



Bundesamt für Strahlenschutz

Deckblatt

GZ: QM - 9A 55110000 / SE 4.3.1

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	B2623658 00 U	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 23.11.2016
9A	55110000	GHB	RZ	0080	00		

Titel der Unterlage:
ERGEBNISBERICHT - BOHRLOCHMESSUNGEN DER ERKUNDUNGSBOHRUNG B 7/750-B1 AUF DER 750-M-SOHL E IN RICHTUNG EINLAGERUNGSKAMMER 7/750 - RICHTUNGSSENSITIVES 3D-BOHRLOCHRADAR

Ersteller:
DMT GMBH & CO. KG

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:	Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:	Freigabe PL:	Freigabe zur Anwendung:
--	--	--------------	-------------------------

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BFS.



Bundesamt für Strahlenschutz

Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B2623658 00 U	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 23.11.2016
9A	55110000	GHB	RZ	0080	00		

Titel der Unterlage:

ERGEBNISBERICHT - BOHRLOCHMESSUNGEN DER ERKUNDUNGSBOHRUNG B 7/750-B1 AUF DER 750-M-SOHL E IN RICHTUNG EINLAGERUNGSKAMMER 7/750 - RICHTUNGSSENSITIVES 3D-BOHRLOCHRADAR

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer	Rev. Seite	Kat.*	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
Kategorie S = substantielle Änderung
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



PT055417



Stand: 23.11.2016

Blatt: 1

DECKBLATT

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00

Kurztitel der Unterlage:

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung
B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Ersteller / Unterschrift:

DMT GmbH & Co. KG

Prüfer / Unterschrift:

Titel der Unterlage:

Ergebnisbericht

**Bohrlochradarmessungen
der Erkundungsbohrung B 7/750-B1
auf der 750-m-Sohle in Richtung
Einlagerungskammer 7/750**

Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Freigabevermerk:

Freigabedurchlauf

Fachbereich:
Technische Planung

Stabsstelle Qualitätsmanagement:

Endfreigabe:
Geschäftsführung Asse-GmbH



Unterschrift



Unterschrift



Unterschrift

REVISIONSBLATT

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00

Kurztitel der Unterlage:

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung
B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	23.11.2016	T-PF		-	Ersterstellung

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur, Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung, Kategorie S = substantielle Änderung. Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 3
---	----------

Inhaltsverzeichnis

Blatt

Deckblatt.....	1
Revisionsblatt.....	2a
Inhaltsverzeichnis	3
Freigabeblatt	6
1 Einleitung	7
2 Begriffe und Abkürzungen.....	7
2.1 Begriffe.....	7
2.2 Abkürzungen	8
3 3D-Bohrlochradarmessungen	8
3.1 Messprinzip	8
3.2 Informationen zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1	9
3.3 Durchführung der Messungen.....	9
3.3.1 Messaufbau.....	9
3.3.2 Messablauf.....	9
3.4 Qualitätskontrolle.....	10
4 Bearbeitung und Auswertung der Messdaten	10
4.1 Bearbeitung der Messdaten	10
4.2 Auswertung der Messdaten.....	11
4.3 Winkelgenauigkeit	11
4.4 Lagerrichtige Darstellung (Migration)	12
4.5 Abschätzung zum Toleranzbereich der Messwerte	12
5 Ergebnisse	13
5.1 Ergebnis-Übersicht.....	13
5.2 2D-Darstellung der Ergebnisse	16
5.2.1 2D-Darstellung in richtungskodierten Profilschnitten.....	16
5.2.2 Ergebnisse aus den richtungskodierten Profilschnitten.....	16
5.2.3 Winkeldarstellung mit Hilfe von Polardiagrammen	18
5.2.4 Detaillierte 2D-Darstellung der Reflektoren	20
5.3 3D-Visualisierung der Ergebnisse	28
5.3.1 3D-Ansicht aus dem Bereich des Abbaus 8/725.....	29
5.3.2 3D-Ansicht von Reflexionen aus der südlichen Richtstrecke	29
5.3.3 3D-Ansicht von Reflexionen aus der Firste der Einlagerungskammer 7/750	30
5.3.4 3D-Ansicht von Reflexionen aus der Schwebelinie zwischen Einlagerungskammer 7/750 und Abbau 8/725	30
5.4 Interpretation und Abgleich mit den Messergebnissen der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2	33
5.4.1 Abgleich mit dem Horizontalschnitt der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2.....	33
5.4.2 Abgleich mit den Messergebnissen der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2	34
5.4.3 Zusammenfassung der Interpretation	35
6 Zusammenfassung der Ergebnisse	37
7 Mitgelieferte Dokumente	37
8 Literaturverzeichnis	37
Verzeichnis der Anhänge	
Anhang 1: Drehmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1	38
Anhang 2: Informationen zum richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar	43
Tabellenverzeichnis	
Tabelle 1: Messdurchführung Drehmessungen B 7/750-B1	38
Tabelle 2: Ergebnisse der Drehmessungen DRA bis DRE (zentriert).....	39
Tabelle 3: Ergebnisse der Drehmessungen DRF (zentriert) und DRW (ohne Zentrierung)	42
Tabelle 4: Technische Parameter der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde 85.....	45

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 4
---	----------

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aus 3D-Bohrlochradar-Messdaten ermittelte Einfallswinkel (rot, rechte Achse) für eine Beispielreflexion (schwarz, linke Achse).....	11
Abbildung 2: Bestimmung des lateralen Lagefehlers infolge einer Winkelunsicherheit von 10°	13
Abbildung 3: Übersicht der ausgewerteten Reflektoren aus der 3D-Bohrlochradarmessung in Erkundungsbohrung B 7/750-B1. Hinterlegt ist ein lagegetreues, migriertes Dipol-Radargramm	14
Abbildung 4: Richtungskodiertes Radargramm.....	15
Abbildung 5: Richtung der Reflektoren in Abhängigkeit von der Entfernung (bis 30,00 m)	19
Abbildung 6: Richtung der Reflektoren in Abhängigkeit von der Entfernung (Nahbereich bis 5,00 m)	19
Abbildung 7: 2D-Darstellung der Reflektoren aus dem Hangenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1	21
Abbildung 8: 2D-Darstellung der Reflektoren aus dem Hangenden links von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1	22
Abbildung 9: 2D-Darstellung der Reflektoren von links ausgehend vom Bohrlochmund der Erkundungsbohrung B 7/750-B1	23
Abbildung 10: 2D-Darstellung der Reflektoren aus dem Liegenden links von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1	24
Abbildung 11: 2D-Darstellung der Reflektoren aus dem Liegenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1	25
Abbildung 12: 2D-Darstellung der Reflektoren aus dem Liegenden rechts von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1	26
Abbildung 13: 2D-Darstellung der Strukturen rechts von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1	27
Abbildung 14: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Bereich des Abbaus 8/725.....	28
Abbildung 15: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Bereich der südlichen Richtstrecke nach Osten.....	29
Abbildung 16: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Firstbereich der Einlagerungskammer 7/750	30
Abbildung 17: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Bereich der Schwebel.....	31
Abbildung 18: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Bereich der Schwebel – Seitenansicht	32
Abbildung 19: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Bereich der Schwebel – Aufsicht.....	32
Abbildung 20: 2D-Darstellung der Strukturen rechts der Erkundungsbohrungen B 7/750-B1.2 und B 7/750-B1	33
Abbildung 21: Ergebnisse der Drehmessung DRA bei 12,75 m (zentriert)	39
Abbildung 22: Ergebnisse der Drehmessung DRB bei 51,75 m (zentriert)	40
Abbildung 23: Ergebnisse der Drehmessung DRC bei 42,75 m (zentriert).....	40
Abbildung 24: Ergebnisse der Drehmessung DRE bei 32,25 m (zentriert)	41
Abbildung 25: Ergebnisse der Drehmessungen DRF (mit Zentrierung) und DRW (ohne Zentrierung) bei 21,75 m, Winkelbereich 180° bis 270°	41
Abbildung 26: Ergebnisse der Drehmessungen DRF (mit Zentrierung) und DRW (ohne Zentrierung) bei 21,75 m, Winkelbereich 0° bis 90°	42
Abbildung 27: Abstrahl- / Empfangscharakteristik einer Antenne (Antennenachse vertikal).....	44
Abbildung 28: Zusammengebaute richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde 85	45
Abbildung 29: Prinzipskizze einer Bohrlochradarmessung	46
Anzahl der Blätter dieses Dokumentes	47

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1: 2D-Darstellung der ausgewerteten Reflektoren im Radargramm (migriert)	1 Seite
Asse-KZL: 9A/55110000/GEO/HF/TC/019/00	
Anlage 2: 2D-Darstellung des richtungskodierten Radargramms (unmigriert)	1 Seite
Asse-KZL: 9A/55110000/GEO/HF/TC/020/00	
Anlage 3: Ebener Schnitt durch das Grubengebäude mit den Radargrammen aus Messungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 (vertikale Richtungen).....	1 Seite
Asse-KZL: 9A/55110000/GEO/HF/TC/021/00	

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	
Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar							Blatt: 5

- Anlage 4: Ebener Schnitt durch das Grubengebäude mit den Radargrammen aus Messungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 (horizontale Richtungen) ... 1 Seite
 Asse-KZL: 9A/55110000/GEO/HF/TC/022/00
- Anlage 5: Ebener Schnitt durch das Grubengebäude mit den Radargrammen aus Messungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 (horizontale Richtungen) 1 Seite
 Asse-KZL: 9A/55110000/GEO/HF/TC/023/00

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	
Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar							Blatt: 6



DMT GmbH & Co. KG
 Geo Engineering & Exploration
 Am Technologiepark 1, 45307 Essen
 Tel. +49 201 172-1979
 Fax +49 201 172-1971
 www.dmt-group.com

Bearbeiter / Ersteller:

eigenhändige Unterschrift

Essen, 23.11.2016

Freigabe:

eigenhändige Unterschrift

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 7
---	----------

1 Einleitung

Im Rahmen der Faktenerhebung in der Schachanlage Asse II wurden von der Firma DMT GmbH & Co. KG (im Weiteren DMT genannt) geophysikalische Untersuchungen mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar durchgeführt. Die Messungen erfolgten aus der horizontalen Erkundungsbohrung B 7/750-B1.

Ziel der Messungen mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar war die Lokalisierung der Firste der Einlagerungskammer 7/750 sowie die Erkundung des Zustands der Schweben zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725. Zudem sollten Aussagen über mögliche Reflexionen aus dem Inneren der Einlagerungskammer 7/750 getroffen werden. In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Bohrlochradarerkundung zusammenfassend vorgestellt.

2 Begriffe und Abkürzungen

2.1 Begriffe

Amplitude	Ist der Maximalwert einer sich periodisch ändernden physikalischen Größe (einer Schwingung) während einer Periode – hier die sich ändernde Größe des elektrischen beziehungsweise magnetischen Feldes der von der Radarsonde ausgesandten elektromagnetischen Wellen.
Ansatzpunkt / Bohrlochmund	Ausgangspunkt der Bohrung.
Auflockerungszone	Zone, in der das Gebirge in seinem Korn- und Flächengefüge gestört wird.
Bohrstrang	Gesamtes Bohrgestänge mit Adaptern und Bohrkronen.
Diffraktion	Die Diffraktion oder Beugung ist die Ablenkung von Wellen an einem Hindernis – hier die Beugung der von der Radarsonde ausgesandten elektromagnetischen Signale an Objekten und Veränderungen im Salzgestein.
Einhausung	Zeltbau, in der unter anderem die Bohrmaschine aufgestellt ist.
Einlagerungskammer (ELK)	Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum in dem radioaktive Abfälle eingelagert sind.
Firste	Ist ein Begriff aus dem Bergbau, er bezeichnet beim Untertagebau die obere Begrenzungsfläche eines söhligem oder geneigten Grubenbaus, im Allgemeinen also dessen „Decke“.
Flansch	Ist ein Ansatz zur Verbindung, Kupplung, Abdichtung oder zum Verschließen.
Grundriss	Eine zweidimensionale Abbildung einer räumlichen Gegebenheit, die als Draufsicht projiziert ist.
Kluft	Ist ein durch mechanische/tektonische Beanspruchung oder diagenetische Vorgänge entstandener Riss oder Spalte in einem Gesteinskörper.
Migration	Ist ein spezieller Datenbearbeitungsschritt, um die bei der Messung aufgezeichneten Reflexionen in lagerichtig dargestellte Reflektoren zu transferieren.
Nanosekunde (ns)	Eine Nanosekunde entspricht einer milliardstel Sekunde.
Preventer	Abdichtungsvorrichtung am Bohrloch.
Radargramm	Ein Radargramm ist eine optische Darstellung der mit der Radarsonde aufgezeichneten Messdaten. Durch die Aneinanderreihung einzelner, direkt hintereinander gemessener Datenspur entsteht quasi ein „Abbild“ des Untergrundes.
Reflektor	Bezeichnet hier eine Struktur oder ein Objekt, an welchem die Radarsignale reflektiert und von der Empfangsantenne wieder aufgezeichnet werden. Reflektoren werden im Rahmen der

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 8
--	-----------------

Reflexion	<p>Bearbeitung der Messdaten durch Migration aus den aufgezeichneten Reflexionen gewonnen. Im Gegensatz zur Reflexion wird ein Reflektor lagerichtig bezüglich des Messsystems dargestellt (Kapitel 4.4).</p> <p>Bezeichnet hier ein von der Empfangsantenne der Radarsonde aufgezeichnetes Signal, welches an Strukturen oder Objekten im umliegenden Salzgestein reflektiert wurde. Reflexionen werden bedingt durch die laufzeitabhängige Registrierung der Signale im Allgemeinen nicht lagerichtig bezüglich des Messsystems dargestellt (Kapitel 4.4).</p>
Schnitt	<p>Eine Schnittzeichnung, Schnittdarstellung oder auch kurz ein Schnitt ist eine Darstellungsform in Zeichnungen. Je nach Schnittebene bezeichnet man die Zeichnungen als Längsschnitt oder Querschnitt bzw. Horizontalschnitt oder Vertikalschnitt.</p>
Sohle	<p>Die Sohle eines Bergwerkes stellt im übertragenen Sinne einzelne Stockwerke dar, mit denen das Gebirge unterteilt wird. Im vorliegenden Fall der vertikale Abstand eines Niveaus zur Geländeoberkante/Rasenhängebank.</p>
Sonde	<p>Bezeichnet allgemein ein Gerät oder eine Vorrichtung, mit dessen Hilfe es möglich ist, Zugriff auf entfernte oder schwer zugängliche Stellen zu erhalten. An der entfernten Stelle soll zumeist mit Instrumenten oder Messsystemen etwas untersucht werden oder es soll Material dorthin transportiert oder von dort entnommen werden.</p>
Standrohr	<p>Vorrichtung zur druckfesten Verbindung zwischen Preventer und Gebirge.</p>
Stoß	<p>Der Stoß ist im Bergbau die seitliche Begrenzungsfläche eines Grubenbaues.</p>
Teufe, Bohr-, End-, Bohrloch-	<p>Ist die bergmännische Bezeichnung für die Tiefe. Die Teufe gibt an, wie tief ein Punkt unter Tage unter einem definierten Referenzpunkt auf der Oberfläche liegt. Im vorliegenden Fall bezeichnet die Teufe den Abstand vom Bohrlochmund zu einem variablen Punkt.</p>
Versatzmaterial	<p>Material, mit dem die Hohlräume eines Bergwerks zur Stabilisierung verfüllt werden.</p>

2.2 Abkürzungen

Abbau 8/725	Abbau 8 auf der 725-m-Sohle
B 7/750-B1	Erkundungsbohrung B 7/750-B1 in Richtung ELK 7/750
B 7/750-B1.2	Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 in Richtung ELK 7/750
ELK 7/750	Einlagerungskammer 7 auf der 750-m-Sohle
ns	Nanosekunde

3 3D-Bohrlochradarmessungen

3.1 Messprinzip

Das Georadar ist ein zerstörungsfreies Messverfahren zur Erkundung des Untergrundes mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen. Über Sendeantennen werden dabei zunächst die elektromagnetischen Wellensignale in den Untergrund abgestrahlt. Diejenigen Radarsignale, die an Materialänderungen, Inhomogenitäten oder Unstetigkeiten im Untergrund reflektiert und zum Messsystem zurück gestrahlt werden, werden mittels Empfangsantennen aufgenommen und zur weiteren Auswertung digital registriert und gespeichert. Eine detaillierte Beschreibung des Radarverfahrens sowie eine Dokumentation der im Rahmen dieser Untersuchung eingesetzten,

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



ASSE
GMBH
Verantwortlich Handeln

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 9
---	----------

richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde von der Firma DMT sind dem Anhang 2 zu entnehmen.

3.2 Informationen zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1

Der Bohransatzpunkt der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befand sich auf der 750-m-Sohle vor der Einlagerungskammer 7/750. Die Erkundungsbohrung B 7/750-B1 wurde vor der Einlagerungskammer 7/750 ansteigend in die Schwebelücke zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725 gestoßen und erreichte eine Endteufe von 58,00 m. Der nominale Durchmesser der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 betrug mindestens 98,40 mm. Bedingt durch den Vortriebsmechanismus ergaben sich an manchen Stellen entlang der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 auch Bereiche mit größerem Bohrdurchmesser. Der Steigungswinkel der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 betrug etwa 6°.

Aus sicherheitstechnischen Gründen erfolgten die Erkundungsmessungen über einen Preventerstack, der der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 über ein in der Bohrung eingebrachtes Standrohr und einen Flansch vorangesetzt war. Der Arbeitsbereich für die Erkundungsmessungen mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar lag innerhalb eines abgetrennten Einhausungsbereichs.

3.3 Durchführung der Messungen

Die Messausrüstung der DMT wurde am 03.02.2015 an der Schachanlage Asse II angeliefert, anschließend erfolgten eine Eingangsmessung und der Transport nach Untertage. Die Durchführung der Messungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 erfolgte am 04. und 05.02.2015. Nach Abschluss der Messungen wurde die Messausrüstung am 06.02.2015 für den Transport nach Übertage vorbereitet und nach der erfolgten Freimessung zur Abholung freigegeben.

3.3.1 Messaufbau

Für die Erkundung wurde das Modell 85 der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde mit einer Mittenfrequenz von 250 MHz eingesetzt. Die einzelnen Teilelemente der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde wurden im Einhausungsbereich zusammengesetzt und durch den offenen Preventerstack in die Bohrung eingeführt. Über einen Adapter wurde die richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde mit dem auf der Schachanlage Asse II vorhandenem Bohrgestänge verbunden. Dies ermöglichte zum einen das entfernungsgenaue Verfahren der Sonde in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1. Zum anderen konnten die Messungen bei geschlossenem Preventerstack durchgeführt werden, was den sicherheitstechnischen Anforderungen für Arbeiten in Bereichen mit radioaktiven und chemischen Gefahrenstoffen genügte.

Als räumlicher Bezugspunkt für Entfernungsangaben, also dem „Nullpunkt aller Teufenangaben“, wurde im Rahmen dieser Messung das Standrohr der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 festgelegt, welches 0,20 m aus dem Stoß herausragte. Die Erkundungsbohrung B 7/750-B1 wurde bis zur Endteufe von 58,00 m mit der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde befahren.

Um ein Aufliegen der Sonde in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 und damit eine richtungsabhängige Ankopplung der Antennen an das umliegende Salzgestein zu vermeiden, wurden sowohl am Gestänge als auch an Teilen der Antennen Abstandhalter montiert, welche die Sonde in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zentrierten.

3.3.2 Messablauf

Der Bezugspunkt der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde befand sich mittig zwischen der Sende- und Empfangsantenne, was bei dem 250 MHz-System einem Abstand von 1,75 m von der Sondenspitze entsprach. Die Grenzen des Messprofils wurden durch die Lage des Standrohrs und durch das Ende der Bohrung festgelegt. Messdaten konnten folglich in einem Teufenbereich von 3,50 m bis 56,25 m aufgezeichnet werden. Es wurde ein Messpunktabstand von 5,00 cm

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	
Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar							Blatt: 10

(= 0,05 m) gewählt, um eine hohe Datenüberdeckung entlang der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 und folglich ein möglichst hohes laterales Auflösungsvermögen erzielen zu können.

Zur Optimierung des Signal-Rausch-Verhältnisses wurden die Messsignale an jedem Messpunkt bis zu 4.000-mal gestapelt. Durch dieses Aufsummieren der Amplituden der einzelnen Messungen wurden die Nutzsignale gegenüber zeitlich variierenden Störsignalen hervorgehoben. Darüber hinaus wurden die registrierten Signale mit einem Faktor von bis zu 36 dB verstärkt, um dem entfernungsbedingten Abklingen der Amplituden entgegenzuwirken. Eine hohe Datenqualität und ein geringer Anteil an Störsignalen ermöglichte eine hohe Genauigkeit bei der späteren Berechnung der Einfallswinkel der Reflexionen.

Mit einem in der Sonde integrierten Lagesensor wurde zudem der Rollwinkel der Sonde an jedem Messpunkt aufgezeichnet, um daraus im nachfolgenden Datenbearbeitungsprozess die Einfallsrichtung der in den Messdaten registrierten Reflexionen genau bestimmen zu können.

3.4 Qualitätskontrolle

Bereits während der Messung wurden die Messdaten einer umfassenden Qualitätskontrolle unterzogen. Beispielsweise wurden regelmäßig die Rollwinkel der Sonde kontrolliert, da sie für eine räumliche Lagebestimmung der Reflektoren benötigt werden. Die Teufenposition der Sonde wurde mit dem Teufenzähler der Bohrmaschine dokumentiert.

Zur Qualitätsüberprüfung erfolgte zudem eine fortlaufende visuelle Sichtung der Messdaten. Bei Bedarf wurde eine Änderung der Verstärkungseinstellungen vorgenommen, um eine möglichst hohe Datenqualität zu erzielen. Die Messdaten wurden in regelmäßigen Abständen auf einem Speichermedium gesichert.

Zusätzlich zur eigentlichen Profilmessung wurden an mehreren Stationen Drehmessungen zur Kontrolle der Winkelgenauigkeit durchgeführt. Um den Einfluss unterschiedlicher Ankopplung der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde auf die Winkelgenauigkeit der Messdaten zu quantifizieren, wurden Drehmessungen sowohl mit als auch ohne Zentrierungsmechanismus an der Sonde durchgeführt. Eine detaillierte Auswertung der Drehmessungen findet sich im Anhang 1.

4 Bearbeitung und Auswertung der Messdaten

Nach Abschluss der Datenakquisition Untertage wurden die Messdaten der Bohrlochradarmessung am PC einer umfassenden Bearbeitung und Auswertung unterzogen. Es wurden dabei die Programme ReflexW (Sandmeier Scientific Software) und EMR (DMT) verwendet.

4.1 Bearbeitung der Messdaten

Die Datenspuren enthielten neben den registrierten Reflexionen wesentliche Informationen der Messungen, wie z. B. den Rollwinkel der Sonde. Die registrierten Einzelspuren wurden im Rahmen der Datenbearbeitung zunächst zu einem Messprofil entlang der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zusammengeführt, so dass für jede Komponente des Systems ein Datensatz vorlag.

Folgende Bearbeitungsschritte wurden durchgeführt:

- Nullpunktkorrektur
- Frequenzfilter
- Laufzeitkorrektur
- Verstärkungsfunktion

Aus der azimutalen Ausrichtung der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde an jedem Messpunkt, welche aus Informationen des Bohrlochverlaufs vorlag, und dem aufgezeichneten Rollwinkel der Sonde wurden die Rauminformationen berechnet.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 11
---	-----------

4.2 Auswertung der Messdaten

Nach der Bearbeitung der gemessenen Radardaten wurden die Datenspuren weiter ausgewertet. Die verschiedenen Signalamplituden der Einzelspuren wurden zunächst korreliert, das heißt in einen Zusammenhang mit benachbarten Spuren gebracht. Signalamplituden, die über mehrere Einzelspuren hinweg eine ähnliche Form aufwiesen, deuteten auf bestimmte Radarsignale (Reflexionen) hin, die an Objekten im Raum (Reflektoren) reflektiert wurden.

Im Rahmen der Datenbearbeitung wurde festgestellt, dass mit der 3D-Bohrlochradarmessung eine Vielzahl an Reflexionen detektiert und registriert werden konnte. Reflexionen wurden bis zum Aufzeichnungsende bei 1.500 ns, was in etwa 90,00 m Entfernung entspricht, registriert. Mit Fokus auf die Zielstellung dieser Erkundungsmaßnahme wurde die Interpretation von Reflexionen auf einen Bereich bis etwa 35,00 m Entfernung zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 begrenzt.

Die erkennbaren Reflexionen wurden digital mit einer Bearbeitungssoftware markiert („gepickt“) und Entfernung und Einfallswinkel bezüglich des jeweiligen Messpunktes gespeichert. An jedem einzelnen Messpunkt lag somit ein Wertepaar über die Entfernung der Reflexion zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 und dem Einfallswinkel vor.

4.3 Winkelgenauigkeit

Abbildung 1 zeigt beispielhaft an einer ausgewählten Reflexion, die parallel zur Bohrlochachse verläuft, die Bestimmung der Einfallswinkel. Der Abstandswert der Reflexion ist in schwarzer Farbe dargestellt (linke Ordinate) und ist nahezu konstant. Die für die einzelnen Messpunkte dieser Reflexion berechneten Winkelwerte sind rot dargestellt (rechte Ordinate). Der Verlauf des Einfallswinkels über die Bohrlochteufe zeigt geringfügige Schwankungen um einen Mittelwert (vgl. Anhang 1), der in der Abbildung 1 als violette Raute markiert ist. Diese geringfügigen Schwankungen resultieren, neben der messbedingten Toleranz in der Erfassung der Einfallswinkel der Reflexionen, insbesondere aus der räumlichen Ausdehnung der detektierten Strukturen. Diese Strukturen sind keine Punktobjekte mit „glatter“ Oberfläche. Die seitliche Ausdehnung der Strukturen und auch eine geringe Topographie der Grenzfläche führen vielmehr dazu, dass die einzelnen registrierten Reflexionspunkte nicht zwangsläufig auf einer Linie bezüglich der Sondenachse liegen.

