

Antrag auf Planfeststellung

Hartsalzwerk Siegfried-Giesen


Planfeststellungsunterlage zum Rahmenbetriebsplan

Unterlage I – Bearbeitungsgrundlagen

I-8 Bericht zur geologisch-hydrogeologischen Auswertung der aerogeophysikalischen Messungen (TEM)


Erstellung der Unterlage:




.....
(Dipl.-Geol. A. Ogroske)

Fugro Consult GmbH
Wolfener Straße 36 U
12681 Berlin




.....
(Dr. S. Kluge)

K+S Aktiengesellschaft
Bertha-von-Suttner-Straße 7
34131 Kassel

Aufgestellt:
Hildesheim, den 17.12.2014

Antragsteller / Vorhabensträger

K+S Aktiengesellschaft
Bertha-von-Suttner-Straße 7
34131 Kassel/Deutschland

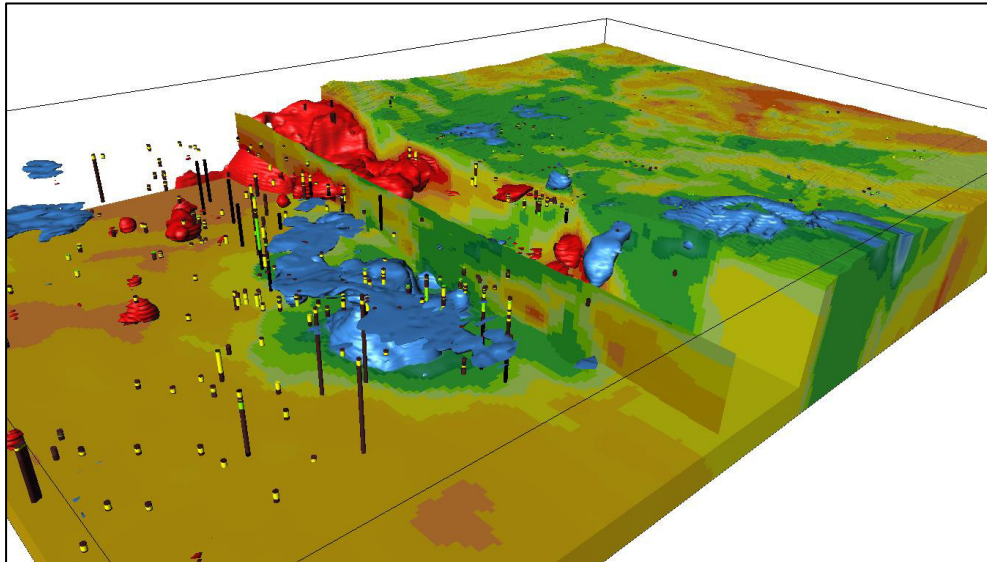


vertreten durch:

K+S KALI GmbH
Projektgruppe Siegfried-Giesen
Kardinal-Bertram-Straße 1
31134 Hildesheim

Hartsalzwerk Siegfried-Giesen

Planfeststellungsunterlage zum Rahmenbetriebsplan



Unterlage I - Bearbeitungsgrundlagen

I-8 Bericht zur geologisch-hydrogeologischen Auswertung der aerogeophysikalischen Messungen (TEM)

Antragsteller/
Vorhabensträger:

K+S Aktiengesellschaft
Bertha-von-Suttner-Straße 7
34131 Kassel/Deutschland



vertreten durch:

Projektgruppe SG
Kardinal-Bertram-Straße 1
31134 Hildesheim

Erstellung der Unterlage:



Fugro Consult GmbH
Wolfener Straße 36 U
12681 Berlin

Datum:

Hildesheim, den 17.12.2014

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	III
Anlagenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VI
1	Veranlassung..... 1
2	Untersuchungsraum und geologischer Überblick..... 2
2.1	Untersuchungsraum / Befliegungsgebiet..... 2
2.2	Geologischer Überblick..... 3
3	Theoretische Grundlagen, ausgeführte Messungen und Datenbasis 6
3.1	Messsystem der Transienten-Elektromagnetik (TEM) 6
3.2	Datengewinnung und -verarbeitung..... 7
3.3	Randbedingungen und Einschränkungen der Anwendbarkeit der Methodik TEM..... 9
3.4	Weitere Datengrundlagen..... 9
4	Methodik der geologisch-hydrogeologischen Auswertung 11
4.1	Allgemeine Grundlagen zur Interpretierbarkeit der Widerstandsmessungen..... 11
4.2	Standortbezogene Besonderheiten 14
4.3	Datenaufbereitung (Re-Interpolation und GIS-Aufbereitung) 14
4.4	Wertebereiche und deren Darstellung 16
4.5	3D-Interpretation im geologischen Standortmodell (GOCAD)..... 18
5	Interpretation der Signale hinsichtlich geologischer Strukturen 19
5.1	Möglichkeiten und Grenzen der Interpretation geologischer Strukturen 19
5.2	Abbildung mesozoischer Festgesteinsstrukturen 20
5.3	Abbildung des Salzstocks 21
5.4	Beschreibung der TEM-Regionalschnitte 23
5.4.1	Vorbemerkung zu den TEM-Regionalschnitten 23
5.4.2	TEM-Regionalschnitt 1-1'..... 24
5.4.3	TEM-Regionalschnitt A-A'..... 25
5.4.4	TEM-Regionalschnitt B-B'..... 26
6	Interpretation der Signale hinsichtlich höher mineralisierter Wässer 28
6.1	Möglichkeiten und Grenzen der Interpretation mineralisierter Wässer 28
6.2	Mineralisiertes Grundwasser im Umfeld der Althalde..... 29



6.3	Beschreibung der oberflächennahen TEM-Detailschnitte	31
6.3.1	Vorbemerkung zu den TEM-Detailschnitten	31
6.3.2	TEM-Detailschnitt 1-1'	31
6.3.3	TEM-Detailschnitt 2-2'	31
6.3.4	TEM-Detailschnitt 3-3'	32
6.3.5	TEM-Detailschnitt A-A'	33
6.3.6	TEM-Detailschnitt B-B'	33
6.3.7	TEM-Detailschnitt C-C'	34
6.3.8	TEM-Detailschnitt D-D'	35
6.3.9	TEM-Detailschnitt E-E'	35
7	Zusammenfassende Darstellung	36
8	Literaturverzeichnis	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Stratigraphisch-petrographische Übersicht (nach (Lepper, 1984))	5
Tabelle 3-1: Vergleich 5-Schichten- und 25-Schichten-Modell	8
Tabelle 5-1: Geologische Schichten im GOCAD-Regionalmodell	20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Befliegungspunkte und Grenzen des Untersuchungsgebietes	2
Abbildung 2-2: Großräumige Festgesteinsstrukturen (aus (Lepper, 1984), vgl. auch Anlage 3)	4
Abbildung 3-1: Messprinzip TEM (LIAG, 2014)	6
Abbildung 3-2: Messanordnung im SkyTEM (aus (Aarhus Geophysics, 2012)	7
Abbildung 4-1: Spezifische Widerstände und Leitfähigkeiten einiger Gesteine und Wässer (BGR, 2014) 11	11
Abbildung 4-2: Widerstandswerte geologischer Einheiten im nördlichen Harzvorland (BGR, 2014) .	13
Abbildung 4-3 : Datenpunktwolke als GOCAD-Scatterplot	15
Abbildung 4-4: 3D-Raster der TEM-Ergebnisse in GOCAD	16
Abbildung 4-5 Häufigkeitsverteilung der Messwerte des spezifischen elektrischen Widerstands	17
Abbildung 4-6 Standortbezogen gewählte Farbkodierung 0,5 – 200 Ω m	17
Abbildung 5-1: Vertikale TEM-Punktdichte (25-Layer-Modell) und quartäre Schichtgrenzen	20
Abbildung 5-2: Beispielhafte überhöhte Darstellung aus dem GOCAD-Regionalmodell	21
Abbildung 5-3: Horizontale Abgrenzung des Salzstocks Sarstedt mittels TEM bei -40 bis -50 m NN22	
Abbildung 5-4: Vertikale Abgrenzung des Salzstocks Sarstedt anhand der TEM-Daten entlang Profillinie 1-1'	23
Abbildung 6-1: TEM-Hizontalschnitt Bereich Althalde (Tiefenbereich 60-70 m NN, etwa 0-10 m unter GOK)	29
Abbildung 6-2: TEM-Hizontalschnitt Bereich Althalde (Tiefenbereich 50-60 m NN, etwa 10-20 m unter GOK)	30
Abbildung 6-3: TEM-Hizontalschnitt Bereich Althalde (Tiefenbereich 40-50 m NN, etwa 20-30 m unter GOK)	30

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Übersichtskarte Befliegungsgebiet mit Lage der Messpunkte der SkyTEM-Befliegung Maßstab 1 : 40.000
- Anlage 2: Karten der Verteilung des spezifischen Widerstandes (Horizontalschnitt) Maßstab 1 : 40.000
- Anlage 2.1: Tiefenlage 90 bis 100 m NN
 - Anlage 2.2: Tiefenlage 80 bis 90 m NN
 - Anlage 2.3: Tiefenlage 70 bis 80 m NN
 - Anlage 2.4: Tiefenlage 60 bis 70 m NN
 - Anlage 2.5: Tiefenlage 50 bis 60 m NN
 - Anlage 2.6: Tiefenlage 40 bis 50 m NN
 - Anlage 2.7: Tiefenlage 30 bis 40 m NN
 - Anlage 2.8: Tiefenlage 20 bis 30 m NN
 - Anlage 2.9: Tiefenlage 10 bis 20 m NN
 - Anlage 2.10: Tiefenlage 0 bis 10 m NN
 - Anlage 2.11: Tiefenlage -10 bis 0 m NN
 - Anlage 2.12: Tiefenlage -20 bis -10 m NN
 - Anlage 2.13: Tiefenlage -30 bis -20 m NN
 - Anlage 2.14: Tiefenlage -40 bis -30 m NN
 - Anlage 2.15: Tiefenlage -50 bis -40 m NN
 - Anlage 2.16: Tiefenlage -60 bis -50 m NN
 - Anlage 2.17: Tiefenlage -70 bis -60 m NN
 - Anlage 2.18: Tiefenlage -80 bis -70 m NN
 - Anlage 2.19: Tiefenlage -90 bis -80 m NN
 - Anlage 2.20: Tiefenlage -100 bis -90 m NN
- Anlage 3: TEM-Regionalschnitte (Übersichtsschnitte)
- Blatt 1: TEM-Regionalschnitt 1-1´
 - Blatt 2: TEM- Regionalschnitt A-A´
 - Blatt 3: TEM- Regionalschnitt B-B´
- Anlage 4: Detailkarten der Verteilung des spezifischen Widerstandes im Bereich Althalde Maßstab 1 : 15.000
- Anlage 4.1: Tiefenlage 70 bis 80 m NN
 - Anlage 4.2: Tiefenlage 60 bis 70 m NN
 - Anlage 4.3: Tiefenlage 50 bis 60 m NN
 - Anlage 4.4: Tiefenlage 40 bis 50 m NN



- Anlage 4.5: Tiefenlage 30 bis 40 m NN
- Anlage 4.6: Tiefenlage 20 bis 30 m NN
- Anlage 4.7: Tiefenlage 10 bis 20 m NN

Anlage 5: Oberflächennahe TEM-Detailschnitte

- Blatt 1: TEM-Detailschnitt 1-1'
- Blatt 2: TEM-Detailschnitt 2-2'
- Blatt 3: TEM-Detailschnitt 3-3'
- Blatt.4: TEM-Detailschnitt A-A'
- Blatt 5: TEM-Detailschnitt B-B'
- Blatt 6: TEM-Detailschnitt C-C'
- Blatt 7: TEM-Detailschnitt D-D'
- Blatt 8: TEM-Detailschnitt E-E'



Abkürzungsverzeichnis

DOI	Depth of Investigation, Tiefe der maximalen Aussagegenauigkeit der Daten
GOK	Geländeoberkante
GPS	Global Positioning System – satellitengestütztes Positionierungssystem
GW	Grundwasser
GWM	Grundwassermessstelle
IDW	Inverse-Distance-Weighting, Interpolationsverfahren
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Rohstoffe
SCI	Spatially Constrained Inversion, Algorithmus zur Umwandlung der TEM Daten unter Einbeziehung räumlicher Zusammenhänge
SG	Siegfried-Giesen
SkyTEM	hubschraubergestütztes geophysikalisches Verfahren; Sonderfall der TEM
TEM	Transienten-Elektro-Magnetik (geophysikalisches Messverfahren)
TK	Topographische Karte



1 Veranlassung

Die K+S Aktiengesellschaft plant die Gewinnung von Hartsalz aus dem Salzstock Sarstedt im Landkreis Hildesheim. Zur Gewinnung des Hartsalzes soll das bis 1987 betriebene Werk Siegfried-Giesen (SG) wieder aktiviert werden.

Im Jahr 2012 wurden durch die Fa. SkyTEM Aps. aerogeophysikalischen Messungen (SkyTEM-Messungen) ausgeführt. Die Datennachbearbeitung und Dokumentation erfolgte durch die Fa. Aarhus Geophysics Aps. (Aarhus Geophysics, 2012). Im Ergebnis liegt eine dreidimensionale Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Befliegungsgebiet vor.

Unter Hinzunahme der vorhandenen geologisch-hydrogeologischen Informationen war eine Interpretation der Daten zur Darstellung geologischer Strukturen des tieferen Untergrundes sowie zur Verbreitung höher mineralisierter Wässer im Rahmen des bergrechtlichen Planfeststellungsverfahrens auszuführen.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Herangehensweise der Datenaufbereitung, erläutert die hydrogeologische Interpretation und beschreibt die Möglichkeiten und Grenzen der Datenauswertung in Bezug auf die geologisch-hydrogeologische Aufgabe.

2 Untersuchungsraum und geologischer Überblick

2.1 Untersuchungsraum / Befliegungsgebiet

Der Untersuchungsraum für die hydrogeologische Interpretation der SkyTEM-Daten ergibt sich aus dem Befliegungsgebiet der Messungen. Dieses ist mit dem regionalen Untersuchungsraum Hydrogeologie zum Planfeststellungsverfahren (Unterlage I-7) identisch, wie in Abbildung 2-1 und Anlage 1 dargestellt ist.

Zur besseren Orientierung sind neben den Befliegungspunkten auch die Grenzen des engeren Untersuchungsraumes Hydrogeologie (Bestandsaufnahme / Unterlage I-9) sowie die Lage der geplanten Rückstandshalde und der Althalde dargestellt.

Während sich die Interpretation geologischer Strukturen auf den gesamten Untersuchungsraum bezieht, zielt die Interpretation hinsichtlich höher mineralisierter Wässer im Untergrund vorwiegend auf den engeren Untersuchungsraum mit dem Standort der geplanten Rückstandshalde sowie das Werksgelände und die Althalde.

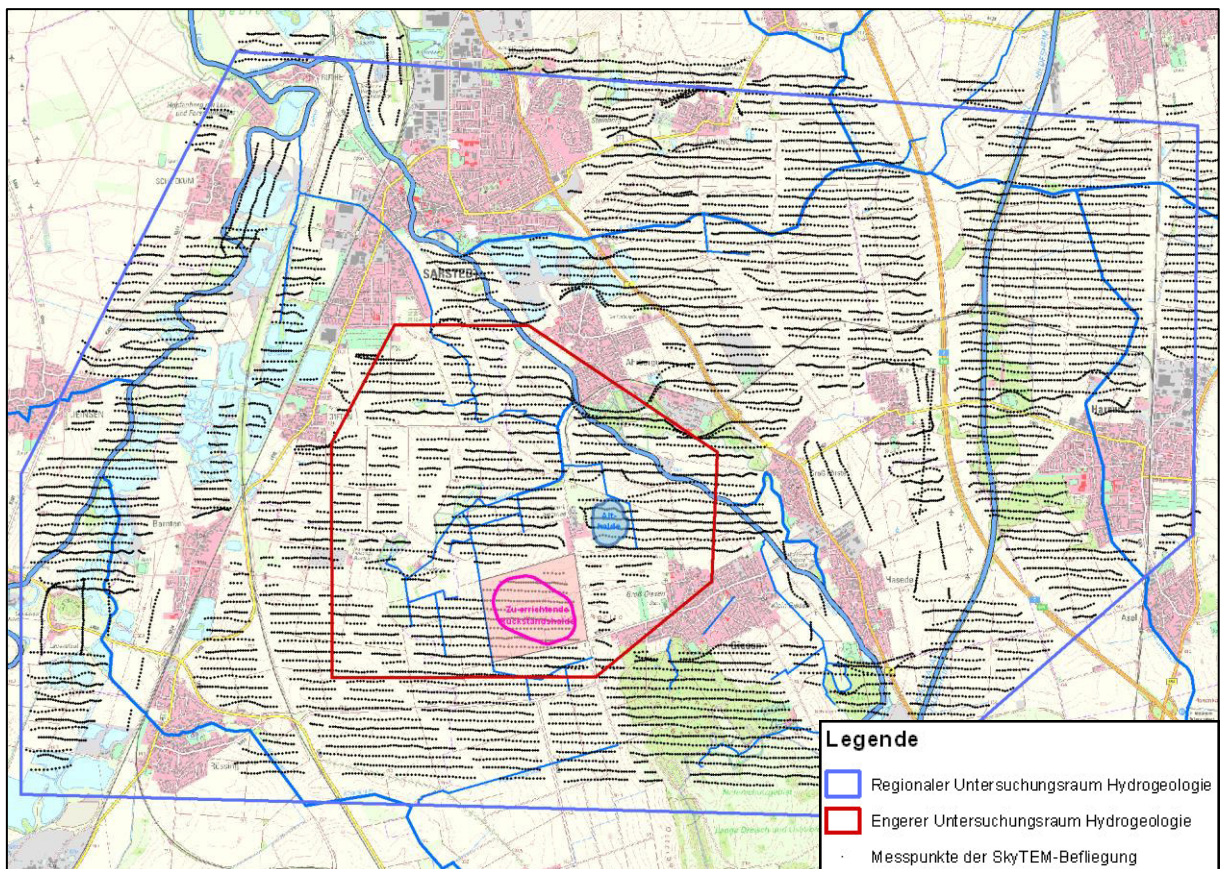


Abbildung 2-1: Befliegungspunkte und Grenzen des Untersuchungsgebietes

2.2 Geologischer Überblick

Zur grundlegenden Einführung wird nachfolgend ein Überblick über die geologischen Verhältnisse gegeben. Weitergehende Beschreibungen inkl. der Darstellung geologischer Karten und Profilschnitte erfolgen in den Unterlagen I-7 und I-9 zum Planfeststellungsverfahren.

