mit Überdeckung) und Ergebnisse der Überprüfung der beiden Teilgebiete mit dem lithologischen Ansatz.

Zur Anwendung der Mindestanforderungen nutzte die BGE ein Gebiet mit Anzeichen einer Kontaktmetamorphose nach Bachmann et al. (2008) für die westliche bis südliche Begrenzung des Teilgebiets. Zur Festlegung der nordöstlichen Begrenzung dient die Wittenberger Störung. Eine von neun Bohrungen im Teilgebiet hat mehrere hundert Meter Granit erbohrt. Diese Bohrung ist die Einzige innerhalb von Sachsen-Anhalt, die als entscheidungserheblich eingestuft wurde und auch kristallines Wirtsgestein erbohrt hat. In weiteren Bohrungen dieses Teilgebiets wurden Hornfelse und Anzeichen für

Mineralneubildungen im Zuge einer Kontaktmetamorphose gefunden (Bachmann et al., 2008). Diese Beobachtung lässt vermuten, dass sich der Granit von Flechtingen weiter erstreckt als von der einzelnen Granit-Bohrung belegt ist. Die genaue Dimension dieses Kristallinvorkommens ist spekulativ.

Das Teilgebiet ist mit den oben aufgeführten Grundlagen nachvollziehbar. Zur räumlichen Ausgrenzung des Flechtinger Granits bedarf es allerdings weiterer Untersuchungen.

Anmerkungen zur verwendeten Datengrundlage

Für die Ausgrenzung der Teilgebiete mit kristallinem Wirtsgestein, also dem Saxothuringikum (009_00TG_194_00IG_K_g_SO), der Mitteldeutschen Kristallinzone (010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ) und der Südlichen Phyllitzone (011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ) wurde im Wesentlichen eine Studie der BGR zur Tiefenlage der „Kristallin-Oberfläche“ (Reinhold 2005) herangezogen. Anscheinend nutzte die BGE die Abbildung 3 „Übersicht der tektonostratigraphischen Einheiten in Deutschland“ und Anlage 1 „Tiefenlage des Grundgebirges“ dieser Studie, um die Mindestanforderungen für diese Teilgebiete nachzuweisen. Die in Anlage 1 der Studie gezeigte Tiefenlage zeigt aber nicht die Tiefenlage der „Kristallin-Oberfläche“, sondern die des Grundgebirges bzw. der Prä-Perm-Oberfläche. Dies beinhaltet also auch schwach metamorphe und sedimentäre Gesteine (Reinhold 2005). Obwohl Reinhold (2005) für den Begriff „Kristallin“ eine ähnliche Definition (hochmetamorphe Gesteine und Plutonite) wie die BGE nutzt, müssen die Begriffe „Grundgebirge“ und „Prä-Perm-Oberfläche“ nicht deckungsgleich mit der „Kristallin-Oberfläche“ sein. Dies ist nur in den vorherig erwähnten Kristallinvorkommen (Kyffhäuser-Kristallin, Kristallinvorkommen von Dessau, Reupzig, Hohnsdorf, Gräfenhainichen, Pretzsch-Prettin innerhalb der Mitteldeutschen Kristallinzone, sowie den Zeitz-Weißenfels-Granodiorit im Saxothuringikum) der Fall, die auch Reinhold (2005) explizit erwähnt: *„Relevante Tiefenlagen der „Kristallin-Oberfläche“ innerhalb der Mitteldeutschen Kristallinzone sind die Gebiete … die Halle-Wittenberg-Scholle und der Granitoid von Pretzsch-Prettin-Schönwalde. Relevante kristalline Endlager-Wirtsgesteine im verdeckten Saxothuringikum … Im Bereich der Thüringischen Senke befindet sich der Granit von Zeitz unterhalb der Ablagerungen des Zechsteins. In die paläozoischen Sedimente des nordöstlichen Rhenoherzynikums ist der Granit von Roxförde, Flechtingen und Velpke-Asse intrudiert, der sich heute jedoch nur auf der Flechtinger Scholle in für die Endlagerung relevanten Teufen befindet.“*