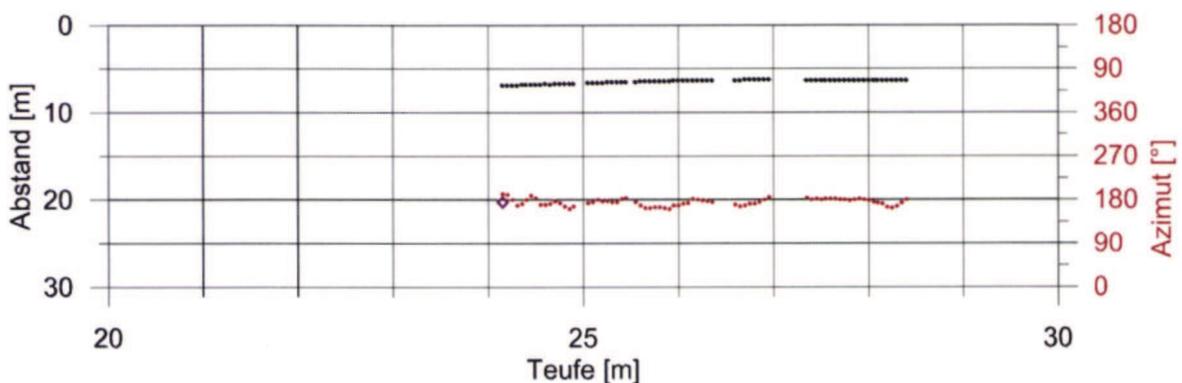


Abbildung 1: Aus 3D-Bohrlochradar-Messdaten ermittelte Einfallswinkel (rot, rechte Achse) für eine Beispielreflexion (schwarz, linke Achse)

Um generell eine hohe Winkelgenauigkeit zu erzielen, wurde die Bestimmung der Winkelinformation einer Reflexion vorrangig in denjenigen Teilbereichen durchgeführt, die eindeutig dieser einen Reflexion zuzuordnen waren. Die Genauigkeit der berechneten Einfallswinkel hängt prinzipiell von der Datenqualität ab. Zum einen werden die Daten durch die Geologie und die Rahmenbedingungen bei der Messdurchführung beeinflusst. Zum anderen wirkt sich die gegenseitige Beeinflussung verschiedener Reflexionen untereinander auf die Genauigkeit aus. Kreuzen sich Reflexionen, kommt es zu einer Überlagerung der Signalamplituden, einer sogenannten Interferenz. Die Richtung, aus der das amplitudenstärkste Signal eintrifft, wird die

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	
Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar							Blatt: 12

Darstellung und somit die Auswertung dominieren. Die amplitudenschwächeren Signale aus anderen Richtungen werden dagegen in den Ergebnissen verdeckt und eine Zuordnung der amplitudenschwachen Reflexionen zu bestimmten Strukturen ist nicht mehr eindeutig möglich. Für die Berechnung der Reflektorkoordinaten wurde der arithmetische Mittelwert der Einzelwinkel in ausgewählten Teufenabschnitten der betreffenden Reflexionen herangezogen. Jeder Reflektor wurde zusätzlich mit einem Index für die Signifikanz versehen. Dieser gibt mit einer dreistufigen Einteilung an, mit welcher Deutlichkeit ein Winkel bestimmt werden konnte. Dabei bedeutet der Wert „1“ die genaueste Stufe und „3“ einen eher unsicheren Winkel. Diese 3 Einstufungen sind nicht exakt quantifizierbar sondern werden aus Erfahrung getroffen. Sie können bei der Interpretation der Ergebnisse als Parameter der Aussagesicherheit der einzelnen Winkel verwendet werden.

4.4 Lagerichtige Darstellung (Migration)

Bedingt durch die Antennengeometrie und Abstrahlcharakteristik der Radarantennen und die laufzeitabhängige Registrierung der Messsignale werden die in den Rohmessdaten erfassten Reflexionen im Allgemeinen nicht lagerichtig bezüglich ihres Messpunktes dargestellt. Diese Abbildungsfehler wurden im Rahmen der Erkundung der Einlagerungskammer 7/750 durch spezielle Datenbearbeitungsschritte (sogenannte Migration) korrigiert, um die Reflexionen in lagerichtig dargestellte Reflektoren zu transferieren.

Nach dem Prozess der Migration wurden die bestimmten azimutalen Einfallswinkel der Reflexionen den zugehörigen Reflektoren zugeordnet. Mittels des Winkels und dem Abstand der einzelnen Reflektorpunkte bezüglich ihrer Messpunkte wurde abschließend die Lage der Reflektoren im dreidimensionalen Raum ermittelt. Grundlage dieser 3D-Berechnungen bildeten die gemessenen 3D-Koordinaten des Bohrlochverlaufs.

Für jeden erfassten Reflektor wurden die ermittelten Raumkoordinaten in Tabellenform im ASCII-Format dokumentiert. Die mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar erfassten Strukturen konnten anhand der Koordinaten in zweidimensionalen Profilschnitten wie auch im dreidimensionalen Raum lagerichtig dargestellt werden.

4.5 Abschätzung zum Toleranzbereich der Messwerte

Die Ergebnisse der Drehmessungen (Anhang 1) zeigen, dass messtechnisch bedingt bei der Bestimmung der Winkel zu den Reflektoren Unsicherheiten von im Mittel etwa 10° (entspricht etwa 3%) zu berücksichtigen sind. Für den vermuteten Firstverlauf der Einlagerungskammer 7/750 in etwa 4,00 m Entfernung von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 ergibt sich somit ein radialer beziehungsweise seitlicher Absolutfehler in der Lagebestimmung von etwa 70,00 cm. Für weiter entfernte Reflektoren vergrößert sich die Lagetoleranz entsprechend (siehe Abbildung 2).

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 13
---	-----------

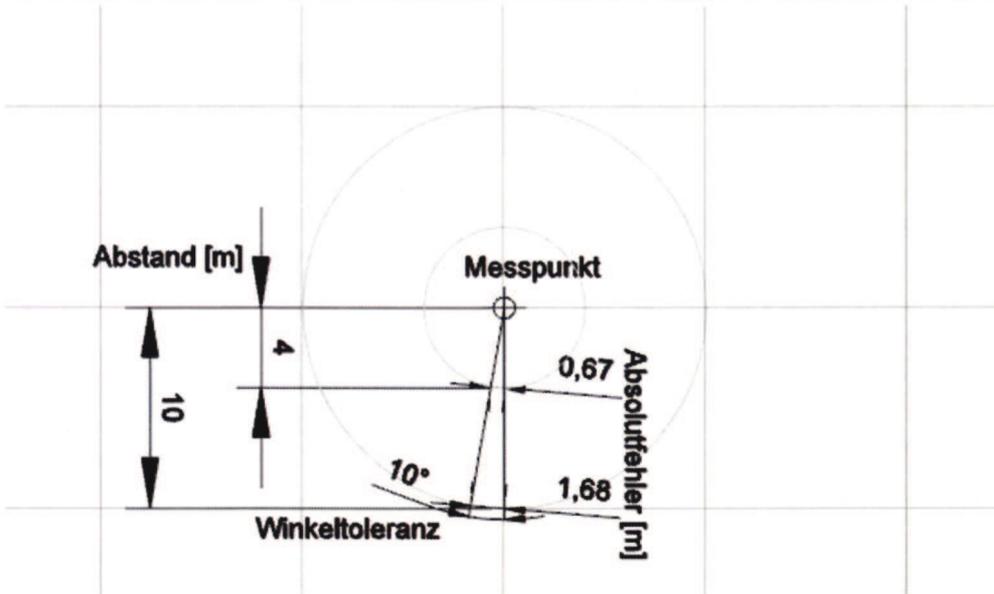


Abbildung 2: Bestimmung des lateralen Lagefehlers infolge einer Winkelunsicherheit von 10°

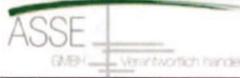
Maßgeblich für die Bestimmung der Entfernung von Objekten mit dem Radarverfahren ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Signale im untersuchten Medium. Für die Untersuchungen im Steinsalz der Salzstruktur der Schachanlage Asse II wurde der allgemein gültige Geschwindigkeitswert von 0,124 m/ns verwendet, welcher für das Steinsalz der Zechsteinfohle als weitgehend konstant angenommen werden kann [1]. Die Ungenauigkeit der Bestimmung der Entfernung setzte sich zusammen aus der Ungenauigkeit der verwendeten Geschwindigkeit und den statistischen Fehlern bei der subjektiv beeinflussten, manuell durchgeführten Markierung der Reflexionen mit der Auswertesoftware. Die maximale Abweichung der Entfernung wird mit 5% abgeschätzt. Alle Teufenangaben der 3D-Bohrlochradarsonde in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 wurden mit Hilfe des Teufenzählers der Bohrmaschine ermittelt. Eine Angabe zur Genauigkeit dieses Zählers lag nicht vor.

5 Ergebnisse

5.1 Ergebnis-Übersicht

Abbildung 3 zeigt die Datenergebnisse der 3D-Bohrlochradarerkundung in Graustufen-Darstellung und folgt aus dem lagegetreuen (migrierten) Datensatz. Eine vergrößerte Darstellung von Abbildung 3 ist in Anlage 1 einzusehen. Schwarze und weiße Bereiche entsprechen je nach Farbcodierung Reflexionssignalen mit hohen positiven oder negativen Amplitudenwerten. Eine derartige Darstellung wird als Radargramm bezeichnet und liefert einen Überblick über die registrierten Reflexionen. Insgesamt wurden in dem ausgewählten Auswertungsbereich 56 Reflexionen ausgewertet. Alle ausgewerteten Reflektoren sind in Abbildung 3 als grüne Linie markiert und als Referenz für die weitere Auswertung mit einer fortlaufenden Zahl deklariert.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



ASSE
Gesellschaft für geotechnische Ingenieurbauwesen

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 14
---	-----------

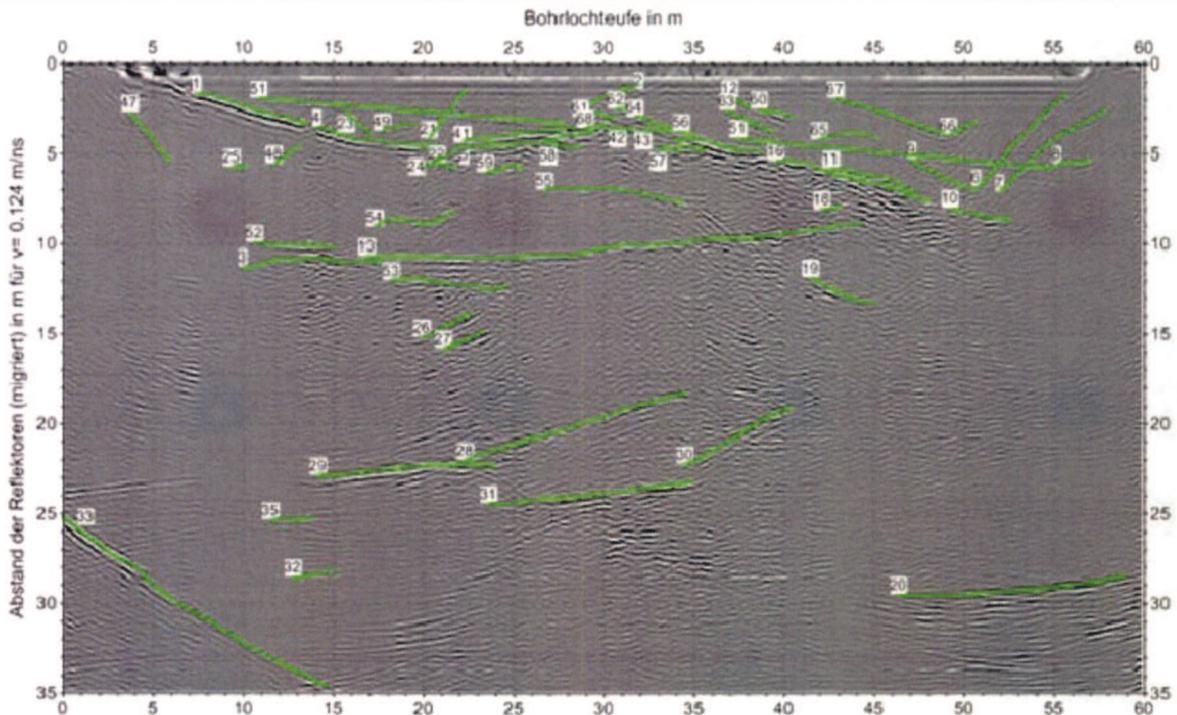


Abbildung 3: Übersicht der ausgewerteten Reflektoren aus der 3D-Bohrlochradarmessung in Erkundungsbohrung B 7/750-B1. Hinterlegt ist ein lagegetreues, migriertes Dipol-Radargramm

Diese zweidimensionale Darstellung entspricht dem Endergebnis, das aus einer Bohrlochradarermkundung mit einem ungerichteten Bohrlochradarsystem hervorgehen würde. Das Graustufen-Radargramm liefert keine Informationen zur Einfallsrichtung der einzelnen Reflexionen. Eine räumliche Zuordnung im dreidimensionalen Raum ist mit dieser Darstellungsart allein nicht möglich. Der Verlauf einzelner Reflexionen erscheint weitestgehend parallel. Bei der Interpretation solcher Darstellungen ohne Richtungsinformation können mehrere sich überlagernde Einzelreflexionen fälschlicherweise einer Gesamtstruktur zugeordnet werden.

In konsistenter Weise wurde die Nomenklatur und Nummerierung der Reflektoren aus den Ergebnissen der Messung in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 /1/ fortgeführt. Für Reflexionen ohne bisherige Zuordnung beziehungsweise neu geortete Strukturen wurde diese Nummerierung fortlaufend erweitert, weshalb in diesem Erkundungsbericht auch Bezeichnungen mit höheren Nummern (z. B. „68“) zu finden sind.

Die in Kapitel 4.4 ermittelten Raumkoordinaten der Reflektorpunkte können darüber hinaus genutzt werden, die entsprechenden Reflektoren in einer räumlichen Darstellung zu visualisieren. In Abbildung 4 wird ein Radargramm gezeigt, in dem die Signalamplituden abhängig von der ermittelten Einfallsrichtung farblich kodiert wurden. Dieses Radargramm selbst stellt bereits den wesentlichen Anteil am Ergebnis der Erkundung mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar dar, weil bereits aus dieser Darstellung ein Großteil der Informationen gezogen werden kann. Eine vergrößerte Darstellung von Abbildung 4 findet sich in der Anlage 2.

Radarsignale, die, mit Blickrichtung auf die Erkundungsbohrung B 7/750-B1, in einem Bereich oberhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 reflektiert wurden, werden in dieser Darstellung blau gezeigt. Dagegen sind Signale aus dem Liegenden rot gekennzeichnet. Reflexionen, die vom Bohransatzpunkt aus gesehen rechts neben der Bohrung liegen, erscheinen im richtungskodierten Radargramm in grüner Farbe, und Reflexionen von links sind gelb dargestellt. Insgesamt erscheint die Abbildung 4 von überwiegend blauer Farbe dominiert zu werden. Demnach stammt der Großteil der detektierten Reflexionen aus dem Hangenden.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 15
---	-----------

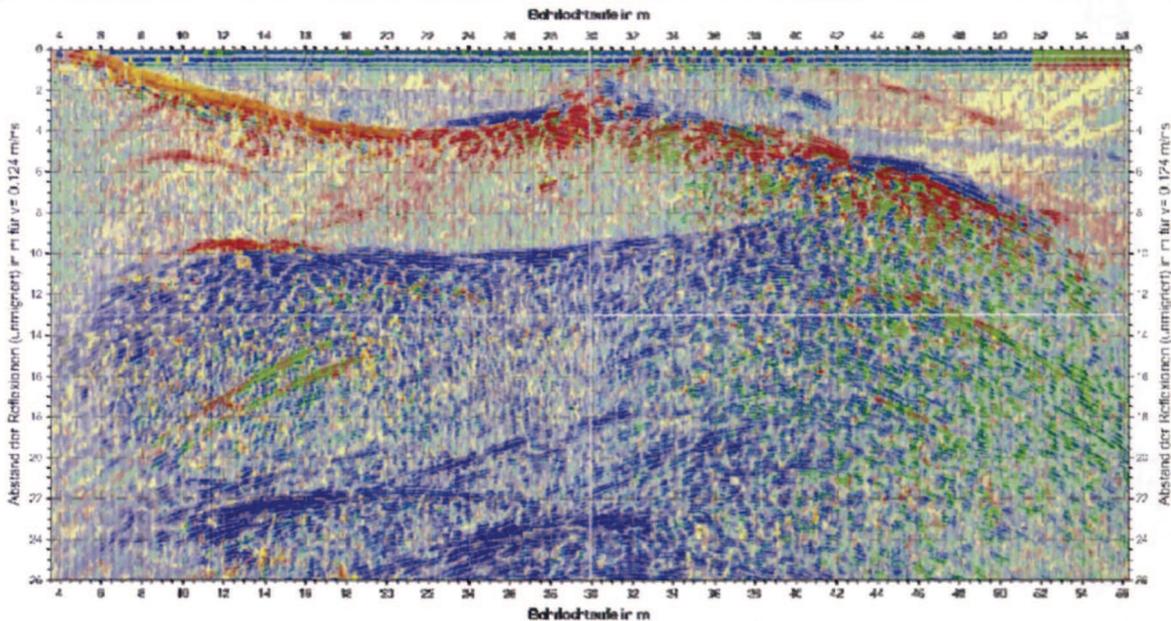


Abbildung 4: Richtungskodiertes Radargramm

Eine der Hangendstrukturen lässt sich in einer Bohrlochteufe von 10,00 m bis etwa 44,00 m in Abständen zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zwischen 9,00 m und 11,00 m verfolgen. In Abbildung 3 (beziehungsweise Anlage 1) entsprechen diese Strukturen den Reflektoren 3 und 13. Über große Teile des Profils ist zudem eine amplitudenschwache, blaue, lineare Struktur sichtbar, die bei der Bohrlochteufe 11,00 m einen Abstand von etwa 2,00 m und am Profilende einen Abstand von etwa 5,00 m zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 hat (Reflektor 51).

Auch im Liegenden (in roter Farbe) der Bohrspur ist eine Struktur über einen längeren Abschnitt des Profils zu erkennen (Abbildung 4 bzw. Anlage 2). Diese wurde am Profilanfang bohrlochnah links unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 detektiert und entfernt sich zunächst mit zunehmender Bohrlochteufe (Reflektoren 1 und 4 gemäß Abbildung 3 beziehungsweise Anlage 1). Bei Bohrlochteufe 22,00 m befindet sich die Struktur in einem Abstand von 4,50 m direkt unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 (Reflektor 5 gemäß Abbildung 3 beziehungsweise Anlage 1). Sie nähert sich der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 bis auf einen Abstand von etwa 3,70 m bei Bohrlochteufe 31,00 m und entfernt sich danach wieder bis zu einem maximalen Abstand von 8,50 m bei Bohrlochteufe 53,00 m. Reflexionen von rechts (grün, zum Beispiel Reflektor 19) finden sich überwiegend in größerer Entfernung zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1. Am Profilende wurden zahlreiche kleinräumige Strukturen in den Messdaten registriert. Bis zu einem Abstand von etwa 10,00 m zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 sind hier mehrere gelbe Reflexionen zu erkennen, die von links auf die Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zulaufen (Reflektoren 6, 7 und 48).

Auf einem Teilbereich des richtungskodierten Radargramms (Abbildung 4 beziehungsweise Anlage 2) wird eine Überlagerung von Reflexionen aus verschiedenen Richtungen deutlich. Von Bohrlochteufe 22,00 m bis etwa 52,00 m in Abständen zwischen 2,00 m und 8,00 m zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 sind zahlreiche rote und blaue Reflexionen zu erkennen. Diese Reflexionen sind als kürzere Segmente zu sehen, da durch gegenseitige Überlagerungseffekte (Abschnitt 4.3) jeweils nur das amplitudenstärkste Signal in der Farbdarstellung dominiert. Gemäß der Farbskala stammen diese Reflexionen aus dem Hangenden sowie aus dem Liegenden.

Teilinterpretation der Radargramm-Ergebnisse

Diese Ergebnisse können bereits einer ersten Interpretation unterzogen werden. Beispielsweise ist in der ersten Profilhälfte in Abbildung 4 (Anlage 2) eine lineare, amplitudenschwache Reflexion in blau zu erkennen, die sich mit zunehmender Bohrlochteufe entfernt (Reflektor 51). Mit hoher

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	
Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar							Blatt: 16

Wahrscheinlichkeit ist dieser Reflektor die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2, die sich oberhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befindet.

Der Reflektor 1 befindet sich unterhalb, links (orange) von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 und ist am Profilanfang durch die Erkundungsbohrung B 7/750-B1 aufgeschlossen. Hierbei handelt es sich um das Verschlussbauwerk, das in diesem Bereich mit der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 durchteuft wurde. Mit größerer Bohrlochteufe wird das Verschlussbauwerk durch den Reflektor 4 weiter abgebildet, bevor die Gesamtstruktur in eine Vielzahl von Einzelreflexionen (rot, unten) übergeht, welche der Firststruktur der Einlagerungskammer 7/750 zugeordnet werden können.

Als dominante Struktur im Hangenden (blau) ist ein Reflektor in einem Abstand von 9,00 m bis 11,00 m zu erkennen (Reflexionen 3 und 13). Hierbei handelt es sich um die Sohle von Abbau 8/725. Daneben treten weitere Signale aus unterschiedlichen Raumrichtungen auf, wie zum Beispiel bohrlochnahe Reflektoren die sich von links (gelb) an die Erkundungsbohrung B 7/750-B1 nähern (Reflektoren 6, 7, 66 bei Bohrmeter 48,00 bis 55,00), sowie am Bohrlochende ab Bohrmeter 45,00 ein größerer Bereich von kleinen Reflexionen im Abstand von 8,00 m bis 25,00 m deren Ursprung rechts (grün) von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 liegt. Insbesondere die bohrlochnahen Reflexionen geben Detailinformationen aus dem Bereich der Schweben, wie z. B. Kluffstrukturen oder geologische Schichtgrenzen.

5.2 2D-Darstellung der Ergebnisse

5.2.1 2D-Darstellung in richtungskodierten Profilschnitten

Eine zusätzliche Möglichkeit der Visualisierung ist die Unterteilung der dargestellten Profilabbildungen in festgelegte Winkelabschnitte. Beispielsweise wurden in den Darstellungen in den Anlagen 3 und 4 die Ergebnisse auf zuvor definierte Ebenen beschränkt. Die darin dargestellten unmigrierten Radargramme wurden so bearbeitet, dass jeweils nur Reflexionen aus diesen definierten Raumrichtungen abgebildet sind.

In Anlage 3 ist ein Vertikalschnitt der Umgebung zur Erkundungsbohrung B7/750-B1 dargestellt. Das Radargramm unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zeigt nur diejenigen Reflexionssignale, die aus einem Raum-Winkelbereich zwischen 135° und 225° als Reflexionen im Radargramm erscheinen. Das Radargramm oberhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 beschränkt sich auf den Raum-Winkelbereich von 315° bis 45° (blau). In der gleichen Weise beschränken sich in Anlage 4 die Radargramme auf den dargestellten Horizontalschnitt. Das Radargramm rechts von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 (Blickrichtung von der Einhausung in Richtung Schweben) ist für den Raum-Winkelbereich von 45° bis 135° gefiltert. Das Radargramm links von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zeigt den Raum-Winkelbereich 225° bis 315°. In diesen Horizontal- und Vertikalschnitten sind zudem die Schnitte des Grubengebäudes skizziert und auf die jeweilige Ansichtsebene projiziert.

Die Schnittbilder in den Anlagen 3 und 4 erlauben somit eine Visualisierung der Positionen einzelner Reflektoren. Die dargestellten Radargramme sind nicht migriert, das bedeutet, dass die einzelnen Reflexionen nicht vollkommen lagerichtig abgebildet werden (Abschnitt 4.4). Zudem werden die Messdaten mit ihren 3D-Raumkoordinaten auf vereinfachte 2D-Schnittbilder projiziert. Die genaue Lage der Reflektoren im Raum ergibt sich ausschließlich über die räumliche Darstellung der 3D-Koordinaten der Reflektoren.

5.2.2 Ergebnisse aus den richtungskodierten Profilschnitten

Im Vertikalschnitt in Anlage 3 sind oberhalb und unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 mehrere Reflexionen zu erkennen, die verschiedenen Strukturen zugeordnet werden können. Beispielsweise ist bohrlochnah eine linear verlaufende blaue Reflexion zu sehen, die von der südwestlichen Sohlenecke von Abbau 8/725 in Richtung auf die nordöstliche Firstecke der Einlagerungskammer 7/750 verläuft (Reflektoren 11 und 63 in Abbildung 3).

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 17
---	-----------

Im Hangenden ist außerdem etwa auf Höhe der Sohle von Abbau 8/725 eine horizontale Struktur (blau) zu erkennen, die in der Mitte der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 aufgewölbt erscheint (Reflektoren 3, 13). Diese Reflexion zeigt den tatsächlichen gegenwärtigen Verlauf der Sohle von Abbau 8/725. Etwas oberhalb dieser Sohle liegend sind zudem weitere Reflexionen zum Teil über mehrere Meter zu sehen. Im Bereich der vermuteten Firste der Einlagerungskammer 7/750 zeigen die dargestellten Reflexionen (rot) ebenfalls eine gewölbte Form (Reflektoren 5, 16 und 56).

Im hinteren Teil der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 (Teufenmeter 40,00 - 50,00) ist zu dieser gewölbten Kontur aus dem Liegenden außerdem eine weitere, parallel zur Wölbung geformte Reflexion zu erkennen (Reflektor 67). Diese Struktur befindet sich oberhalb der gewölbten Firstkontur der Einlagerungskammer 7/750 im Abstand von 0,00 m bis 4,00 m von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1. Die Reflexion bildet mit dem eingangs beschriebenen Element, das von der südwestlichen Sohlenecke von Abbau 8/725 schräg in der Schwebel verläuft, eine Art „große Kreuzstruktur“, dessen Reflexionen die Bohrspur kreuzen (Reflektoren 2, 12, 67 im Liegenden; Reflektoren 11, 60, 63 im Hangenden).