Die Beschreibung der großräumigen geologischen Verhältnisse basiert im Wesentlichen auf den Erläuterungen zur Geologischen Karte von Sarstedt (Lepper, 1984). Der Untergrundaufbau ist durch die salinaren Ablagerungen des Zechsteins (Perm), durch mesozoische Festgesteine sowie durch eine tertiäre und quartäre Lockergesteinsüberdeckung geprägt. Die Lagerungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet sind hierbei durch intensive tektonische und halokinetische Beanspruchung gekennzeichnet. Die geologischen Strukturen des Untergrundes sind in der abgedeckten geologischen Karte in Abbildung 2-2 dargestellt.

- Im Zechstein überflutete das Meer ein bereits eingeebnetes Gelände und überdeckte es mit mächtigen Folgen von Kalk, Gips bzw. Anhydrit und Salz.
- Im Mesozoikum wurde das flache, zeitweise trockengefallene Becken mit den Sedimenten der Trias (Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper) aufgefüllt. Es entstand daraus überwiegend ein Wechsel von Sand- und Tonsteinen sowie Kalk- und Mergelsteinen. Im Jura und in der Kreidezeit wurde das Becken erneut vom Meer überflutet. Hier überwiegen tonige und mergelige Sedimentgesteine.
- Der mesozoische Schichtenstapel zerbrach durch tektonische Bewegung (Oberjura bis Kreide) an tiefreichenden Störungen, an denen das plastisch reagierende Zechsteinsalz aufstieg. Zunächst erfolgte durch die Ansammlung von Salz im Untergrund eine sattelförmige Schrägstellung des Postsalinars, bevor es dann zum Durchbruch des Salzes durch das Deckgebirge kam. Dies führte in Verbindung mit der Erosion und Auslaugung zur Entstehung der typischen Randschollen längs der Salzstöcke. Die Randschollen kann man an den von ihnen gebildeten Hügelketten (meist aus erosionsresistenten triassischen Gesteinen bestehend) erkennen. Zu diesen störungsgebundenen Höhenzügen gehören z. B. die im Südosten an den Sarstedter Salzstock angrenzenden Giesener Berge.
- Der Sarstedter Salzstock macht sich im Gelände in Folge der Salzauslaugung als eine langgestreckte NNE-SSW-gerichtete Senke (Depression) bemerkbar. In den an den Salzstock bzw. die Randschollenstruktur angrenzenden Mulden (im Osten Harsumer Mulde, im Westen Pattensener Mulde) bestimmen relativ flach lagernde Strukturen mit Sedimenten der Unter- und Oberkreide in zumeist tonig-mergelig-kalkiger Ausbildung den Aufbau.

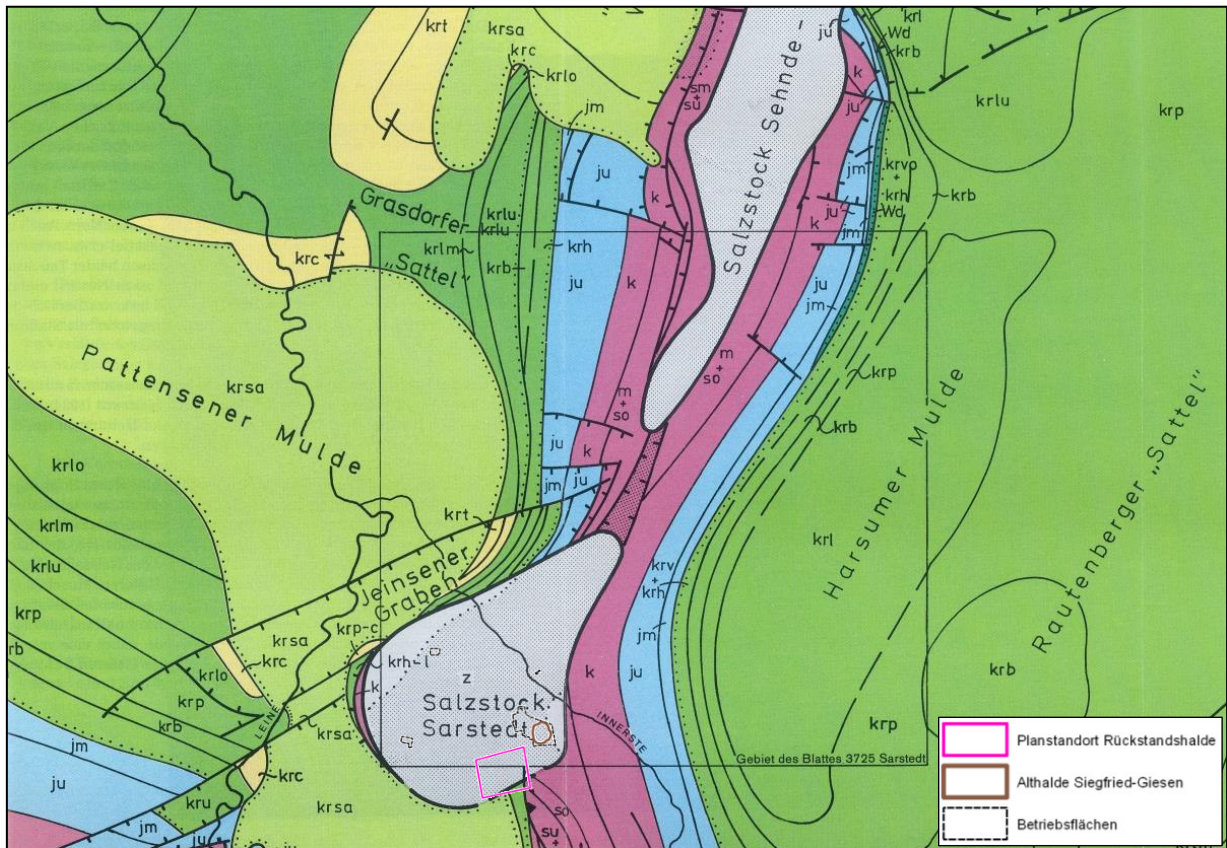


Abbildung 2-2: Großräumige Festgesteinsstrukturen (aus (Lepper, 1984), vgl. auch Anlage 3)

Die Festgesteine, die in den Höhenzügen oder als flache Ausstriche in der Ebene auftauchen, werden von den tertiären und quartären Lockergesteinssedimenten überdeckt.

- Im Tertiär (Oligozän) wurden vorwiegend tonige, z.T. sandige Lockergesteine abgelagert. Die Ablagerungen des Tertiärs sind im Gebiet eher von untergeordneter Bedeutung, da sie größtenteils durch Erosion wieder abgetragen wurden. Im Bereich von durch Subrosion entstandenen Mulden und Senken blieben sie jedoch als Reste erhalten und treten z. T. in größerer Mächtigkeit auf.
- Das Quartär ist durch einen mehrfachen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten gekennzeichnet, wobei Grundmoränen (Geschiebemergel) und Schmelzwasserablagerungen (Kies und Sand sowie lokal Beckentone) entstanden sind. Entlang der Talauen der Leine und Innerste erfolgte die Ablagerung von fluviatilen Terrassenschottern, wobei im Untersuchungsraum überwiegend die Mittelterrassen der Saale-Kaltzeit (Drenthe-Stadium) und die Niederterrassen der Weichsel-Kaltzeit von Bedeutung sind. Großflächige Lößablagerungen und Auelehmddecken in den Flussauen überdecken die Ablagerungen.

Eine Übersicht zum geologischen Normalprofil des Gebietes enthält Tabelle 2-1.

Tabelle 2-1: Stratigraphisch-petrographische Übersicht (nach (Lepper, 1984))

Stratigraphie		Petrographie	
Quartär	Holozän (qh)	Auelehm, Sande, Kiese, holozäne Terrassen, Schwemmlöß	
		Böden, Torf	
	Pleistozän (qp)	Weichsel- Kaltzeit (qw)	Löß(-lehm), Flugsand
			Niederterrassenkies, -sand und -schluff
		Eem- Warmzeit (qee)	fossile Böden
		Saale- Komplex, Drenthe (qD)	Schmelzwassersedimente (glazifluviatil)
			Geschiebelehm, -mergel
			Mittelterrassen-Kies
		Holstein- Warmzeit (qhol)	humoser Schluff
		Elster- Kaltzeit (qe)	Schmelzwassersande und -kiese (glazifluviatil)
	Geschiebelehm, -mergel		
	Oberterrassenkiese, -sande und -schluffe		
Altpleistozän (qpa)	älteste Terrassenschotter, Flusskiese		
Tertiär (t)		Grünsande, Rupelton (Beckenton), Braunkohlen	
Kreide (kr)	Oberkreide (kro)	Kalksteine, Kalkmergelsteine	
	Unterkreide (kru)	Tonsteine, Tonmergelsteine	
Jura (j)	Oberer Jura (jo)	-	
	Mittlerer Jura (jm)	Tonsteine	
	Unterer Jura (ju)	Tonsteine, Tonmergel, Kalksandsteine	
Trias (tr)	Oberer Keuper (ko)	kalkhaltige, graue bis dunkle Tone mit Sandanteilen	
	Mittlerer Keuper (km)	Mergel- und Tonsteine mit Gipsanteilen, Schilfsandstein mit Tonen und Mergeln, Dolomit	
	Unterer Keuper (ku)	Grenzdolomit, Lettenkeupersandstein, Mergelstein	
	Oberer Muschelkalk (mo)	Trochitenkalk und Ceratitenschichten, Tonmergelsteine	
	Mittlerer Muschelkalk (mm)	Evaporite (Kalkstein, Dolomit, Gips, Salz, Tonstein)	
	Unterer Muschelkalk (mu)	Kalkstein, Mergelstein, Konglomerate, Oolithbänke, Wellenkalk, Terebratelbänke, Schaumkalkbänke	
	Oberer Buntsandstein (so)	Evaporite (Kalkstein, Dolomit, Gips, Salz, Ton)	
	Mittlerer Buntsandstein (sm)	Sandsteine und Wechselfolgen (tonig bis sandig)	
	Unterer Buntsandstein (su)	schluffige Schiefer mit sandigen Einschaltungen (Bröckelschiefer)	
Perm (p)	Zechstein (z)	Kalisalz, Steinsalz, Anhydrit, Ton, Caprock (Gipshut)	

3 Theoretische Grundlagen, ausgeführte Messungen und Datenbasis

3.1 Messsystem der Transienten-Elektromagnetik (TEM)

Zur Einführung in die Thematik der TEM (Transienten-Elektromagnetik) sollen einige allgemeine Erläuterungen vorangestellt werden. Hierbei beziehen sich die nachfolgenden Kapitel 3.1 und 3.2 überwiegend auf den Bericht zur Verarbeitung und Inversion von SkyTEM-Daten (Aarhus Geophysics, 2012).

TEM basiert auf elektromagnetischer Induktion und dient zur indirekten Erkundung des Untergrundes bis in Tiefen von ca. 200 bis 300 Metern. Es handelt sich um eine zeitbasierte (time domain) Messmethodik. Das System nutzt die Induktion einer elektrischen Spannung im Boden, die durch die Abschaltung eines anregenden (Primär-) Feldes erzeugt wird. Die induzierte Spannung verursacht durch sich ausbildende Stromsysteme ein sekundäres Magnetfeld, welches über ein Spulensystem empfangen werden kann. Das schnell abklingende Sekundärfeld wird zeitlich registriert, wobei die Registrierung in definierten Zeitfenstern (time gates) erfolgt (siehe Abbildung 3-1). Aus den erhaltenen Messwerten lässt sich die Verteilung scheinbarer spezifischer Widerstände entlang der messpunktbezogenen Tiefenachse berechnen. Über Modellierungsansätze wird daraus ein spezifisches Widerstands-/Tiefenmodell berechnet.

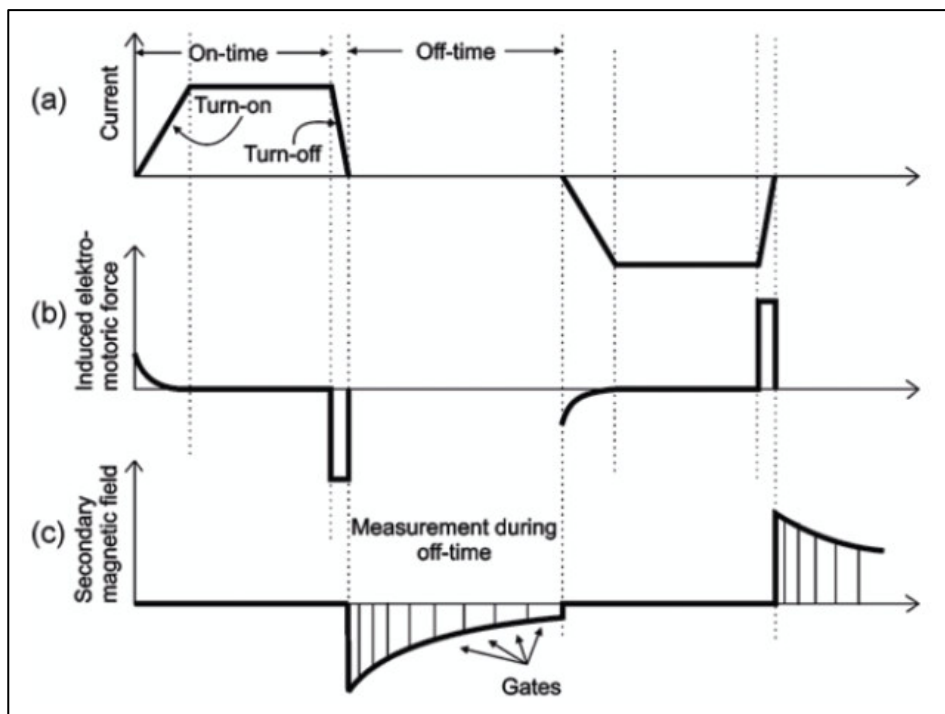


Abbildung 3-1: Messprinzip TEM (LIAG, 2014)

SkyTEM ist ein spezielles TEM-System, welches Hubschraubergestützt arbeitet. Zwei getrennte Spulen (Transmitter- und Receiverspule) sind dabei ineinander („central-loop-Konfiguration“) mit vertikalen Versatz angeordnet sind (siehe Abbildung 3-2).

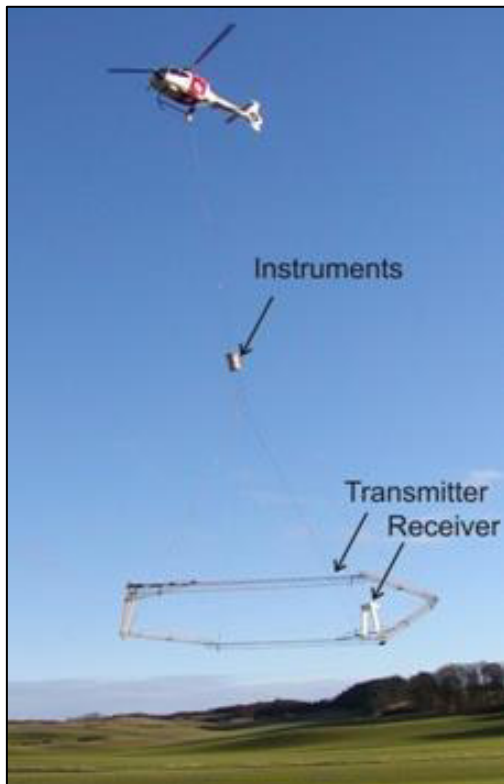


Abbildung 3-2: Messanordnung im SkyTEM (aus (Aarhus Geophysics, 2012))

Die Messungen erfolgen kontinuierlich während des Fluges. Die zeitliche Registrierung des Abklingvorganges erfolgt zwischen 12 μ s und 9 ms nach dem sogenannten „ramp down“. Zur Verbesserung der Messdynamik wird in 2 Messbereichen angeregt, den sogenannten Low und High Moment mit je 10 A bzw. 100 A Stromstärke.

Zusätzlich müssen die Neigungen der Spulen relativ zum Untergrund sowie deren Höhe über Gelände gemessen werden.

3.2 Datengewinnung und -verarbeitung

Die Gewinnung der transienten-elektromagnetischen Daten erfolgte durch die Fa. SkyTEM im Jahre 2012. Im Zuge der Befliegung wurde eine Fläche von 88 km² mit Hubschraubergestützten Messungen überdeckt.

Die durchschnittliche Messdichte beträgt zwischen den einzelnen Messpunkten auf den etwa West-Ost verlaufenden Linien ca. 30 bis 40 m, die Linien haben zueinander einen Abstand von ca. 100 m.



Insgesamt wurden bei einer Strecke von 875 Linienkilometern an ca. 25.000 Punkten Daten mit maximal je 24 Zeitfenstern im Low-Moment-Mode und 34 Zeitfenstern im High-Moment-Mode erfasst¹⁾.

Die gemessenen Daten wurden von der Fa. Aarhus Geophysics weiterbearbeitet. Eine wesentliche Rolle nimmt dabei die Qualitätssicherung ein. Danach kann eingeschätzt werden, ob und bis zu welcher Aussagetiefe die Daten verwendbar sind. Nach dem Datenimport erfolgte die Filterung der Daten sowie die Eliminierung und Verwerfung unplausibler oder verrauschter (gestörter bzw. fremdbeeinflusster) Werte. Danach wurden die gemessenen Widerstandswerte mit den übrigen Daten abgeglichen (GPS-Koordinaten, Flughöhe ...). Als Verknüpfung für den Abgleich dienten Datum und Uhrzeit.

Die nachbearbeiteten Daten wurden von Aarhus Geophysics mittels Inversionsalgorithmen in 1D-Widerstands-Tiefen-Modelle umgerechnet. Dabei wurde mit einem Ansatz räumlicher Verknüpfung gearbeitet (Spatially Constrained Inversion – SCI). Prinzipiell wird bei diesem sogenannten inversen Ansatz der Modellierung versucht, über gemessene Daten Rückschluss auf eine bestimmte Verteilung von Parametern im beobachteten Körper zu erhalten. Dies geschieht iterativ mit einer schrittweisen Anpassung von Mess- und Modelldaten unter Berücksichtigung der vertikal und horizontal umliegenden Messdaten.

Die Inversionsrechnungen erfolgten in zwei verschiedenen Berechnungsverfahren. Mit der parametrischen Inversionen wurde ein 5-Schicht-Modell berechnet, mit der glatten (freien) Inversion ein 25-Schicht-Modell.