Als Schlussfolgerung lässt sich festhalten, dass sich die Interpretation der Grundgebirgsoberfläche nicht im Sinne einer „Kristallin-Oberfläche“ zur Anwendung der Mindestanforderungen nutzen lässt. Die vorhandenen Bohrungen können die Konturen der Teilgebiete der Mitteldeutschen Kristallinzone, Südlichen Phyllitzone und des Saxothuringikums nicht zwingend bestätigen. Aufgrund der hohen Menge an Bohrungen sind die Teilgebiete aber gut genug erforscht, um Kristallin in Endlager-relevanten Teufen auszuschließen. Dementsprechend sind die drei genannten Teilgebiete im Wesentlichen zu groß ausgehalten, da der BGE bei den Mindestanforderungen offenbar eine Fehlinterpretation (im Sinne der Definition des Kristallingestein) der Datenbasis unterlaufen ist. Das LAGB kann also nicht nachvollziehen, warum diese Karte zur Anwendung der Mindestanforderungen zu Grunde gelegt wurde.

4. Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

Im LAGB liegen bisher keine digital verfügbaren Daten zu den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien vor. Um die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien trotzdem anwenden zu können, hat die BGE allgemeingültige Referenzdatensätze für die drei Wirtsgesteinstypen aus Literaturangaben abgeleitet. Insofern sagt die erfolgte Ausweisung von Teilgebieten an Hand der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien zunächst noch wenig über deren tatsächliche Eignung aus.

5. Datenlieferung nach Zwischenbericht

Die Bereitstellung von Daten zu den Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen erfolgte aus unterschiedlichen Zeitpunkten. Mit Inkrafttreten des Geologiedatengesetzes hat sich zum 01.07.2020 der rechtliche Rahmen geändert. Dies bedeutet, dass mit Regelung der Voraussetzungen für die Informationsbereitstellung die originäre Lieferung von 1.352 Schichtenverzeichnissen von Bohrungen mit Teufen größer 300 m auf ca. 4000 ergänzt werden kann.

Neben den geänderten rechtlichen Rahmenbedingungen hat es auch bei der Aufbereitung von Fachdaten (z. B. Schichtbeschreibungen) Entwicklungen gegeben. So entstand im Rahmen des Projektes TUNB (Potenziale des unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraumes im Norddeutschen Becken) unter der Führung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ein Schichtmodell, welches eine große Fläche von Sachsen-Anhalt abdeckt (Abb. 14). Für weitere Teilbereiche sind im Rahmen dieses Projektes auch komplexere Parameter-/Volumenmodelle entstanden (Abb. 14).Die hierfür verwendete Datenbasis ist großmaßstäbiger und detaillierter als die von der BGE genutzten 3D-Modelle (z.B. Doornenbal & Stevenson 2010) bzw. 3D-Daten.