In nord-östlicher Richtung schließt sich nahezu unmittelbar zu dieser Aufwölbung im Bohrteufenbereich von 8,00 m bis 20,00 m eine gelbe Reflexion an (Reflektor 1), die somit aus der Richtung links unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 reflektiert wurde. In diesem Bohrlochbereich wurden außerdem in größeren Abständen zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 weitere Strukturen detektiert, die sich zum einen direkt unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 (Reflektoren 25, 53; rot), zum anderen rechts unterhalb (Reflektoren 26, 27, 47, 54; grün) der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befinden. Es sind außerdem „weiße Abschattungsgebiete“ zu erkennen (Abschnitt 5.1), beispielsweise in der Firste im hinteren Bereich der Einlagerungskammer 7/750.

Im Horizontalschnitt (Anlage 4) kann zunächst eine orange-rote Reflexion im Bereich des Verschlussbauwerks verfolgt werden (Reflektoren 1, 4). Im Bohrlochtieftesten am südwestlichen Ende liegen mehrere Strukturen links und rechts und in geringer Entfernung zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 (Reflektoren 6, 7, 8, 66; gelb und blau-grün). Am Stoß der Einlagerungskammer 11/750, die sich östlich von der Einlagerungskammer 7/750 befindet, ist eine deutliche Reflexion in gelber Farbe zu erkennen (Reflektor 33). Etwa in der Mitte der Einlagerungskammer 7/750 zeigt das Radargramm über einen größeren Bereich eine große Anzahl von kleinräumigen Einzelsignalen.

Teilinterpretation der richtungskodierten Radargramm-Darstellungen

Die Darstellung im Vertikalschnitt (Anlage 3) bekräftigt die Erstinterpretation anhand des richtungskodierten Radargramms aus Abbildung 4 (Kapitel 5.1). Im Hangenden wurde mit hoher Wahrscheinlichkeit die Sohle von Abbau 8/725 lokalisiert. Die Reflexionen aus dem darüber liegenden Bereich sind der Firste des Abbaus 8/725 und internen Strukturen zuzuordnen (Reflektoren 28, 29, 30, 31). Im Liegenden kann der Verlauf des Verschlussbauwerks sowohl im Vertikalschnitt (Anlage 3) als auch im Horizontalschnitt (Anlage 4) nachskizziert werden (Reflektor 1). Dieser Reflektor geht Richtung Süd-Westen in eine gewölbeartige Struktur über, die den Firstverlauf der Einlagerungskammer 7/750 widerspiegelt. Im Horizontalschnitt wurde zudem der Stoß der Einlagerungskammer 11/750 geortet (Reflektor 33).

Die beschriebene Kreuzstruktur in der Schwebel zwischen der Firste der Einlagerungskammer 7/750 und der Sohle des Abbaus 8/725 repräsentiert ein Trennflächensystem innerhalb der Schwebel. Die Reflexionen dieser Kreuzstruktur sind durch die relativ hohen Signalamplituden deutlich zu erkennen, was darauf hindeutet, dass es sich hierbei um Klüfte handelt.

Am Bohrlochende geben die bohrlochnah erkennbaren Reflexionen (Anlage 4) Hinweise auf mögliche geologische Schichtgrenzen oder Klüfte innerhalb der Schwebel (Reflektoren 6, 7, 8, 66). Zahlreiche kleinräumige Strukturen (blau-grün) östlich der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 deuten

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	
Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar							Blatt: 18

zudem auf einen lokal inhomogenen Bereich in der Schweben hin. Hierbei kann es sich um Klüftstrukturen in der Schweben oder um Reflexionen von Objekten in der Einlagerungskammer 7/750 handeln.

5.2.3 Winkeldarstellung mit Hilfe von Polardiagrammen

Eine Übersicht über die räumliche Lage der georteten Reflektoren relativ zur Bohrlochachse liefern Abbildungen 5 und 6 in Form von so genannten Polardiagrammen. Die Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befindet sich in diesen beiden Abbildungen jeweils im Mittelpunkt der Diagrammdarstellungen. Die Blickrichtung geht in Richtung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 mit zunehmender Bohrlochteufe. Die Firne der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befindet sich jeweils bei einem Winkel von 0°. Die Reflektoren sind als Punkte zusammen mit der zugehörigen Nummerierung in Abhängigkeit ihrer Entfernung von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 und ihres Raumwinkels relativ zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 eingetragen. Als Entfernung wurde hier jeweils der mittlere Abstand der Reflektoren von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 verwendet. Die Betrachtung der sektoralen Lage und Entfernung der Reflektoren in diesen Polardiagrammen erhöht möglicherweise die Anschaulichkeit der räumlichen Lage der erfassten Strukturen bezüglich der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.

Abbildung 5 zeigt als Ergebnis die Reflektoren bis zu einer Entfernung von 30,00 m. Es ist zu erkennen, dass sich der Großteil der Reflektoren innerhalb eines Radius von weniger als 10,00 m um die Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befindet. Eine wesentliche Anzahl von Strukturen wurde oberhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 in einem Kreissektor zwischen 290° und 30°, sowie im unteren Sektor zwischen 130° und 240°, lokalisiert. Einige wenige Reflektoren befinden sich weiter entfernt in einer Entfernung zwischen 20,00 m und 30,00 m. Aufgrund ihrer Signalstärke und räumlichen Lage zum Bohrlochverlauf sind diese den Abbauen und Strecken von darüber liegenden Ebenen der Bergwerkseinrichtung zuzuordnen.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00

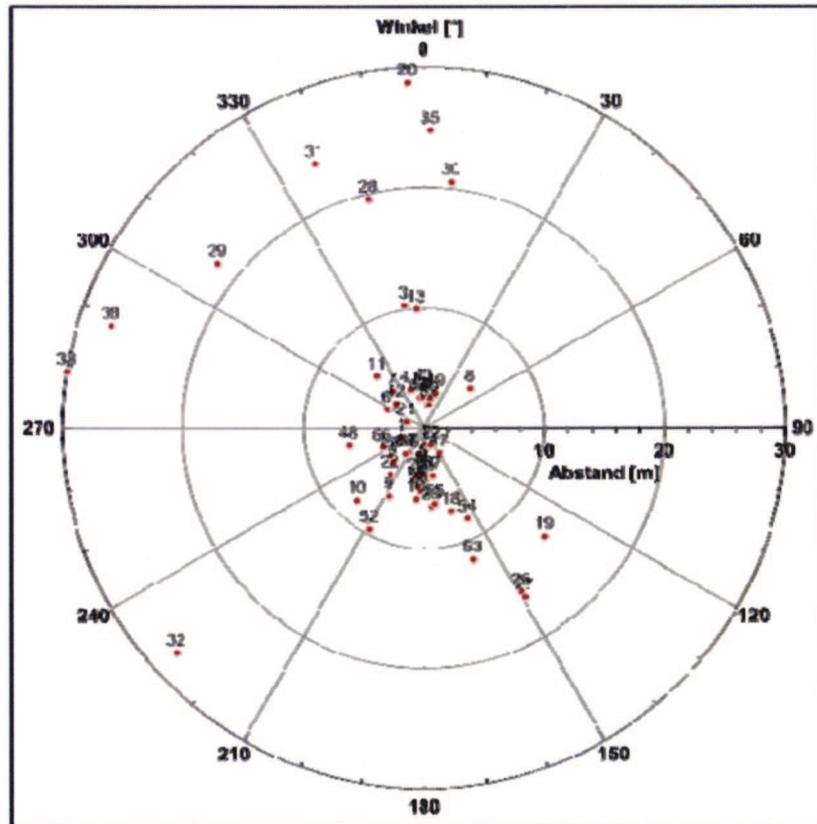


Abbildung 5: Richtung der Reflektoren in Abhängigkeit von der Entfernung (bis 30,00 m)

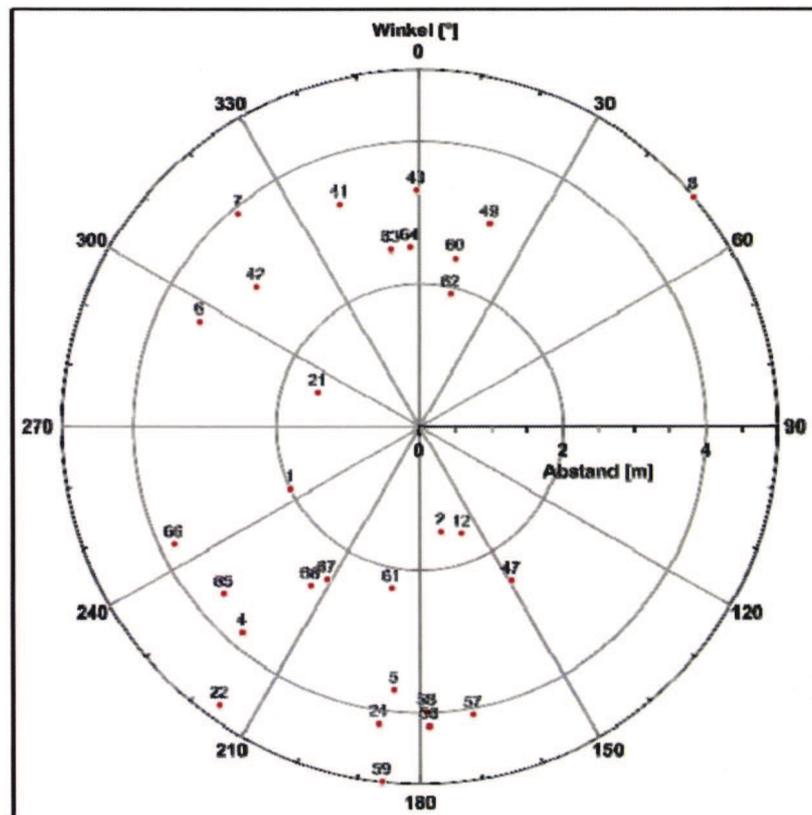


Abbildung 6: Richtung der Reflektoren in Abhängigkeit von der Entfernung (Nahbereich bis 5,00 m)

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 20
---	-----------

Abbildung 6 zeigt in einem Ausschnitt die Lage der Reflektoren im Nahbereich bis 5,00 m Entfernung von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1. Hier ist zu erkennen, dass die georteten Reflektoren sich in einem Sektor zwischen etwa 300° und 20° sowie im unteren Sektor zwischen etwa 150° und 240° befinden.

5.2.4 Detaillierte 2D-Darstellung der Reflektoren

Zur Verbesserung der Anschaulichkeit der Ergebnisse werden im nächsten Arbeitsschritt die Messergebnisse mit Bezug auf die Einfallsrichtungen der Reflexionen dargestellt. Für jede Einfallsrichtung werden Schnittbild und Polardiagramm gemeinsam dargestellt (Abbildung 7) und die Darstellung auf eine Auswahl an Reflektoren reduziert. Im Schnittbild wird dabei jeweils der kürzeste Abstand zwischen Erkundungsbohrung B 7/750-B1 und Reflektor gezeigt. Die seitliche Lage eines Reflektors ist dem jeweiligen Polardiagramm zu entnehmen. Die einzelnen Reflektoren sind entsprechend der Interpretation farblich markiert und gemäß Abschnitt 5.1 nummeriert. Die Aufteilung erfolgt in insgesamt 8 Sektoren, die jeweils einen Bereich von 45° zeigen. Teilweise werden Reflektoren aus benachbarten Sektoren mit dargestellt, um die Interpretation der Messdaten zu vereinfachen.

Reflektoren von oben, 320°-50° (Abbildung 7)

Abbildung 7 zeigt den Sektor der Reflektoren im Hangenden. Die Strukturen treten dort eher bohrlochnah bis zu einem Abstand von 6,00 m auf. Auffällig ist eine lineare Struktur, die sich mit zunehmender Bohrlochteufe von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 entfernt (Reflektor 51). Alle weiteren bohrlochnahen Strukturen sind kleinräumiger. In größerem Abstand zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 wurden dagegen Reflexionen über mehrere Meter registriert.

Der bohrlochnahe Reflektor 51 kann anhand seiner räumlichen Lage der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 zugeordnet werden. Bei den weiteren, bohrlochnah georteten Strukturen aus Abbildung 7 handelt es sich um Trennflächen innerhalb der Schwebe zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725. Der Vertikalschnitt (Anlage 3) zeigt bereits eine größere Kreuzstruktur dieser Trennflächen. In Abbildung 7 lässt sich ein bohrlochnaher Teil dieser Kreuzstruktur wiederfinden, der sich oberhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befindet, in der Abbildung 7 als Reflektoren 41 und 49 deklariert. Diese beiden Reflektoren nähern sich der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 mit zunehmender Bohrteufe. Ab der Mitte der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 sind weitere Elemente der Kreuzstruktur zu erkennen, die sich von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 entfernen (Reflektoren 60, 63 und 64). Weitere Trennflächenstrukturen befinden sich parallel zum Bohrlochverlauf (Reflektoren 8, 43, 62).

Die Reflektoren 3 und 13 wurden bereits im Abschnitt 4.2.2 der Sohle des Abbaus 8/725 zugeordnet. Weitere, diesem Abbau 8/725 zuzuordnende Reflektoren (28, 30, 31 und 35), können ebenfalls dokumentiert werden. Reflektor 20 kennzeichnet die Sohle des Abbaus 16/700 auf der darüber liegenden 700-m-Sohle.

Reflektoren von oben links, 290°-0°(Abbildung 8)

Links oberhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 wurden insgesamt sechs Reflektoren detektiert (Abbildung 8). Es wurden dabei bohrlochnahe Reflektoren bis in einer Entfernung von etwa 6,00 m sowie Strukturen bis Abstand zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 lokalisiert.

Die Reflektoren 6, 7, 11 und 42 geben Detailinformationen aus dem unmittelbaren Bereich der Schwebe. Hierbei kann es sich um geologische Schichtgrenzen oder Trennflächen handeln. Reflektor 11 findet sich in der beschriebenen Kreuzstruktur (Anlage 3) wieder. Die beiden Reflektoren 29 und 31 sind vermutlich Abbauen auf der darüber liegenden 725-m-Sohle zuzuordnen.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	JA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00

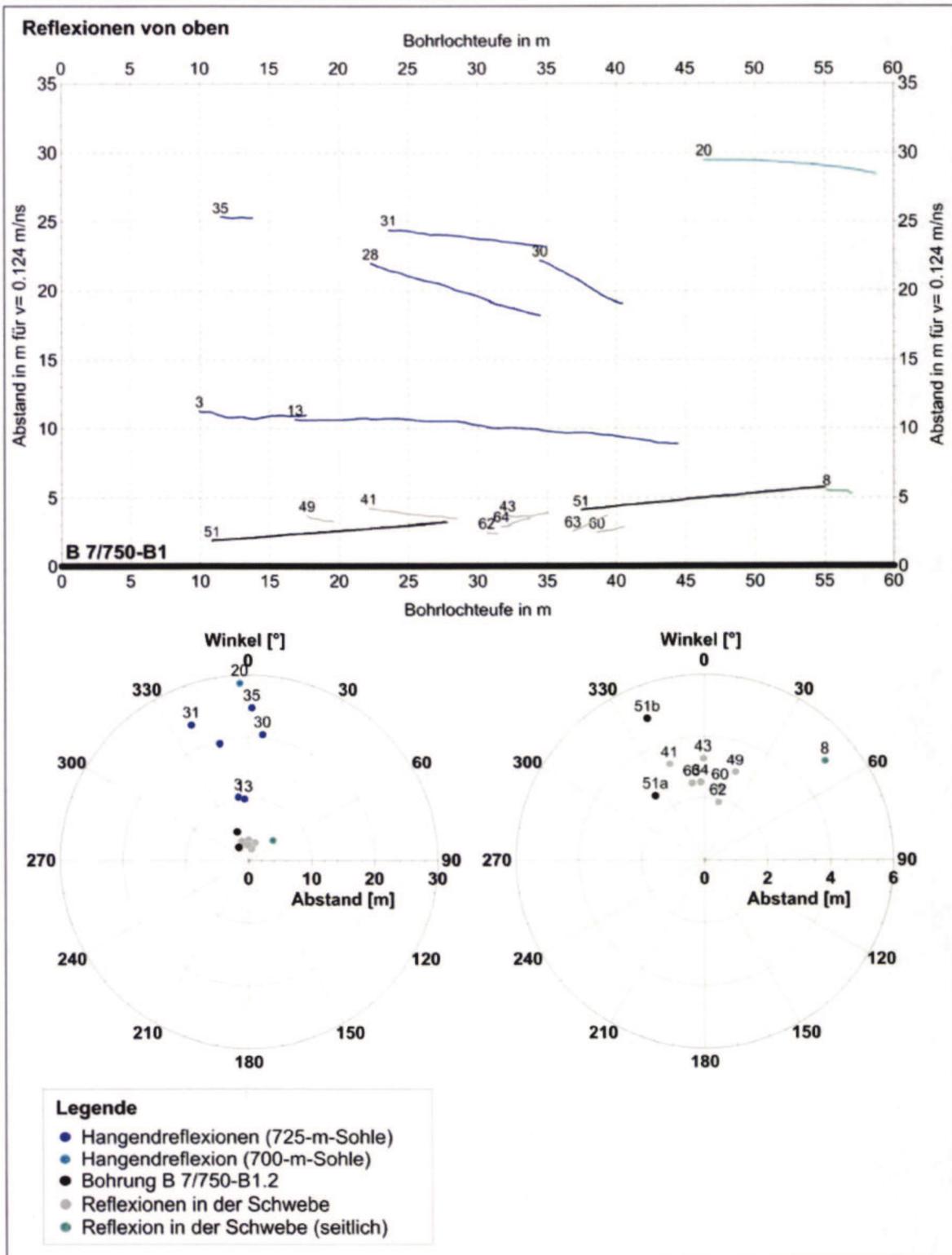


Abbildung 7: 2D-Darstellung der Reflektoren aus dem Hangenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00

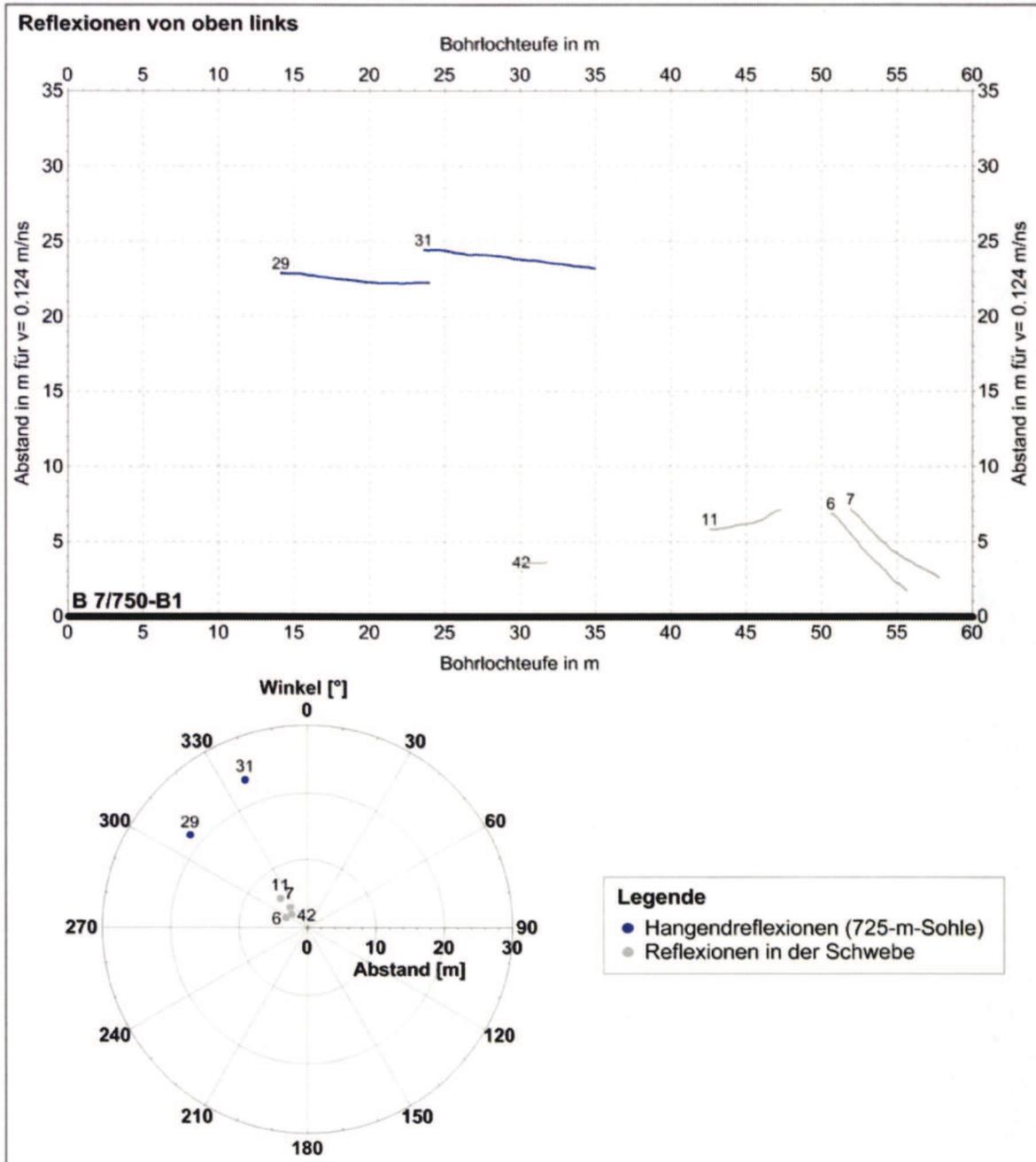


Abbildung 8: 2D-Darstellung der Reflektoren aus dem Hangenden links von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1

Reflektoren von links, 240°-300° (Abbildung 9)

Die Darstellung der Reflektoren, deren Reflexionen von links kommend aufgezeichnet wurden, erfolgt in der Abbildung 9. Direkt links neben der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zeigen sich die zwei bohrlochnahen Reflektoren 48 und 21, die mit dem Trennflächensystem innerhalb der Schwebe in Zusammenhang gebracht werden können. Zu größeren Abständen von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 ist ein weit über 10,00 m langer Reflektor 33 sichtbar. Hier wurde vermutlich der Stoß der Einlagerungskammer 11/750 detektiert.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00

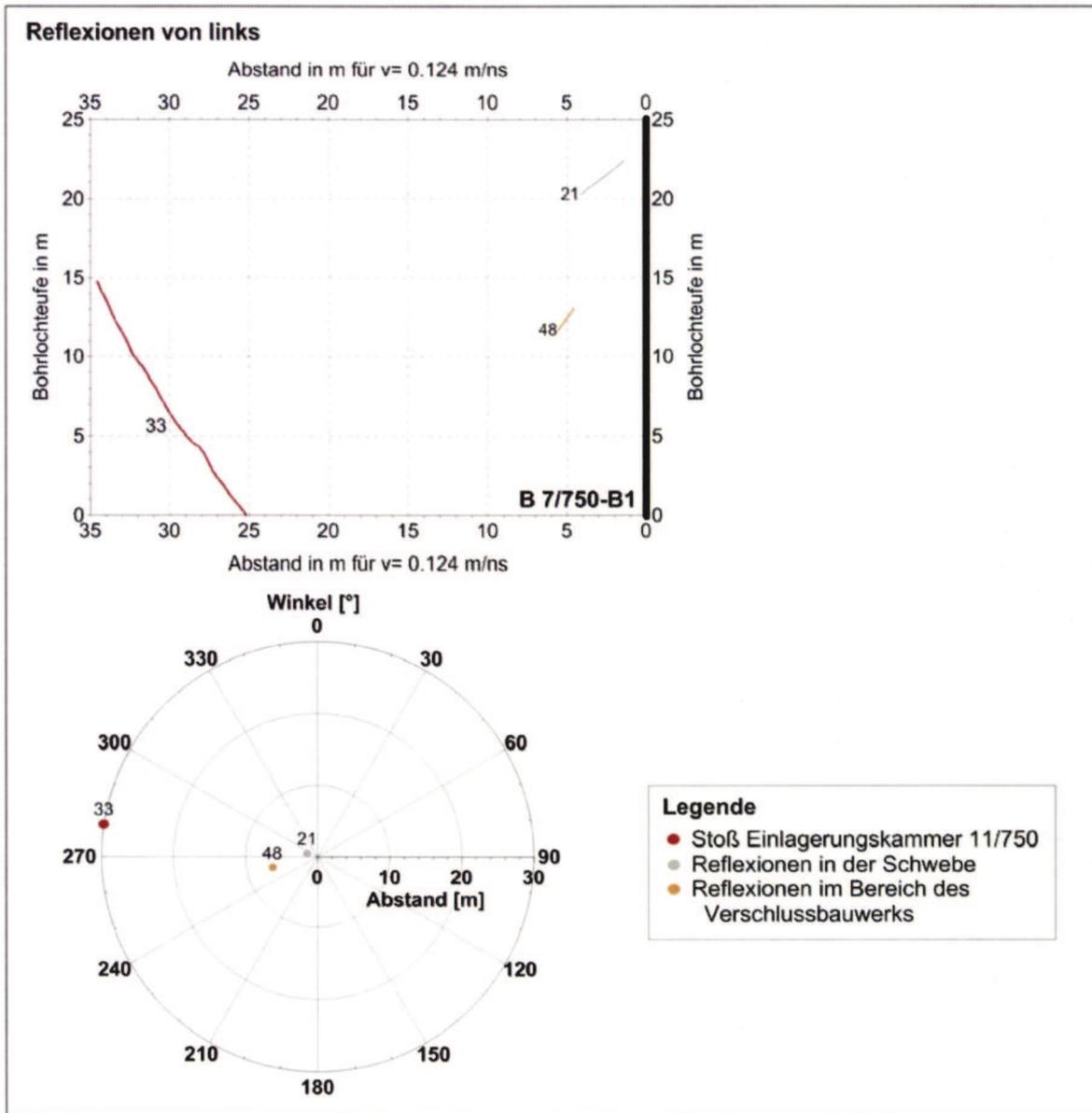


Abbildung 9: 2D-Darstellung der Reflektoren von links ausgehend vom Bohrlochmund der Erkundungsbohrung B 7/750-B1

Reflektoren von unten links, 200°-250° (Abbildung 10)

Auch im Winkelbereich zwischen 200°-250°, unten links, werden vermehrt Strukturen in einem Entfernungsbereich von 0,00 bis 6,00 m detektiert (Abbildung 10). Diese geben wiederum Detailinformationen über den Zustand der Schweb wieder. Die in Kapitel 5.2 beschriebene Kreuzstruktur setzt sich wiederum in diesem Schnittbild durch drei Reflektoren fort (9, 10, 67). Die drei Reflektoren entfernen sich von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 mit zunehmender Bohrlochteufe.