- Die parametrische Inversion (5-Schicht-Modell) zielt auf die Identifikation von Grenzflächen zwischen den Widerständen, um dadurch Schichtgrenzen herauszuarbeiten. Die Mächtigkeit der Schichten ist hierbei variabel vom gewählten Modellansatz abhängig, jedoch im Allgemeinen auf 4 bis 6 Schichten begrenzt.
- Beim Ansatz der glatten (freien) Inversion (25-Schicht-Modell) sind die Schichtmächtigkeiten fest vorgegeben, die Widerstände jedoch frei berechenbar. Das Ergebnis eignet sich für die Darstellung komplexer geologischer Verhältnisse und hat eine deutlich höhere räumliche Auflösung. Die Schichtmächtigkeiten liegen im oberflächennähen Bereich bei ca. 4 m und nehmen nach unten hin logarithmisch zu.

Die Unterschiede zwischen den beiden übergebenen Modelldatensätzen (5-Schichten- und 25-Schichten-Modell) können gemäß Tabelle 3-1 zusammengefasst werden:

Tabelle 3-1: Vergleich 5-Schichten- und 25-Schichten-Modell

5-Schichten-Modell	25-Schichten-Modell
Parametrische Inversion	Glatte (freie) Inversion
4 tiefenvariable, scharfe Schichtgrenzen	24 fixe Grenzen, Mächtigkeit mit der Tiefe logarithmisch zunehmend
Abhängigkeit vom Startmodell	Relativ geringe Abhängigkeit vom Startmodell
Bessere Abbildung geschichteter, einfacher Strukturen	Bessere Abbildung komplexer Strukturen

¹⁾ Für eine optimale Signalstärke des elektromagnetischen Sekundärfeldes werden 2 unterschiedliche Primärfeldstärken verwendet, die über die anregende Stromstärke und die Anzahl der Spulenwicklungen erreicht werden.



Im Ergebnis liefern beide Modelle einen Datensatz über eine Gesamtmächtigkeit von etwa 280 m. Bei der Interpretation der Daten ist die mit der Tiefe abnehmende Verlässlichkeit der Daten zu berücksichtigen. Die Grenze der Zuverlässigkeit der invertierten Daten wird über die Depth of Investigation (DOI) durch Aarhus Geophysics angegeben. Alle (deutlich) unter der DOI liegenden Daten haben nur orientierenden Charakter und sollten bei der Auswertung unberücksichtigt bleiben, da hier zu große Unsicherheiten gegeben sind.

Im Ergebnis liegen als Bearbeitungsgrundlage für die weitere Interpretation die invertierten Widerstands-Tiefen-Modell (ASCII-Datensätze) und der zugehörige Bericht (Aarhus Geophysics, 2012) vor. Im Weiteren wurde ausschließlich das 25-Schicht-Modell verwendet, da dieses den komplexen Strukturen unter den gegebenen geologischen Bedingungen und starken Schwankungen in Widerstandswerten auch lateral besser Rechnung trägt. Somit liegen in vertikaler Richtung 25 Stützstellen für den spezifischen Widerstand vor.

3.3 Randbedingungen und Einschränkungen der Anwendbarkeit der Methodik TEM

Aus bestimmten Randbedingungen ergeben sich Messfehler oder Fehler im Inversionsmodell, die die Einschränkungen bei der Anwendbarkeit des TEM-Verfahrens aufzeigen. Das betrifft vor allem folgende Randbedingungen, die auch im Bericht (Aarhus Geophysics, 2012) dargelegt sind.

Messfehler:

- Siedlungen, Hochspannungstrassen, Bahnlinien und ähnliche Infrastrukturen stören Messungen. Folglich sind diese Bereiche entweder nicht befliegen worden (Siedlungen) oder aus den Messdaten vor der Inversion entfernt worden.

Modellfehler der Inversionsberechnungen:

- Starke Reliefschwankungen vergrößern den Modellfehler. Da bei der Inversion benachbarte Punkte mit einbezogen werden, wirkt der Einfluss von Nachbarpunkten bei stark abweichenden Höhen als Fehlerquelle (3D-Effekte in der Feldausbreitung)
- Die Aussagetiefe muss kritisch betrachtet werden. Besonders unter stark leitfähigen Körpern verfälschen die daraus resultierenden Signale die Identifizierung von verlässlichen Daten für die darunter lagernden Schichten.
- Die Verteilung des spezifischen Widerstandes in den Inversionsmodellen erzeugt keine scharfen Schichtgrenzen und muss daher verifiziert werden (z.B. Bohrungsdaten)

Bei der Interpretation der Daten müssen die diesbezüglichen Phänomene und Unsicherheiten berücksichtigt werden.

3.4 Weitere Datengrundlagen

Ergänzend zu den aerogeophysikalischen Daten wurden folgende Daten für die geologisch-hydrogeologische Interpretation verwendet:

- Bohrdaten des LBEG (LBEG, 2014) und der K+S AG
- Geologische Karte des tieferen Untergrundes im Gebiet Sarstedt (Lepper, 1984)

- Digitales Geländemodell (LGNL, 2012b)
- Topographische Karte 1:25.000 (LGNL, 2012a)

Die Bohrdaten bilden die primären Informationen zu den geologischen Schichten. Ergänzt wurden diese Informationen durch die indirekten Informationen aus der abgedeckten geologischen Karte.

Das digitale Geländemodell dient als obere Modellgrenze für die dreidimensionale Aufbereitung der Daten. Die topographische Karte dient als Hintergrundinformation zur räumlichen Orientierung bei Anlagen und Abbildungen.

4 Methodik der geologisch-hydrogeologischen Auswertung

4.1 Allgemeine Grundlagen zur Interpretierbarkeit der Widerstandsmessungen

Die aus den TEM-Daten invertierten spezifischen Widerstände des Untergrundes setzen sich zusammen

- aus dem Widerstand des Gesteins und
- dem Widerstand des darin befindlichen mehr oder weniger mineralisierten Porenfluids.

Die spezifischen Widerstände der Gesteine bilden sich entsprechend ihres Tonmineralgehaltes ab - Tonminerale setzen den Widerstand herab. Dementsprechend zeigen tonige Sedimente und Tonsteine geringe spezifischen Widerstände, hingegen sandig-kiesige Sedimente, Sand- und Kalksteine hohe spezifische Widerstände.

Der Wassergehalt der Gesteine und der Mineralisationsgrad des Poren- bzw. Kluftwassers überprägen den spezifischen Widerstand der Gesteinsmatrix sehr stark. Trockene Gesteine haben generell einen höheren spezifischen Widerstand als wassergesättigte. Je höher mineralisiert die Porenwässer sind, desto weiter sinkt der Widerstandswert.

Infolgedessen können Gesteine ähnlicher mineralogischer Zusammensetzung aufgrund ihrer verschiedenen Porenfluidfüllung stark voneinander abweichende spezifische Widerstände aufweisen. Häufig bewirkt die Porenfluidfüllung sogar die entscheidende Wirkung auf den ermittelten spezifischen Widerstand.

In der Literatur sind teilweise Schwankungsbereiche für spezifische Widerstände aufgeführt. Beispielfhaft liefert Abbildung 4-1 typische Wertebereiche für einige Gesteine und Wässer (BGR, 2014).

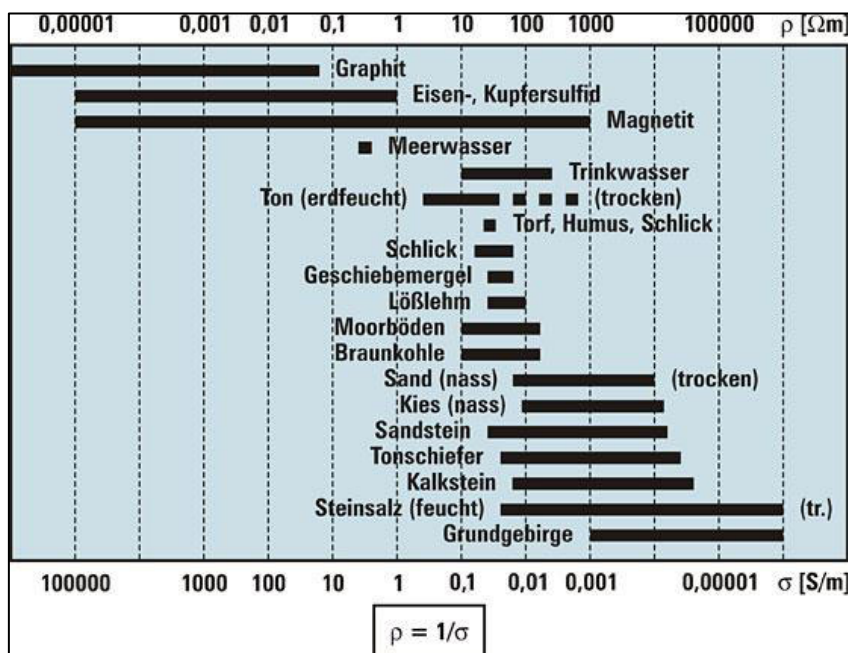


Abbildung 4-1: Spezifische Widerstände und Leitfähigkeiten einiger Gesteine und Wässer (BGR, 2014)

Aus den in Abbildung 4-1 dargestellten Spannweiten der Werte für die Gesteine wird die Bedeutung des Wassergehalts nochmals deutlich. Die Differenzen der spezifischen Widerstände innerhalb einer Gesteinsart zwischen trockenem und feuchtem Zustand sind deutlich höher als die Differenzen zwischen den Gesteinsarten an sich.

Einen Überblick über mögliche Größenordnungen zu erwartender Widerstandswerte der permischen und mesozoischen Gesteine, die auch im Untersuchungsraum Siegfried-Giesen lagern, liefert Abbildung 4-2 (BGR, 2014). Auch wenn die Werte aus Auswertungen einer Befliegung im nördlichen Harzvorland stammen, können zumindest die gesteinspezifischen Unterschiede als orientierender Vergleich zur Interpretation der Befliegungsergebnisse in Siegfried-Giesen herangezogen werden. Hinsichtlich der konkreten spezifischen Widerstände soll jedoch nochmals auf die Bedeutung des Porenfluids hingewiesen werden, da im Vergleich zu den in Abbildung 4-2 dargestellten Werten die spezifischen Widerstände im Bereich Siegfried-Giesen z. T. deutlich niedriger liegen.

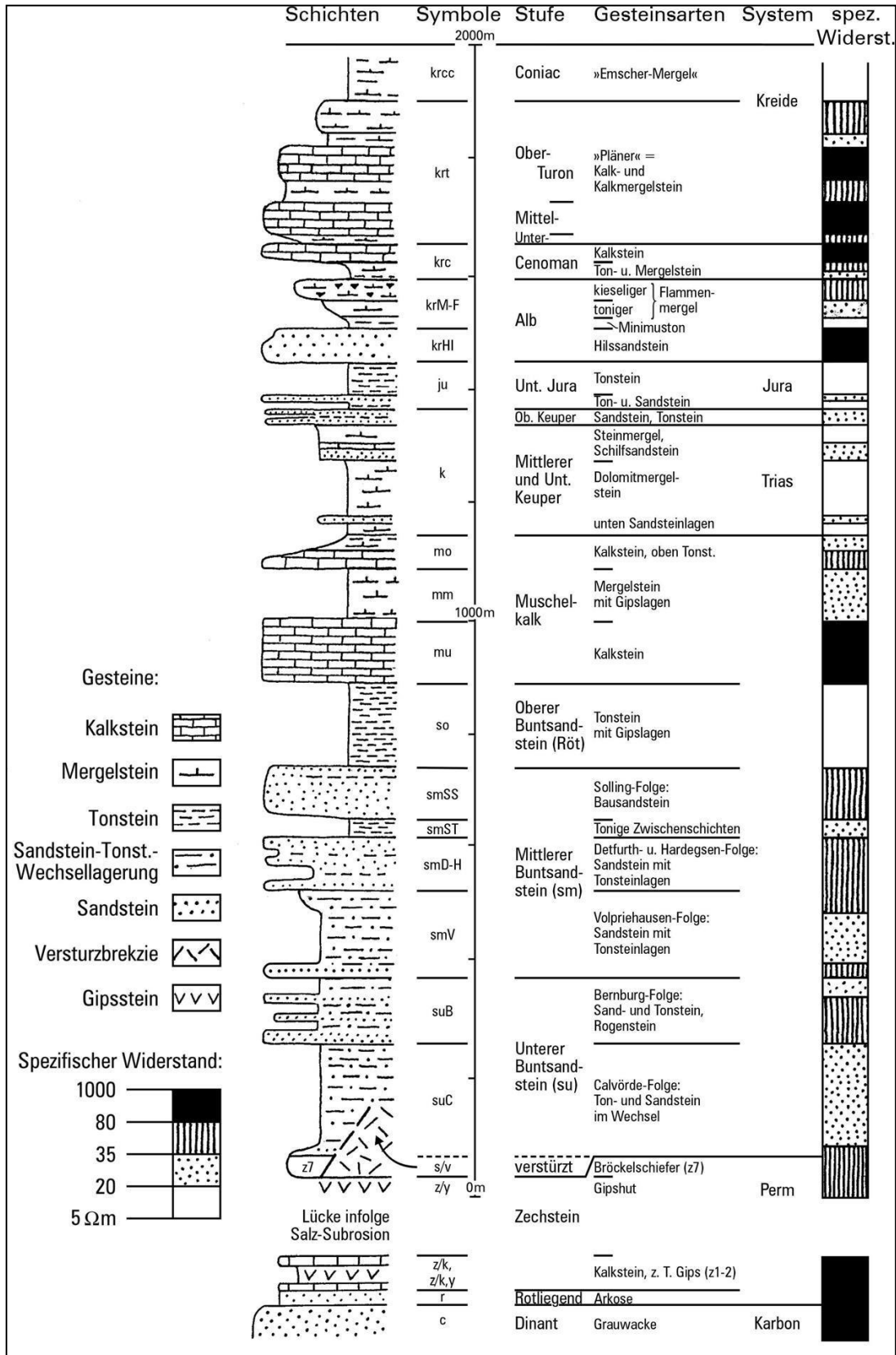


Abbildung 4-2: Widerstandswerte geologischer Einheiten im nördlichen Harzvorland (BGR, 2014)

Im Ergebnis ist aus der allgemeinen Vorbetrachtung zur Verwertbarkeit von TEM-Widerstandsmessungen festzuhalten, dass die TEM-Signale aufgrund des gegenseitigen Einflusses von Gesteinsmatrix und Porenfluid eine Mehrdeutigkeit hinsichtlich der Interpretation aufweisen. Die konkreten spezifischen Widerstände können nicht unmittelbar einem geologischen Horizont bzw. einer petrografischen Einheit zugeordnet werden.

Für eine Interpretation der Signale sind zusätzliche Informationen zur Geologie und Hydrogeologie notwendig. Dies können z. B. Informationen aus direkten Aufschlüssen (Bohrungen), geologischen Karten und Schnittdarstellungen, Grundwassergleichenpläne und Angaben zur Mineralisation der Grundwässer sein.

Aus dem Zusammenschritt der geologischen und hydrogeologischen Informationen mit dem modellierten spezifischen Widerständen können letztendlich wertvolle Interpretationen der TEM-Daten ermöglicht werden. Insofern liefern die TEM-Daten Anhaltspunkte, die durch direkte Aufschlüsse oder weitergehende Untersuchungsverfahren zu verifizieren sind.

4.2 Standortbezogene Besonderheiten

Für die Interpretation der TEM-Daten im Bereich Siegfried-Giesen sind einige standortbezogene Besonderheiten zu berücksichtigen, die insbesondere das Auftreten mineralisierter Wässer betreffen.

So begünstigt der im Untergrund des Untersuchungsraums vorhandene Salzstock die Entstehung geogen hochmineralisierter Wässer. Durch Kontakt von Grundwasser mit der Oberfläche des Salzstockes kam es bereits in der geologischen Vergangenheit zu Lösungsprozessen. Diese führten zum Ablaugen des Salzes und der Entstehung von tonigen Hutgesteinen und subrosionsbedingten Mulden. Die in diesem Zusammenhang entstandenen geogen hochmineralisierten Grundwässer lassen verringerte Widerstandswerte im TEM-Echo erwarten.

Die zweite Besonderheit betrifft die vorhandene Althalde des ehemaligen Kaliwerkes Siegfried Giesen. Durch Niederschläge kommt es auch hier zur Lösung der vorhandenen Salze. Ein Teil der hochmineralisierten Haldensickerwässer, der nicht im Haldenrandgraben aufgefangen wurde, hat zu bekannt erhöhten Mineralisationen im Grundwasser geführt. Auch diese Wässer können zu einer deutlichen Verringerung der Widerstandswerte im Abstrombereich der Althalde führen.

4.3 Datenaufbereitung (Re-Interpolation und GIS-Aufbereitung)

Im Vorfeld der Datenaufbereitung zum vorliegenden Bericht wurde eine Qualitätskontrolle im Sinne der Plausibilitätsprüfung der Datensätze und der Prüfung auf stark abweichende Werte („Ausreißer“) durchgeführt. Beide Kontrollen waren negativ. Die Wertebereiche liegen in der erwarteten Größenordnung sowohl für eine natürliche Widerstandsverteilung in Sedimentgesteinen als auch für Bereiche mit erhöhter Mineralisation des Porenfluids.

Für die weitere Bearbeitung und Interpretation wurde folgender Datensatz verwendet:

- Invertiertes 1D-Widerstandsmodell (25L_t_inv.dat), 25 Schichten

Zur Berücksichtigung zuverlässiger invertierter Daten wurden die Daten unterhalb der Aussagetiefe (Depth-of-Investigation - DOI) aus dem Datensatz eliminiert (Horizontalschnitte) bzw. ausgegraut dargestellt (Vertikalschnitte).

Der 3D-Datensatz 25L_t_inv.dat wurde mit der Software GOCAD (Paradigm Geophysicals, 2013) weiter verarbeitet. Die Daten wurden als Punktwolke (sog. Scatterplot) farbcodiert nach zuvor am Datensatz abgeleiteten Widerstandsklassen zur überblicksmäßigen Betrachtung dargestellt (siehe Abbildung 4-3). Sie besteht aus 412.600 Datentripeln.