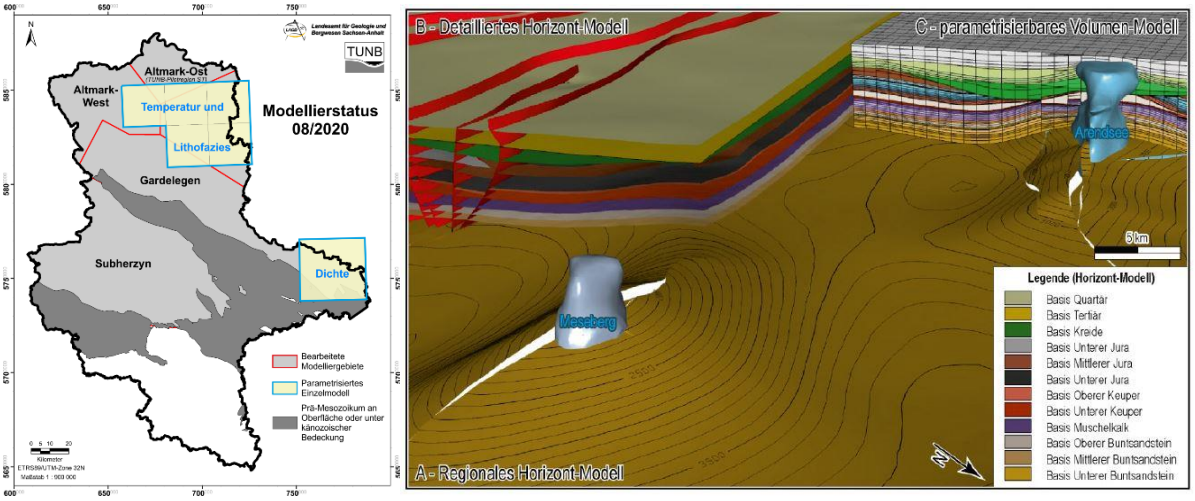

Abb. 14: Lage der Parameter-/Volumenmodelle in Sachsen-Anhalt (linke Seite) und Kompilation verschiedener 3D-Modelldaten (Schichtflächen-, Volumenmodell) aus dem Ergebnis des TUNB-Projektes (rechte Seite).

Diese Modelle und Bohrdaten stehen für weitere Arbeiten zur Verfügung. Hierbei bleibt ein Verfahren zur Haltung und Bereitstellung dahingehend abzustimmen, dass diese allen Akteuren in der aktuellsten Version zur Verfügung stehen.

6. Zusammenfassung

Die Ausweisung der Teilgebiete im Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020a) erfolgte für die Wirtsgesteine Steinsalz anhand von lithostratigraphischen Einheiten, für Tongestein maßgeblich auf Basis von chronostratigraphischen Einheiten und für Kristallingestein anhand von tektonostratigraphischen Großeinheiten (z. B. Mitteldeutschen Kristallinzone oder Saxothuringikum). Diese stratigraphischen Ansätze fassen unterschiedliche Formationen und Einheiten zusammen und lassen deswegen nur bedingt Rückschlüsse auf die Verbreitung und Mächtigkeit der jeweiligen Wirtsgesteine zu. Hier wäre die Verwendung von lithologischen Einheiten erforderlich gewesen, um die Teilgebiete genauer einzugrenzen.

Durch die Datenlieferungen vom 10.12.2019 wurden sämtliche zum Zeitpunkt der Übermittlung frei zugänglichen, digitalen Schichtenverzeichnisse übergeben. Wie es die Mindestanforderungen nach dem StandAG vorsehen, lieferten die Schichtverzeichnisse für die BGE – neben Literaturdaten, Modellierungsdaten und paläogeographischen Karten – eine Grundlage für die Auskartierung der Verbreitung, Mächtigkeit und Tiefenlage der Wirtsgesteine.

Viele der vom LAGB übermittelten Datensätze zur Anwendung der Ausschlusskriterien wurden nicht berücksichtigt. Stattdessen verwendete BGE eigens entwickelte weitestgehend nachvollziehbare Methodiken, z. B. zur zeitlichen Eingrenzung von Störungsbewegungen für das Ausschlusskriterium der aktiven Störungen. Datensätze, die im Zwischenbericht Anwendung gefunden haben (z. B. Bergbau/Altbergbau), wurden methodisch korrekt angewandt.

Aus Sicht des LAGB wäre eine Verifizierung der Vorkommen der drei Wirtsgesteine in entsprechender Teufe und Mächtigkeit innerhalb der oben genannten Einheiten notwendig gewesen. Die Datenlage in Sachsen-Anhalt wäre ausreichend, um die reale Verbreitung der Wirtsgesteine anhand der Informationen zur Lithologie und vorhandener Bohrprofile weitgehend stärker einzugrenzen.

Im LAGB liegen keine digitalen Daten zu den geowissenschaftliche Abwägungskriterien vor. Zu einer Vielzahl von Bohrungen gibt es analoge Daten zu dieser Thematik. Bislang gab es keine Nachfrage zu analogen vorliegenden Daten. Daher wendete die BGE ausschließlich wenige wirtsgesteins-spezifische Referenzdatensätze an. Im Detail können sich daraus Abweichungen ergeben.