Am Profilanfang wurde in einem Abstand von etwa 10,00 m ein weiterer Reflektor (52) lokalisiert. Dieser kann gegebenenfalls mit der südlichen Richtstrecke nach Osten korreliert werden.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00

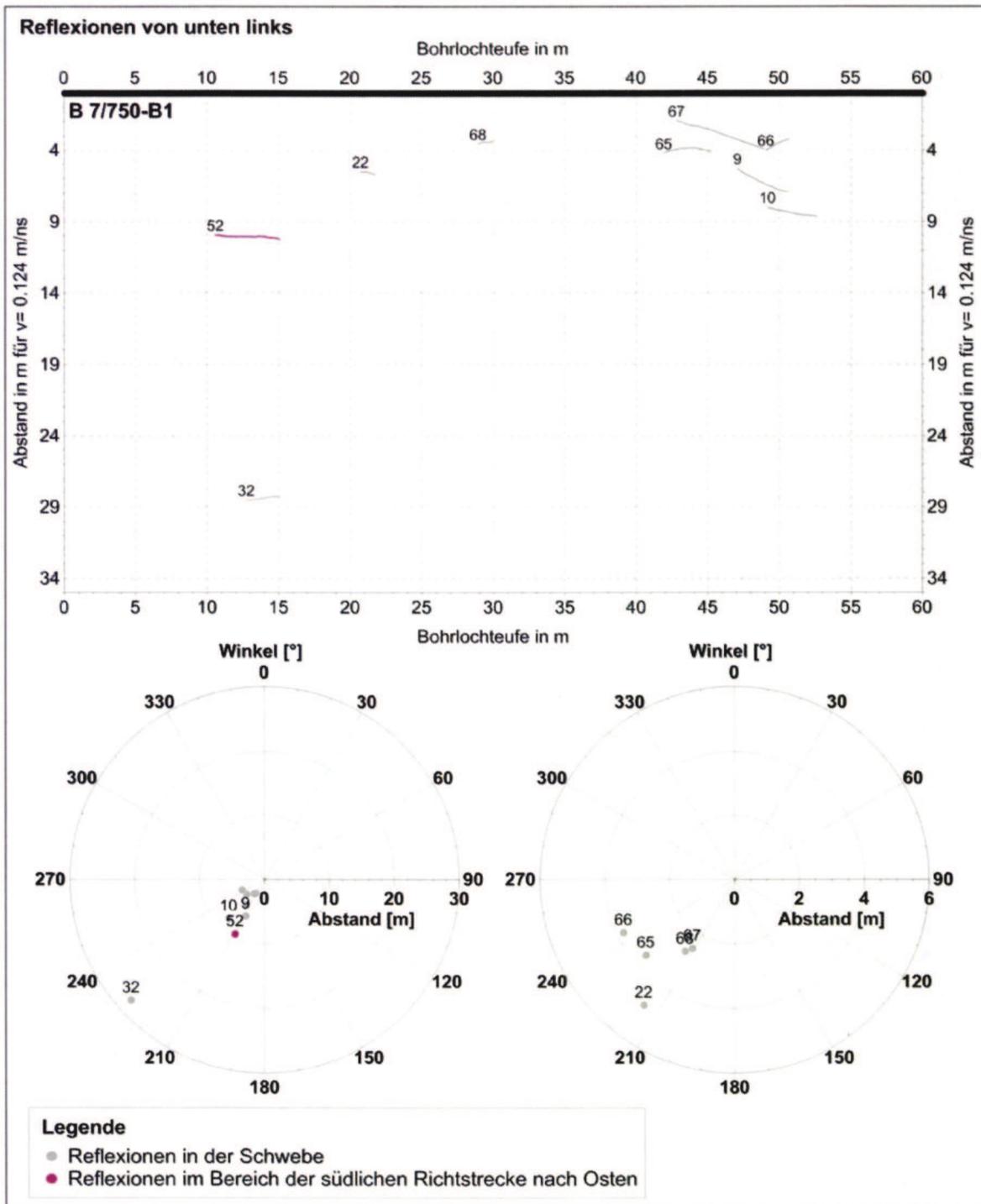


Abbildung 10: 2D-Darstellung der Reflektoren aus dem Liegenden links von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1

Reflexionen von unten, 240°-160° (Abbildung 11)

In Abbildung 11 sind alle diejenigen Reflektoren gezeigt, die sich ausschließlich in dem Liegenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befinden. In dem Schnittbild zeichnet sich die Kontur des Verschlussbauwerks ab (Reflektoren 1 und 4). Das Verschlussbauwerk wurde in Abständen zwischen etwa 1,60 m und 4,60 m detektiert und befindet sich links unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1. An diese Reflexionsstruktur schließt sich ein Bereich mit mehreren Reflektoren an.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00

Die Reflexionssignale der Reflektoren 5, 16, 24 und 56 weisen eine starke Amplitude auf. Diese Reflektoren können als Firstkontur der Einlagerungskammer 7/750 identifiziert werden. Aus der Abbildung 11 ist zu entnehmen, dass die Firstkontur eine gewölbte Form zeigt, mit einem minimalen Abstand von etwa 3,70 m zwischen der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 und dem Reflektor 5. Die Schnittbilder in Kapitel 5.2 haben gezeigt, dass es in diesem Bereich zu Abschattungseffekten einzelner Reflexionseinsätze gekommen ist. Daher konnte die Firstkontur nicht durchgehend über das komplette Profil detektiert werden.

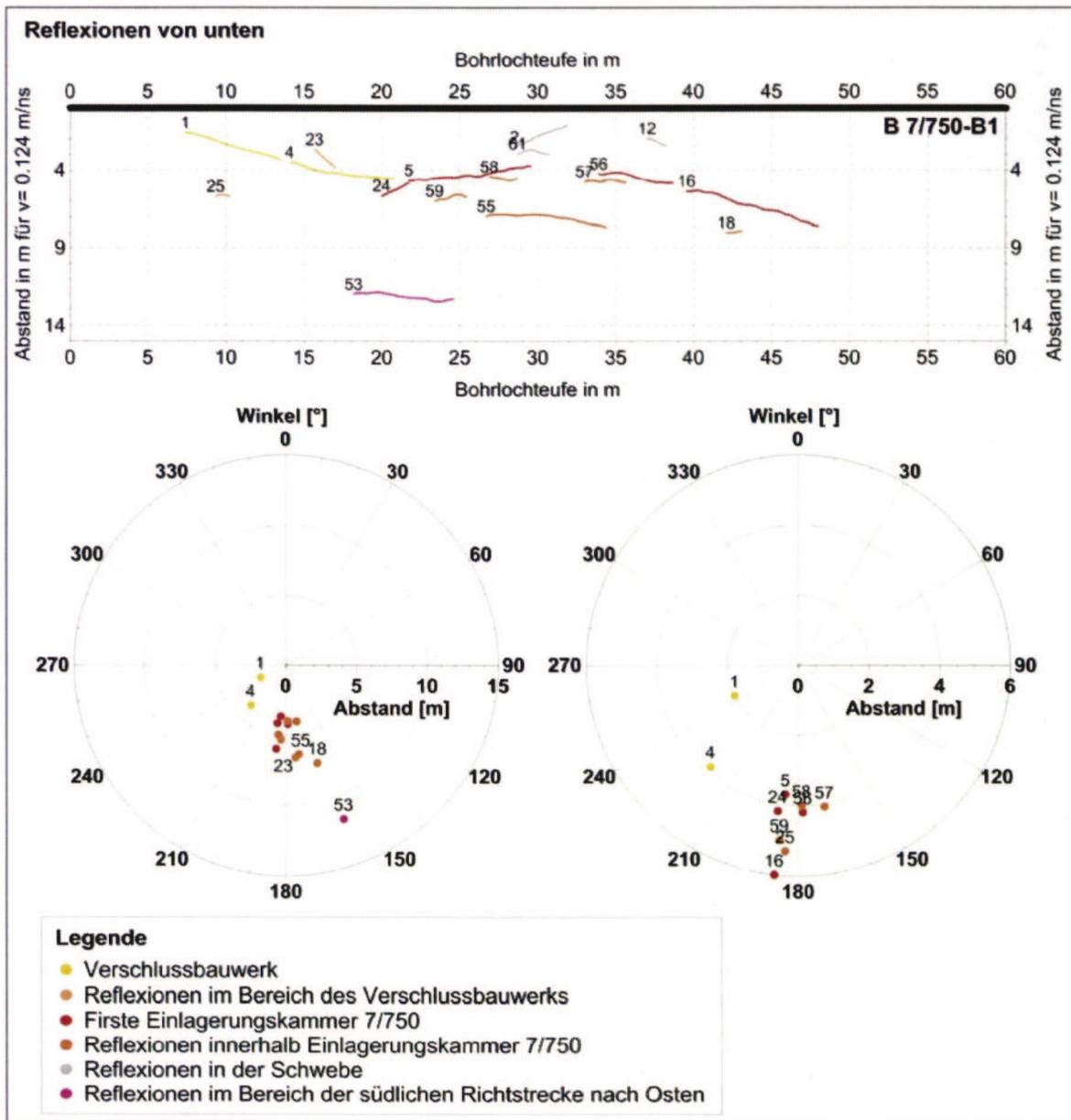


Abbildung 11: 2D-Darstellung der Reflektoren aus dem Liegenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1

Auch im Innenraum der Einlagerungskammer 7/750 sind mehrere Reflektoren zu erkennen (18, 55, 57, 58, 59), die sich zumeist in einem maximalen Abstand von 8,00 m zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befinden. Eine gesicherte Interpretation dieser Strukturen anhand ihrer Form oder Signalstärke erscheint hier nicht möglich. Diese Reflektoren liegen relativ dicht hinter dem Firstverlauf und könnten möglicherweise auch durch Gebinde oder Verfüllmaterial hervorgerufen werden. Reflektor 53 wurde in einem Abstand von etwa 12,00 m zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 lokalisiert. Anhand der Schnittbildardarstellung in Abbildung 11 würde dieser Reflektor

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktererhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 26
---	-----------

wahrscheinlich der Einlagerungskammer 7/750 zugeordnet werden. Die räumliche Ansicht der Ergebnisse in Kapitel 5.3 wird aber zeigen, dass sich der Reflektor 53 aufgrund seines Einfallswinkels von 160° vielmehr außerhalb der Einlagerungskammer 7/750 befindet. Diese Struktur steht mit hoher Wahrscheinlichkeit in Zusammenhang mit der südlichen Richtstrecke.

Oberhalb der Firstkontur sind auch in dieser Darstellung Reflexionen der kreuzförmigen Trennflächenstruktur zu erkennen (Kapitel 5.2). Reflektor 2 verläuft auf die Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zu. Der projizierte Schnittpunkt dieses Reflektors mit der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befindet sich etwa in einer Bohrteufe von 34,00 m. Reflektor 12 zeigt einen entgegengesetzten Verlauf und entfernt sich mit zunehmender Bohrlochteufe von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.

Reflexionen von unten rechts, 120°-160° (Abbildung 12)

Im Bereich rechts unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 wurden insgesamt fünf Reflektoren lokalisiert (Abbildung 12). Die Reflektoren 26, 27 und 54 würden ohne Winkelinformation vermutlich wiederum Strukturen im Inneren der Einlagerungskammer 7/750 zugeordnet werden. Ausschließlich aufgrund der Richtungsinformation kann eindeutig nachgewiesen werden, dass sich die Strukturen außerhalb vom eigentlichen Kammerbereich der Einlagerungskammer 7/750 befinden. Die Reflektoren können im Bereich der südlichen Richtstrecke mit geologischen Schichtgrenzen oder Trennflächenstrukturen korreliert werden.

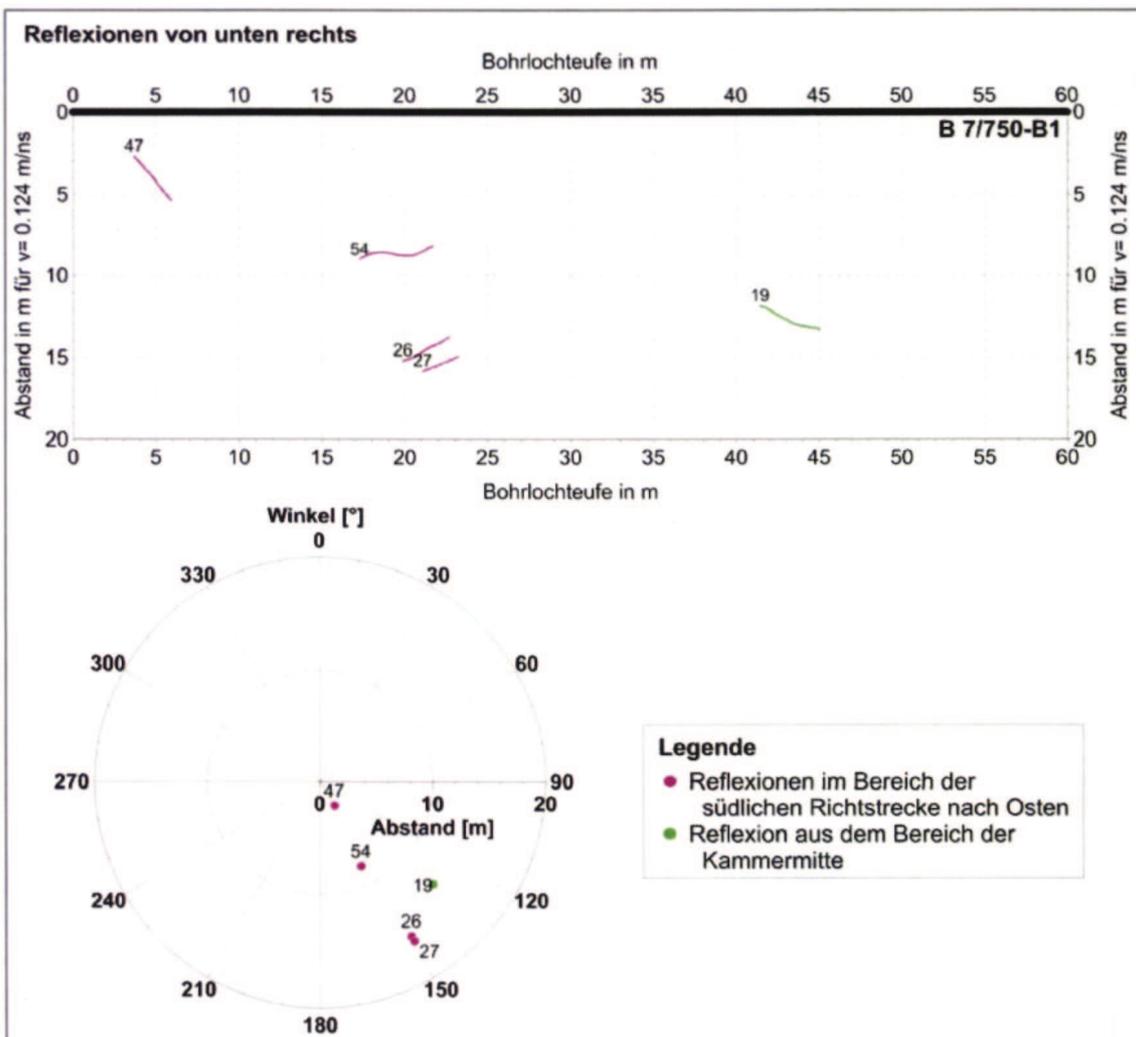


Abbildung 12: 2D-Darstellung der Reflektoren aus dem Liegenden rechts von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



ASSE
GMBH | verantwortlich handeln

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 27
---	-----------

Hervorzuheben im Rahmen der Erkundung des Inneren der Einlagerungskammer 7/750 ist der Reflektor 19. Da dieser sich in Abständen zwischen 12,00 m und 13,00 m rechts unterhalb von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 befindet, ist er einem Objekt im Inneren der Einlagerungskammer 7/750 zu zuordnen.

Reflexionen von rechts, 45°-100° (Abbildung 13)

Im Richtungssektor rechts von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 wurden zwei auffällige Bereiche registriert (Abbildung 13), die bereits im Horizontalschnitt in Kapitel 4.2 beschrieben wurden. In der Darstellung wurden diese Bereiche durch flächig schraffierte Grafikelemente hervorgehoben. In beiden Bereichen tritt eine große Anzahl von kleinräumigen Reflexionseinsätzen auf. Diese liegen hauptsächlich im Winkelbereich zwischen etwa 45° (rechts oberhalb) und 100° (rechts), ausgehend von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.

Derartige Reflexionsmuster, die als Diffraktionen bezeichnet werden, werden voraussichtlich durch kleinräumige Inhomogenitäten innerhalb der Schweben hervorgerufen, zum Beispiel in Form von Kluft- oder Störungszonen. Nicht auszuschließen ist, dass die Diffraktionssignale durch Objekte aus dem Inneren der Einlagerungskammer 7/750 generiert werden wie zum Beispiel durch Gebinde oder Verfüllmaterial.

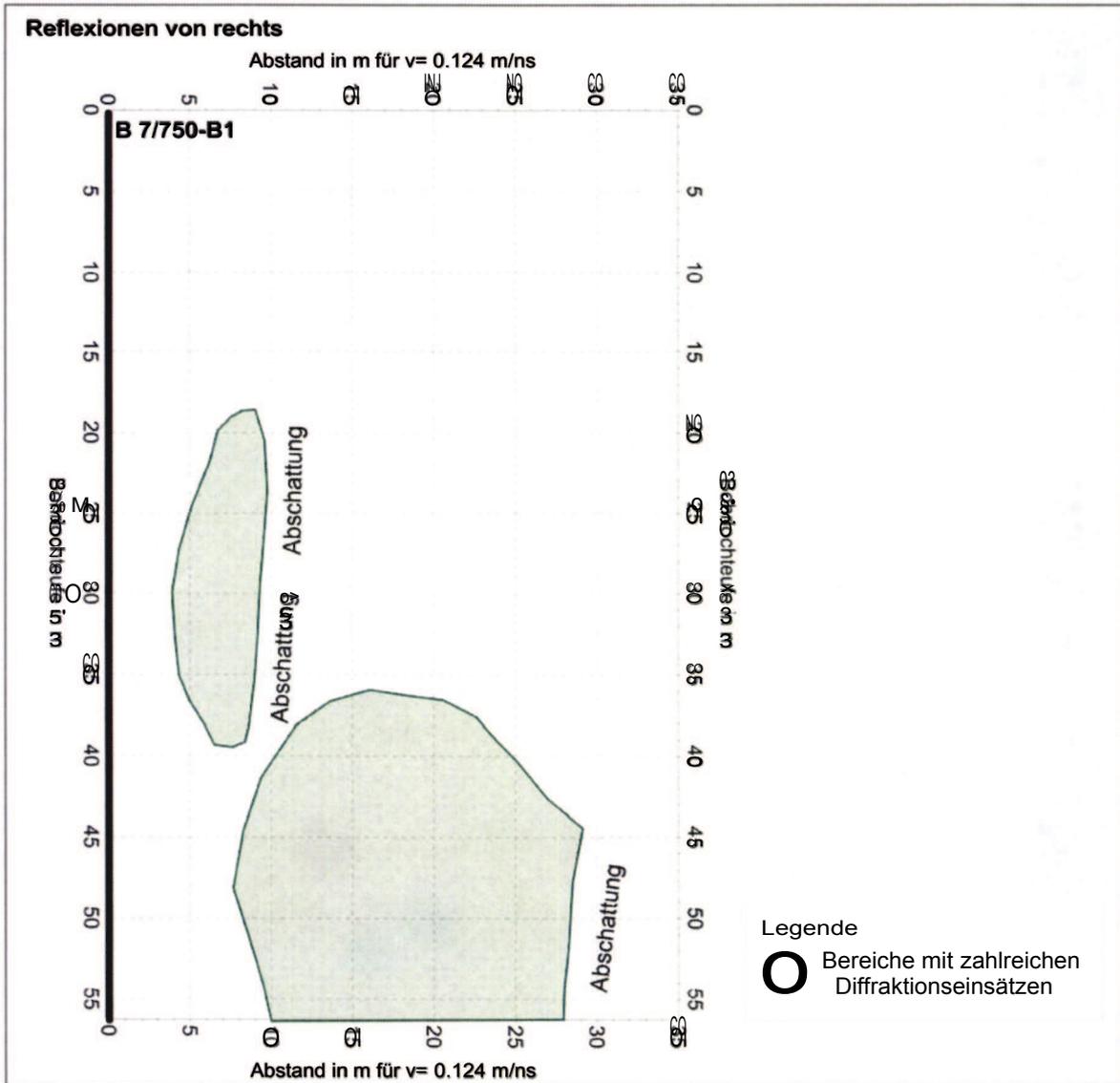


Abbildung 13: 2D-Darstellung der Strukturen rechts von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 28
---	-----------

5.3 3D-Visualisierung der Ergebnisse

Neben der Darstellung von Radarergebnissen in zweidimensionalen Profilschnitten ist durch die eindeutige Erfassung der Raumkoordinaten von Reflektoren mit der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde eine räumliche Darstellung der Ergebnisdaten möglich. Die Betrachtung der Ergebnisse im dreidimensionalen Raum unterstützt die räumliche Vorstellungskraft des menschlichen Gehirns und verbessert dadurch die Anschaulichkeit der Messergebnisse. Insbesondere können durch diese Darstellungsweise die relative Lage und die Entfernungen verschiedener Strukturen zueinander besser verstanden werden. Durch die gemeinsame Darstellung der Ergebnisse von mehreren Messungen aus unterschiedlichen Bohrlöchern oder Positionen kann überdies die räumliche Ausdehnung von Objekten und Strukturen erfasst werden. Die berechneten Raumkoordinaten der ermittelten Reflektoren können beispielsweise mit einer Demo-Version des Visualisierungsprogramms Voxler im dreidimensionalen Raum betrachtet werden.

Zur Erläuterung der Ergebnisse werden im Folgenden verschiedene Ansichten 3-dimensional dargestellt. Zur Orientierung sind bedeutende Grubenbauwerke in der Darstellungen schematisch skizziert (Abbildung 14). Die einzelnen Bauwerke lassen sich anhand ihrer Farbgebung unterscheiden. Die Einlagerungskammer 7/750 ist in roter Farbe dargestellt. Weitere Bauwerke sind das Verschlussbauwerk (orange), sowie die davor gelagerte Einhausung, von der aus die Erkundungsbohrungen B 7/750-B1 und B 7/750-B1.2 erstellt und untersucht wurden. Unterhalb des Verschlussbauwerks befindet sich die südliche Richtstrecke (grün). Im Hangenden der Erkundungsbohrungen B 7/750-B1 und B 7/750-B1.2 ist zudem in den Abbildungen der Abbau 8/725 auf der 725-m-Sohle skizziert (blau).

Grundsätzlich sollte die Betrachtung und Interpretation von Ergebnisdaten mit hinterlegten 3D-Koordinaten in entsprechenden 3D-Visualisierungsprogrammen (zum Beispiel Voxler von Golden Software) erfolgen, um eine bestmögliche Auswertung aller enthaltenen Informationen zulassen zu können. Derartige Programme ermöglichen durch die Änderung der Betrachtungsperspektive insbesondere die Individualisierung der Ergebnisansicht unter verschieden-artigen Kriterien wie zum Beispiel aus Sicht der Geotechnik.

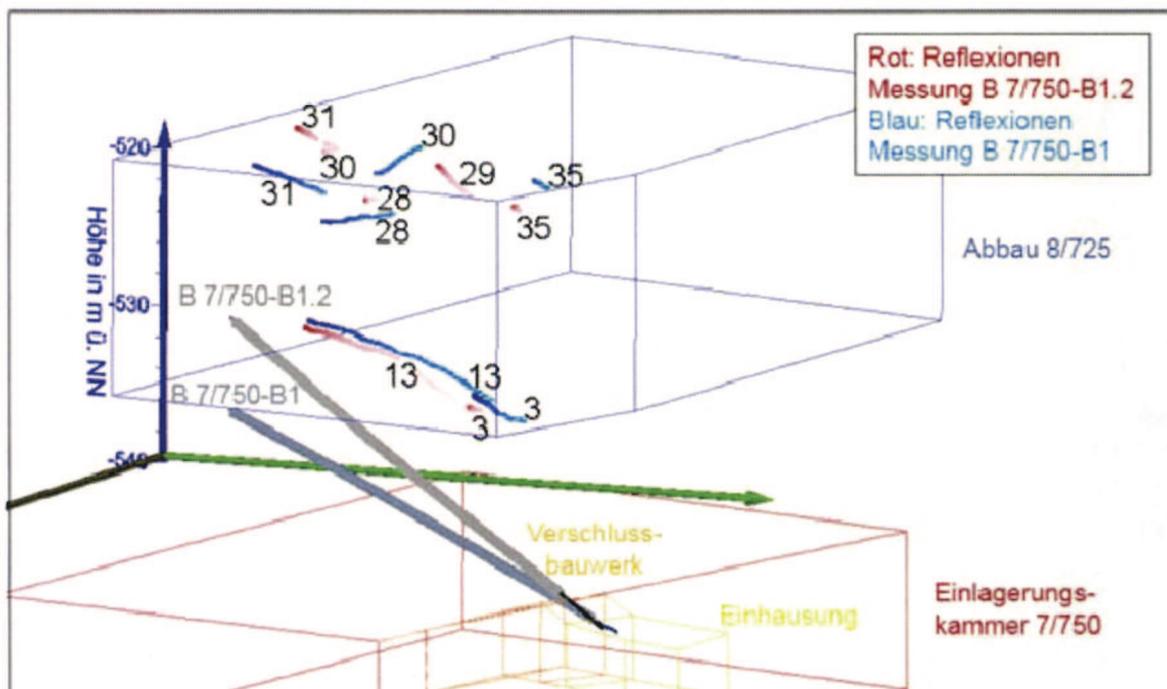


Abbildung 14: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Bereich des Abbaus 8/725

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAA	NNNNNNNNNN	NAAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 29
---	-----------

Neben den Ergebnissen aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 sind zudem die Ergebnisse der Erkundungsmessung mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar aus Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 in die nachfolgenden Darstellungen eingezeichnet, die dem zugehörigen Ergebnisbericht entnommen wurden /1/. Die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 ist in allen Darstellungen in grauer Farbe und die Erkundungsbohrung B 7/750-B1 in blauer Farbe dargestellt.