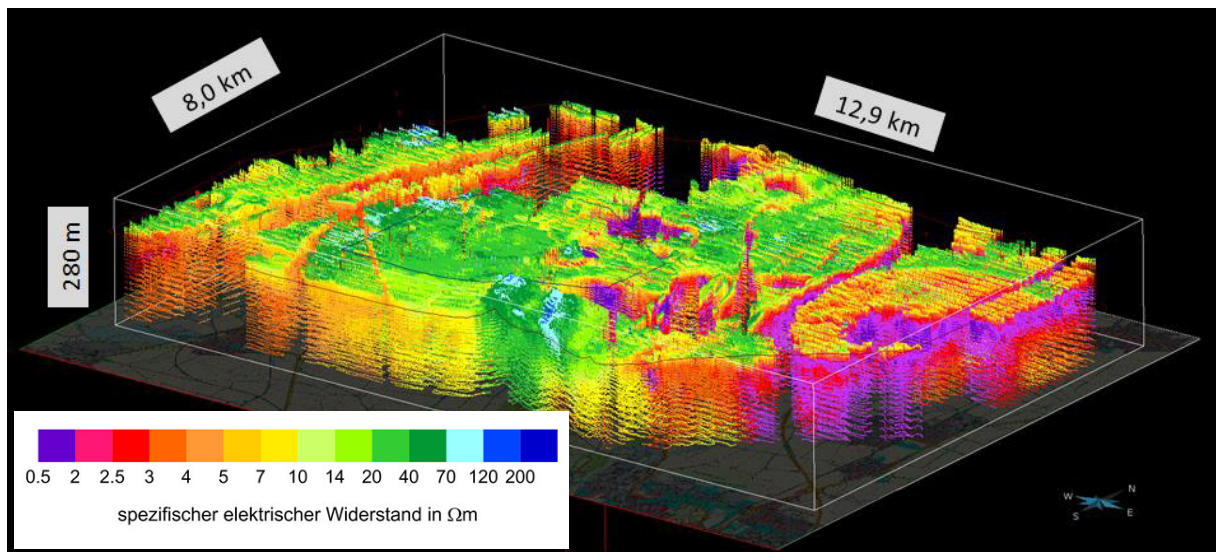


Abbildung 4-3: Datenpunktwolke als GOCAD-Scatterplot

Im weiteren Verlauf wurde ein geländeparalleles, nicht-orthogonales 3D-Raster als GOCAD-SolidGrid-Objekt (SGrid) erstellt. Entsprechend der räumlichen Verteilung der vorliegenden Daten wurde dabei eine Auflösung des SGrids von $x=25\text{ m}$, $y=25\text{ m}$ und $z=3\text{ m}$ gewählt.

Anschließend erfolgte die Interpolation der TEM-Daten auf dieses SGrid mittels des GOCAD-internen DSI-Verfahrens (DSI - Discrete Smooth Interpolation).

Diese Art der Interpolation basiert auf der Position von bekannten Stützpunkten. Diese Stützpunkte, im vorliegenden Fall die TEM-Datenpunkte, wurden als feste Stützpunkte (harte Randbedingung, Control Nodes in GOCAD) verwendet, so dass eine SGrid-Zelle auch genau den Widerstandswert des Datenpunktes erhält, wenn beide räumlich deckungsgleich sind. Die Zellen dazwischen werden iterativ unter Findung einer geeigneten Interpolationsfunktion, die die Stützpunkte abbilden kann, berechnet.

Zusätzlich können weitere Kriterien als sogenannte weiche Randbedingungen (soft constraint bzw. Control Points in GOCAD) festgelegt werden, um das Interpolationsergebnis besser anzupassen (Mallet, 2002).

Die DSI-Methode ist nicht nur auf SGrid-Objekte beschränkt, sondern auch auf die Interpolation von Flächen anwendbar.

Der Vorteil des Verfahrens liegt zum einen an einer optimalen Anpassung interpolierter Daten zu den Ausgangswerten, zum anderen werden, anders als bei parametrischen Ansätzen (z. B. Inverse-Distance-Weighting – IDW), Grenzen nicht „verschmiert“.

Im Nachgang wurde im Modell die DOI als untere Aussagegrenze modelltechnisch abgeschnitten (Abbildung 4-4).

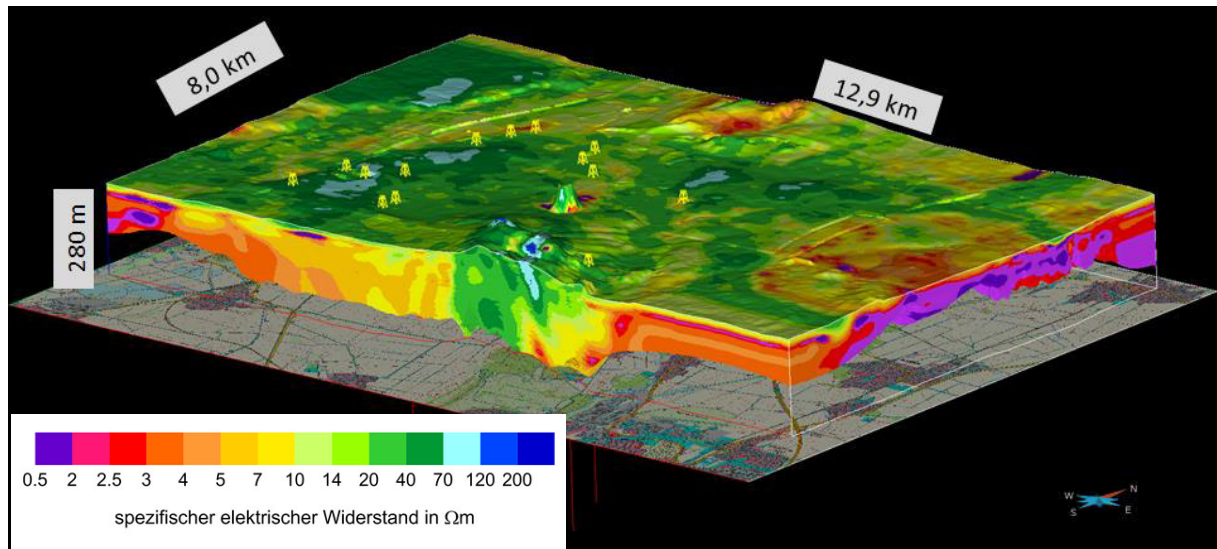


Abbildung 4-4: 3D-Raster der TEM-Ergebnisse in GOCAD

Für eine ortsreferenzierte und maßstabsgetreue Interpretation der TEM-Daten wurden aus dem Datenkörper (3D-GOCAD-Modell) horizontale Schnitte in definierten Tiefenlagen (100 bis -100 m NN) und vertikale Schnitte entlang von Bohrungen erzeugt und dargestellt.

In einigen Bereichen innerhalb des Befliegungsgebietes existieren keine Messdaten (z. B. Ortslagen, Stromleitungen). In diesen Bereichen wurden die Interpolationsergebnisse in den Horizontalschnitten entfernt, in den Vertikalschnitten sind Bereiche ohne Messwerte ebenfalls ausgeblendet. Die im Ergebnis erarbeiteten horizontalen und vertikalen Schnittdarstellungen sind im Anlagenteil dokumentiert.

4.4 Wertebereiche und deren Darstellung

Für die Interpretation gemäß der Aufgabenstellung ist die Erstellung einer geeigneten Farblegende von essentieller Bedeutung. Sie muss sowohl die typischen Variationen des spezifischen Widerstandes des Standortes widerspiegeln als auch zu erwartende Besonderheiten (starke Abweichungen in beide Richtungen) gut reflektieren können.

Die Verteilung modellierter Widerstandswerte zeigt die Abbildung 4-5. Danach reicht das Spektrum von 0,5 Ωm bis 200 Ωm mit einer starken Häufung im Bereich von 0,5 - 10 Ωm (ca. 70 % aller Werte). Dagegen entfallen nur noch etwa 5% der Werte auf Werte über 40 Ωm .

Die Wahl einer standortspezifischen Farblegende trägt insbesondere der Zielstellung Rechnung, die für die Interpretation relevanten Wertebereiche farblich zu spreizen, so dass eine zusätzliche grafische Detaillierung erreicht wird. Dieses kann mit einer Standardlegende nicht erreicht werden.

Bei der Wahl der Klassengrenzen für die Farbcodierung sollte auf eine relativ gleichmäßige Belegung der Klassen mit Werten geachtet werden. Dieses ist mit den gewählten Klassengrenzen gelungen (siehe Abbildung 4-5).

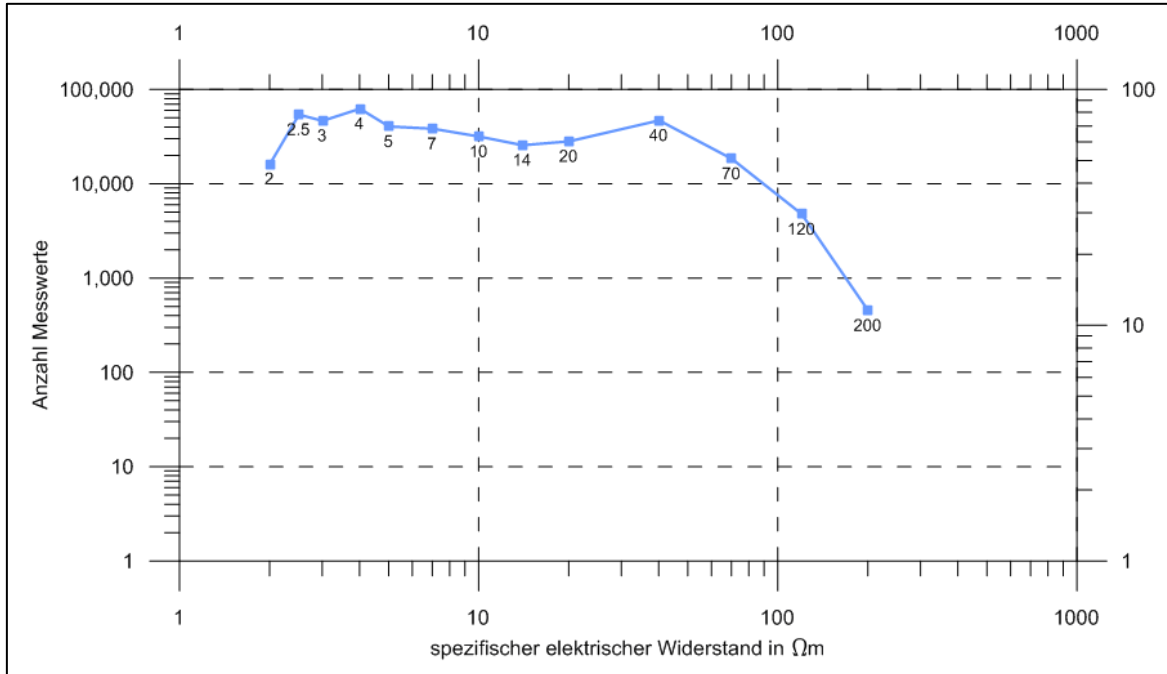


Abbildung 4-5 Häufigkeitsverteilung der Messwerte des spezifischen elektrischen Widerstands

Ausgehend von der Häufigkeitsverteilung wurden die Klassen der Skalierung mit der Farbcodierung gemäß Abbildung 4-6 belegt. Die für die Interpretation besonders relevanten Wertebereiche 0,5 bis 70 Ωm wurden mit scharfen Farbgrößen dargestellt, um die visuelle Zuordnung zu den Klassen besser zu ermöglichen. Der Wertebereich von 70 – 200 Ωm wurde demgegenüber wegen des großen Umfangs als Farbverlauf dargestellt. Damit werden die Klassengrenzen 70 Ωm und 120 Ωm weniger prägnant dargestellt, da sie für die Interpretation nur eine untergeordnete Bedeutung haben.

Diese Farbskala wurde identisch im GOCAD-Modell, in den Vertikalschnitten und bei den Horizontalebenebenen angewendet. Die Verwendung unterschiedlicher Exportroutinen bei Erstellung der Horizontal- und Vertikalschnitte führte beim Erstellen der Abbildungen zu leichten Farbveränderungen in einigen Klassen, die Zuordnung bleibt dabei jedoch immer gewährleistet.



Abbildung 4-6 Standortbezogen gewählte Farbkodierung 0,5 – 200 Ωm



4.5 3D-Interpretation im geologischen Standortmodell (GOCAD)

Zur Visualisierung und dreidimensionalen Aufbereitung der verfügbaren geologischen Daten des Untersuchungsraumes wurde ein geologisches 3D-Modell erstellt. Die Bearbeitung erfolgte mit der Zielstellung, Grundlagen für das im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zu erstellende numerische Grundwassermodell zu schaffen. Als Programmsystem für die Modellierung wurde GOCAD (Paradigm Geophysicals, 2013) in der Version 2011.3 verwendet, da sich hier neben normal gelagerten stratigraphischen Sequenzen auch komplizierte geologische Körper wie Salzdiapire mit ihren an den Flanken steilgestellten oder auch überkippten Einheiten oder Faltenstrukturen modellieren lassen.

Während im oberflächennahen Bereich (bis ca. 30 m u GOK) zahlreiche Bohrdaten verfügbar sind, gibt es nur wenige bis keine Informationen für den tieferen Untergrund, insbesondere im Bereich der präquartären mesozoischen Schichten. Für diese tieferen Schichten wurden die Ergebnisse der TEM-Befliegung in Verbindung mit der Festgesteinskarte (Lepper, 1984) genutzt, um die Grenzen der Modellschichten abzubilden (Abbildung 4-4).

Mit dem Zusammenführen der geologischen Informationen (Bohrdaten und geologische Karten) und der TEM-Daten in GOCAD bestand eine geeignete Grundlage für die geologische Interpretation der TEM-Daten im dreidimensionalen Raum.

5 Interpretation der Signale hinsichtlich geologischer Strukturen

5.1 Möglichkeiten und Grenzen der Interpretation geologischer Strukturen

Die Verwendbarkeit der TEM-Daten zur Interpretation von geologischen Schichtgrenzen ist von messbaren Kontrasten im spezifischen Widerstand und der vertikalen Auflösung der Messergebnisse abhängig. Im Fall des 25-Schichten-Modells liegt der vertikale Abstand zweier modellierter Widerstandswerte im oberflächennahen Bereich bei knapp 5 m. Nach unten hin nehmen die Abstände logarithmisch bis auf 25 m zu.

Grundsätzlich wird damit der Raum bis ca. 280 m u GOK datenseitig abgedeckt, jedoch sollten unterhalb der Zuverlässigkeitsgrenze (DOI) keine Daten zur Interpretation verwendet werden.

Insbesondere im Bereich der quartären Schichten existieren vielfach engräumig verzahnte Schichtgrenzen. Die vertikale Auflösung der Messwerte bzw. der invertierten Widerstandsdaten ist hier nicht mehr ausreichend, um Schichtengrenzen der relativ gering mächtigen quartären Schichten abbilden zu können.

Abbildung 5-1 zeigt exemplarisch anhand eines typischen geologischen Schnitts im Untersuchungsraum die begrenzte Auflösung der TEM-Daten hinsichtlich der Abgrenzung quartärer Schichtgrenzen. Nur fünf spezifische Widerstandswerte decken den Bereich bis 25 m unter GOK ab und auch bei diesen ist zu beachten, dass im Prozess der Dateninversion eine rechnerische Beeinflussung durch vertikal und horizontal benachbarte Punkte besteht.

Folglich ist das Verfahren der SkyTEM methodisch nicht geeignet, die in SG vorhandene kleinräumige Struktur relevanter Grundwasserleiter und -hemmer in den oberen 25 m des Untergrundes detailliert abzubilden.

Für die Bearbeitung des Grundwassermodells Siegfried-Giesen (Unterlage I-10) wird auf eine klassische Auswertung der Bohrdaten zurückgegriffen. Es erfolgte jedoch eine grundsätzliche Plausibilitätsprüfung der geologischen Modellvorstellungen im Quartär durch Abgleich mit den TEM-Daten, da ergänzende indirekte Hinweise auf großräumige Strukturen, wie quartäre oder tertiäre Rinnen (bzw. Subrosionsstrukturen) daraus gewinnbar waren. Vor allem zur Verbesserung der Abgrenzung der Lockergesteinsschichten zum Festgesteinsuntergrund waren die TEM-Daten projektspezifisch hilfreich.

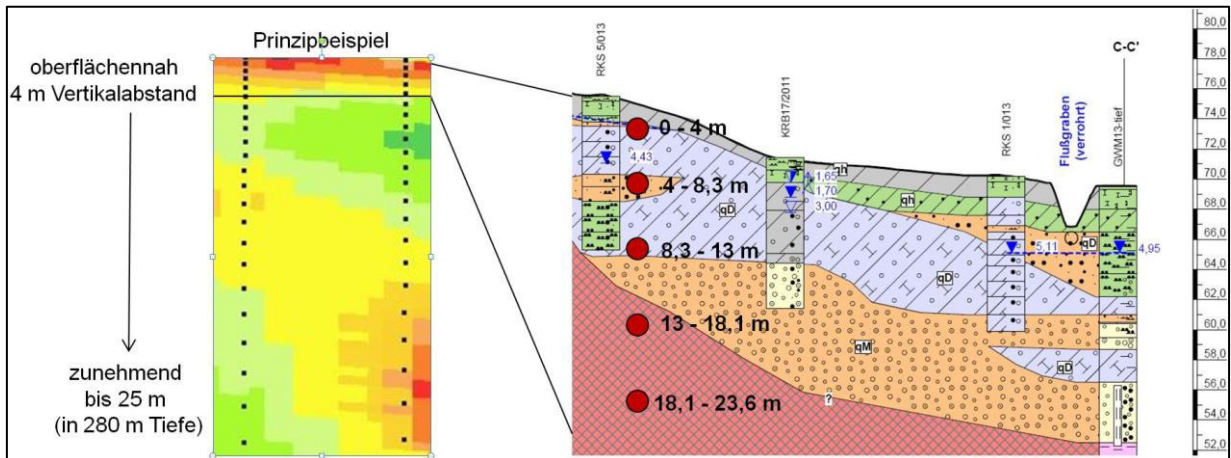


Abbildung 5-1: Vertikale TEM-Punktdichte (25-Layer-Modell) und quartäre Schichtgrenzen

5.2 Abbildung mesozoischer Festgesteinsstrukturen

Für die Abgrenzung der mesozoischen Festgesteinsstrukturen sind die Datensätze des TEM-Widerstandsmodells hilfreich, da sich prägnante Gesteinswechsel über Kontraste der spezifischen Widerstände zeigen. Eine direkte Zuordnung von Widerstandsklassen zu den petrografischen und stratigrafischen Einheiten ist nicht möglich. Die geologische Interpretation stützt sich daher auf das Zusammenführen der verfügbaren Informationen aus Bohrdaten und geologischen Kartenwerken mit den TEM-Daten unter Nutzung des geologischen Sachverständes.

