



Bundesamt für Strahlenschutz

Deckblatt

GZ: QM - 9A 23400000

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	B2604725	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 14.10.2016
9A	23400000	GHB	RZ	0075	00		

Titel der Unterlage:

Ergebnisbericht Bohrlochradarmessungen der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 auf der 750-m-Sohle 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.	B2604725	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 14.10.2016
9A	23400000	GHB	RZ	0075	00		

Titel der Unterlage:

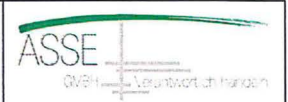
Ergebnisbericht Bohrlochradarmessungen der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 auf der 750-m-Sohle in Richtung Einlagerungskammer 7/750
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

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



PT032632



Stand: 14.10.2016

Blatt: 1

DECKBLATT	Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
	NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
	9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Kurztitel der Unterlage:
 Faktenerhebung Schritt 1 -
 Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 -
 Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Ersteller / Unterschrift: DMT GmbH & Co. KG	Prüfer / Unterschrift:
--	------------------------

Titel der Unterlage:

Ergebnisbericht

**Bohrlochradarmessungen
 der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2
 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	U Unterschrift

KQM_Deck-Revisionsblatt_REV17_Stand-2016-06-15

REVISIONSBLATT


Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Kurztitel der Unterlage:

Faktenerhebung Schritt 1 -
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 -
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	14.10.2016	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.	 <small>ASSE</small> <small>GmbH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 3
--	-----------------

Inhaltsverzeichnis

Blatt

Deckblatt.....	1
Revisionsblatt.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
Freigabeblatt.....	4
1 Einleitung	6
2 Richtungssensitive 3D-Bohrlochradarmessungen.....	6
2.1 Messprinzip.....	6
2.2 Informationen zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2	6
2.3 Verfüllmaterial im Umfeld der Bohrung	6
2.4 Durchführung der Messungen	7
2.4.1 Messaufbau.....	7
2.4.2 Messablauf.....	7
2.5 Qualitätskontrolle	7
3 Bearbeitung und Auswertung der Messdaten	8
3.1 Auswahl der Messdaten.....	8
3.2 Bearbeitung der Messdaten.....	8
3.3 Winkelgenauigkeit	9
3.4 Abschätzung zum Toleranzbereich der Messwerte	10
4 Ergebnisse	11
4.1 Übersicht.....	11
4.2 2D-Darstellung	14
4.2.1 Winkeldarstellung mit Hilfe von Polardiagrammen	14
4.2.2 Darstellung in richtungskodierten Profilschnitten	15
4.3 3D-Visualisierung	16
4.4 Interpretation.....	18
5 Zusammenfassung.....	19
6 Literaturverzeichnis.....	20

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Information zum richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar	21
Anhang 2: Drehmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2	25


Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung des Datenformats der ASCII-Ergebnisdateien und Beispielausschnitt.....	9
--	---

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aus richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarmessdaten ermittelte Einfallswinkel (rot, rechte Achse) für eine Beispielreflexion (schwarz, linke Achse).	10
Abbildung 2: Bestimmung des lateralen Lagefehlers infolge einer Winkelunsicherheit von 10°	11
Abbildung 3: Übersicht der ausgewerteten Reflektoren aus der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarmessung in Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2. Hinterlegt ist ein lagegetreues, migriertes Radargramm.	12
Abbildung 4: Richtungskodiertes Radargramm.....	13
Abbildung 5: Richtung der Reflektoren in Abhängigkeit von der Entfernung, Erkundungsbereich bis 30,00 m.	14
Abbildung 6: Richtung der Reflektoren in Abhängigkeit von der Entfernung (Nahbereich bis 5,00 m).	15
Abbildung 7: 3D-Blick von oben auf die Bohrung mit Messprofil (grau) und Reflektoren (farbig); Screenshot von Voxler.....	17
Abbildung 8: 3D-Blick von links (SO) auf die Bohrlochumgebung; Screenshot von Voxler	17

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 4
---	-----------------


Abbildung 9: 3D-Blick von vorne (NO) „in“ die Bohrung; Screenshot von Voxler 18

Anzahl der Blätter dieses Dokumentes27

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1: 2D-Darstellung der ausgewerteten Reflektoren im Radargramm (migriert).....1 Seite
 Asse-KZL: 9A/55110000/GEO/HF/TC/038/00
- Anlage 2: 2D-Darstellung des richtungskodierten Radargramms (unmigriert)1 Seite
 Asse-KZL: 9A/55110000/GEO/HF/TC/039/00
- Anlage 3: Ebener Schnitt durch das Grubengebäude mit den Radargrammen aus Messungen in
 der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 (vertikale Richtungen).....1 Seite
 Asse-KZL: 9A/55110000/GEO/HF/TC/040/00
- Anlage 4: 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/041/00

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 5
---	-----------------



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, 14.10.2016

Freigabe:

eigenhändige Unterschrift

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00



ASSE GMBH – Verantwortlich handeln

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 6
---	-----------------

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 Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2.