Die Erkundungsbohrungen B 7/750-B1 und B 7/750-B1.2 wurden von der Einhausung aus in den Bereich der Schweben zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und Abbau 8/725 abgeteuft. Auf den ersten Bohrm Metern befinden sich beide Erkundungsbohrungen B 7/750-B1 und B 7/750-B1.2 oberhalb des Verschlussbauwerks. Die aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 heraus detektierten Reflektoren erscheinen in den Darstellungen in roten bis schwach rosa Farbtönen. Dagegen werden die Ergebnisse aus der Erkundung in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 in blauen Farbtönen gezeigt.

5.3.1 3D-Ansicht aus dem Bereich des Abbaus 8/725

In Abbildung 14 werden Reflektoren aus dem Bereich des Abbaus 8/725 gezeigt. Mit den Reflektoren 3 und 13 konnte die Sohle der Abbaukammer 8/725 nachskizziert werden. Der Sohlenverlauf zeigt eine leicht gewölbte Form im mittleren Kammerbereich. Der Verlauf der Firste des Abbaus 8/725 wird vermutlich durch die Reflektoren 31 und 35 beschrieben. Die Reflektoren 28 bis 30 sind dagegen internen Strukturen innerhalb des Abbaus 8/725 zuzuordnen.

5.3.2 3D-Ansicht von Reflexionen aus der südlichen Richtstrecke

Die Abbildung 15 zeigt die Reflektoren, die der südlichen Richtstrecke zuzuordnen sind. Die Darstellung der Reflektoren aus der südlichen Richtstrecke verdeutlicht die Komplexität der Interpretation von Ergebnissen aus Messungen mit 3D-Bohrlochradarsystemen. Die Reflexionssignale der Reflektoren 26, 27, 52 und 53 wurden aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 registriert, welche sich direkt oberhalb der Einlagerungskammer 7/750 befindet. Ohne Richtungsinformation und anhand der Schnittbilder in Abbildung 11 und in der Abbildung 12 wären diese Strukturen auf eine vertikale Ebene nach unten projiziert worden. Dadurch würden diese Reflektoren fälschlicherweise dem inneren Aufbau der Einlagerungskammer 7/750 zugeordnet werden.

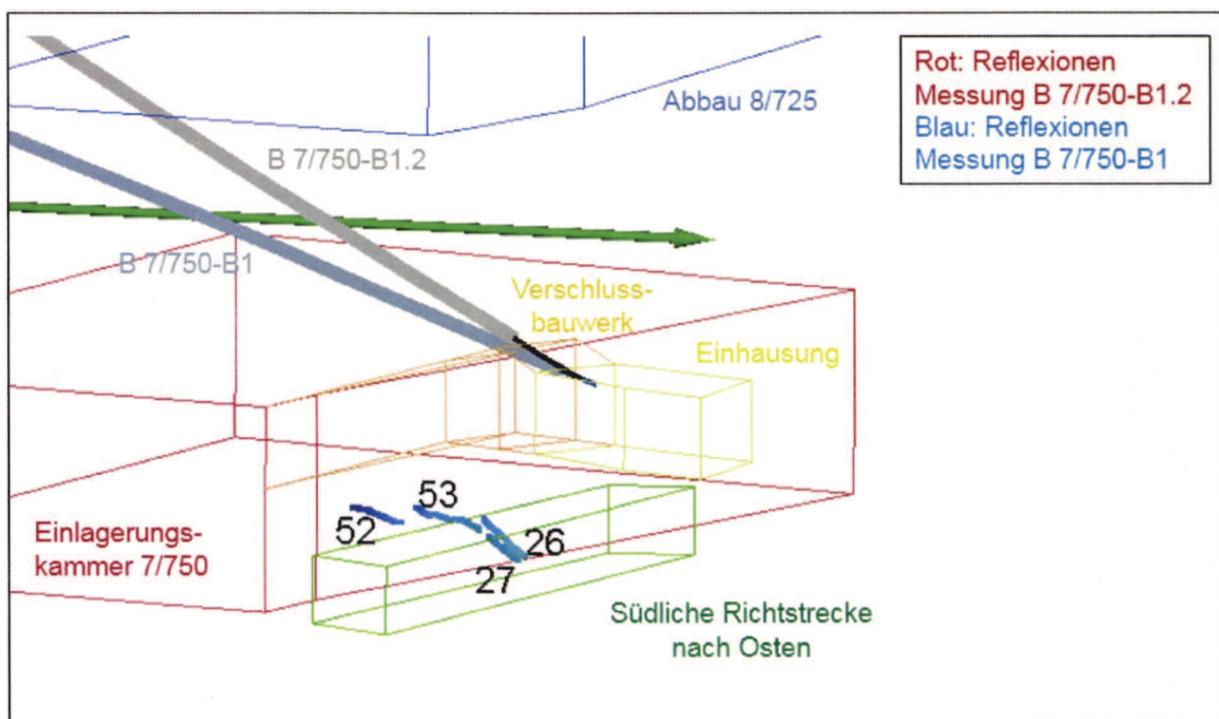


Abbildung 15: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Bereich der südlichen Richtstrecke nach Osten

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 30
---	-----------

Tatsächlich befinden sich diese vier Reflektoren unten rechts von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1, gemäß der Polardarstellung in den Abbildungen 10, 11 und 12 im Winkelbereich zwischen etwa 150° und 160° (Reflektoren 26, 27, 53) beziehungsweise etwa 210° (Reflektor 52). Dies bedeutet, dass sich diese Reflektoren außerhalb der Einlagerungskammer 7/750 befinden und somit nicht der Einlagerungskammer 7/750 zuzuordnen sind. Vielmehr stellen sie die Streckenfirste oder interne Strukturen der südlichen Richtstrecke dar. Derart komplexe Interpretationen sind ausschließlich mit den Ergebnissen des richtungssensitiven Messsystems möglich.

5.3.3 3D-Ansicht von Reflexionen aus der Firste der Einlagerungskammer 7/750

Im Bereich des Verschlussbauwerks und der vermuteten Firste der Einlagerungskammer 7/750 wurden zahlreiche Reflektoren detektiert (Abbildung 16). Das Verschlussbauwerk zeichnet sich in den Messdaten durch die Reflektoren 1 und 4 ab. Die daran anschließenden Reflektoren weisen oberhalb der Einlagerungskammer 7/750 einen gewölbten Verlauf auf. Die Reflektoren 5, 16, 56 und 57 wurden bereits in Kapitel 5.2.4 als mögliche Firstkontur identifiziert. Auch innerhalb der Einlagerungskammer 7/750 konnten einige Objekte geortet werden (Reflektoren 10, 18, 55, 59).

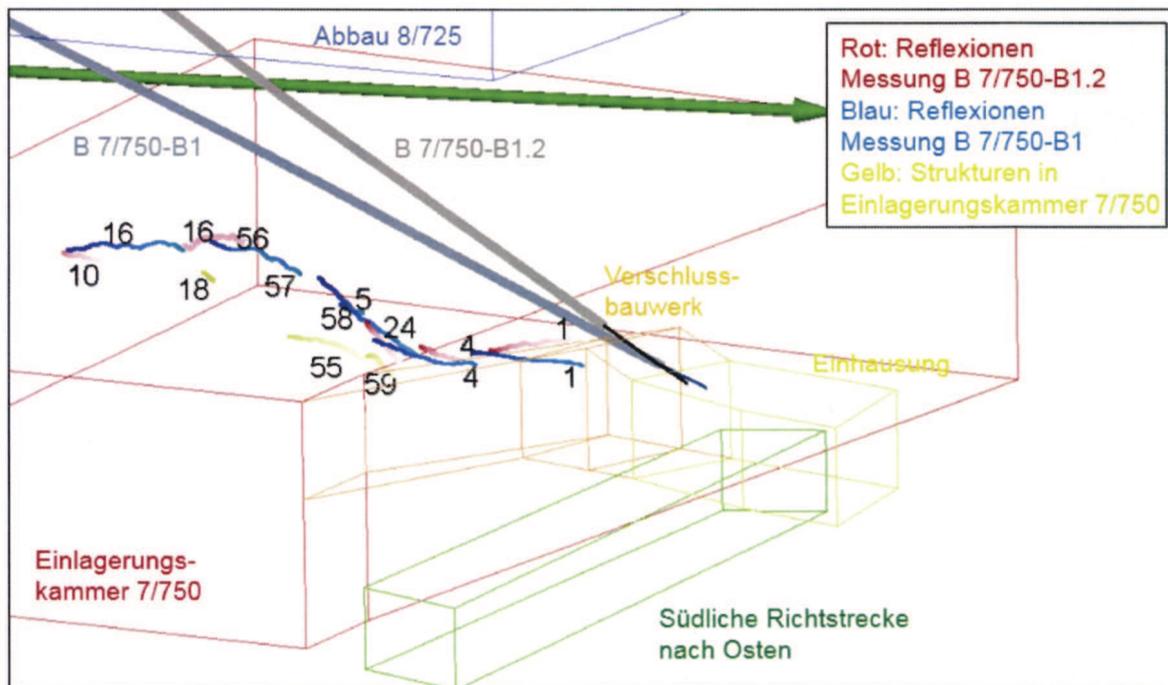


Abbildung 16: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Firstbereich der Einlagerungskammer 7/750

5.3.4 3D-Ansicht von Reflexionen aus der Schweben zwischen Einlagerungskammer 7/750 und Abbau 8/725

Die drei Abbildungen 17 bis 19 zeigen Reflektoren innerhalb der Schweben zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725. Zur Übersichtlichkeit und Abgrenzung nach unten wurden die Reflektoren der Firstkontur (Abschnitt 5.3.3) in diesen Abbildungen in grau dargestellt. Aufgrund der Vielzahl an Einzelstrukturen in den Messergebnissen in diesem Bereich beschränkt sich die Darstellung und Interpretation auf die Hauptstrukturen.

In der Seitenansicht in Abbildung 18 ist beispielsweise der Verlauf der Firste der Einlagerungskammer 7/750 deutlich zu erkennen (grau). Im unmittelbaren Umfeld der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 wurden zahlreiche Reflektoren detektiert. Einzelne dieser Reflektoren bilden zusammen genommen eine Art Kreuzstruktur, wie auch in Kapitel 5.2.4 beschrieben. Ein Teil dieser Kreuzstruktur zeigt einen Verlauf von der südlichen Sohlenkante von Abbau 8/725 auf die nördliche Firstkante der Einlagerungskammer 7/750. Die Struktur wird im

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 31
---	-----------

Hangenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 durch die Reflektoren 60, 63 und 64 gebildet und setzt sich im Liegenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 mit der Reflexion 2 fort. Die entgegengesetzten Strukturen verlaufen im hinteren Profilbereich parallel zur Firstkontur der Einlagerungskammer 7/750 (Reflektoren 9, 10, 12, 67). Auf der ersten Profilhälfte lässt sich die Struktur anhand der Reflektoren 41 und 49 weiter verfolgen.

Ein Großteil der detektierten Strukturen wird durch Trennflächen innerhalb der Schweben verursacht. Diese Struktur scheint hauptsächlich aus zwei Teilen zu bestehen. Das erste Trennflächensystem verläuft von der südlichen Sohlenkante des Abbaus 8/725 auf die nördliche Firstkante der Einlagerungskammer 7/750. Das zweite Trennflächensystem verläuft gegenläufig von der nördlichen Sohlenkante des Abbaus 8/725 auf die südliche Firstkante der Einlagerungskammer 7/750.

Die Abbildung 19 zeigt, dass der Großteil der Reflektoren – von oben betrachtet – parallel zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 verläuft. Am Profilende wurden zwei gekrümmte Strukturen detektiert, die mit größerem Abstand von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 in der Aufsicht parallel zu den südlichen Stößen von Einlagerungskammer 7/750 und Abbau 8/725 verlaufen (Reflektoren 6 und 7). Auch am Profilanfang verlaufen Reflektoren parallel zum Stoß der Einlagerungskammer 7/750 (Reflektoren 21, 39, 48 und 50).

Der Blick in das geologische Risswerk der 750 m-Sohle [2] zeigt, dass sich diese Strukturen parallel zu den aus den geologischen Schnitten bekannten Schichtgrenzen der 750 m-Sohle im Bereich der Einlagerungskammer 7/750 befinden. Die Reflektoren lassen sich allerdings nicht eindeutig mit diesen Schichtgrenzen korrelieren. Die Reflektoren 6 und 7 stellen vermutlich Strukturen innerhalb des Orangesalzes (Na3γ) dar.

Mit den Reflektoren 21 und 39 beziehungsweise 48 und 50 werden Strukturen innerhalb des Liniensalzes (Na3) abgebildet. Auffällig ist, dass sich diese Strukturen im Bereich oberhalb der Firste der Einlagerungskammer 7/750 beziehungsweise unterhalb der Sohle von Abbau 8/725 befinden. Alternativ können die beschriebenen Reflektoren auch als vertikale Trennflächenstrukturen in den vermutlich stark beanspruchten Übergangsbereichen zwischen Schweben und Pfeiler beziehungsweise dem ungestörten Gebirge erklärt werden.

KQM_Textblatt_REV09_Stand-2016-02-01

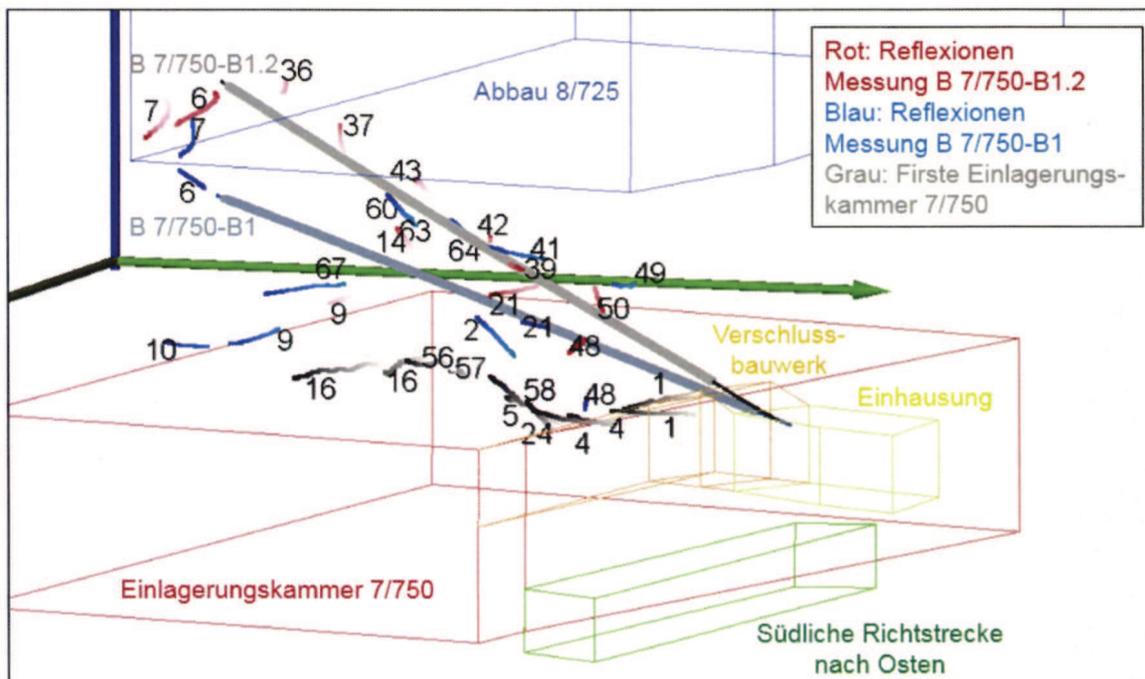


Abbildung 17: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Bereich der Schweben

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung
B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 32

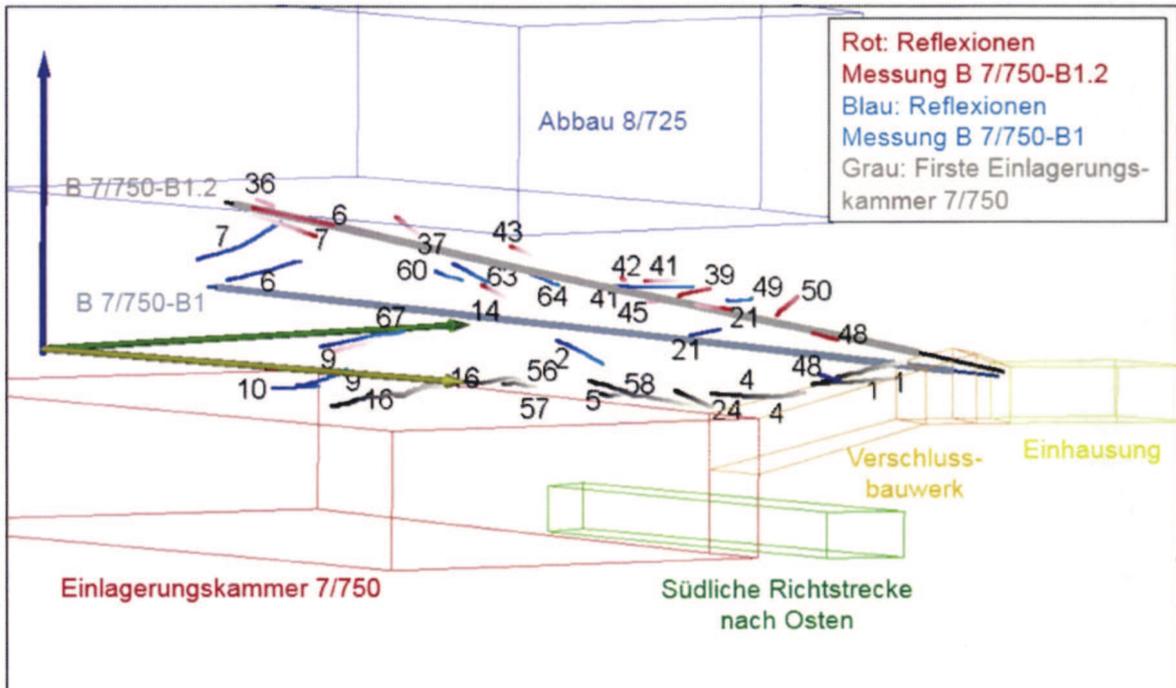


Abbildung 18: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Bereich der Schwebel – Seitenansicht

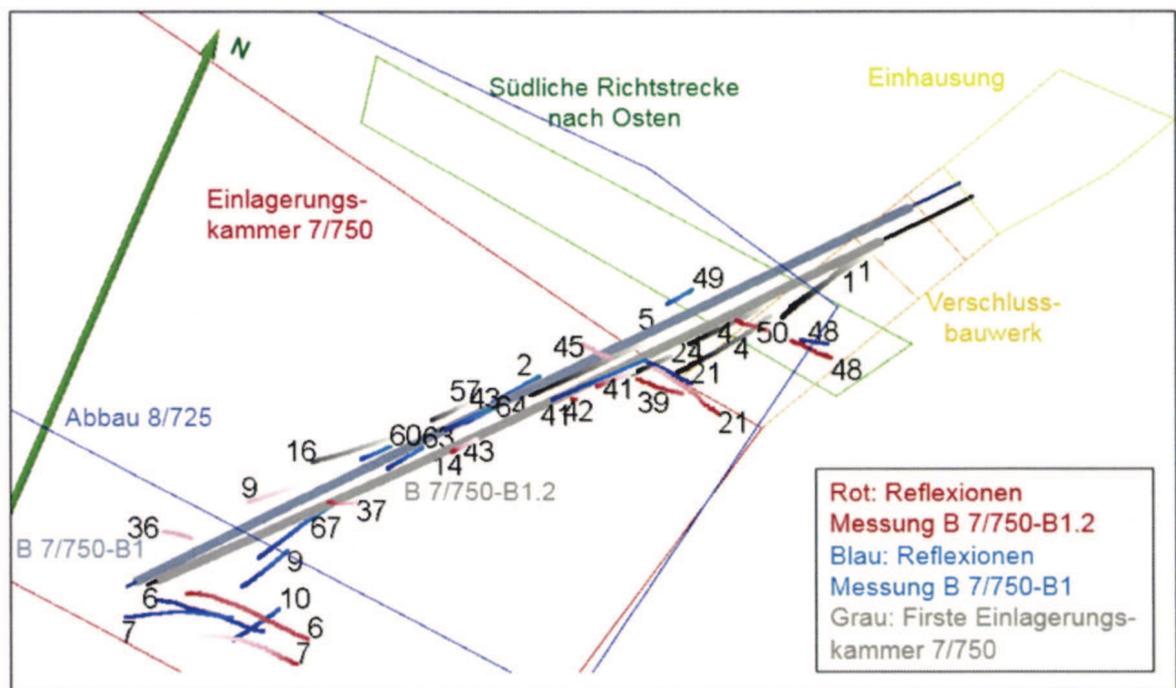


Abbildung 19: 3D-Ansicht der Reflektoren aus dem Bereich der Schwebel – Aufsicht

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



Fakterhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 33
---	-----------

5.4 Interpretation und Abgleich mit den Messergebnissen der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2

5.4.1 Abgleich mit dem Horizontalschnitt der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2

Im Folgenden werden die Ergebnisinformationen aus den Messungen mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 /1/ mit den oben dargelegten Ergebnissen der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 verglichen. Die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 liegt oberhalb von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 mit einem etwas östlicheren Richtungsverlauf. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird sie in der Ansicht etwas weiter östlich versetzt dargestellt.

Um einen Abgleich der Messungen in diesem Projekt mit den Ergebnissen der Erkundung mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar in der darüber liegenden Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 zu ermöglichen, wurde auch für die Messung in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 ein Horizontalschnitt erstellt. Anlage 5 zeigt diesen Horizontalschnitt, der ebenfalls auf einen Grubenplan projiziert wurde. Der Vergleich der Horizontalschnitte der beiden Messungen zeigt zunächst ein ähnliches Bild.

Der Stoß der Einlagerungskammer 11/750 konnte auch aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 heraus detektiert werden. Das Verschlussbauwerk ist jedoch in diesem Horizontalschnitt nicht eindeutig zu erkennen. Aufgrund der unterschiedlichen geometrischen Lage der oberen Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 zum Verschlussbauwerk, zeichnet es sich nur im entsprechenden Vertikalschnitt ab (siehe Erkundungsbericht zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 /1/). Nahe dem Ende der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 liegen links Reflektoren, die sich mit der Bohrteufe der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 annähern.

Auch im Horizontalschnitt der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 wurde oberhalb der Einlagerungskammer 7/750 ein auffälliger Bereich mit zahlreichen Diffraktionseinsätzen registriert. Der Bereich erscheint in dem Datensatz der B 7/750-B1.2 etwas kleiner als der Datensatz aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.

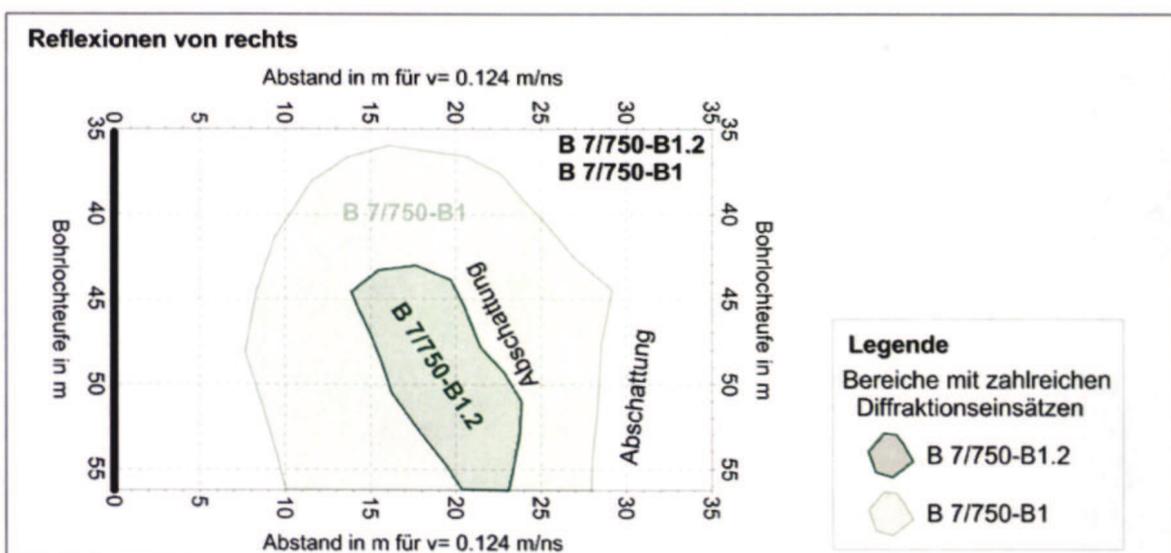


Abbildung 20: 2D-Darstellung der Strukturen rechts der Erkundungsbohrungen B 7/750-B1.2 und B 7/750-B1

Abbildung 20 zeigt schraffiert die Diffraktionsbereiche beider Auswertungen im Lage- und Größenvergleich. Insgesamt scheint sich der Diffraktionsbereich der oberen Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 auf den Kernbereich des auffälligen Bereichs der unteren Erkundungsbohrung

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 34
---	-----------

B 7/750-B1 zu beschränken. In beiden Datensätzen wurden Abschattungsgebiete, verursacht durch amplitudenstarke Reflexionen aus anderen Raumrichtungen, beobachtet. Das bedeutet, dass die genauen Abgrenzungen der auffälligen Bereiche, vor allem zu den von den Erkundungsbohrungen B 7/750-B1 und B 7/750-B1.2 abgewandten Seiten, anhand der Radarmessdaten nicht bestimmt werden können.