Das LAGB erwartet, dass diese Stellungnahme seitens der BGE geprüft und die Ergebnisse der Prüfung zur nächsten Fachkonferenz Teilgebiete vorgestellt werden. Gemäß dem Grundsatz des lernenden Verfahrens sollten die vom LAGB vorgeschlagenen Änderungen auf Basis der Lithologien zeitnah und verbindlich vorgenommen werden. Im Ergebnis dieser notwendigen Korrekturen würden auch die Verfahrensabläufe zum Vollzug des § 21 StandAG, auf welche die Ausweisung der identifizierten Gebiete einen mittelbaren Einfluss hat, auf eine sachgerechte Grundlage gestellt. Eine, dem zur Verfügung stehenden Datenbestand, entsprechende Einengung der Gebietskulissen würde eine deutliche Entlastung von Wirtschaft und Verwaltung bedingen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

AkEnd (2002): *Auswahlverfahren für Endlagerstandorte: Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte*. Köln: Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe.

Bach, D. (1976): *Lithologie und Paläogeographie des Mesozoikums in der DDR. Atlas im Maßstab 1:500.000 mit Erläuterungen. Teil 6 – Malm.* Berlin: Zentrales Geologisches Institut.

Bachmann, G. H., Ehling, B.-C., Eichner, R., Schwab, M. (2008): *Geologie von Sachsen-Anhalt*. Schweizerbart, Stuttgart.

Best, G., Zirngast, M., (2002): *Die strukturelle Entwicklung der exhumierten Salzstruktur „Oberes Allertal“*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

Beutler, G. (2001): *Tektonische Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt 1:500.000, Saxonischer Schollenbau*. Halle (Saale): Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt.

Beutler, G., Mönnig, E. (2008): *Jura*. In: Bachmann, G. H., Ehling, B.-C., Eichner, R., Schwab, M.: *Geologie von Sachsen-Anhalt*. Stuttgart: Schweizerbart.

BGE (2020a): *Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.

BGE (2020b): *Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG (Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete)*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.

BGE (2020c): *Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG – Datenbericht Teil 1 von 4 (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichtes Teilgebiete)*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

BGE (2020d): *Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG – Datenbericht Teil 2 von 4 (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichtes Teilgebiete)*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

BGR (2019): *Geologische Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:250.000 (GÜK250), 2. Auflage*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Blumenstengel, H., Krutzsch, W. (2008): *Tertiär.* In: Bachmann, G. H., Ehling, B.-C., Eichner, R., Schwab, M. (Hrsg.): *Geologie von Sachsen-Anhalt*. Stuttgart: Schweizerbart.

Brandes, J. (2011): *Abschlussbericht zum Projekt Speicher-Kataster Deutschland: Teilprojekt Sachsen-Anhalt*. In: Müller, C. & Reinhold, K. (2011): *Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland: eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland)*. Abschlussbericht. Berlin: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

DBE TEC (2016): *Gutachten - Flächenbedarf für ein Endlager für wärmeentwickelnde, hoch radioaktive Abfälle*. K-MAT 58. Peine: DBE Technology GmbH.

Diener, I. (1973): *Lithologie und Paläogeographie des Mesozoikums in der DDR. Atlas im Maßstab 1:500.000 mit Erläuterungen. Teil 7 – Unterkreide*. Berlin: Zentrales Geologisches Institut (ZGI).

DIN EN 1998-1/NA:2011-01 (2011): *Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau.*

Doornenbal, H., Stevenson, A. (Hrsg.) (2010): *Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area.* Houten: EAGE Publications.

Ellenberg, J. (1988): *Rezente vertikale Erdkrustenbewegungen als geologischer Prozess*. Potsdam: AdW DDR. Zentr. Inst. Physik Erde.