Ziel der Messungen mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar war die Erkundung des Zustands der Schweben zwischen Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725. Daneben sollte der seitliche Stoß der Einlagerungskammern 7/750 und 11/750 lokalisiert werden. Weiterhin sollten Aussagen über mögliche Reflexionen aus dem Inneren der Einlagerungskammer 7/750 getroffen werden. In diesem Bericht werden die Ergebnisse der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarerkundung in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 zusammenfassend vorgestellt.

2 Richtungssensitive 3D-Bohrlochradarmessungen

2.1 Messprinzip

Das Georadar ist ein zerstörungsfreies Messverfahren zur Erkundung des Untergrundes mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen. Über Sendeantennen werden dabei die elektromagnetischen Wellensignale in den Untergrund abgestrahlt. Diejenigen Radarsignale, die an Materialänderungen, Inhomogenitäten oder Unstetigkeiten im Untergrund reflektiert und zum Messsystem zurück geworfen 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, richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde von der Firma DMT sind dem Anhang 1 zu entnehmen.

2.2 Informationen zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2


Der Bohransatzpunkt der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 befand sich auf der 750-m-Sohle vor der Einlagerungskammer 7/750. Die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 wurde vor der Einlagerungskammer 7/750 ansteigend in die Schweben zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725 gestoßen und erreichte eine Endteufe von 58,00 m. Aus sicherheitstechnischen Gründen erfolgten die Erkundungsmessungen über einen Preventerstack, der der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 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.

2.3 Verfüllmaterial im Umfeld der Bohrung

Während der Bohrarbeiten der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 traten im Teufenbereich um 31,00 m offene Klüfte auf, welche vorübergehend den Vortrieb aufhielten. Zur Fortsetzung der Bohrung wurden die Hohlräume mit einem Versatzmaterial verfüllt. DMT hat eine Materialprobe hinsichtlich ihrer elektrischen Eigenschaften analysieren lassen. Dabei wurden der spezifische Widerstand und die Dielektrizitätskonstante (DK) bestimmt. Mit diesen frequenzabhängigen Größen kann abgeschätzt werden, ob es für das Radarverfahren einen Kontrast zwischen dem Versatzmaterial und dem Steinsalz des Bergwerks gibt. Ein nennenswerter Kontrast führt zu Reflexionen, die sich möglicherweise in den Daten abbilden können.

Die Laboranalysen ergaben spezifische Widerstände von etwa 100 kΩm und DK-Werte von etwa 6 bis 7. Diese Werte sind ähnlich denen von Steinsalz, so dass kein deutlicher Kontrast zwischen Versatzmaterial und vorliegendem Steinsalz zu erwarten ist. Die Laboranalysen wurden frequenzabhängig durchgeführt, die angegebenen Werte gelten für die Mittenfrequenz der Radarsonde. Eine weitere Einflussgröße für die DK ist der Feuchtegehalt. Die Laborwerte für den Zustand mit Kapillarfeuchtigkeit liegen bei 10 kΩm. Da die Radarmessungen lange nach den Injektionsarbeiten stattfanden, ist vermutlich mit einem trockenen Zustand des Versatzmaterials zu rechnen (vorbehaltlich anderer Erfahrungen der Schachanlage Asse).

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 7
--	-----------------

2.4 Durchführung der Messungen

Die Messausrüstung der DMT wurde am 04.05.2014 an der Schachtanlage Asse II angeliefert, anschließend erfolgten eine Eingangsmessung und der Transport nach Untertage. Die Durchführung der Messungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B4 erfolgte am 05. und 06.05.2014. Nach Abschluss der Messungen wurde die Messausrüstung für den weiteren Transport vorbereitet und nach erfolgter Freimessung zur Abholung freigegeben.

2.4.1 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 Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 eingeführt. Über einen Adapter wurde die richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde mit dem auf der Schachtanlage Asse II vorhandenem Bohrgestänge verbunden. Dies ermöglichte zum einen das entfernungsgenaue Verfahren der Sonde in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2. 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-B1.2 festgelegt, welches um 0,20 m aus dem Stoß herausragte. Die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 wurde bis zur Endteufe von 58,00 m mit der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde befahren.

2.4.2 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 Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 festgelegt. Messdaten konnten folglich in einem Teufenbereich von 6,45 m bis 56,25 m aufgezeichnet werden. Es wurde ein Messpunktabstand von 5,00 cm (= 0,05 m) gewählt, um eine hohe Datenüberdeckung entlang 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 Einfallrichtung der in den Messdaten registrierten Reflexionen genau bestimmen zu können.

2.5 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 Reflexionen 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.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <small>ASSE</small> <small>GND – Verantwortlich Handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00	

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 8
--	-----------------

Zusätzlich zur eigentlichen Profilmessung wurden an zwei Stationen Drehmessungen zur Kontrolle der Winkelgenauigkeit durchgeführt. Eine Beschreibung und Auswertung der Drehmessungen findet sich im Anhang 2.