Die Interpretation des Diffraktionsbereichs wurde bereits in Kapitel 5.2.4 vorgestellt. Insgesamt kann anhand der Radardaten die Schlussfolgerung gezogen werden, dass der auffällige Bereich aus zahlreichen kleinräumigen Elementen besteht und nach oben hin kleiner wird. Sollte es sich bei den Diffraktionen um interne Strukturen innerhalb der Einlagerungskammer 7/750 handeln, so wird durch die beiden Schnittbilder die Firstkontur der Einlagerungs-kammer 7/750 grob skizziert.

5.4.2 Abgleich mit den Messergebnissen der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2

Der Steigungswinkel der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 beträgt etwa 6° und entspricht einer um ca. 6° geringeren Steigung als bei der benachbarten Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2. Grundsätzlich konnte ein Großteil der bei den Messungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 erfassten Strukturen mit dieser Messung wieder detektiert und in der räumlichen Lage verifiziert werden. Durch die veränderte Geometrie der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 gegenüber der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 ergeben sich unterschiedliche Reflexionspunkte auf den detektierten Strukturen.

Durch den veränderten Neigungswinkel der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 mit einer um etwa 6° geringeren Steigung verändert sich die Perspektive der Strukturen relativ zur richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde. Dies bewirkt gerade bei kleinen, steil zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 fallenden Reflektoren im direkten Umfeld der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 eine Neuerfassung, die mit vorherigen Messergebnissen nicht aufzulösen war. Ebenso können durch die Veränderung der Perspektive gerade kleinräumige Strukturen, welche aus anderen Bohrungen detektiert wurden, nicht erneut geortet werden. Insgesamt konnten zwölf der Reflektoren, die aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 heraus erfasst wurden, bei der Messung in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 nicht wieder detektiert oder zugeordnet werden. Die Strukturen liegen im direkten Umfeld der beiden Erkundungsbohrungen B 7/750-B1 und B 7/750-B1.2 und stellen vermutlich Trennflächenstrukturen dar.

Auch für große Reflektoren wie beispielsweise Einlagerungskammern und Abbaue ergeben sich auf Grund der Perspektivenänderung veränderte Reflexions- und somit Ortungspunkte. Mit unterschiedlichen Messungen aus unterschiedlich ausgerichteten Erkundungsbohrungen können jeweils andere Bereiche derselben Struktur erkundet werden. Das bedeutet, dass die Ergebnisse von Radarmessungen aus verschiedenen Positionen im Allgemeinen, und speziell die Ergebnisse der Untersuchungen aus den beiden Erkundungsbohrungen B 7/750-B1 und B 7/750-B1.2, nicht deckungsgleich sind. Mit der Erfassung von dreidimensionalen Ortungspunkten können anhand der Ergebnisse Aussagen über die räumliche Ausdehnung von georteten Objekten gewonnen werden.

Die Lage der aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 detektierten Reflexionen konnte weitestgehend verifiziert werden. Die Reflektoren 3 und 13 finden sich sowohl in den Messergebnissen aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 als auch aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 heraus wieder (Abbildung 14). Durch die Kombination der Daten beider Messungen kann der Verlauf der Sohlenkontur des Abbaus 8/725 über einen gewissen Bereich nach-vollzogen werden.

Hinsichtlich des Verschlussbauwerkes (Reflektor 1, Erkundungsbohrungen B 7/750-B1.2 und B 7/750-B1, Abbildung 16) ist im Vergleich mit den aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 erzielten Ergebnissen eine Vergrößerung des Abstandes zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 mit einer deutlichen Änderung des Einfallswinkels um etwa 45° auf jetzt 245° zu verzeichnen. Mit den

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



Faktererhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 35
---	-----------

aus beiden Messungen erzielten Daten kann die Kontur des Verschlussbauwerkes nachvollzogen werden. Anhand von Messungen aus weiteren Erkundungsbohrungen könnten hier eingehende Aussagen über die Geometrie des Bauwerkes getroffen werden. Auch für den Reflektor 4 (Erkundungsbohrungen B 7/750-B1.2 und B 7/750-B1, Abbildung 16) ist diese Änderung des Einfallswinkels zu verzeichnen. Dieser Reflektor ist somit eher dem Verschlussbauwerk als der Firste der Einlagerungskammer 7/750 zuzuordnen.

Die Reflektoren im Bereich der vermuteten Firste der Einlagerungskammer 7/750 zeigen gute Übereinstimmungen im Vergleich beider Messresultate. Der vermutete Verlauf der Firste wird zudem durch die Reflektoren 10, 16 und 24 der Messung in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 ergänzt (Abbildung 16). Anhand der Kombination der Ergebnisse aus beiden Messungen kann der Verlauf der Firstkontur mit hoher Wahrscheinlichkeit nachvollzogen werden.

In der Schwebelage konnte insgesamt eine Vielzahl an Strukturen registriert werden. Neuortungen von Trennflächen finden sich ausschließlich oberhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1, im direkten Umfeld der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2. Möglicherweise lagen diese Strukturen bei der ersten Messung zu nah an der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 (< 1,00 m), um mit der dort eingesetzten Messfrequenz geortet werden zu können.

Auch in der als „Kreuzstruktur“ deklarierten Struktur zeigen sich leichte Unterschiede. Während die unterhalb liegenden Strukturen bereits in der vorherigen Messung in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 erfasst wurden, konnten die Strukturen im oberen Bereich deutlicher mit der Untersuchung in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 detektiert werden.

Die Messergebnisse aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 haben Abschattungsbereiche im Bereich der vermuteten Firste der Einlagerungskammer 7/750 gezeigt. Diese werden durch eine ungünstige Lage der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zwischen Reflektoren im Liegenden und im Hangenden verursacht. Die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 hat für den Zweck der Detektion der Firstoberkante eine etwas bessere Lage. Der Vergleich der beiden Messergebnisse zeigt zum einen, dass die Lage einer Erkundungsbohrung sehr wichtig für den Erfolg des Radarverfahrens ist. Zum anderen können abgeschattete Bereiche durch den Einsatz des Radarverfahrens in mehreren Erkundungsbohrungen mit unterschiedlicher geometrischer Perspektive aufgelöst werden.

5.4.3 Zusammenfassung der Interpretation

Die Interpretation ergibt sich aus den Einzelbetrachtungen der unterschiedlichen Darstellungen der Messergebnisse in den vorangegangenen Kapiteln. Durch die Messung mit der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde wurden Reflexionen bis zum Ende des Aufzeichnungsfensters registriert, was einem Abstand von etwa 90,00 m zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1 entspricht. Hinsichtlich der Zielstellung dieses Projektes wurde der Auswertebereich auf einen Abstand bis etwa 35,00 m von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 beschränkt.

Im Hangenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 konnte die Sohle von Abbau 8/725 detektiert werden. Einer der Reflektoren wurde über einen längeren Abschnitt registriert (Reflektor 13). Auch darüber wurden mehrere Strukturen geortet, die zum Teil mit der Firste des Abbaus 8/725 korreliert werden können und zum Teil dem inneren Aufbau von Abbaus 8/725 zuzuordnen sind. Es wurden weitere Reflektoren im Bereich der 700 m-Sohle detektiert, die nicht Teil der Fragestellung sind und daher nicht ausgewertet wurden.

Der Stoß der Einlagerungskammer 11/750 konnte aus beiden Erkundungsbohrungen B 7/750-B1 und B 7/750-B1.2 heraus detektiert werden (Reflektor 33). Auf der ersten Profilhälfte wurden die südliche Richtstrecke nach Osten und das Verschlussbauwerk mit den Radarmessungen erfasst. Durch die Messungen in den beiden Erkundungsbohrungen B 7/750-B1 und B 7/750-B1.2 konnte das Verschlussbauwerk an zwei unterschiedlichen Positionen geortet werden (Reflektoren 1 und

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



ASSE
Anspruchsvoll handeln

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 36
---	-----------

4). Während die Daten aus der oberen Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 vermutlich die Firste des Bauwerkes zeigen, wurde mit der unteren Erkundungsbohrung B 7/750-B1 eine seitliche Struktur des Bauwerkes registriert. Anhand der Radarmessdaten kann die Lage des Verschlussbauwerkes korrigiert werden. Der Bauwerkstoß wurde von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 aus seitlich Richtung Osten versetzt detektiert.

In den Radarmessdaten der Erkundungsbohrung B 7 750/B1 zeichnet sich die Firstkontur der Einlagerungskammer 7/750 ab (Reflektoren 5, 16, 24, 56, 58). Die Messdaten deuten darauf hin, dass die Kontur aus mehreren Einzelreflexionen besteht. Teilweise verlaufen die einzelnen Reflektoren seitlich versetzt voneinander. Anhand dieser Ergebnisse kann gefolgert werden, dass die Firste der Einlagerungskammer 7/750 keinen glatten bzw. gleichmäßigen Verlauf hat. Möglicherweise stellen diese Reflektoren Abschaltungen oder allgemein gebirgsmechanisch bedingte Beeinflussung der Firste dar. Auch innerhalb der Einlagerungskammer 7/750 wurden im Teufenbereich der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 von etwa 22,00 m bis 36,00 m mehrere firstnahe Reflektoren registriert.

Im Bereich der Schweben zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und Abbau 8/725 konnten zahlreiche Reflektoren detektiert werden, die im Wesentlichen mit Störungen und Klüften korreliert werden. Die georteten Strukturen liegen sowohl oberhalb als auch unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 in einem Fächer von jeweils etwa 60° (nördlich 330°-30°, südlich 150°-210°). In den vertikalen Schnittbildern hat sich insbesondere eine vertikale Kreuzstruktur herausgebildet. Die Kreuzstruktur lässt auf eine Beanspruchung der Schweben zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725 schließen. Die Trennflächenzonen kreuzen beide Bohrungen im mittleren Teufenbereich bei etwa 30,00 m.

Rechts von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zeigen die Messdaten einen größeren Bereich mit zahlreichen Diffraktionen. Diese Diffraktionen werden durch kleinräumige Strukturen verursacht. Die Interpretation der Daten führt zu zwei möglichen Schlussfolgerungen. Entweder zeigt die Schweben an dieser Stelle einen Auflockerungsbereich oder mit den Messdaten wurden Detailinformationen aus dem Inneren der Einlagerungskammer 7/750 gewonnen. Ein ähnlicher, jedoch kleinerer Diffraktionsbereich wurde auch in der darüber liegenden Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 beobachtet. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass der auffällige Bereich allgemein nach oben hin kleiner wird. Stammen die registrierten Strukturen aus dem Inneren der Einlagerungskammer 7/750, so kann die Ausdehnung der Einlagerungskammer 7/750 anhand der Radarergebnisse abgeschätzt werden.

Im Abgleich mit dem geologischen Sohlenriss [2] können einige der Reflektoren als geologische Schichtgrenzen oder eingeschaltete Lagerungen interpretiert werden. Die Reflektoren 6 und 7 im Bereich des südlichen Stoßes der Einlagerungskammer 7/750 sowie die Reflektoren 21, 39, 48 und 50 (Abbildung 19) liegen allgemein parallel zu den Schichtgrenzen des Orangensalzes (Na₃) und des Liniensalzes (Na₃).

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 37
---	-----------

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen der Faktenerhebung auf der Schachanlage Asse II wurden aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 heraus Reflexionsmessungen mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar durchgeführt. Ziel der Messungen war die Lokalisierung der Firste der Einlagerungskammer 7/750 sowie die Erkundung des Zustands der Schweben zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725. Zudem sollten Aussagen über mögliche Reflexionen aus dem Inneren der Einlagerungskammer 7/750 getroffen werden.

Durch Adaption der 3D-Bohrlochradarsonde an das Bohrgestänge konnte die Messung bei geschlossenem Preventerstack durchgeführt werden. Um eine richtungsabhängige Ankopplung der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde an das umliegende Salzgestein zu vermeiden, wurde die Sonde durch die Installation von Abstandshaltern am Gestänge und an der Sonde in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zentriert.

Zur Abschätzung der Winkelgenauigkeit wurden an mehreren Positionen Drehmessungen vorgenommen. Es wurde eine Toleranz der errechneten Einfallswinkel von maximal 3% (10°) ermittelt, was im Entfernungsbereich des Firstverlaufs der Einlagerungskammer 7/750 einer seitlichen Toleranz der Ortungspositionen von etwa 70,00 cm entspricht.

Die Lage der bei Messungen aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 erfassten Reflektoren und deren Zuordnung bezüglich bestehender Grubenbaue, insbesondere der Firste der Einlagerungskammer 7/750, konnte verifiziert werden. Eine im Dipolradargramm entfernungs-mäßig abweichende Ortung des Verschlussbauwerkes konnte mittels zusätzlicher Richtungsinformation der eingesetzten, richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde belegt werden.

Eine gesicherte Interpretation der vom Inneren der Einlagerungskammer 7/750 stammenden Reflexionen erschien, auch bedingt durch Überlagerung mit Reflexionen aus anderen Raumrichtungen, nicht möglich. Gegebenenfalls lassen weitere Untersuchungen mit dem Radarverfahren in weiteren benachbarten Erkundungsbohrungen eine kumulative Auswertung und somit eine Erfassung von Strukturen im Inneren der Einlagerungskammer 7/750 zu.

Es konnte, zuzüglich zu den bereits aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 heraus registrierten Strukturen, eine Vielzahl an Reflektoren oberhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 erfasst werden, die als Trennflächenstrukturen interpretiert werden. Mittels der Richtungsinformation konnten die Trennflächen- bzw. Auflockerungszonen in ihrer räumlichen Lage korrekt dargestellt werden. Sie bilden eine „Kreuzstruktur“, welche Hinweise auf einen gebirgsmechanisch beanspruchten Zustand der Schweben zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725 liefert.

7 Mitgeltende Dokumente

- /1/ DMT GmbH & Co. KG, Ergebnisbericht Bohrlochradarmessungen der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 auf der 750-m-Sohle in Richtung Einlagerungskammer 7/750, Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar
Asse-KZL: 9A/55110000/GEO/HF/BW/0004/xx

8 Literaturverzeichnis

- [1] Annan A.P., Davis J.L., Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil- and rock stratigraphy, 1989, Geophysical Prospecting, 37, S. 531-551.
[2] Schachanlage Asse, Geologischer Sohlenriss 750 m, Reg.-Nr. geo750-4T-05, Stand 20.04.2009

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 38
---	-----------

Anhang 1 Drehmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1

In der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 wurden an vordefinierten Messteufen Drehmessungen durchgeführt. Mit den Drehmessungen sollen Aussagen über die Genauigkeit der erfassten Einfallswinkel der Reflexionen getroffen werden.

Bei einer Drehmessung werden mehrere Punktmessungen in derselben Bohrlochteufe vorgenommen. Jeder Messpunkt wird mit veränderter radialer Orientierung der Sonde aufgezeichnet. Die Sonde wird dabei in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 um die eigene Längsachse gedreht. So kann die Variation der ermittelten Einfallsrichtung einer Reflexion in Abhängigkeit von der Sondenorientierung untersucht werden. Diese Winkelangabe muss theoretisch konstant bleiben, da der Ort des Reflektors sich nicht ändert. Seine Variation liefert demnach ein Maß für die Genauigkeit der Winkelbestimmung.

Um zusätzlich den Einfluss der Ankopplung der Antennen an das umliegende Salzgestein auf die Winkelgenauigkeit zu quantifizieren, wurden Messungen sowohl mit zentrierter als auch mit in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 direkt aufliegender Sonde durchgeführt. Es wurden an insgesamt fünf verschiedenen Teufen Drehmessungen durchgeführt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die getätigten Drehmessungen. Die Sonde wurde jeweils um etwa 30° gedreht und mindestens eine (360°) oder zwei (720°) volle Umdrehungen pro Teufe vorgenommen.

Tabelle 1: Messdurchführung Drehmessungen B 7/750-B1

Bezeichnung	Teufe [m]	Anzahl der Umdrehungen	Konfiguration
DRA	12,75	1	zentriert
DRB	51,75	1	zentriert
DRC	42,75	1	zentriert
DRE	32,25	2	zentriert
DRF	21,75	2	zentriert
DRW	21,75	2	ohne Zentrierung

Die Abbildungen 21 bis 24 stellen die Ergebnisse der Messungen DRA, DRB, DRC und DRE grafisch dar. Am rechten Rand des jeweiligen Ergebnisdiagramms sind zusätzlich die Mittelwerte mit den zugehörigen Fehlern (als vertikaler Balken) eingezeichnet. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse in Tabellenform.

Tabelle 2: Ergebnisse der Drehmessungen DRA bis DRE (zentriert)

Bezeichnung	Reflektor Nr.	Winkel [°]	Standardabweichung [°]	
			Standardabweichung [°]	Maximale Abweichung [°]
DRA	1	238.4	4.3	7.8
DRA	52	195.8	6.5	10.5
DRA	3	8.9	4.8	6.6
DRA	29	358.5	2.9	6.1
DRB	19	101.8	11.9	19.1
DRB	20	349.7	5.5	10.1
DRB	51	326.0	2.2	5.7
DRC	60	27.5	7.0	10.5
DRC	16	175.5	2.9	7.3
DRC	11	24.9	4.7	7.2
DRE	70	265.0	4.5	7.0
DRE	31	4.5	3.6	5.7
DRE	57	189.6	8.6	16.2

Analog zu den Ergebnissen der Drehmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 zeigt sich ein Sinus-ähnlicher Verlauf der ermittelten Winkelwerte über die Drehung der Sonde. Dieser Verlauf ist für die einzelnen Reflexionen unterschiedlich stark ausgeprägt. Die bei allen Messungen ermittelten Standardabweichungen der registrierten Winkelwerte variieren zwischen 2.2° und 11.9°. Für die maximalen Abweichungen vom Mittelwert wurden Werte von 5.7° bis 19.1° bestimmt. Die mittlere Maximalabweichung liegt bei 9,2°.

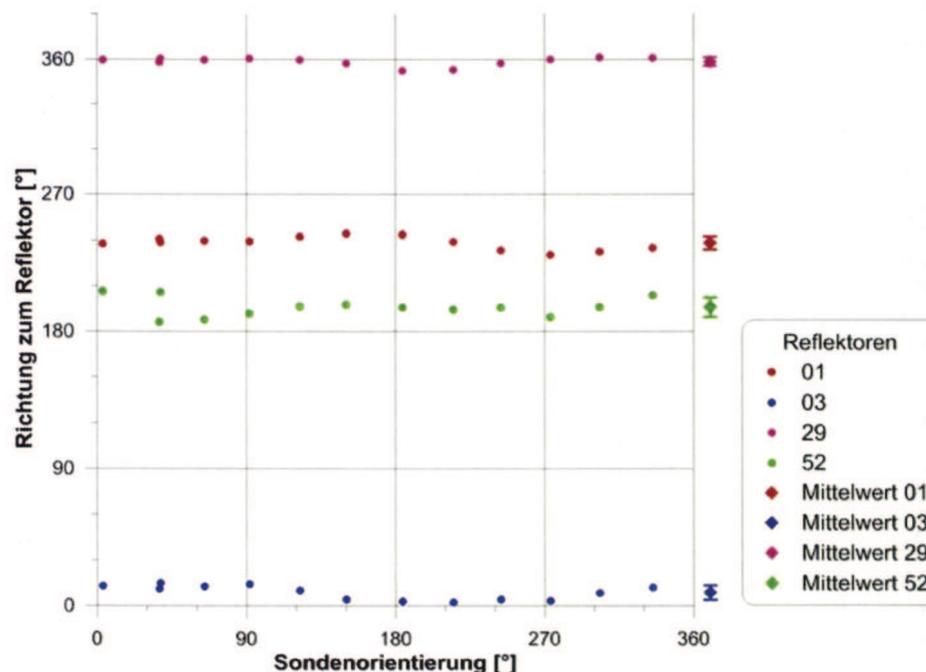


Abbildung 21: Ergebnisse der Drehmessung DRA bei 12,75 m (zentriert)

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



ASSE
Geophysikalische Erkundung

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 40

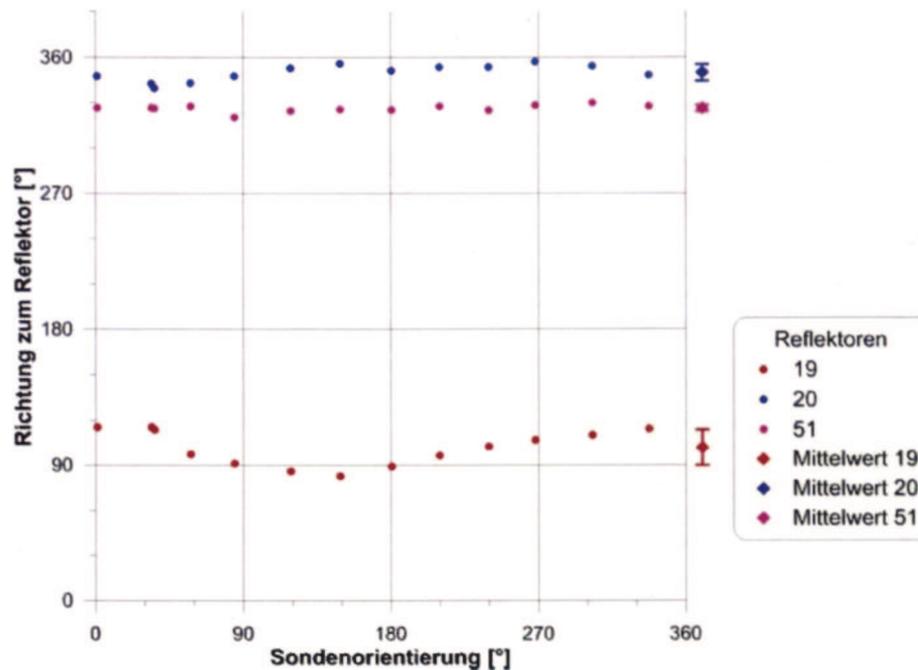


Abbildung 22: Ergebnisse der Drehmessung DRB bei 51,75 m (zentriert)

An der Teufenposition 32,25 m wurde eine doppelte Drehmessung (DRE) durchgeführt, d.h. die Sonde wurde zwei Mal um 360° gedreht. Die Winkelwerte der Drehung wurden in Bild 24 zu insgesamt 720° aufsummiert. In der Abbildung ist die Variation des Winkels über die beiden Umdrehungen zu erkennen. Theoretisch müssten die Winkel der Reflexionen bei derselben Orientierung der Sonde jeweils nahezu identisch sein. Im Allgemeinen lässt sich diese Vermutung anhand der Drehmessung bestätigen. Für alle drei Reflektoren zeigt sich jeweils in den Abschnitten 0° bis 360° und 360° bis 720° ein sehr ähnlicher Verlauf mit geringen Abweichungen.

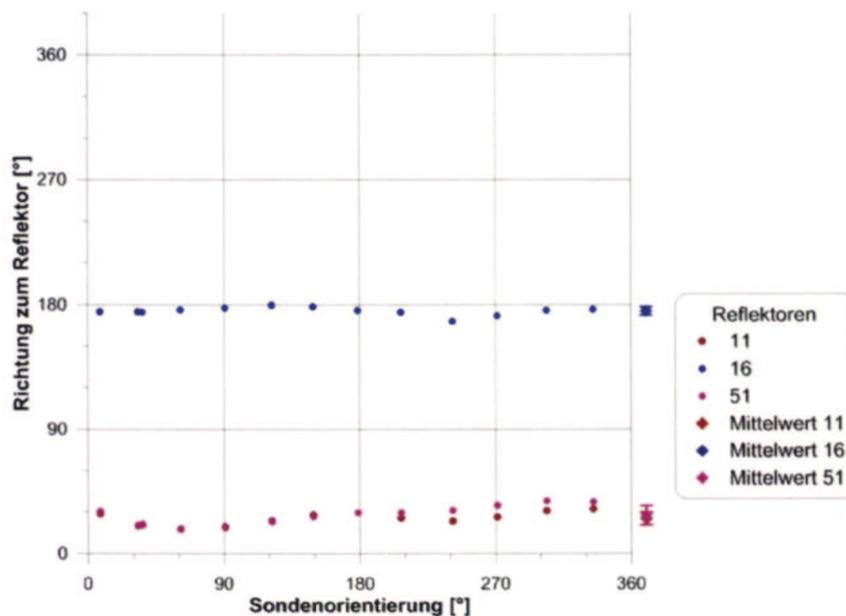


Abbildung 23: Ergebnisse der Drehmessung DRC bei 42,75 m (zentriert)

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 41
--	------------------

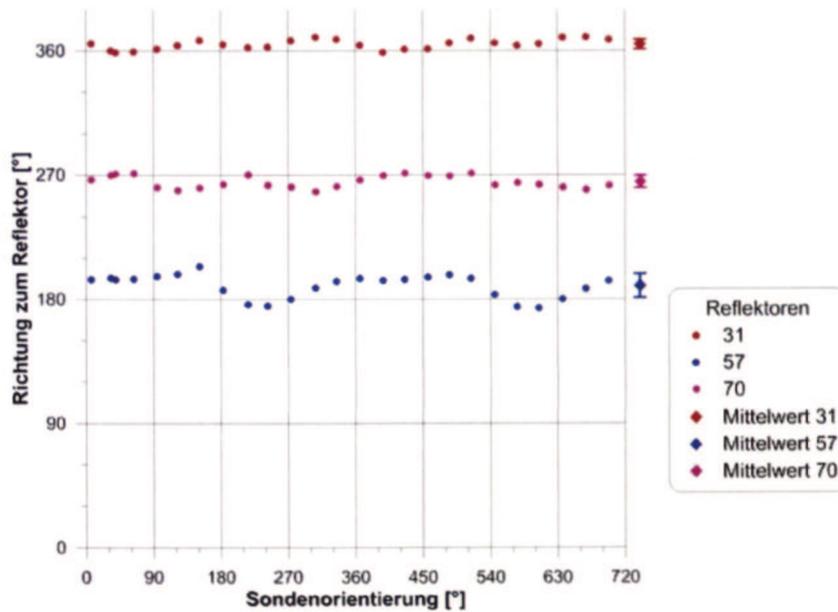


Abbildung 24: Ergebnisse der Drehmessung DRE bei 32,25 m (zentriert)

Die Bilder 25 und 26, sowie Tabelle 3 dokumentieren die Ergebnisse der Drehmessungen am Teufenmeter 21,75 mit unterschiedlicher Konfiguration. Während die Sonde bei der Messung DRW direkt in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 auflag, wurde die Sonde bei der Drehmessung DRF durch eine spezielle Zentriervorrichtung in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 zentriert. Der Sinus-ähnliche Verlauf der Winkelvariation ist in allen Darstellungen zu erkennen. Messungen mit und ohne Zentrierung der Sonde zeigten bezüglich der Standardabweichung der ermittelten Winkel keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 3). Anhand dieser Ergebnisse kann die Annahme getroffen werden, dass der Sinus-ähnliche Verlauf der Winkel weitestgehend unabhängig von der Zentrierung der Sonde ist.