Dieses Zusammenführen der Informationen erfolgte im regionalen Maßstab in einem geologischen 3D-Modell unter GOCAD. In diesem GOCAD-Regionalmodell werden insgesamt 7 mesozoische Schichten, das Hutgestein sowie das Salzgestein (Salzstock) als untere Modellgrenze unterschieden (Tabelle 5-1). Als obere Modellschicht bleibt die Lockergesteinsüberdeckung (Quartär und Tertiär) ungegliedert.

Tabelle 5-1: Geologische Schichten im GOCAD-Regionalmodell

ID	Kürzel 1	Schichtname GOCAD	Stratigrafische Einheit
3000	kr	3000_kr_Kreide_ungestuft	Kreide (ungegliedert)
4710	jutc	4710_jutc_Toarcium	Unterer Jura (Toarcium)
4730	jupl	4730_jupl_Pliensbachium	Unterer Jura (Pliensbachium)
5140	km	5140_km_Mittlerer Keuper	Mittlerer Keuper
5210	mo	5210_mo_Oberer Muschelkalk	Oberer Muschelkalk
5270	mu	5270_mu_Unterer Muschelkalk	Unterer Muschelkalk
5310	so	5310_so_Oberer Buntsandstein [Röt]	Oberer Buntsandstein (Röt)
6011	zcr	6011_zcr_Hutgestein	Zechstein bis Röt (Hutgestein)
6100	z	6100_z_Salzstock	Zechstein (Salzgestein)

Aus dem 3D-Raster der TEM-Daten wurden 3D-Körper extrahiert, deren Oberflächen gleichen Widerstandes zur Festlegung der Schichtgrenzen dienen (siehe Abbildung 4-6). Unter Zuhilfenahme der Festgesteinskarte (Lepper, 1984) und der geologischen Karte (GK25 LBEG, 2012) ist eine Modellierung der Grenzflächen zwischen den stratigraphischen Einheiten aus den TEM-Daten auch in Gebieten mit wenigen Tiefbohrungen orientierend im regionalen Maßstab möglich. Exemplarisch sind die Schichtgrenzen der triassischen Gesteine im Bereich der Giesener Berge in Abbildung 5-2 dargestellt.

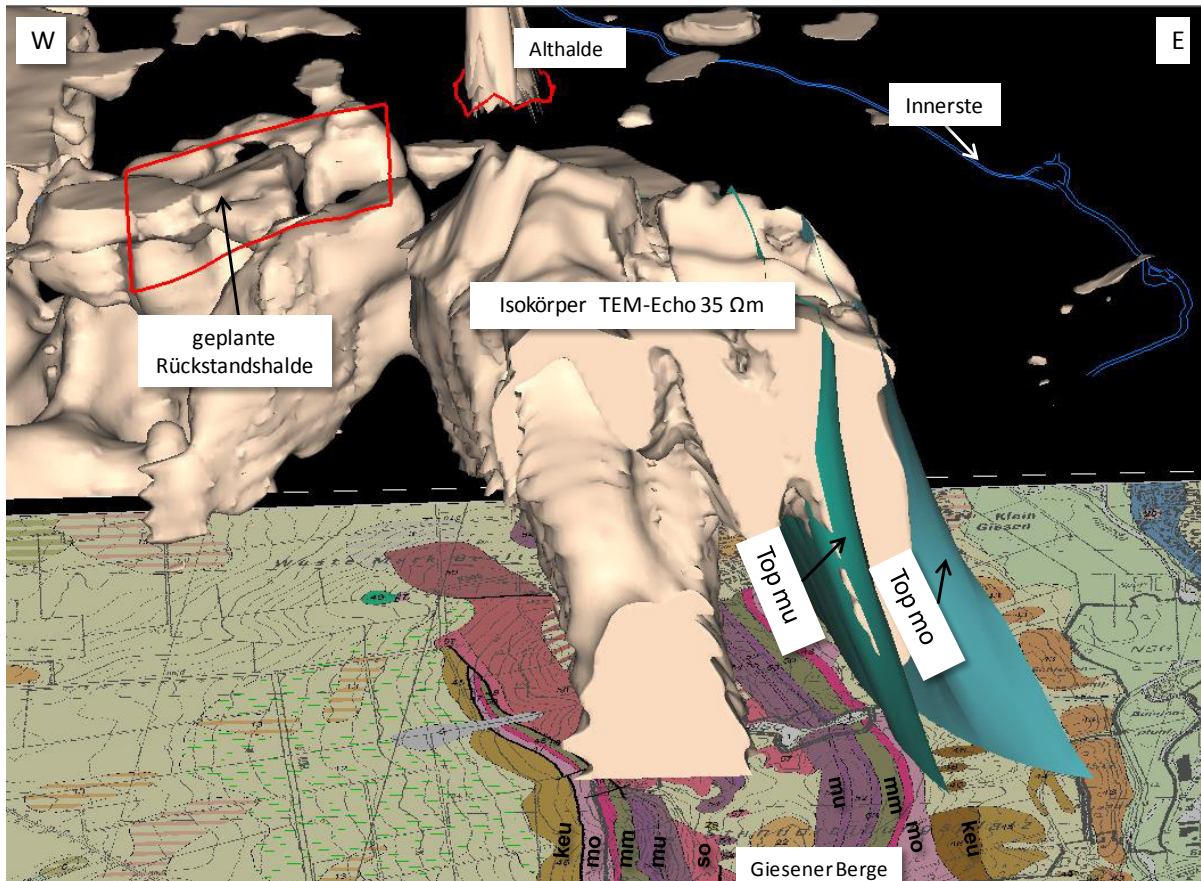


Abbildung 5-2: Beispielhafte überhöhte Darstellung aus dem GOCAD-Regionalmodell
(so - Oberer Buntsandstein, mu, Unterer Muschelkalk, mm - Mittlerer Muschelkalk,
mo - Oberer Muschelkalk, keu - Keuper)
(3D-Effekt zu beachten: Verschiebung der geologischen Karte zu GOCAD-Schichtgrenzen)

5.3 Abbildung des Salzstocks

Die obere Grenze des Salzstocks und damit die Modellbasis des Regionalmodells lässt sich ebenfalls unter Verwendung der TEM-Daten relativ gut abbilden. Der kompakte, nicht wasserführende Salzstock ist durch deutlich höhere Widerstände ($> 20 \Omega\text{m}$) gekennzeichnet und grenzt sich daher von den meist tonigen Nachbargesteinen mit geringen Widerstandswerten ab.

Die horizontale Abgrenzung des Salzstocks zum Nachbargestein ist aufgrund der Widerstandskontraste in Abbildung 5-3 gut erkennbar. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um eine scharfe Grenze,

da sich verfahrensbedingt Übergangsbereiche sowohl aus der Primärdateninversion als auch aus der nachfolgenden Interpolation der Daten in den 3D-Raum ergeben.

Die vertikale Abgrenzung des Salzstocks zum überlagernden Hutgestein ist häufig nur andeutungsweise möglich, da die Widerstandskontraste weit weniger deutlich auftreten. In Anbetracht der Charakteristika dieser Einheiten wären deutliche Unterschiede in den TEM-Signalen zwischen dem hochohmigen Salzgestein und dem zumeist tonig ausgebildeten Hutgestein mit häufig höher mineralisierten Wässern oberhalb des Salzstockes zu erwarten, da hierbei im TEM-Echo niedrige spezifische Widerstände erzeugt werden. Tatsächlich lassen sich im vorliegenden Fall kaum belastbare Hinweise zu dieser Abgrenzung finden (siehe Abbildung 5-4).

Detailliertere Darstellungen sind in Anlage 2 (Horizontalschnitte) und Anlage 3 (TEM-Regionalschnitte) beigefügt.

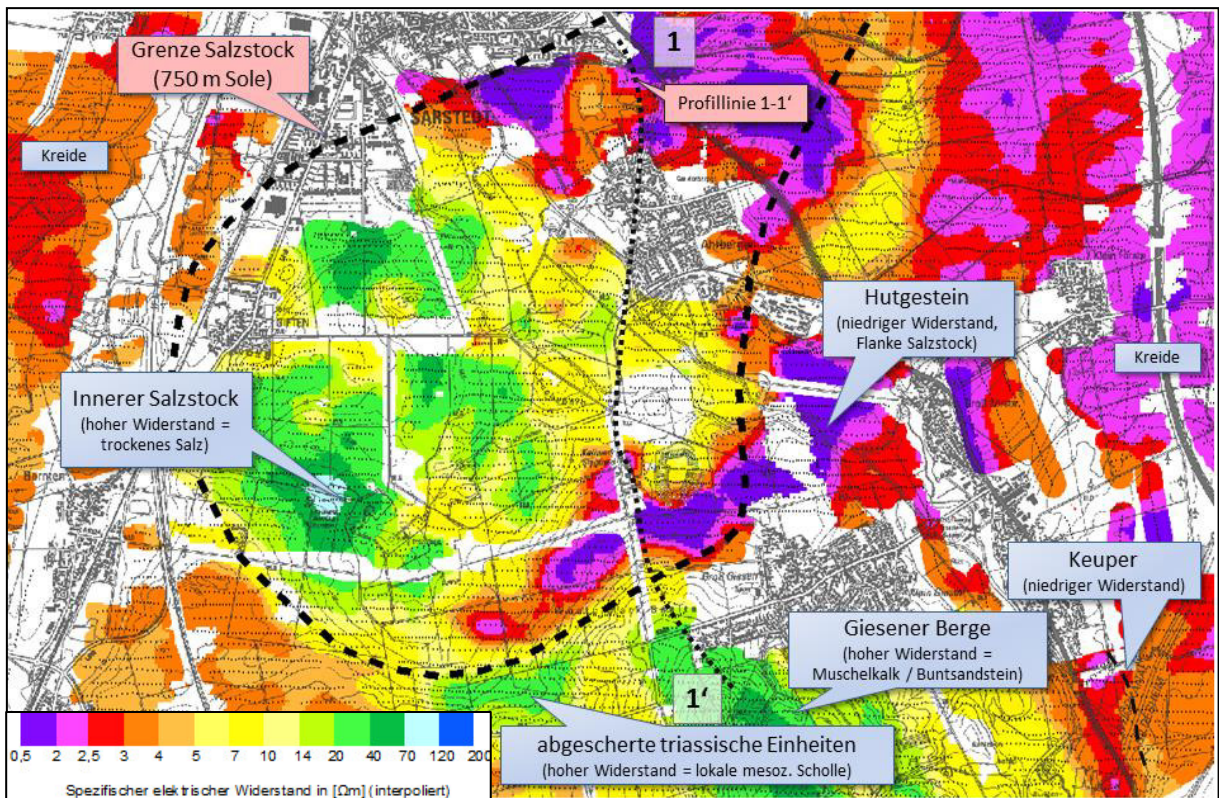


Abbildung 5-3: Horizontale Abgrenzung des Salzstocks Sarstedt mittels TEM bei -40 bis -50 m NN

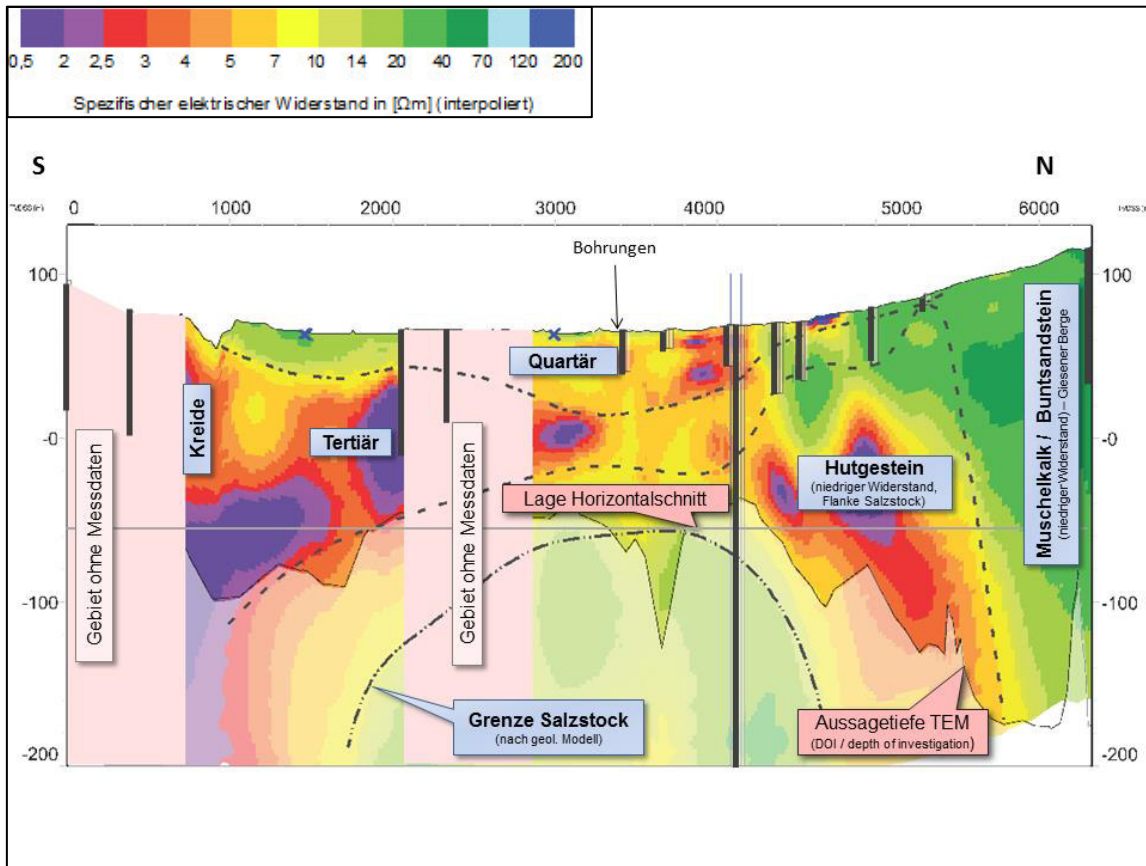


Abbildung 5-4: Vertikale Abgrenzung des Salzstocks Sarstedt anhand der TEM-Daten entlang Profillinie 1-1'

5.4 Beschreibung der TEM-Regionalschnitte

5.4.1 Vorbemerkung zu den TEM-Regionalschnitten

Zur Visualisierung der TEM-Daten in Form von vertikalen Schnittdarstellungen wurde ein Nord-Süd-gerichtetes (1-1') und zwei West-Ost-gerichtete Profile (A-A', B-B') durch den Untersuchungsraum gelegt. Die SkyTEM-Daten wurden in GOCAD dargestellt und auf ein 3D-Raumgitter interpoliert. Unter Zuhilfenahme der verfügbaren Bohraufschlüsse, der Geologischen Karten GK25 Bl. 3825 und 3725 (GK25 LBEG, 2012) sowie der Festgesteinskarte (Lepper, 1984) wurden petrografisch/stratigrafisch bezogene Schichtgrenzen für das Regionalmodell modelliert. Aus diesem Modell wurden drei Regionalschnitte ausgegliedert, um die geologischen Hauptstrukturen in Verbindung mit den SkyTEM-Daten darzustellen.

Die regionalen TEM-Schnitte sind in den Anlagen 3.1 bis 3.3 dargestellt.

In den Schnittdarstellungen sind die TEM-Daten (spezifische elektrische Widerstände) in Verbindung mit den verfügbaren Bohrungen entlang der Schnittlinie sowie den interpretierten geologischen Grenzen dargestellt. Zur besseren Lagezuordnung dienen die Markierung der Ortschaften und der Oberflächengewässer in den Schnitten sowie eine Übersichtskarte zur Lage der Schnittpur.

In den unteren Bereichen der Profilschnitte sind die TEM-Daten leicht ausgegraut dargestellt. Gemäß Dokumentationsbericht (Aarhus Geophysics, 2012) sind diese Daten statistisch nicht mehr vertrauenswürdig und bei der Interpretation, also der Modellierung der regionalgeologischen Schichtgrenzen, entsprechend nicht zu berücksichtigen. Gleichwohl liegen für diesen Bereich Daten der invertierten spezifischen Widerstände vor, so dass sie der Vollständigkeit halber mit dargestellt sind.

Im TEM-Datensatz gibt es Bereiche, die nicht überflogen worden sind. Für diese Bereiche liegen keine Widerstandswerte vor. Bei der Überführung der TEM-Daten auf das 3D-Gitter wurde über diese Datenlücken interpoliert, so dass in den Schnittdarstellungen das Vorhandensein von Originaldaten suggeriert wird. In den nachfolgend näher erläuterten Schnittdarstellungen liegen derartige Datenlücken ausschließlich im unmittelbaren Bereich der Ortschaften vor.

Nachfolgend werden die Schnitte im Hinblick auf die geologische Interpretierbarkeit der SkyTEM-Daten erläutert.

5.4.2 TEM-Regionalschnitt 1-1'

Der Nord-Süd-Schnitt 1-1' (Anlage 3.1) beginnt im Norden in der Ortslage Sarstedt und verläuft nach Süden bis an den westlichen Rand der Ortslage Giesen. Die auf der Schnittspur verfügbaren Bohrdaten decken mit einigen Bohrungen vorwiegend den Bereich bis 50 m unter Gelände, z. T. bis 100 m unter Gelände ab. Eine Tiefbohrung erschließt den Salzstock (Siegfried I, Ahrbergen 1/1906). In Anbetracht der ansonsten zumeist nur oberflächennahen Aufschlüsse liegen für diesen Schnitt relativ gute Informationen zu den geologischen Verhältnissen vor.

Im nördlichen Bereich (Sarstedt) lagern im Untergrund vor allem kreidezeitliche Schichten (Tone, Tonsteine). Laut abgedeckter geologischer Karte (Lepper, 1984) (siehe Abbildung 2-2 in Kap. 2.2) handelt es sich um verschiedene Tone der Oberkreide (Santon) des Jeinsener Grabens. Da im Bereich der Ortslage Sarstedt keine Messwerte vorhanden sind, ist der entsprechenden Bereich ausgegraut. Am südöstlichen Rand der Ortschaft liegen die Widerstandswerte unter 4 Ω m. Die etwas höherohmigen Werte im oberflächennahen Bereich unterhalb der dortigen Tongrube stellen vermutlich einen Inversionseffekt der Datenaufbereitung an steilen morphologischen Grenzen dar.

Die sich südlich anschließende tektonische Begrenzung (Störungszone) wurde der GK25 entnommen und ist nur andeutungsweise in den TEM-Daten zu erkennen.