Eskola, P. (1915): *On the relations between the chemical and mineralogical composition in the metamorphic rocks of the Orijarvi region*. In: Suomen geologinen komissioni, Suomen geologinen toimikunta & Geologinen tutkimuslaitos (Hrsg.): Bulletin de la Commission Géologique de la Finlande, Ausgaben 39-44. S. 1-277, Bulletin de la Commission Geologique de Finlande, 40: Geologinen tutkimuslaitos.

Franke, D. (2020): *Geologie von Ostdeutschland (Sachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern) - Ein Kompendium*. Glienicke/Nordbahn: Dietrich Franke. Letzte Aktualisierung am: Last updated 12.02.2020. Zugriff am: 01.03.2020. http://www.regionalgeologie-ost.de/

Hammer, J., Eidam, J., Röber, B., Ehling, B.-C. (1999): *Prävariscischer und variscischer granitoider Magmatismus am NE-Rand des Böhmischen Massiv – Geochemie und Petrogenese*. Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 27(5/6), S. 401-415, Berlin.

Hoth, P., Wirth, H., Reinhold, K., Bräuer, V., Krull, P., Feldrappe, H. (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands – Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen. Hannover/Berlin: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Jähne-Klingberg, F., Stück, H., Bebiolka, A., Bense, F. & Stark, L. (2019): *Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen für Deutschland*. Abschlussbericht. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Karpe, W. (2008): *Kreide*. In: Bachmann, G. H., Ehling, B.-C., Eichner, R., Schwab, M. (Hrsg.): *Geologie von Sachsen-Anhalt*. Stuttgart: Schweizerbart.

König, S. (1991): *Lagerstättentektonische Analyse und Bewertung der Kupferschieferreviere des südöstlichen Harzvorlandes*. Dissertation, 105 S., TU Bergakademie Freiberg.

LfULG (2021): *Fachstellungnahme des LfULG zum „Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG“ der Bundesgesellschaft für Endlagerung vom 28.09.2020 – zur Betroffenheit des Freistaates Sachsen*. Freiberg: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

Martiklos, G. (2001): *Geologische Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt 1:400 000 Karte ohne quartäre Bildungen*. Halle (Saale): Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt.

Müller, C. & Reinhold, K. (2011): *Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland: eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland)*. Abschlussbericht. Berlin: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Müller, C. O., Wächter, J., Jahnke, C., Pueyo Morer, E. L., Riefstahl, F., Malz, A. (in review): Integrated geological and gravity modelling to improve 3D model harmonization - Methods and benefits for the Saxony-Anhalt/Brandenburg cross-border region (North German Basin). Geophysical Journal International.

Radzinski, K.-H. (2008): Zechstein. In: G. H. Bachmann, B.-C. Ehling, R. Eichner & M. Schwab (Hrsg.): Geologie von Sachsen-Anhalt, S. 160-178. Stuttgart: Schweizerbart.

Reinhardt, H.-G. & Gruppe Regionales Kartenwerk (1989a): *Regionales Kartenwerk der Reflexionsseismik. Tiefenlinien des Horizontes X1, 1:100.000*. Leipzig: VEB Geophysik. [unveröff.].

Reinhardt, H.-G. & Gruppe Regionales Kartenwerk (1989b): *Regionales Kartenwerk der Reflexionsseismik. Tiefenlinien des Horizontes Z1, 1:100.000.* Leipzig: VEB Geophysik. [unveröff.].

Reinhardt, H.-G. & Gruppe Regionales Kartenwerk (1989c): *Regionales Kartenwerk der Reflexionsseismik. Tiefenlinien des Horizontes T3/T4, 1:100.000*. Leipzig: VEB Geophysik. [unveröff.].

Reinhardt, H.-G. & Gruppe Regionales Kartenwerk (1989d): *Regionales Kartenwerk der Reflexionsseismik. Tiefenlinien des Horizontes E1/E2, 1:100.000*. Leipzig: VEB Geophysik. [unveröff.].

Reinhardt, H.-G. & Gruppe Regionales Kartenwerk (1989e): Regionales Kartenwerk der Reflexionsseismik. Tiefenlinien des Horizontes T2/B2/T2‘, 1:100.000. Leipzig: VEB Geophysik. [unveröff.].