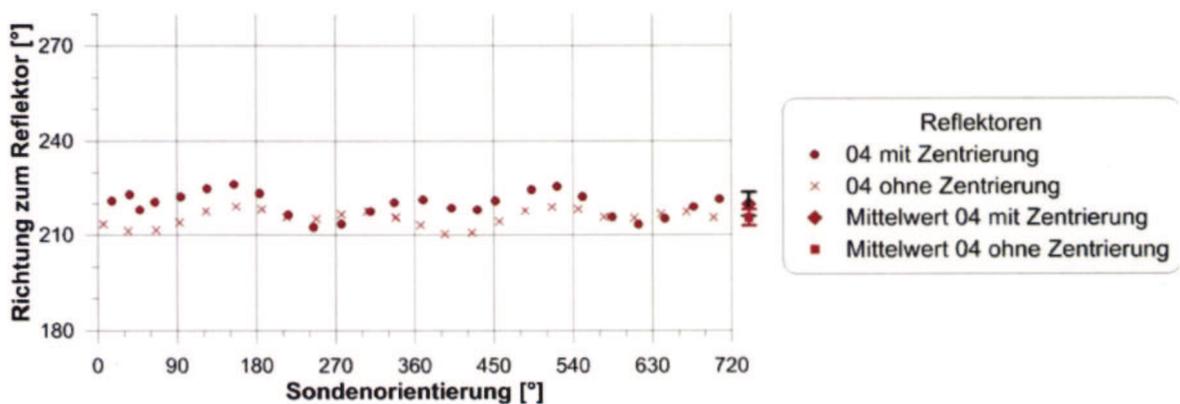


Abbildung 25: Ergebnisse der Drehmessungen DRF (mit Zentrierung) und DRW (ohne Zentrierung) bei 21,75 m, Winkelbereich 180° bis 270°

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 42
---	-----------

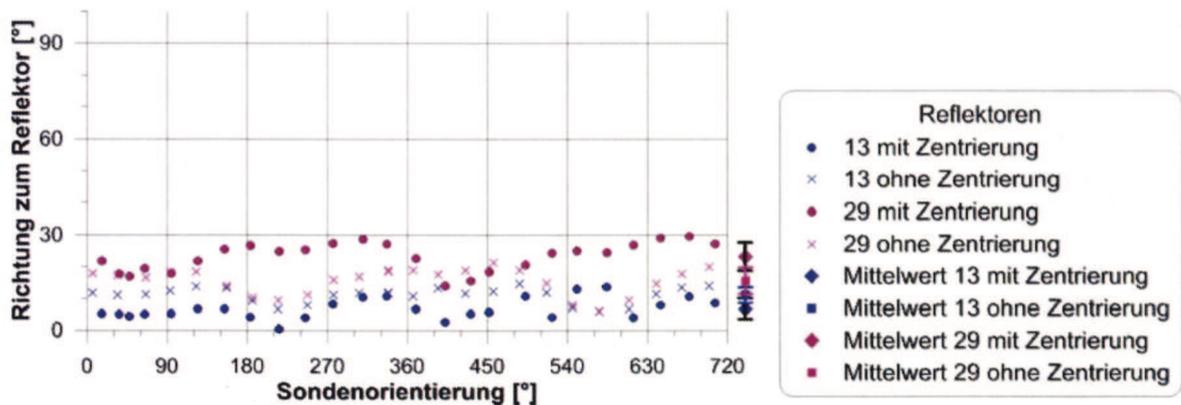


Abbildung 26: Ergebnisse der Drehmessungen DRF (mit Zentrierung) und DRW (ohne Zentrierung) bei 21,75 m, Winkelbereich 0° bis 90°

Die gemittelten Winkelwerte gleicher Reflektoren zeigen Differenzen bei der Messung mit und ohne Zentrierung der Sonde in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1. Die Messwertunterschiede liegen hier bei -4.3°, 4.4° und 7.5°. Möglicherweise wird diese Variation durch die unterschiedlichen Ankopplungsbedingungen bei den einzelnen Messungen hervorgerufen. Es zeigt sich also, dass die Zentrierung der Sonde einen unmittelbaren Einfluss auf die bestimmten Winkelwerte hat. Da bei zentrierter Sonde im Vergleich zur unzentrierten Anordnung gleichmäßigere Ankopplungsbedingungen in alle Raumrichtungen gelten, ist den Messungen mit zentrierter Sonde eine höhere Konfidenz beizumessen. Da zum Umbau der Zentrierung die Sonde aus der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 aus- und wieder eingefahren werden musste, könnte auch eine geringe Teufenabweichung Einfluss auf die ermittelten Winkelvarianzen gehabt haben.

Die Drehmessungen mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar, die in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 durchgeführt wurden, bestätigten den als allgemeine Toleranz angegebenen Wert von 10° für die ermittelten Winkel. Um den Einfluss der Ankopplung möglichst gering zu halten, ist die richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde bei allen Messungen zu zentrieren.

Tabelle 3: Ergebnisse der Drehmessungen DRF (zentriert) und DRW (ohne Zentrierung)

Bezeichnung	Reflektor Nr.	Winkel [°]	Standardabweichung [°]	Maximale Abweichung [°]	Winkeldifferenz Winkel DRF - DRW
DRF	13	6.8	3.3	6.8	-4.3
DRW	13	11.1	2.5	5.2	-4.3
DRF	4	219.8	3.9	7.2	4.4
DRW	4	215.4	2.5	5.1	4.4
DRF	29	23.1	4.5	7.5	7.5
DRW	29	15.6	4.2	9.5	7.5

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 43
--	------------------

Anhang 2 Information zum richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar

Anwendungsbereiche

Das richtungssensitive 3D-Bohrlochradar Modell 85 wurde speziell für ingenieurgeophysikalische Anwendungen entwickelt. Dieses System wird beispielsweise zur geologischen Erkundung in Salzbergwerken eingesetzt. Unter idealen Bedingungen können Eindringtiefen von mehreren hundert Metern erzielt werden. Auch bei der Anwendung im Kalkstein (Massenkalk) zur dreidimensionalen Lokalisierung von Kluftkörpern oder Hohlräumen werden hohe Reichweiten von über 150,00 m erzielt. Das richtungssensitive 3D-Bohrlochradar liefert für alle drei Raumrichtungen Koordinaten der lokalisierten Reflexionen. Anhand der Messergebnisse kann ein dreidimensionales Modell des untersuchten Standortes erstellt werden. Die Einsatzmöglichkeiten des Radarverfahrens sind standortabhängig. Eine Anwendung auf weitere Fragestellungen in anderen niedrig-leitfähigen Medien ist möglich und sollte im Einzelfall diskutiert werden. Neben der geologischen Erkundung und der Ortung von Hohlräumen eignet sich das Verfahren auch zur Lokalisierung von technischen Einbauten, wie beispielsweise Erkundungsbohrungen.

Für die Anwendung in tiefen vertikalen Bohrlöchern steht außerdem ein weiteres Modell des richtungssensitiven 3D-Bohrlochradars (Modell 130) zur Verfügung. Dieses System wird für die Erkundung von Kavernenstandorten im Salzgestein eingesetzt. Unter idealen Bedingungen können mit dem Radarverfahren sehr hohe Reichweiten erzielt werden.

Radarverfahren allgemein

Das Radarverfahren (Elektromagnetische Reflexion, EMR, GPR, Georadar) ist ein Wellenverfahren, bei dem ein elektromagnetischer Impuls in das geologische Umfeld abgestrahlt wird und die reflektierten Signale aufgezeichnet werden. Die Empfangssignale beinhalten Reflexionen, die von Inhomogenitäten aus dem umgebenden Gebirge hervorgerufen werden. Solche Inhomogenitäten zeichnen sich durch eine Änderung der dielektrischen Eigenschaften zum umgebenden Material aus.

Die Einsatzmöglichkeiten des Georadars sind abhängig von den elektromagnetischen Parametern des zu untersuchenden Mediums. Die besten Ergebnisse können unter niedrig-leitfähigen Bedingungen im Salzgestein und im Massenkalk erzielt werden, da an diesen Standorten die Dämpfung der elektromagnetischen Wellen sehr gering ist. Die besten Ausbreitungsbedingungen der Radarwellen werden in reinem, trockenem Salzgestein erreicht. Daher lassen sich beispielsweise mit einer Anregungsfrequenz von 50 MHz Reichweiten von vielen hundert Metern erzielen. Bei Verwendung höherer Frequenzen geht die Eindringtiefe auf Größenordnungen von Zehnermetern zurück. Einlagerungen, wie etwa Ton, Anhydrit oder sonstige nicht löslichen Anteile, erhöhen die Dämpfung und können so zu einer erheblich reduzierten Reichweite führen. Auch im Massenkalk werden hohe Eindringtiefen über 100,00 m erzielt. Ähnlich wie im Salz kann die Reichweite an diesen Standorten durch Toneinlagerungen mit erhöhter elektrischer Leitfähigkeit eingeschränkt werden.

Das Material eines reflektierenden Bereiches geht im Allgemeinen nicht direkt aus einem Radargramm hervor. Die Ermittlung der Ursache einer Reflexion und ihre geologische Zuordnung müssen in Zusammenarbeit mit einem „ortskundigen“ Geologen erfolgen. Die Ergebnisse der Radarmessungen können somit in ein geologisches 3D-Modell eingearbeitet werden und führen zu einer erheblichen Verbesserung der Kenntnis über die innere Strukturen.

Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Die Interpretation von Bohrlochradar-daten ohne Richtungsinformation ist nur durch das Zusammenführen mit Zusatzinformationen und Erfahrungswerten unter Verwendung bestimmter Annahmen möglich. Dagegen ermöglicht das richtungssensitive 3D-Bohrlochradar die Richtungsbestimmung der empfangenen Signale durch ein spezielles Antennenarray. Die Messdaten sind gekoppelt mit einer Kompass- und Neigungsmessanordnung zur Ermittlung des Bohrlochverlaufs bzw. aller Sondenbewegungen. Es lassen sich aus diesen Informationen Aussagen über die dreidimensionale Lage der Reflektoren im Raum gewinnen.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 44
--	-----------

Der Sensor, das sogenannte Antennenarray, besteht prinzipiell aus einem elektrischen Dipol und Rahmenantennen, über die, zusammen mit dem Kompass- und Lagemodul, eine Richtungsbestimmung der registrierten Signale vorgenommen wird. Die einzelnen Antennen in diesem Array weisen spezifische Abstrahl- und Empfangscharakteristiken auf (Abbildung 27). Dabei tritt die maximale Sensitivität senkrecht zur Antennenachse auf. Minimale Empfindlichkeit gibt es in Richtung der vertikalen Achse. Voraussetzung für die Registrierung einer Reflexion ist, dass die reflektierende Fläche so orientiert ist, dass die Wellen nach den Reflexionsgesetzen (Einfallswinkel = Reflexionswinkel) die Antenne wieder erreichen können, d. h. die Wellen müssen etwa senkrecht auf den Reflektor treffen.

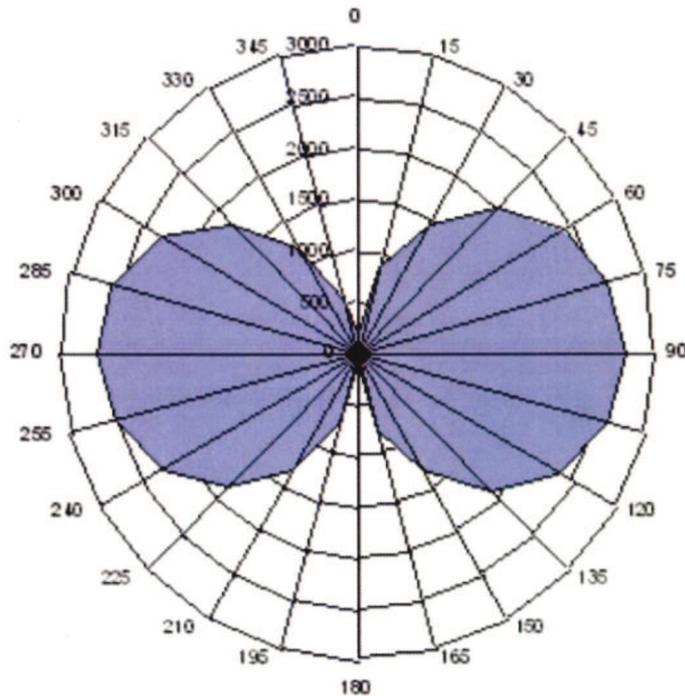


Abbildung 27 : Abstrahl- / Empfangscharakteristik einer Antenne (Antennenachse vertikal)

Messdurchführung

Bohrlochradarmessungen können nicht aus einer Metallverrohrung heraus erfolgen. Trockene, luftgefüllte Bohrungen und PVC-Verrohrungen haben dagegen keinen negativen Einfluss auf die Datenqualität. Wasser und Salzlauge haben generell einen stark negativen Einfluss auf die Datenqualität und können nur unter speziellen Randbedingungen als Bohrlochfüllung verwendet werden. Vorhandene Lauge muss vor einer Messung mit nichtleitfähigem Öl ausgetauscht werden. Dabei muss die Bohrwand sorgfältig von Laugenresten gereinigt werden und evtl. vorkommende leitfähige Bohrreste müssen möglichst vollständig durch nichtleitfähiges Öl ausgetauscht werden.

Die richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde (Abbildung 28) ist eine autarke Sonde, die lediglich eine einadrige Glasfaser-Datenverbindung zu einem PC oder Laptop benötigt. Über ein zum System gehöriges Telemetriemodul können als Datenverbindung auch beliebige Bohrlochmesskabel eingesetzt werden. Die Bohrlochmesskabel ermöglichen den Einsatz unter besonders rauen Bedingungen oder in vertikalen Bohrlöchern. Für Messungen in horizontalen oder geneigten Bohrungen stehen verschiedene, auch gasdichte Adapter zu den unterschiedlichsten Bohr- und Schubgestängen zur Verfügung. Die richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde kann auch an elektrisch steuerbare Winden angepasst werden.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	Blatt: 45



Abbildung 28: Zusammengebaute richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde 85

Tabelle 4: Technische Parameter der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde 85

Antennenfrequenzen (für Salz)	50 MHz, 100 MHz, 250 MHz
Durchmesser	85 mm
Elementlänge	2 m
Gesamtlänge	4 m bis 12 m
Temperatur	bis 75°C
Druck	bis 100 bar
Gewicht	bis 80 kg
Aufzeichnungslänge	bis 16 s
Reichweite (Salz)	bis 1.000 m
Reichweite (Massenkalk)	bis 160 m
Abtastrate	bis 2 GHz
Stapelrate	bis 8.000-fach
Verstärkung	bis 64 dB
Anzahl Verstärkungsfenster	bis 3

Der modulare Aufbau des Systems (Sendermodul, Empfängermodul, Telemetriemodul und Abstandselemente) ermöglicht einen einfachen Transport und eine individuelle Zusammenstellung der Module (Tabelle 4). Der Abstand zwischen Sender und Empfänger wird durch Abstandselemente eingestellt. Die Einstellung dient dem Abgleich der Amplitude des Ersteinsatzes (direkte Welle) zur optimalen Ausnutzung der Systemdynamik.

Bei dem Betrieb der Sonde an einem Bohrlochmesskabel oder einem Bohrgestänge wird zur Entkopplung des Empfängers mindestens ein Abstandselement zwischen Empfangs- und Telemetriemodul erforderlich. Die Gesamtlänge der Sonde variiert je nach Anzahl der verwendeten Elemente und der verwendeten Frequenz zwischen 4,00 m und 12,00 m. Mit der Bohrlochsonde wird das Profil im Bohrloch schrittweise in konstanten Abständen vermessen (Abbildung 29). Je nach Aufgabenstellung und verwendeter Frequenz können die Punktabstände von 0,05 m bis 1 m variieren. Von einem einzelnen Teufenpunkt aus kann mit dem System nur eine punktuelle Information gewonnen werden. Mit einer Messung über einen gewissen Teufenbereich wird die Struktur eines Reflektors über einen Abschnitt verfolgt. Für die Datenaufzeichnung wird das Messprogramm EMR (DMT) verwendet. Da der Antennenabstand (Offset) für eine Profilmessung unverändert bleibt, wird diese Messgeometrie als Constant-Offset-Anordnung bezeichnet.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0009	00	
Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar							Blatt: 46

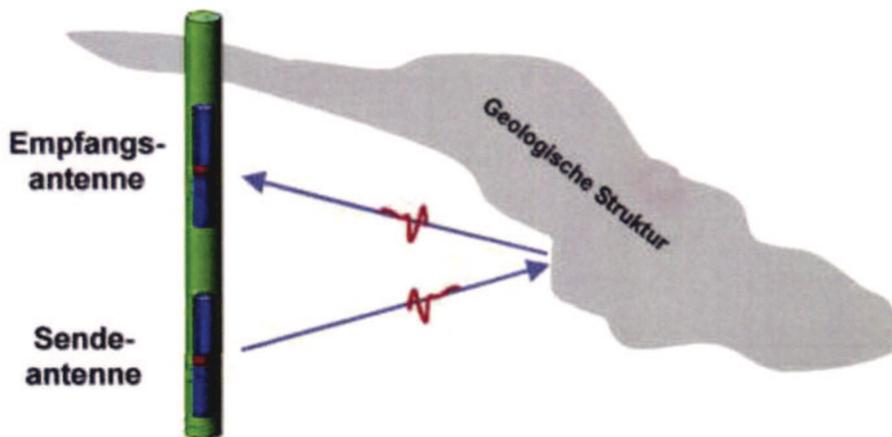


Abbildung 29: Prinzipskizze einer Bohrlochradarmessung

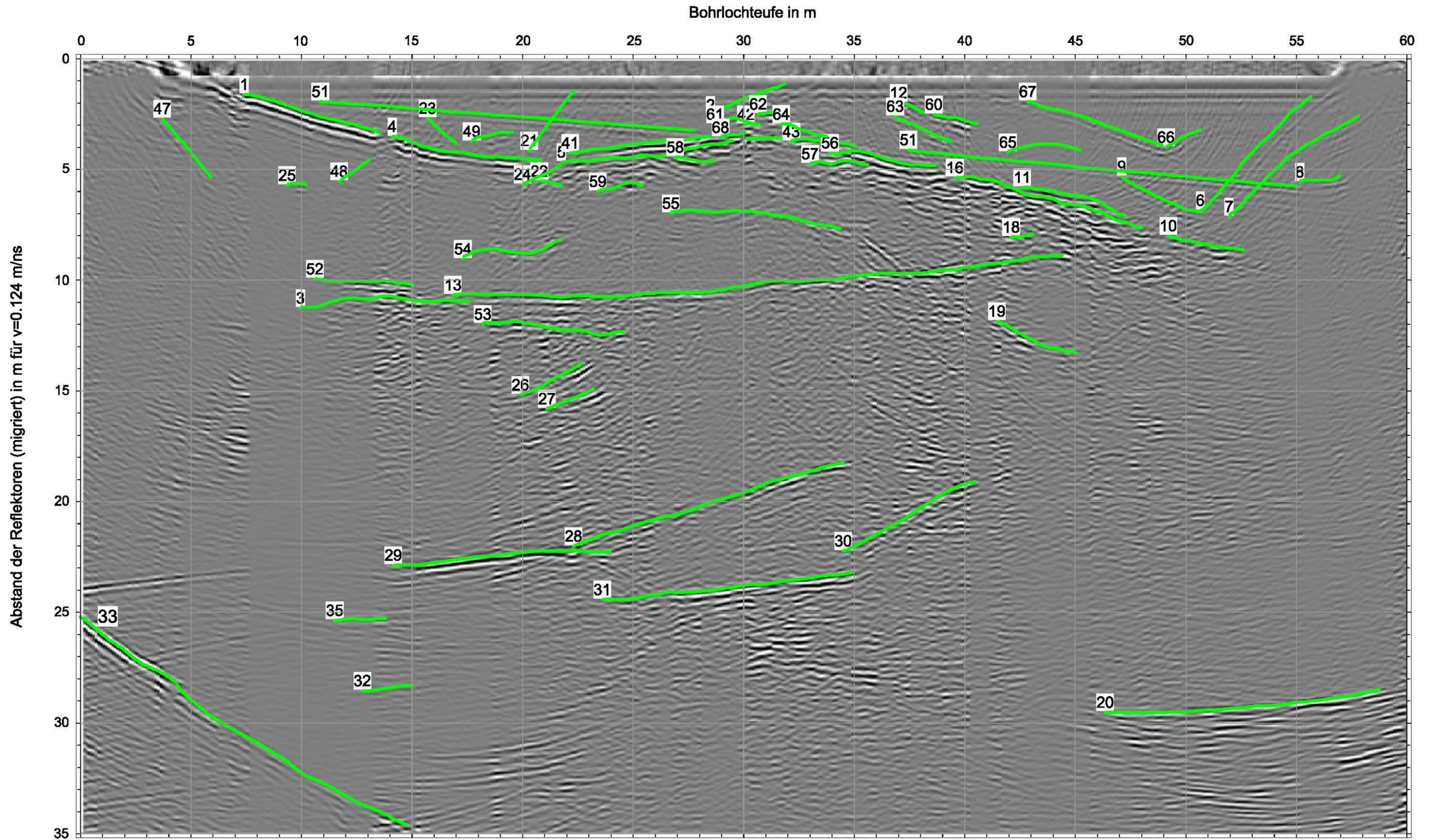
Für die Apparatur stehen Antennen mit Frequenzen zwischen 50 MHz und 250 MHz zur Verfügung. Diese Mittenfrequenzen gelten für die Ausbreitung in Salz. Nach bisherigen Erfahrungen wird damit ein Optimum an Reichweite und Auflösung in der Salzstrukturerkundung erreicht. Bereits während der Messung werden die Messdaten einer Qualitätskontrolle unterzogen. Zusätzlich erfolgt eine Vorbearbeitung der Radarmessdaten, um den Erfolg der Messung abzuschätzen. Die Messung sollte zeitweise durch einen Vertreter des Kunden, z. B. einen Geologen, begleitet werden. Mittels Zusatzinformationen, wie etwa Bohrungsdaten (Drill Data Log, Profilschnitt, etc.) können die einzelnen Reflexionen noch während der Messung einer vorläufigen Interpretation unterzogen werden.

Datenbearbeitung und Auswertung

Die Datenbearbeitung erfolgt bei DMT in Essen mit dem Programm ReflexW (Sandmeier Scientific Software) mit den folgenden Bearbeitungsschritten:

- Einlesen der Messdaten
- Nullpunktkorrektur
- Frequenzfilter
- Laufzeitkorrektur
- Verstärkungsfunktion
- Ggf. horizontale Filterung
- Migration (Zeitbereich → Ortsbereich; „Reflexion“ → „Reflektor“)

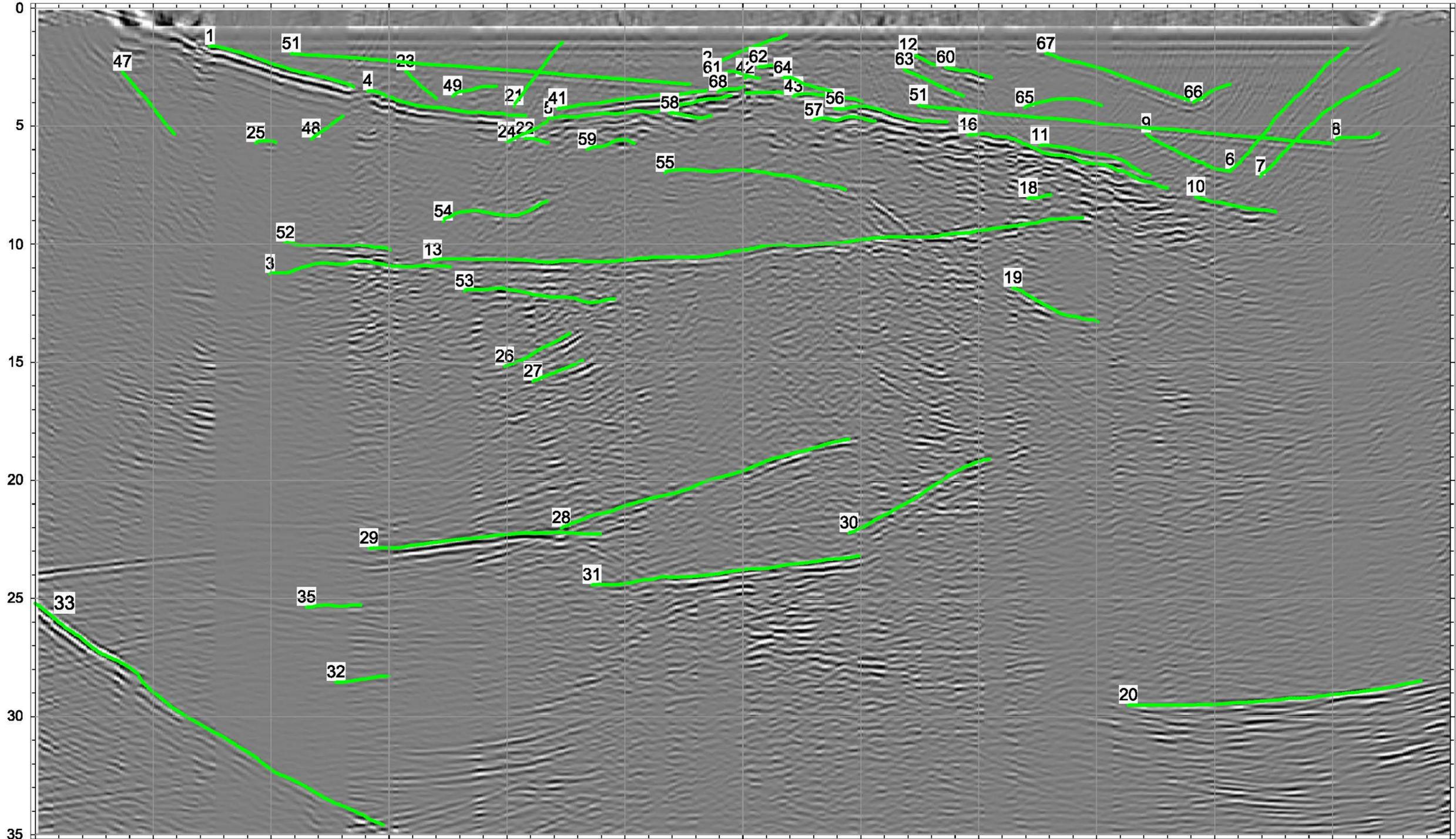
Zusätzlich zur Datenbearbeitung werden die Amplituden der Reflexionen digitalisiert („gepickt“) und die Einfallsrichtungen der Signale extrahiert. Anhand dieser Daten können die 3D-Koordinaten der Reflexionen berechnet werden. Die über Migration und Winkelanalyse lagerichtig abgebildeten Reflexionen werden als Reflektoren bezeichnet. Falls erforderlich kann eine Vorauswertung der Messdaten hinsichtlich bestimmter Fragestellungen zeitnah nach dem Ende der Messungen erfolgen. In dieser Vorauswertung kann beispielsweise der Verlauf bestimmter geologischer Schichtgrenzen analysiert werden.