Das Quartär lässt sich als undifferenziertes Schichtenpaket in den TEM-Daten nur an deutlichen Widerstandsübergängen zu niedrigohmigen Horizonten abgrenzen. Zumeist unterlagern tertiäre Sedimente die quartären Schichten, ohne dass Kontraste in den TEM-Daten sichtbar werden.

Für das Tertiär gelten jedoch recht uneinheitliche Widerstandswerte, die eine Abgrenzung zu den benachbarten Stratigrafien unmöglich machen. Die Abgrenzung der Tertiärbasis war nur mit Hilfe der Bohrinformationen möglich. Zwischen der Störungszone am Jeinsener Graben und dem Bruchgraben deutet sich eine tertiäre oder quartäre Rinne bzw. Senkungsstruktur über erhöhte Widerstandswerte an. Bohrungsseitig ist diese nicht belegt. Weiter südlich belegen die Bohrungen Fürstenhall-9, Ahrbergen und Ahrbergen-2 tonige Sedimente (Tone und Tonmergel) am Nordrand von Ahrbergen bis in Tiefen von 71 m. Die stratigrafische Zuordnung zum Tertiär ist jedoch nicht eindeutig belegt, möglicherweise könnte es sich auch um die Fortsetzung der Kreideablagerungen handeln. Aufgrund der umgebenden Ortschaft liegen aus der TEM-Befliegung in diesem Bereich wiederum keine Messdaten vor, die eine eindeutige Zuordnung ermöglichen würden. Im nördlichen und südlichen Randbereich von Ahrbergen liegen die Widerstandswerte meist unter 3 Ω m.

In den relativ mächtigen quartären Schichtpaketen der Innerste-Niederung im weiteren Sinne überwiegen im nördlichen Bereich (südlich Sarstedt bis zur Innerste) höhere spezifische Widerstände (zumeist $> 10 \Omega\text{m}$). Südlich der Innerste sind dagegen wechselnde und generell niedrigere Widerstandswerte ($< 10 \Omega\text{m}$) anzutreffen. Die geringeren Widerstände lassen sich auf erhöhte oberflächennahe Mineralisationen im Grundwasser in Verbindung mit der Lage im Grundwasserströmungsfeld der Althalde zurückführen. Dieses ist durch Analysen in GWM 7 und GWM 5 belegt. Der oberflächennahe niederohmige Bereich zwischen Werks Gelände und Althalde resultiert vermutlich ebenfalls aus erhöhten Mineralisationen ausgehend von der Althalde. Aber auch mächtige tonig-schluffige Sequenzen der Drenthe- und Elster-Eiszeit können zu niedrigen Widerstandswerten in den Quartärschichten führen. Ein lithologisch-stratigrafischer Übergang ist für das Quartär aus den TEM-Daten nicht ableitbar. Weitere Betrachtungen zu Möglichkeiten und Grenzen der Identifizierung von höher mineralisierten Wässern erfolgen in Kap 6. Hierzu wurden auch die Detailschnitte in Anlage 5 erstellt.

Unterhalb der Tertiärbasis befinden sich das nach den Bohrinformationen überwiegend tonige Hutgestein und unterhalb des sog. Salzspiegels als Ablaugungsgrenze die Salzgesteine des Salzstock Sarstedt. Eine genaue Differenzierung des Hutgesteins gegenüber den tertiären Schichten aus den TEM-Daten ist schwierig, da das Hutgestein keinen einheitlich niedrigen spezifischen Widerstand aufweist und niedrige Widerstände auch in den erbohrten Tertiärsedimenten gemessen wurden.

Dagegen ist die Oberkante des Salzstocks an den höheren Widerständen, die auf trockenes Salzgestein hindeuten, erkennbar. Die Abgrenzung aus den TEM-Daten ist bedingt durch die Inversionsmethodik unter Einbeziehung der horizontal und vertikal benachbarten Werte nicht scharf, jedoch wird eine Grenzzone deutlich. Zu beachten ist, dass in diesem Tiefenbereich die statistische Signifikanz der TEM-Daten nicht mehr gegeben ist. Gesicherte Informationen über die stratigrafische Abfolge liegen nur über die LBEG-Tiefenbohrung Siegfried I, Ahrbergen 1/1906 vor.

Die weitere Ausdehnung des Hutgesteins in südl. Richtung wird durch die vier Bohrungen Ahrbergen Siegfried F. B. 4, H 110 Tiefbr. Siegfried-Giesen, Ahrbergen Siegfried F. B. 3 und GWM24 vorgegeben. In den oberen 50 bis 100 m wurden für das Hutgestein relativ hohe Widerstände gemessen (10 bis $20 \Omega\text{m}$). Dagegen zeigen sich in den tieferen Bereichen sehr niedrige Widerstände ($< 3 \Omega\text{m}$). Unter dem Oberbegriff „Hutgestein“ werden verschiedene stratigrafische Einheiten zusammengefasst (sowohl Gips/Anhydrit – also der Gipshut im eigentlichen Sinn – als auch die Residualtone / -tonsteine und weitere Tonsteine ohne stratigrafische Zuordnung). Verminderte Widerstände können auch aus geogenen Grundwassermineralisationen, die aus dem Ablaugungsprozess am Salzstock stammen, resultieren. Eine Zuordnung ist aufgrund der fehlenden Informationen in diesen Tiefen nicht möglich.

Südlich der GWM24 ist eine markante Grenze in den TEM-Daten zu erkennen, an der die Widerstände sehr stark ansteigen. Dieser Kontrast kann als Übergang vom (tonigen) Hutgestein ins Festgestein der Giesener Berge (Buntsandstein, Muschelkalk) gedeutet werden. Die Bohrung BR.3 Groß Giesen verifiziert dieses mit der Stratifizierung im Buntsandstein.

5.4.3 TEM-Regionalschnitt A-A'

Der Profilschnitt A-A' (Anlage 3.2) führt von West nach Ost mittig durch den Untersuchungsraum und den Salzstock Sarstedt. In diesem Profilschnitt zeigen sich in den TEM-Daten deutliche Hinweise auf petrografisch-stratigrafische Grenzen, die jedoch nicht durch direkte Bohraufschlüsse belegt sind. Bei der Interpretation wird daher auf die abgedeckte geologische Karte (Lepper, 1984) zurückgegriffen.

Im Westen und im Osten des Schnitts lagern Kreidesedimente, welche sich durch sehr niedrige Widerstandswerte zwischen 0,5 und 5 Ωm zeigen. Die unterschiedlichen Widerstandswerte liegen möglicherweise in unterschiedlichen Kreideablagerungen begründet. Während im Westen Oberkreide (Santon) der Pattenser Mulde (Mergel / Mergelstein) vorherrscht, ist im Osten Unterkreide (Ton / Tonstein) anstehend. Zu berücksichtigen ist die starke Spreizung der Farbskala im Bereich der niedrigen spezifischen Widerstände, die visuell stärkere Unterschiede in den Kreidesedimenten suggerieren. Tatsächlich sind die Differenzen der Widerstände gering.

Im mittleren bis westlichen Teil des Schnitts treten deutlich die hochohmigen Bereiche des Salzstocks hervor. Im Kern des Salzstocks werden die höchsten Widerstände im Untersuchungsraum abgebildet ($> 120 \Omega\text{m}$). Diese Signale deuten auf trockene Salzgesteine hin, obwohl die Absolutwerte der spezifischen Widerstände hierfür immer noch relativ niedrig erscheinen.

Das Hutgestein oberhalb des Salzstocks tritt aus den TEM-Daten nicht deutlich hervor. Eine Abgrenzung zum Hutgestein ist, wie schon im Profilschnitt 1-1', ohne Bohrinformationen nicht möglich. Die Grenze zwischen Salzstock und Hutgestein ist lt. TEM-Daten fließend und in der Schnittdarstellung aus den bisherigen geologischen Modellvorstellungen (GOCAD-Modell) abgeleitet. Das Hutgestein weist in diesem Bereich relativ hohe spezifische Widerstände (zumeist $> 10 \Omega\text{m}$) auf, so dass keine Kontraste zu den unter- und überlagernden Schichten erzeugt werden. Entsprechend ist eine Abgrenzung des Hutgesteins zu den überdeckenden Tertiär- und Quartärschichten aus den TEM-Daten nicht möglich.

Im Zentralteil des Schnitts zeigt sich vor allem im oberflächennahen Bereich eine sehr niederohmige Zone. Diese sehr niedrigen spezifischen Widerstände zeigen das Vorhandensein hochmineralisierter Wässer an. Hier besteht der Einfluss der Althalde und ggf. auch des Werksgebietes. Inwieweit auch geogen höher mineralisierte Wässer einen Einfluss haben und insbesondere in den größeren Tiefen die niederohmigen Signale erzeugen, ist nicht bekannt. Zur Interpretation mineralisierter Wässer wird auch auf Kap 6 und die Detaildarstellungen in Anlage 4 und 5 erstellt.

Die ungewöhnlich wechselhaften Widerstände im Schnitt unterhalb der Althalde lassen sich auf Überlagerungseffekte der Inversionsrechnung zurückführen, welche bei engräumig starken Reliefunterschieden auftreten.

Im Ostteil des Schnittes sind wiederum im TEM-Echo klare vertikale Strukturen erkennbar. Das quartäre Schichtenpaket bildet sich im Schnitt über den mesozoischen Gesteinen im Osten (wie auch im Westen) des Profils deutlich mit den höheren Widerstandswerten ab. Die höheren Widerstände werden durch den höheren Anteil an rolligen Sedimenten gegenüber den Ton-/Schluffsteinen hervorgerufen. Basierend auf den Karteninformationen (Lepper, 1984) und den Bohrinformationen aus der Tiefenbohrung B 92 - Carlsglück-II, Groß Förste, die ca. 500 m nördlich dieses Profils liegt, konnte die stratigrafische Abfolge Kreide (vorwiegend Tonsteine) / Unterer Jura, Toarcium (Mergelsteine) / Unterer Jura, Pliensbachium (Tonsteine) / Keuper (Sandstein/Schluffstein/Tonstein) aufgrund der unterschiedlichen Lithologien unter Nutzung der geringen relativen Unterschiede der hier insgesamt sehr niedrigen Widerstandswerte abgegrenzt werden.

5.4.4 TEM-Regionalschnitt B-B'

Die Profillinie B-B' (Anlage 3.3) verläuft ebenfalls in West-Ost-Richtung etwa 1,0 bis 1,5 km südlich der Profillinie A-A' entlang des Südrandes der geplanten Rückstandshalde. Sie schneidet den Salzstock an dessen südlicher Aufdomung. Im Westen beginnt die Profillinie in der Nähe des Flusses Leine und

endet im Osten in der Ortslage Harsum. In der Profilmitte ist die Erhebung der Giesener Berge deutlich erkennbar. In den Ortslagen Rössing, Giesen, Hasede und Harsum sind keine Messwerte vorhanden, so dass diese Bereiche im Schnitt nicht dargestellt sind.

Wie schon im Schnitt A-A' sind die quartären Schichten in den TEM-Daten aufgrund der Kontraste in den Widerstandswerten gegenüber den niederohmigen Werten der mesozoischen Gesteinen gut zu erkennen. Die Aufschlussinformationen der Bohrungen bezüglich der Lage der Quartärbasis und der Art der darunter anstehenden Schichten sind spärlich, so dass die Abgrenzung nur an wenigen Punkten verifiziert werden kann. Im Bereich der Giesener Berge und im Osten bei Harsum geht die Quartärmächtigkeit nahezu gegen Null.

Im Westen und im Osten sind wiederum die unterschiedlichen Kreideablagerungen zu erkennen. Dabei scheint sich die Oberkreide/Santon (Rössing-Barnten 5) im Westen mit geringfügig höheren Widerstandswerten bemerkbar zu machen als die Unterkreide im Osten (Harsum 12060694-EWS1-3).

Im Zentralteil des Schnittes schließt sich östlich an die Kreidesedimente unmittelbar das Hutgestein an. Die stratigrafische Zuordnung der Bohrung Rössing-Barnten 14 zur Kreide erfolgte gemäß umliegender Bohraufschlüsse (Rössing-Barnten 10, A2- und A4-Rössing) und erscheint plausibel. Aufgrund der geringen Widerstände der tonigen Kreidesedimente (zumeist $< 5 \Omega\text{m}$) lässt sich das höherohmige Hutgestein ($> 7 \Omega\text{m}$) gut abgrenzen. Die Grenze zwischen Hutgestein und Salzstock tritt aus den TEM-Daten vermutlich aufgrund der Lage des Schnitts an der Südflanke des Salzstocks nicht durch erhöhte Widerstände heraus. Es sind sogar im östlichen Randbereich ungewöhnlich niedrige Widerstände ($< 5 \Omega\text{m}$) in Tiefen > 200 m festzustellen, die derzeit geologisch nicht erklärt werden können.

Auffällig im Profilschnitt ist ein kleiner Bereich sehr hoher Widerstände ($> 70 \Omega\text{m}$) im Randbereich der geplanten Rückstandshalde. Hierbei handelt es sich vermutlich um ein Bruchschollenmosaik unterschiedlicher mesozoischer Schichten im Flankenbereich des Salzstocks. Auch der in der Bohrung GWM17 nachgewiesene untere Muschelkalk lässt sich hier einordnen.

Weiter östlich schließen sich in den Giesener Bergen die steil gestellten Schichten des Buntsandsteins (BR.3 Groß Giesen) und Muschelkalks (Gebiet ohne TEM-Messdaten) an. Trotz ihrer differenzierten petrografischen Ausbildung lassen sich die Buntsandsteinschichten nach den TEM-Signalen nur andeutungsweise differenzieren. Generell zeigen die Buntsandsteinschichten gegenüber der Umgebung höhere Widerstände ($> 10 \Omega\text{m}$), die zu erwartende kontrastreiche Abgrenzung der Widerstände von Muschelkalk zu Buntsandstein ist aufgrund der fehlenden TEM-Messwerte im Bereich der Ortslage Giesen im Schnitt nicht erkennbar..

Östlich schließt sich daran Keuper an, der aufgrund fehlender Messwerte ebenfalls nicht dargestellt werden kann. Weiter nach Osten folgen Jura und Kreide mit ebenfalls sehr niedrigen Widerständen. Die Abgrenzung dieser Schichtpakete untereinander kann anhand von Kontrasten der Widerstandswerte vermutet werden.

6 Interpretation der Signale hinsichtlich höher mineralisierter Wässer

6.1 Möglichkeiten und Grenzen der Interpretation mineralisierter Wässer

Aufgrund der erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten weisen Gesteine, deren Porenraum mit höher mineralisierten Wässern gefüllt ist, deutlich geringere spezifische Widerstände auf. Insofern stellt die TEM ein geeignetes Verfahren dar, mineralisierte Wässer im Untergrund zu detektieren.

Eingeschränkt wird die Möglichkeit der Feststellung höher mineralisierter Wässer im Untergrund insbesondere durch folgende Einflussfaktoren:

- Geringe Mächtigkeit der Wasserschicht mit erhöhter Mineralisation
- Ähnliches Widerstandssignal von tonigen Sedimenten

Abhängigkeit der Signalstärke von der Mineralisation und deren Mächtigkeit

Da die aus der Inversionsmodellierung erhaltenen TEM-Daten den spezifischen Widerstand eines mehrere Meter mächtigen Schichtenpaktes (bei 25-Layer Modell >5 m) in Rückkopplung zu den vertikal und horizontal umliegenden Signalen wiedergeben, lassen sich mineralisierte Wässer mit geringer wassererfüllter Mächtigkeit nur schwer detektieren. Sehr hoch mineralisierte Wässer können auch in geringer Mächtigkeit erkannt werden, gering erhöhte Mineralisationen sind dagegen bei geringer Mächtigkeit nicht mehr feststellbar.

Die Abhängigkeit der Signalstärke von der Mineralisation und deren Mächtigkeit bewirkt z. B., dass eine mäßig erhöhte Mineralisation in großer Mächtigkeit ein ähnliches Signal liefert, wie eine stark erhöhte Mineralisation in geringer Mächtigkeit. Folglich kann aus den spezifischen Widerständen nicht direkt auf den Mineralisationsgrad geschlossen werden. Insbesondere bei geringen wassererfüllten Mächtigkeiten können die höheren Mineralisationen die spezifischen Widerstände nicht in dem entsprechenden Maß senken.

Ähnliche Signale toniger Sedimente

Grundsätzlich führen tonige Sedimente und Tonsteine zu einer Verringerung der spezifischen Widerstände. Die konkreten Widerstandswerte bilden sich in Abhängigkeit von Wassergehalt und der Tonmineralzusammensetzung ab.

Da das Auftreten höher mineralisierter Wässer im Porenfluid von Gesteinen mit höheren spezifischen Widerständen gleichfalls einen widerstandsabsenkenden Effekt erzeugt, liefern tonige Sedimente ähnliche Signale wie Gesteine mit erhöht mineralisiertem Porenfluid.

Somit ist allein aus den TEM-Daten keine eindeutige Identifikation des Auftretens höher mineralisierter Wässer möglich. Dementsprechend ist es wichtig, über ergänzende geologische Informationen (Schichtdaten) und hydrogeologische Daten (Grundwassermessstellen mit Wasseranalytik) zu verfügen, um einen diesbezüglichen Abgleich zu ermöglichen.

Im Gegenzug kann jedoch durch die TEM-Messungen gezeigt werden, dass höhere spezifische Widerstände das Auftreten hochmineralisierten Porenfluids im Grundwasserleiter ausschließen. Somit kann die TEM-Messung als diesbezügliches Ausschlusskriterium genutzt werden.

6.2 Mineralisiertes Grundwasser im Umfeld der Althalde

Im Umfeld der Althalde wird die Eignung des SkyTEM-Verfahrens zur Detektion höher mineralisierter Wässer besonders deutlich. Nördlich der Althalde zeigt sich ein Bereich sehr niedriger spezifischer Widerstände, der auf hochmineralisiertes Grundwasser zurückgeführt wird.

Die TEM liefert mit den spezifischen Widerständen des Untergrundes Indizien, die jedoch erst im Zusammenspiel mit den Informationen zum geologischen Untergrundaufbau, zur Grundwasserströmungsrichtung sowie aus der chemischen Analytik des Grundwassers als Grundwasserbeeinflussung nördlich bis nordwestlich der Althalde bestätigt werden konnten.