Reinhold, K. (2005): *Tiefenlage der „Kristallin – Oberfläche“ in Deutschland*. Berlin/Hannover: BGR Abschlussbericht.

StandAG (2017): Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 247 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

Streckeisen, A. L. (1974): *Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of Igneous Rocks*. Geologische Rundschau, Bd. 63, S. 773-786.

Streckeisen, A. L. (1976): *To each plutonic rock its proper name*. Earth-Science Reviews, Bd. 12, S. 1-33.

Tessin, R. (1975a): *Lithologisch-paläogeographische Karte der DDR (1:500.000) – Lias: Toarc*. Berlin: Zentrales Geologisches Institut (ZGI).

Tessin, R. (1975b): *Lithologisch-paläogeographische Karte der DDR (1:500.000) – Lias: Obersinemur + Carix*. Berlin: Zentrales Geologisches Institut (ZGI).

TLUBN (2021): *Validierung des Zwischenberichts „Teilgebiete“ für Thüringen*. Jena, Freistaat Thüringen: Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz.

von Goerne, G., Fleig, S., Rokahr, R. & Donadei, S. (2016): *Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (InSpEE) (Wasserstoff und Druckluft)*. Archivstück Sachbericht 03ESP323B. Hannover/Jülich: BGR - Institut für Geotechnik (LUH) - KBB Underground Technologies.

Wansa, S. (2004): *Glazitektonische Karte von Sachsen-Anhalt 1:400.000*. Halle (Saale): Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt.

ZGI Berlin (1989): *Geologische Karte der Deutschen Demokratischen Republik, Karte der Fotolineationen kosmischer Aufnahmen, 1:500.000*. Berlin: Zentrales Geologisches Institut (ZGI).

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht der Teilgebiete innerhalb von Sachsen-Anhalt. 5
Tab. 2: Bereitgestellte Daten für die Anwendung der Ausschlusskriterien (§ 22 StandAG). 7
Tab. 3: Bereitgestellte Unterlagen zur Anwendung der Mindestanforderungen (§ 23 StandAG). 10
Tab. 4: Ergebnisse der Überprüfung von Bohrprofilen in den Teilgebieten mit Tongestein. 12
Tab. 5: Anzahl der Bohrungen für Teilgebiete mit steilem Salz, die das jeweilige Kriterium erfüllen. 23
Tab. 6: Finale Kategorisierung für Bohrungen in Teilgebieten mit steil-gelagerten Salz. 24
Tab. 7: Kriterien der Mindestanforderungen für Bohrungen in Teilgebieten mit stratiform-gelagerten Salz. 25
Tab. 8: Finale Kategorisierung für Bohrungen in Teilgebieten mit stratiform-gelagerten Salz. 25
Tab. 9: Ergebnisse der lithologischen Überprüfung der Teilgebiete mit kristallinem Wirtsgestein. 32

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Subsalinare Tektonik (Störungen in der Zechsteinbasis) des Mansfelder Kupferschieferreviers 8
Abb. 2: Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg 13
Abb. 3: Teilgebiet 005_00TG_055_00IG_T_f_jm 15
Abb. 4: Teilgebiet 006_00TG_188_00IG_T_f_ju 17
Abb. 5: Teilgebiet 007_00TG_202_02IG_T_f_kru 18
Abb. 6: Teilgebiete mit steilen Salzstrukturen 22
Abb. 7: Teilgebiet 078_05TG_197_05_IG_S_f_z 26
Abb. 8: Teilgebiet 078_02TG_197_02IG_S_f_z 28
Abb. 9: Teilgebiet 078_01TG_197_01IG_S_f_z 30
Abb. 10: Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO 33
Abb. 11: Teilgebiet 010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ 35
Abb. 12: Teilgebiet 011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ 36
Abb. 13: Teilgebiete 012_01TG_198_01IG_K_g_RHE und 012_02TG_198_02IG_K_i_RHE 38
Abb. 14: Parameter-/Volumenmodelle in Sachsen-Anhalt und Kompilation verschiedener 3D-Modelldaten 41