Abstand der Reflektoren (migriert) in m für $v=0.124$ m/ns

Bohrlochteufe in m

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

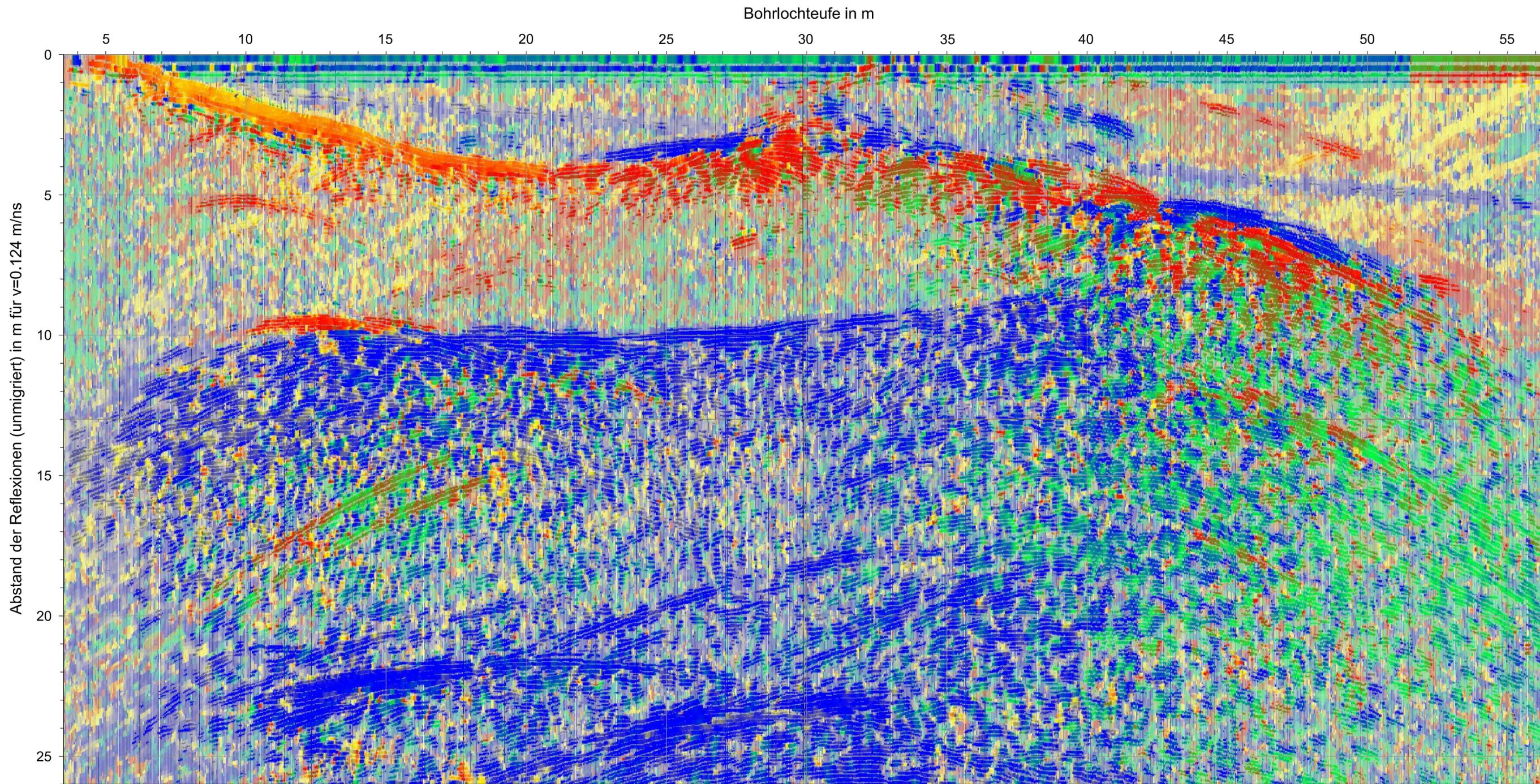


Legende:

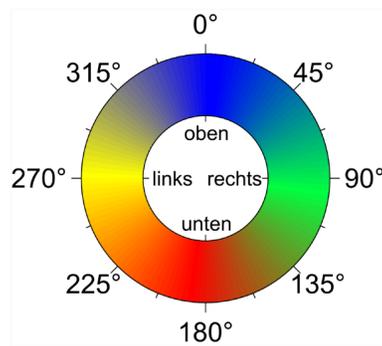
20 Radarreflektor mit Reflektornummer

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
9A	55110000	GEO	HF	TC	0019	00
<p>Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachtanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Ramlingen</p>						
<p>DMT DMT GmbH & Co. KG Gesellschaft für Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 42697 Essen</p>						
<p>Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7750-B1 - Richtungsensitive 3D-Bohrlochradar</p>						
Erstellung der Revision	Asse-GmbH bzw. Fremdfirma		Datum	Name	Unterschrift	
	Bearbeiter		23.11.2016			
	Zeichner		23.11.2016			
	Prüfer		23.11.2016			
	Asse-GmbH					
	Freigebe					
	Datensatzname	Bericht-01_Anlage-LA2_Rev00.dwg				
	Blattgröße	A2				
	Maßstab	1:125				
2D-Darstellung der ausgewerteten Reflektoren im Radargramm (migriert)						Blatt: 1
Anlage 1						von: 1
Belegunterlage:						

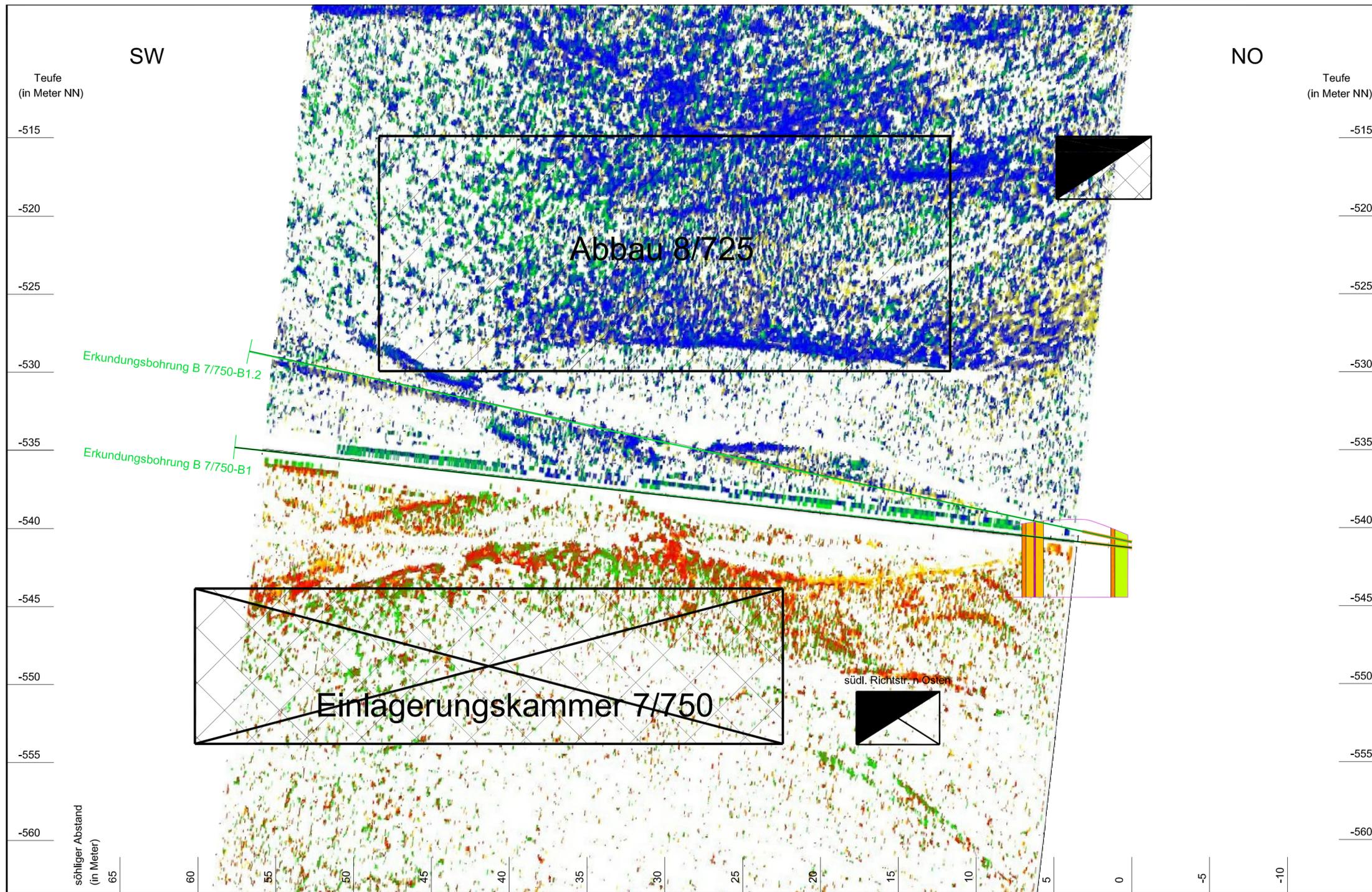




Richtungskodierung der Radargramme



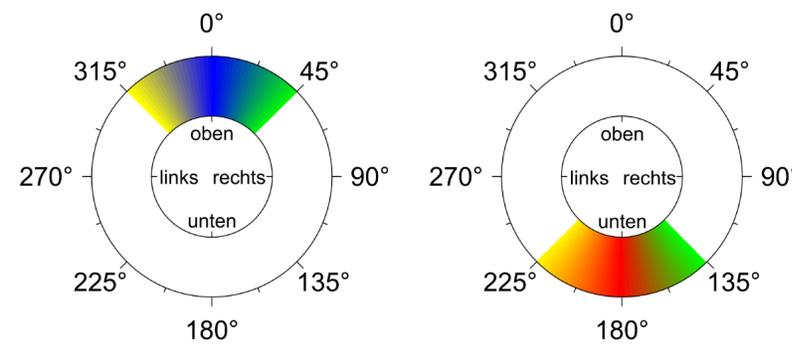
Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
9A	55110000	GEO	HF	TC	0020	00
Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Remlingen						 Verantwortlich handeln
 DMT GmbH & Co. KG Geschäftsbereich Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 43007 Essen						Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar
Erläuterung der Revision	Asse-GmbH bzw. Fremdfirma		Datum	Name	Unterschrift	
	Bearbeiter		23.11.2016			
	Zeichner		23.11.2016			
	Prüfer		23.11.2016			
	Asse-GmbH		Freigabe			
	Datename	Bericht-B1_Anlage-2_A2_Rev00.dwg				
	Blattgröße	A2				
	Maßstab	1:100				
2D-Darstellung des richtungskodierten Radargrammes (unmigriert)						Blatt: 1
Anlage 2						von: 1
Basisunterlage :						



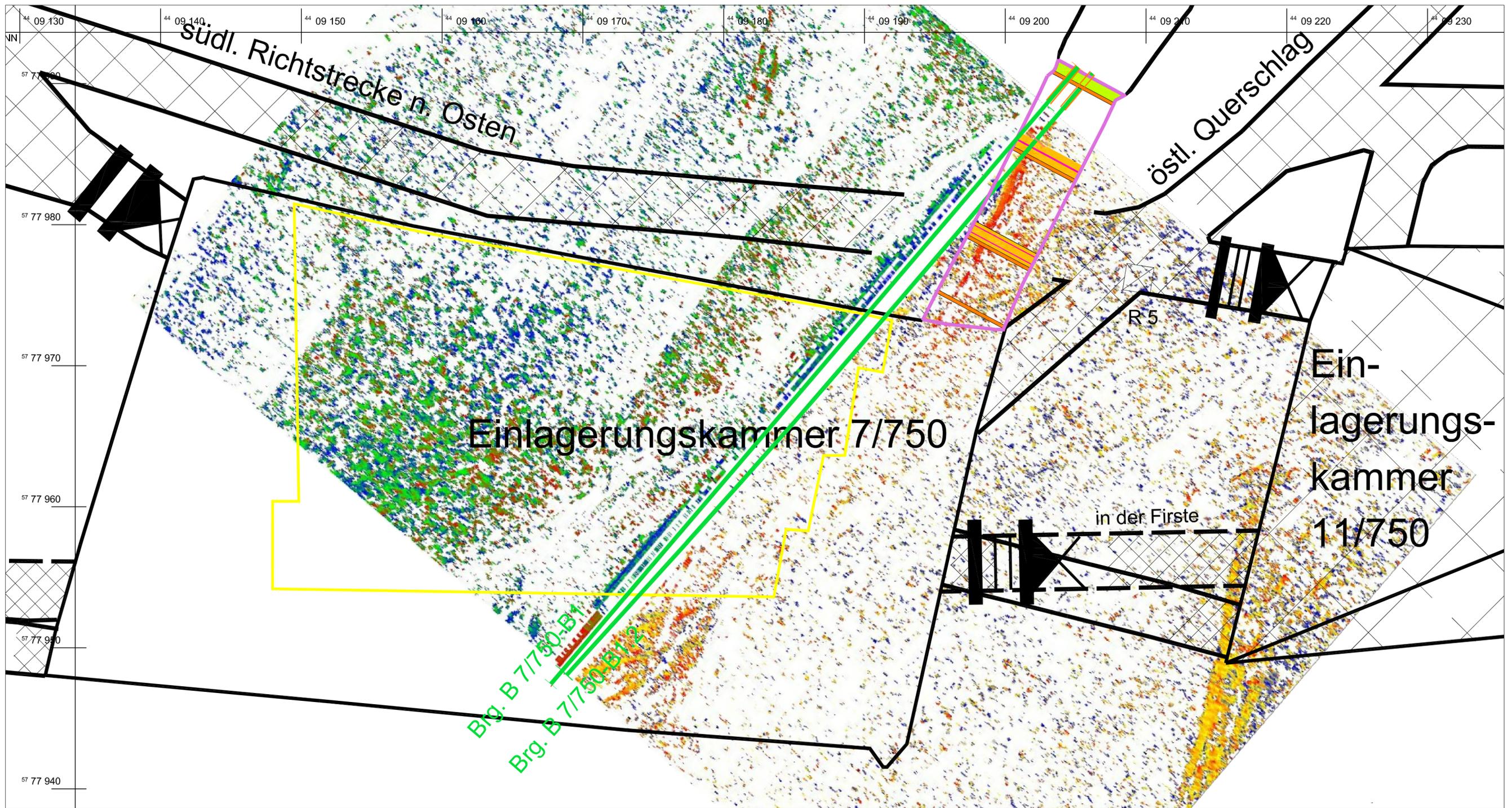
Legende:

- | | | | |
|--|-------------------------------------|--|---------------------------------|
| | Bohrlochverlauf Erkundungsbohrungen | | Verschlussbauwerk |
| | Standrohr mit Flansch | | Sturzversatz |
| | vorgesetzte Schalwand | | Blasversatz |
| | Ytong | | Einlagerungskammer verschlossen |
| | Asphaltplatten | | |
| | Bitumfuge | | |

Richtungskodierung der Radargramme:



Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
9A	55110000	GEO	HF	TC	0021	00
<p>Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Ramlingen</p>						
<p>DMT DMT GmbH & Co. KG Geschäftsbereich Geo Engineering & Explorations Am Technologiepark 1 45307 Essen</p>						
<p>Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar</p>						
Erläuterung der Revision	Asse-GmbH bzw. Fremdfirma	Datum	Name	Unterschrift		
	Bearbeiter	23.11.2016				
	Zeichner	23.11.2016				
	Prüfer	23.11.2016				
	Asse-GmbH	Freigabe				
	Dateiname	Bericht-B1_Anlage-3_A2_Rev00.dwg				
	Blattgröße	A2				
	Maßstab	1:200				
<p>Ebener Schnitt durch das Grubengebäude mit Radargrammen aus Messungen in der Erkundungsbohrung B 7750-B1 (vertikale Richtungen)</p>						
Anlage 3						Blatt: 1
Basisunterlage:						von: 1

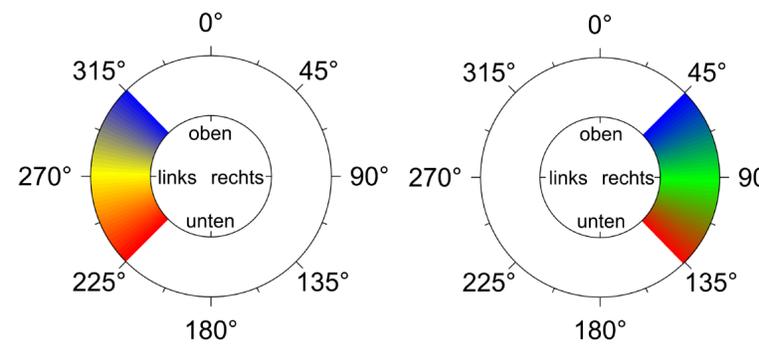


Legende:

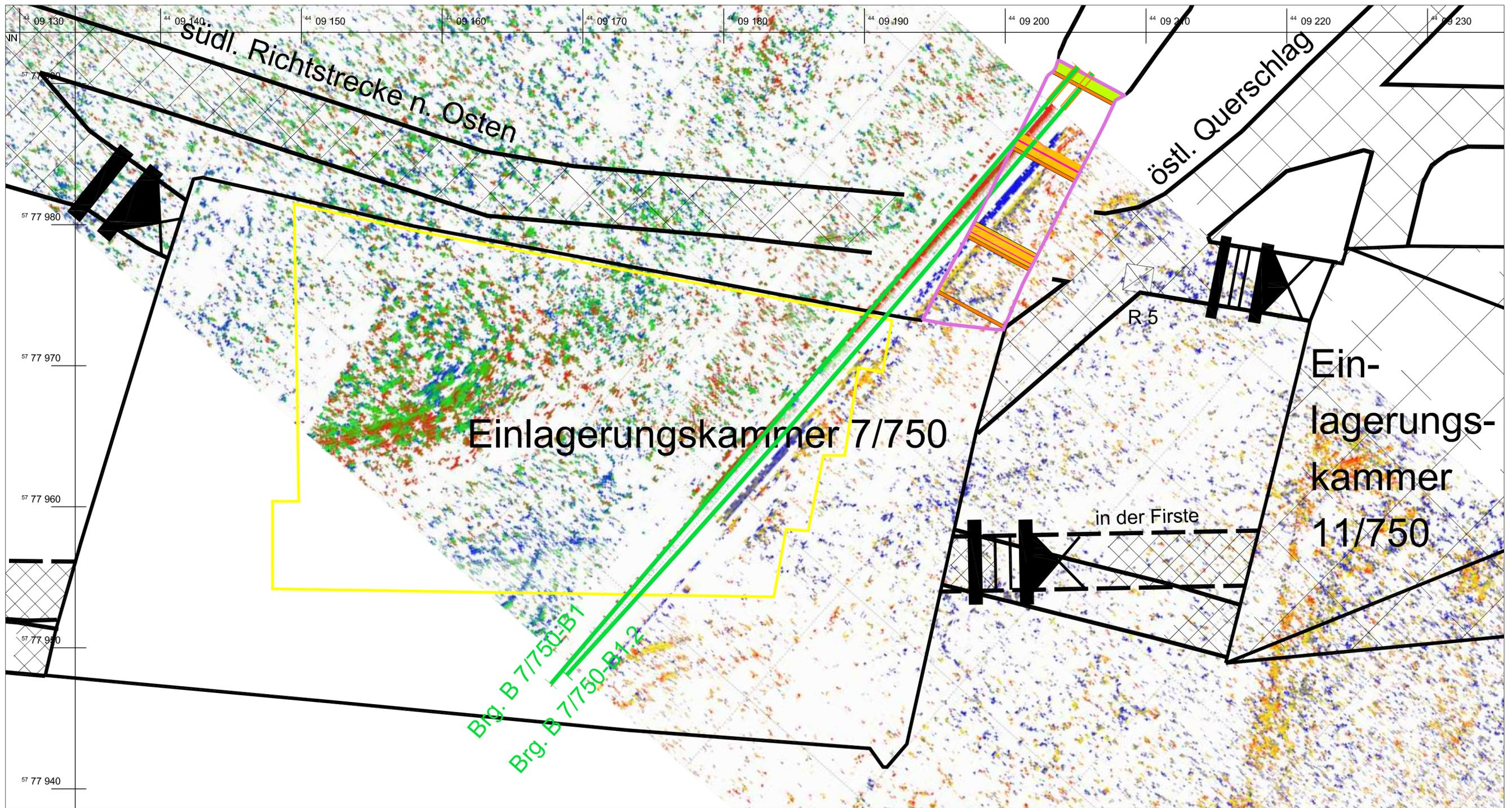
- erstellte Bohrungen (Bohrlochverlauf)
- Standrohr mit Flansch
- vermuteter Lageplatz der VBA in der Einlagerungskammer 7/750
- Verschlussbauwerk vor der Einlagerungskammer 7/750
- Teilversatz
- Sturzversatz
- Blasversatz
- Einlagerungskammer ohne Versatz
- Einlagerungskammer mit Versatz
- Einlagerungskammer verschlossen

- vorgesetzte Schalwand (Teil des Verschlussbauwerks zur Einlagerungskammer 7/750)
- Ytong (Teil des Verschlussbauwerks zur Einlagerungskammer 7/750)
- Asphaltplatten (Teil des Verschlussbauwerks zur Einlagerungskammer 7/750)
- Bitumfuge (Teil des Verschlussbauwerks zur Einlagerungskammer 7/750)

Richtungskodierung der Radargramme:



Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
9A	55110000	GEO	HF	TC	0022	00
Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachtanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Remlingen						
DMT GmbH & Co. KG Geschäftsbereich Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 43007 Essen						
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar						
Erläuterung der Revision		Asse-GmbH bzw. Fremdfirma	Datum	Name	Unterschrift	
		Bearbeiter	23.11.2016			
		Zelchner	23.11.2016			
		Prüfer	23.11.2016			
		Asse-GmbH				
		Dateiname	Bericht-B1_Anlage-4_A2_Rev00.dwg			
		Blattgröße	A2			
		Maßstab	1:200			
Ebener Schnitt durch das Grubengebäude mit Radargrammen aus Messungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 (horizontale Richtungen)						
Anlage 4						Blatt: 1
Basisunterlage:						von: 1

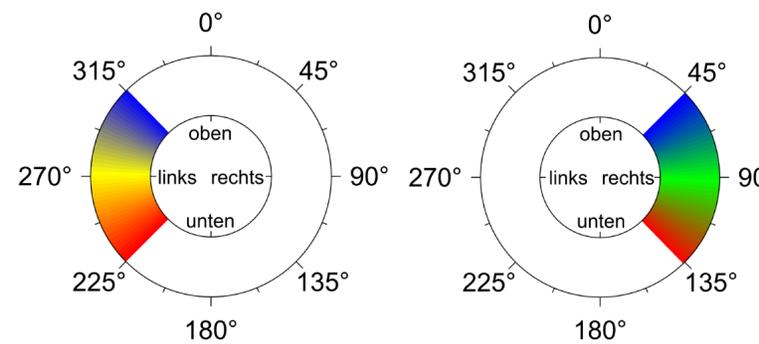


Legende:

- erstellte Bohrungen (Bohrlochverlauf)
- Standrohr mit Flansch
- vermuteter Lageplatz der VBA in der Einlagerungskammer 7/750
- Verschlussbauwerk vor der Einlagerungskammer 7/750
- Teilversatz
- Sturzversatz
- Blasversatz
- Einlagerungskammer ohne Versatz
- Einlagerungskammer mit Versatz
- Einlagerungskammer verschlossen

- vorgesezte Schalwand (Teil des Verschlussbauwerks zur Einlagerungskammer 7/750)
- Ytong (Teil des Verschlussbauwerks zur Einlagerungskammer 7/750)
- Asphaltplatten (Teil des Verschlussbauwerks zur Einlagerungskammer 7/750)
- Bitumfuge (Teil des Verschlussbauwerks zur Einlagerungskammer 7/750)

Richtungskodierung der Radargramme:



Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
9A	55110000	GEO	HF	TC	0023	00
Asse-GmbH <small>Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachtanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Remlingen</small>						
DMT GmbH & Co. KG <small>Geschäftssegment Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 43007 Essen</small>						
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar						
Erläuterung der Revision		Asse-GmbH bzw. Fremdfirma	Datum	Name	Unterschrift	
		Bearbeiter	23.11.2016			
		Zeichner	23.11.2016			
		Prüfer	23.11.2016			
		Asse-GmbH Freigabe				
		Datename	Bericht-B1_Anlage-5_A2_Rev00.dwg			
		Blattgröße	A2			
		Maßstab	1:200			
Anlage 5						Blatt: 1
Basisunterlage :						von: 1