Die beispielhaften horizontalen Schnittdarstellungen in den Abbildung 6-1 bis Abbildung 6-3 verdeutlichen den betroffenen Bereich in verschiedenen Ebenen bis ca. 30 m unter Gelände. Es deutet sich an, dass sich die höher mineralisierten Wässer vor allem in einer quartären Rinne bzw. Senkungsstruktur nördlich der Althalde befinden. Eine vertikale Verlagerung nach unten überwiegt gegenüber der horizontalen Ausbreitung, so dass als Schlussfolgerung in Bezug auf die geologischen Strukturen nicht von durchgängig zwischengelagerten Grundwasserhemmern im Quartär ausgegangen werden kann.

Andererseits wird aus den durch die in den Keupertonen (Bohrung Klein Giesen4 ab 3 m unter Gelände nachgewiesen) hervorgerufenen ebenfalls sehr niedrigen spezifischen Widerständen östlich / südöstlich der Althalde wiederum deutlich, dass eine Interpretation der TEM-Daten ohne Zusatzinformation aus Geologie und Hydrogeologie nicht möglich ist.

Weitere detaillierte Horizontalschnitte sind in Anlage 4 dargestellt, oberflächennahe Vertikalschnitte u. a. für den Bereich der Althalde liefert Anlage 5. In Kap. 6.3 sind die oberflächennahen Schnitte beschrieben, sie liefern weitere Angaben zu den mineralisierten Wässern im Umfeld der Althalde.

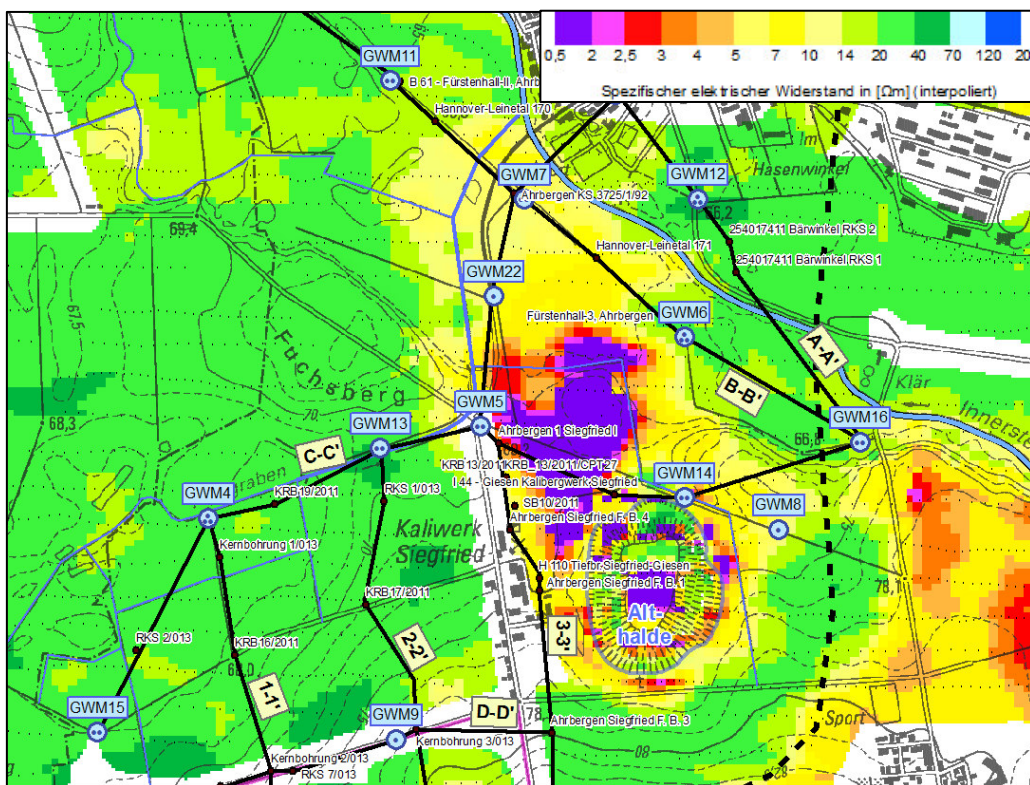


Abbildung 6-1: TEM-Horizontalschnitt Bereich Althalde (Tiefenbereich 60-70 m NN, etwa 0-10 m unter GOK)

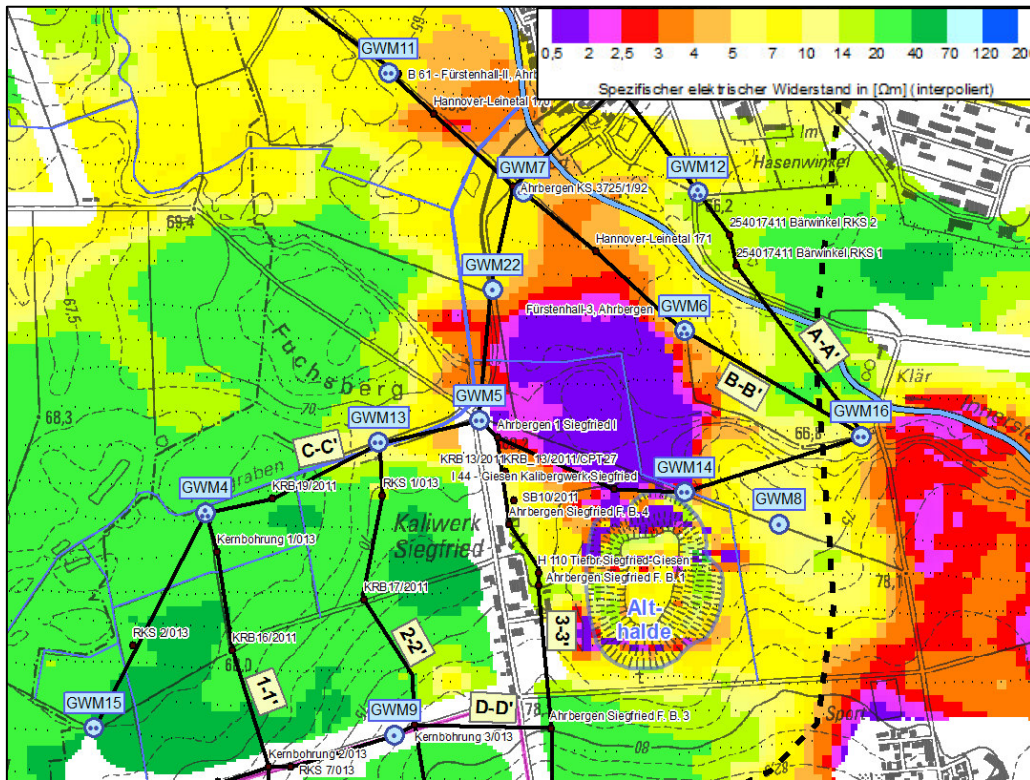


Abbildung 6-2: TEM-Horizontalschnitt Bereich Althalde (Tiefenbereich 50-60 m NN, etwa 10-20 m unter GOK)

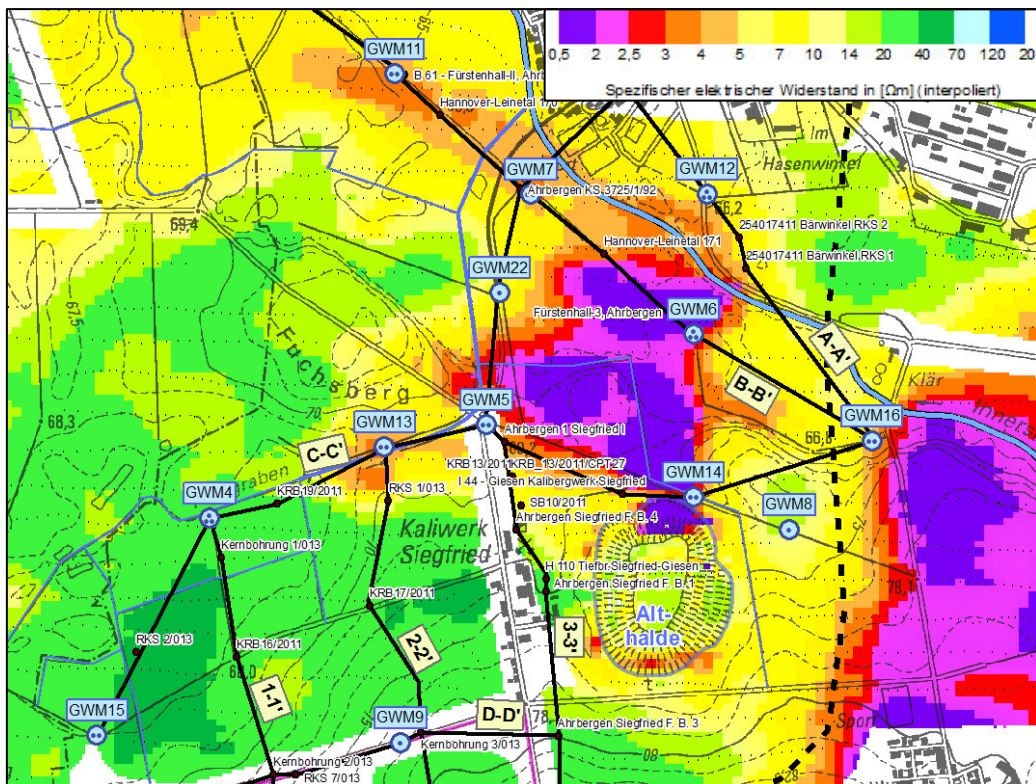


Abbildung 6-3: TEM-Horizontalschnitt Bereich Althalde (Tiefenbereich 40-50 m NN, etwa 20-30 m unter GOK)

6.3 Beschreibung der oberflächennahen TEM-Detailschnitte

6.3.1 Vorbemerkung zu den TEM-Detailschnitten

Zur speziellen Betrachtung des oberflächennahen Bereiches inkl. der Herausarbeitung der Zonen mit höher mineralisierten Wässern wurden ergänzend zu den Detailkarten mit den horizontalen Schnitten in Anlage 4 vertikale Schnittdarstellungen erarbeitet (siehe Anlage 5).

Die Schnittpuren wurden identisch zu den geologischen Profilschnitten in Unterlage I-9 (dortige Anlage 15) gewählt. Um den direkten Vergleich zwischen dem TEM-Schnitt und dem geologischen Schnitt zu erhalten, ist der jeweils zugehörige geologische Schnitt verkleinert mit dargestellt. In den TEM-Schnitten sind außerdem die Schichtgrenzen aus dem numerischen Grundwasserströmungsmodell (siehe Unterlage I-10) dargestellt, um die geologischen Strukturen besser zu veranschaulichen. Zur Herstellung eines Bezugs zwischen den TEM-Daten und der Mineralisation des Grundwassers sind an den jeweiligen Grundwassermessstellen im Schnittverlauf die elektrischen Leitfähigkeiten des Grundwassers aus den vertikalen Leitfähigkeitsmessungen vor der Probenahme Herbst 2013 (lt. Unterlage I-9) dargestellt. Zur Verdeutlichung der Mineralisationsschichtung ist jeweils der Messwert an der Oberkante und an der Unterkante der Filterstrecke der GWM aufgeführt (z. T. Mehrfachmessstellen vertikal abgestuft mit mehreren Filterstrecken).

Nachfolgend sind die oberflächennahen TEM-Detailschnitte aus Anlage 5 näher beschrieben.

6.3.2 TEM-Detailschnitt 1-1'

Der Detailschnitt 1-1' (Anlage 5.1) verläuft in Süd-Nord-Richtung von der südwestlichen Ecke des Standortes der geplanten Rückstandshalde nach Norden bis in den Bereich Entenfang.

Im gesamten Verlauf des Schnittes liegen die Widerstände im erfassten oberflächennahen Bereich (bis 40 m unter Gelände) zwischen 10 und 70 Ω m. Eine Differenzierung der quartären grundwasserleitenden und grundwasserhemmenden Sedimente aus den SkyTEM-Daten war in Anbetracht der relativ geringen Mächtigkeiten der einzelnen Schichten von vorn herein nicht zu erwarten gewesen. Aber auch die tertiären Schichten und das überwiegend tonige Hutgestein werden in diesem Bereich aus den TEM-Daten nicht ersichtlich. Damit werden standortbezogen die Grenzen des TEM-Verfahrens sowohl hinsichtlich der vertikalen Auflösung als auch der Abbildung von petrografischen Grenzen deutlich.

Die Wasserleitfähigkeiten in der GWM4 sind gering (um 1 mS/cm) und entsprechend unauffällig in den TEM-Daten.

6.3.3 TEM-Detailschnitt 2-2'

Der Detailschnitt 2-2' (Anlage 5.2) verläuft ebenfalls in Süd-Nord-Richtung vom Südrand der geplanten Rückstandshalde nach Norden bis an den Flußgraben nordwestlich des ehem. Werksgeländes SG.

Im Süden der Schnittdarstellung zeigen sich ab ca. 20 m unter Gelände deutlich erhöhte spezifische Widerstände (> 70 Ω m). Diese lassen sich durch die in der KB 10/014 erbohrten gipshaltigen Bestandteile innerhalb des ansonsten eher tonigen Hutgesteins verifizieren.

Im weiteren Verlauf zeigt sich ein ähnliches Bild wie im Schnitt 1-1' mit spezifischen Widerständen zwischen 10 und 40 Ωm und ohne Differenzierung im Bereich von geologischen Schichtgrenzen. Das Abtauchen des Hutgesteins nördlich der Kernbohrung 3/013 und die sich daran anschließende quartäre Rinne sind aus den TEM-Daten nicht zu erkennen.

In Norden des Schnittes wurden ab Tiefen von 15 bis 20 m auffällig niedrige spezifische Widerstände festgestellt. In der GWM13-tief ist höher mineralisiertes Wasser im unteren Teil des Filterbereichs belegt. Im Filterbereich dieser GWM besteht ein deutlicher Anstieg der Wasserleitfähigkeiten von ca. 1,7 mS/cm (13 m u GOK) auf fast 40 mS/cm (ca. 17 m u GOK). Dementsprechend kann als Quelle der niedrigen spezifischen Widerstände eine erhöhte Mineralisation des Grundwassers angenommen werden. Unterhalb des Filterbereiches wurde ein Grundwasserstauer erbohrt, der als Elster-Geschiebemergel eingestuft wurde. Aus den geologischen Auswertungen im 3D-Raum werden darunter altpleistozäne Sande und Kiese erwartet. Entsprechend der TEM-Signale mit Fortsetzung der niedrigen Widerstände in der Tiefe (siehe auch TEM-Regionalschnitt A-A' in Anlage 3.2) sind ebenfalls höher mineralisierte Wässer in den altpleistozänen Sedimenten zu erwarten. Entsprechend der hydrogeochemischen Auswertung in Unterlage I-9 besteht eine geogene Signatur der Mineralisation in der GWM13-tief, Einflüsse von Werksgelände und Althalde sind hier jedoch auch nicht auszuschließen.

6.3.4 TEM-Detailschnitt 3-3'

Der Detailschnitt 3-3' (Anlage 5.3) erfasst in Süd-Nord-Richtung den Bereich von der südöstlichen Ecke der geplanten Rückstandshalde bis zur Ortslage Ahrbergen nördlich der Innerste. Im zentralen Teil des Schnittes wird der Bereich des ehem. Werksgeländes SG durchquert und die Althalde tangiert.

Am unmittelbaren Südrand des Schnittes sind niedrige spezifische Widerstände ($< 5 \Omega\text{m}$) im Untergrund festzustellen, die für ansonsten umliegenden Buntsandsteinschichten der Giesener Berge eher untypisch (zumeist $> 10 \Omega\text{m}$). Sie können daher vermutlich der Oberkreide (Santon) zugeordnet werden.

Im Bereich der GWM17 wurde Muschelkalk erbohrt. Die auffällig hohen spezifischen Widerstände lassen sich diesem Gesteinskomplex zuordnen. Nach der geologischen Interpretation liegt hier Muschelkalk als Bestandteil des mesozoischen Bruchschollenmosaiks vor, welcher von Hutgestein umgeben ist. Die gemessenen Widerstände sind für das primär tonig ausgebildete Hutgestein ungewöhnlich hoch. Möglich ist ein Einfluss höherohmiger Gipsanteile innerhalb des Hutgesteins (Gips 100 bis 2.000 Ωm).

Auffällig sind die oberflächennah sehr niedrigen Widerstände ($< 2 \Omega\text{m}$) im Bereich des ehemaligen Werksgeländes SG (Ahrbergen Siegfried F.B.1). Diese lassen sich auf die im Rahmen der Baugrunderkundung (Unterlage I-24) festgestellten höher mineralisierten Wässer zurückführen, wobei die Ursache im Haldensickerwasser der Althalde und / oder im ehemaligen Werksbetrieb liegen kann.

Weiter nördlich folgt ein Bereich höherer spezifischer Widerstände (um 10 Ωm), erst ab dem Nordrand des ehemaligen Werksgeländes werden wieder sehr niedrige Widerstände ($< 3 \Omega\text{m}$) festgestellt. Mit der GWM5 liegen Information über die Mineralisation aus den Leitfähigkeitsmessungen des Wassers vor. Die erhöhten Leitfähigkeiten im Grundwasser werden bestätigt: GWM5-flach (1,5 bis 10,2 mS/cm), GWM5-tief (3,8 bis 4,1 mS/cm), so dass die diesbezügliche Deutung der TEM-Signale damit ermöglicht wird.

Besonders auffällig ist in diesem Bereich, dass sich die sehr niedrigen Widerstände auf einem begrenzten Bereich bis in den tieferen Untergrund fortsetzen. Dieses lässt den Schluss zu, dass sich

eine Verlagerung der höher mineralisierten Wässer im Grundwasserabstrom der Althalde dichtebedingt nach unten vollzogen hat. Obwohl mit den Bohrungen GWM5-tief als auch die weiter nördlich gelegene GWM7-tief einen liegenden GW-Hemmer aufgeschlossen haben, scheint dazwischen ein hydraulisches Fenster zu existieren, so dass sich die höher mineralisierten Wässer in die tiefen Schichten des Altpleistozäns verlagern konnten. Diese Erkenntnis wurde primär aus den TEM-Daten abgeleitet und zeigt den Vorteil der komplexen Erkundungsmethodik aus Geophysik, geologischen Bohrungen und Grundwasseranalytik.

Im weiteren Verlauf des Schnitts nach Norden schließen sich die flache GWM22, die nur eine geringfügig erhöhte Mineralisation aufweist (um 2,8 mS/cm) und die GWM7, in der insbesondere in den tieferen Zonen deutlich erhöhte Leitfähigkeiten gemessen wurden (GWM7-tief: bis 27,7 mS/cm) an. Die TEM-Signale zwischen GWM5 und GWM7 deuten darauf hin, dass der Schnitt nicht in der unmittelbaren Abstrombahn der Althalde verläuft, da hier nicht durchgängig niedrige spezifische Widerstände gemessen wurden. Eine weitere Ausbreitung der Mineralisation unter der Innerste hindurch ist in diesem Schnitt und durch die Grundwasseranalytik nicht belegt (GWM20: 0,7 bis 1,4 mS/cm).

6.3.5 TEM-Detailschnitt A-A'

Der Detailschnitt A-A' (Anlage 5.4) verläuft in SE-NW-Richtung zwischen Innerste-Brücke an der Kläranlage und dem K+S Betriebsgelände Ahrbergen.

Die GWM16-tief befindet sich bereits außerhalb der Quartärrinne, hier sind tonige mesozoische Schichten (Keuper) aufgeschlossen (siehe auch TEM-Regionalschnitt A-A' in Anlage 3.2), die sich durch sehr niedrige spezifische Widerstände zeigen.

Mit der GWM12 werden höher mineralisierte Wässer belegt (GWM 12-mitte: 2 bis 13 mS/cm, GWM12-tief: 27 mS/cm), die in den TEM-Signalen auch durch niedrige spezifische Widerstände hervortreten.

In Schlussfolgerung aus der räumlichen Verteilung der TEM-Daten scheint es sich nördlich der Innerste nur um einen lokalen Bereich höher mineralisierter Wässer zu handeln, da im Bereich GWM 20 bereits keine Auffälligkeiten in den Wasserleitfähigkeiten festgestellt wurden (0,7 bis 1,4 mS/cm).

6.3.6 TEM-Detailschnitt B-B'

Der ebenfalls in SE-NW-Richtung verlaufende Detailschnitt B-B' (Anlage 5.5) erfasst die Innerste auf deren Südseite und damit den nach Norden bis Nordwesten verlaufenden Grundwasserabstrom der Althalde.

Während im SE wiederum die niederohmigen tonigen Sedimente der GWM16 den Beginn des Schnittes darstellen, zeigen sich an der GWM6 sehr deutlich die Einflüsse der erhöhten Mineralisation im Grundwasser auf die TEM-Signale. In der GWM6-mitte werden mit 92,3 mS/cm (Filter unten) die höchsten Wasserleitfähigkeiten gemessen, GWM6-tief zeigt 61,6 mS/cm, wobei die GWM nur den oberen Teil des altpleistozänen Grundwasserleiters erschließt. Die hier sehr niedrigen spezifischen Widerstände ($< 2 \Omega\text{m}$) lassen Schlussfolgerungen zum hier befindlichen Hauptabstrombereich aus der Althalde zu. Sowohl die TEM-Daten als auch die Grundwassermessungen zeigen, dass die Mineralisation dichtebedingt in den tieferen Schichten der Mittelterrasse und im Altpleistozän abströmt und der oberflächennahe Bereich unbeeinflusst bleibt.

Weiter in nordwestliche Richtung setzt sich die erhöhte Grundwassermineralisation fort. Diese erscheint in Anbetracht der Grundwasserströmungsrichtung plausibel. Die gegenüber der GWM6-mitte

etwas geringeren Wasserleitfähigkeiten an der GWM7-tief (bis 28 mS/cm) und der GWM11-tief (bis 21,5 mS/cm) zeigen sich auch im TEM in etwas höheren spezifischen Widerständen (alle drei GWM im GWL der Mittelterrasse). Der Vergleich der spezifischen Widerstände im Bereich der GWM7-tief und GWM11-tief weisen jedoch auch darauf hin, dass eine direkte Korrelation zwischen Mineralisation / Wasserleitfähigkeit und spezifischen Widerständen der TEM nicht möglich ist. In die TEM-Daten spielen auch Porenvolumen und Mächtigkeit der höher mineralisierten Schicht sowie die Gesteinsinformationen hinein, so dass bei gleicher Wasserleitfähigkeit auch unterschiedliche spezifische Widerstände resultieren können.

6.3.7 TEM-Detailschnitt C-C'

Der Detailschnitt C-C' (Anlage 5.6) verläuft in NE-SW-Richtung zwischen Innerste (Brücke Kläranlage) und dem Bereich Entenfang (nordwestlich der geplanten Rückstandshalde). Er schneidet den Nordrand der Althalde und das nördliche Werksgelände SG und liegt etwa senkrecht zur Grundwasserströmung.

Auch dieser Schnitt beginnt im NE an der GWM16-tief, die die tonigen mesozoischen Schichten (Keuper) mit sehr niedrigen spezifischen Widerständen zeigt.

Mit der GWM 14 wird der Grundwasserabstrom am unmittelbaren Nordrand der Althalde erfasst. In der besonders stark beeinflussten GWM14-flach zeigt sich das Phänomen, dass sehr hoch mineralisierte Wässer (Leitfähigkeit 154 mS/cm) in den TEM-Signalen nicht mit extrem niedrigen spezifischen Widerständen detektiert werden, da die wassererfüllte Mächtigkeit sehr gering ist (ca. 1 m). Die Widerstände um 3 Ω m können aber auch hier als Hinweis auf eine Beeinflussung durch mineralisierte Wässer gedeutet werden, da im Umfeld höhere Widerstände vorliegen (> 7 Ω m). Die TEM-Daten östlich der GWM liefern zudem Hinweise, dass die Abstromfahne von der Althalde sich nicht räumlich weiter nach Osten reicht.

Unterhalb des angeschnittenen Nordrandes der Althalde zeigen sich im Schnitt Interferenzen der spezifischen Widerstände, die einerseits durch die problematische Inversion an starken Reliefkanten und andererseits durch die Interpolationseffekte der Ergebnisdaten verursacht werden (siehe auch TEM-Regionalschnitt A-A' in Anlage 3.2, der ebenfalls auf dieser Linie verläuft. Im Haldenkörper selbst deuten sich hohen Widerstände an, die auf ein kompaktes Salzgestein hinweisen, unterhalb der Halde ist keine klare Aussage möglich. Ob Haldensickerwässer so weit in den Untergrund hineinreichen, wie im Schnitt angedeutet, ist nicht belegt, da es sich um Inversions- und Interpolationseffekte handeln könnte.

Unmittelbar nordwestlich der Althalde besteht ein Bereich sehr niedriger spezifischer Widerstände (< 2 Ω m), der nach den TEM-Daten bis in ca. 20 m Tiefe reicht. In Verbindung mit den geologischen Aufschlussdaten kann dieses als Beginn der quartären bzw. tertiären Rinne gedeutet werden. Während am Haldennordrand (GWM14) nur geringmächtige grundwasserleitende Horizonte vorhanden sind, steigen deren Mächtigkeiten nach Nordwesten deutlich und ermöglichen damit dem Haldensickerwasser der Althalde dichtebedingt das Absinken und das Abströmen nach Norden / Nordwesten (siehe Detailschnitt B-B').

Die westlich nächstgelegene GWM5 erfasst randlich den Hauptabstrom der Althalde. Die höheren Leitfähigkeiten in der oberflächennahen GWM5-flach (Wasserleitfähigkeiten bis 10 mS/cm) gegenüber der tieferen GWM5-tief (Wasserleitfähigkeiten um 4 mS/cm) deuten auf einen oberflächennahen Eintrag mineralisierter Wässer und das Vorhandensein einer grundwasserhemmenden Zwischenschicht hin.

Westlich davon wurden im unteren Bereich des GWL der Mittelterrasse (GWM 13-tief) mit 39 mS/cm sehr hohe Leitfähigkeiten gemessen, die sich unabhängig vom Grundwasserabstrom der Althalde darstellen und die eine geogene Signatur aufweisen (siehe Unterlage I-9). Die TEM-Ergebnisse zeigen hier und in tieferen Bereichen niedrige spezifische Widerstände ($< 4 \Omega\text{m}$), die sich vom Umfeld leicht abheben und keine direkte Verbindung zum Abstrom der Althalde oder des Werksgeländes zeigen. Insofern wird die geogene Zuordnung gestützt. Der westliche Teilbereich des Schnittes ist unauffällig mit spezifischen Widerständen $> 10 \Omega\text{m}$. Die Wasserleitfähigkeiten sind vorwiegend gering (zwischen 0,9 und 1,3 mS/cm / GWM 4, GWM 15). Eine Ausnahme bildet die GWM15-tief, an der eine leicht erhöhte Leitfähigkeit bis 2,7 mS/cm festgestellt wurde. Dieses wird auf einen leichten geogenen Mineralisationseinfluss zurückgeführt, bezogen auf die TEM-Daten ist diese Mineralisationsniveau noch im unauffälligen Bereich.

6.3.8 TEM-Detailschnitt D-D'

Der Detailschnitt D-D' (Anlage 5.7) verläuft in West-Ost-Richtung entlang des Südrandes der geplanten Rückstandshalde.

Die TEM-Daten sind in diesem Bereich unauffällig. Die spezifischen Widerstände liegen durchgängig $> 10 \Omega\text{m}$ unabhängig von der geologischen Zuordnung.

Die Wasserleitfähigkeit der GWM9 liegt unauffällig um 1 mS/cm.

6.3.9 TEM-Detailschnitt E-E'

Mit dem Detailschnitt E-E' (Anlage 5.8) wird der Standort der geplanten Rückstandshalde von West nach Ost zentral durchzogen.

Auch hier liegen hinsichtlich der TEM-Signale nahezu identische Verhältnisse wie im Schnitt D-D' vor. Petrografische Grenzen bilden sich auch in diesem Schnitt bei durchgängigen spezifischen Widerständen $> 10 \Omega\text{m}$ nicht ab.

Die diesem Schnitt repräsentierenden GWM 1, 2 und 24 zeigen geringe Leitfähigkeiten um 1 mS/cm (0,5 bis 1,5 mS/cm), bei leicht erhöhter geogener Mineralisation an GWM1-tief (2,2 mS/cm). Damit sind keine Effekte auf die TEM-Signale verbunden.

7 Zusammenfassende Darstellung

Auf der Grundlage der Daten aus den aerogeophysikalischen Messungen (SkyTEM) aus der Befliegung im Jahr 2012 wurde unter Nutzung der verfügbaren geologischen Informationen sowie der Daten zur Grundwasserbeschaffenheit eine Interpretation einerseits hinsichtlich der geologischen Strukturen und andererseits hinsichtlich der Verbreitung höher mineralisierter Wässer im Untergrund des Untersuchungsraums ausgeführt.

SkyTEM ist ein hubschraubergestütztes Verfahren, welches auf der Basis der elektromagnetischen Induktion arbeitet. Aus den erhaltenden Messwerten wird entlang einer messpunktbezogenen Tiefenachse die Verteilung eines scheinbaren spezifischen Widerstands berechnet (Inversionrechnung).

Im Ergebnis liegt eine räumliche Verteilung der spezifischen Widerstände für das Projektgebiet vor, wobei im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung aufgrund der komplexen geologischen Strukturen auf die Datensätze aus dem 25-Schichten-Inversionsmodell der Fa. Aarhus Geophysics zurückgegriffen wurde.

Als Hilfsmittel zur Interpretation der TEM-Daten wurde der Datensatz in ein 3D-Modell interpoliert. Im Projektgebiet wurde eine starke Häufung niedriger spezifischer Widerstände festgestellt, ca. 70 % aller Werte liegen im Bereich zwischen 0,5 und 10 Ωm . Um eine bessere grafische Detaillierung zu erreichen, wurde daher eine standortspezifische Farblegende entwickelt, mit der der für die Interpretation besonders relevante Wertebereich farblich gespreizt wurde.

Hinsichtlich der Interpretation der TEM-Daten ist zu beachten, dass die abgebildeten spezifischen Widerstände einer Mehrdeutigkeit unterliegen, da die elektromagnetischen Signale sowohl vom Widerstand des Gesteins als auch vom Widerstand des darin befindlichen mehr oder weniger mineralisierten Porenfluids abhängig sind. So weisen trockene Gesteine generell geringere spezifische Widerstände als wassergesättigte auf. Mit steigender Mineralisation der Porenwässer sinkt der Widerstandswert. Infolge dessen ist durch die Absolutwerte der spezifischen Widerstände keine direkte Identifikation von lithologischen Einheiten aus den TEM-Daten möglich.

Für die geologische Auswertung der TEM-Daten wurden die Schichtdaten der verfügbaren Bohraufschlüsse sowie Informationen aus geologischen Kartenwerken herangezogen und im 3D-Modell verschnitten. Generell war festzustellen, dass die Verwendbarkeit der TEM-Daten zur geologischen Interpretation von Schichtgrenzen von messbaren Kontrasten im spezifischen Widerstand und der vertikalen Auflösung der Messergebnisse abhängig ist. Anhand der relativen Unterschiede der spezifischen Widerstände konnte z. B. der hochohmige Salzstock in Bezug zu den verschiedenen umliegenden niederohmigen mesozoischen Tonsteinen relativ gut abgegrenzt werden. Das den Salzstock überlagernde Hutgestein zeigt sich demgegenüber nicht deutlich mit einheitlichen Widerstandswerten und lässt sich zum umgebenden Gestein nur teilweise abgrenzen. Innerhalb der mesozoischen Einheiten treten die Ablagerungen des Keupers und der Kreide (Tone und Tonmergel) durch sehr geringe spezifische Widerstände hervor, während die Schichten des Buntsandsteins (Sand- und Tonsteine) sowie des Muschelkalks (Kalksteine) durch höhere spezifische Widerstände gekennzeichnet sind.

Folglich lässt sich ein derartiger Widerstandskontrast als deutlicher petrografischer Wechsel einem Tiefenbereich zuordnen. Eine lage- und tiefengenaue Abgrenzung ist jedoch verfahrensbedingt nicht möglich, da einerseits die vertikale Auflösung der Daten hierzu nicht ausreicht und andererseits der Prozess der Dateninversion keine scharfen Grenzen erzeugt. So deuten sich die Untergrenzen der quartären bzw. tertiären Einheiten in den TEM-Daten an, da zumeist Kontraste zu den unterlagernden Einheiten bestehen. Entsprechend der eingeschränkten vertikalen Auflösbarkeit der SkyTEM-Signale ist das Verfahren jedoch nicht geeignet, Schichtgrenzen innerhalb des Quartärs (z. B. zwischen Geschiebemergel und sandig-kiesigen Sedimenten) zu identifizieren.

Im Weiteren bestand die Aufgabe, die TEM-Daten dahingehend zu prüfen, in wie weit eine Interpretation hinsichtlich des Vorhandenseins und der Ausdehnung höher mineralisierter Wässer im Untergrund möglich ist. Grundsätzlich stellt die TEM aufgrund der erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten des Porenfluids ein geeignetes Verfahren dar, höher mineralisierte Wässer im Untergrund zu detektieren. Eingeschränkt wird diese Möglichkeit insbesondere dadurch, dass tonige Sedimente ein ähnliches Widerstandssignal ergeben.

Folglich ist allein aus den TEM-Daten keine eindeutige Identifikation höher mineralisierter Wässer möglich. Die Interpretation muss daher über ergänzende geologische Informationen (Schichtdaten) und hydrogeologische Daten (Grundwassermessstellen mit Wasseranalytik) abgeglichen werden.

Projektbezogen wird die Eignung des SkyTEM-Verfahrens mit der Detektion höher mineralisierter Wässer im Umfeld der Althalde des ehem. Kaliwerks Siegfried-Giesen bestätigt. Nördlich der Althalde zeigt sich ein Bereich sehr niedriger spezifischer Widerstände, der auf hochmineralisiertes Grundwasser zurückgeführt werden kann. Dies ergibt sich aus den Ergebnissen der in den GWM gemessenen Leitfähigkeiten.

Die ermittelten Daten zeigen aber auch, dass mineralisierte Wässer sich bei geringer wassererfüllter Mächtigkeit nur schwer feststellen lassen. Zudem kann aus den spezifischen Widerständen nicht direkt auf den Mineralisationsgrad des Wassers geschlossen werden.

Die Lokalisierung des Abstroms des höher mineralisierten Wassers der Althalde wurde vor allem ermöglicht, da sich ein abgrenzbarer niederohmiger Bereich in höherohmigem Umfeld dargestellt hat. Im weiteren Umfeld liefern die Keuper- und Kreidetone TEM-Signale, die ebenso niederohmig wie die hoch mineralisierten Wässer sind. Unmittelbar aneinander angrenzend wären die mineralisierten Wässer nicht von den tonigen Sedimenten unterscheidbar gewesen.

Aus diesem Grund könnten ohne konkrete Aufschlüsse und Nachweise in GWM keine geogen höher mineralisierten Wässer aus den TEM-Daten abgeleitet werden.

Im Fazit lässt sich somit aussagen, dass das Verfahren der Sky-TEM ein geeignetes Verfahren zum überblicksartigen Nachweis höher mineralisierter Wässer und zur orientierenden Erkundung großräumiger geologischer Strukturen ist. Eine sichere Interpretation der TEM-Signale ist jedoch nur unter Einbeziehung zusätzlicher geologischer und hydrogeologischer Informationen möglich.

8 Literaturverzeichnis

- Aarhus Geophysics. (14. 12 2012). Verarbeitung und Inversion von SkyTEM-Daten. *Bericht und Daten von Aarhus Geophysics*. Im Auftrag der K+S KALI GmbH, Kassel.
- BGR. (2014). *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*. Abgerufen am 08. 04 2014 von <http://www.bgr.bund.de>
- GK25 LBEG. (2012). Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. *Digitale geologische Karte von Niedersachsen, 1:25.000, Detailkartierung, Blätter 3725 – Sarstedt, 3825 – Hildesheim*.
- LBEG. (2014). *NIBIS-Datenserver / WMS-Dienst*. Abgerufen am 28. 03 2014 von Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie: <http://nibis.lbeg.de>
- Lepper, J. (1984). Erläuterungen zu Blatt Nr. 3725 Sarstedt. *Geologische Karte von Niedersachsen 1:25.000*. Hannover: NLFb.
- LG NL. (2012a). Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen. *Digitale Topografische Karten 1:25.000; Blätter 3724 - Pattensen, 3725 – Sarstedt, 3824 – Elze, 3825 - Hildesheim*.
- LG NL. (2012b). Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen. *Digitales Geländemodell 1:10.000, Blätter 35565784, 35565786, 35565788, 35585784, 35585786, 35585788, 35605784, 35605786, 35605788, 35625786, 35625788, 35645786, 35645788, 35665786*.
- LIAG. (2014). Abgerufen am 30. 04 2014 von Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik: <http://www.liag-hannover.de/home.html>
- Mallet, J.-L. (2002). *Geomodelling*. Oxford University Press.
- Paradigm Geophysicals. (2013). *GOCAD (Geologische Modellierungssoftware)*.