3 Bearbeitung und Auswertung der Messdaten

Nach Abschluss der Datenakquisition Untertage wurden die Messdaten der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarmessung am PC einer umfassenden Bearbeitung und Auswertung unterzogen. Es wurden dabei die Programme ReflexW (Sandmeier Scientific Software) und EMR (DMT) verwendet.

3.1 Auswahl der Messdaten

Im Rahmen der Datenbearbeitung wurde festgestellt, dass mit der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarmessung eine Vielzahl an Reflexionen detektiert und registriert werden konnte. Reflexionen wurden bis zu einer Laufzeit von 1.500 ns (etwa 90,00 m) registriert. Mit Fokus auf die Zielstellung dieser Erkundungsmaßnahme (siehe Kapitel 1) wurde die weitere Auswertung auf den interessierenden Bereich um die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 herum begrenzt.

Dieser umfasst mindestens den Bereich um Einlagerungskammer 7/750, Abbau 8/725, sowie die Schwebelücke zwischen beiden Kammern und liegt in einem radialen Abstand von bis zu etwa 35,00 m ab Bohrlochverlauf.

3.2 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-B1.2 zusammengeführt, so dass für jede Komponente des Systems ein Datensatz vorlag.

Im Rahmen der Datenaufbereitung wurden folgende Bearbeitungsschritte durchgeführt:

- Nullpunktkorrektur
- Frequenzfilterung
- Laufzeitkorrektur
- Verstärkungsausgleich

Nach der Aufbereitung der Radardaten wurden die Datenspuren weiter ausgewertet. Die verschiedenen Signalamplituden der Einzelspuren wurden zunächst korreliert, d. h. 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 Schichtgrenzen oder Objekten im Raum reflektiert wurden.

Die erkennbaren Reflexionen wurden nun digital mit einer Bearbeitungssoftware markiert („gepickt“) und Entfernung und Einfallswinkel bezüglich des jeweiligen Messpunktes gespeichert. An jedem einzelnen Messpunkt lag ein Wertepaar über die Entfernung der Reflexion zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 und dem Einfallswinkel vor.

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 (sog. Migration) korrigiert, um die Reflexionen in ihrer Lage zu korrigieren. Nach der Migration ergaben die Radarsignale ein lagerichtiges Abbild der detektierten Objekte oder Schichtgrenzen. Diese lagerichtigen Radarsignale werden in diesem Erkundungsbericht als Reflektoren bezeichnet.

Nach dem Prozess der Migration wurden die bestimmten azimutalen Einfallswinkel der Reflexionen den zugehörigen Reflektoren zugeordnet. Mittels des Winkels und des Abstands der einzelnen

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 9
---	----------

Reflektorpunkte bezüglich ihrer Messpunkte wurde abschließend die Lage der Reflektoren im dreidimensionalen Raum ermittelt. Grundlage dieser 3D-Berechnungen bildeten die Rollwinkel der richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde, sowie die 3D-Koordinaten des Bohrlochverlaufs.

Für jeden erfassten Reflektor wurden die ermittelten Raumkoordinaten in Tabellenform im ASCII-Format dokumentiert. Tabelle 1 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt einer solchen Tabellen-Ergebnisdatei mit der zugehörigen Beschreibung der einzelnen Elemente des Datenformates.

Tabelle 1: Beschreibung des Datenformats der ASCII-Ergebnisdateien und Beispielausschnitt.


Lokation		
Reflektornummer		
Bohrung		
Signifikanz	Winkel [°]	
Rechtswert Reflektorpunkt	Hochwert Reflektorpunkt	Höhe üNN Reflektorpunkt
Rechtswert Messpunkt	Hochwert Messpunkt	Höhe üNN Messpunkt
Rechtswert Reflektorpunkt	Hochwert Reflektorpunkt	Höhe üNN Reflektorpunkt
Rechtswert Messpunkt	Hochwert Messpunkt	Höhe üNN Messpunkt

Asse		
1		
B4		
1	120.8	
4409206.8	5777986.7	-541.9
4409207.7	5777986.6	-541.3
4409206.8	5777986.7	-541.9
4409207.7	5777986.6	-541.3
4409206.7	5777986.6	-541.9
4409207.7	5777986.5	-541.3
4409206.7	5777986.6	-541.9
4409207.7	5777986.5	-541.3
4409206.7	5777986.5	-541.9
4409207.7	5777986.4	-541.3
4409206.6	5777986.5	-541.9
4409207.7	5777986.4	-541.3

3.3 Winkelgenauigkeit

Abbildung 1 zeigt beispielhaft an einer ausgewählten Reflexion die Bestimmung der Einfallswinkel. Der Abstandswert der Reflexion ist in schwarzer Farbe dargestellt (linke Ordinate). 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 der in 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 Grenzflächen führen vielmehr dazu, dass die einzelnen registrierten Reflexionspunkte nicht zwangsläufig auf einer Linie bezüglich der Sondenachse liegen. Auch führen Änderungen der Ankopplungsbedingungen zu Variationen der Einfallswinkel (siehe auch Drehmessungen in Anhang 2).

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00



 GND – Verantwortlich Handeln

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 10
---	-----------

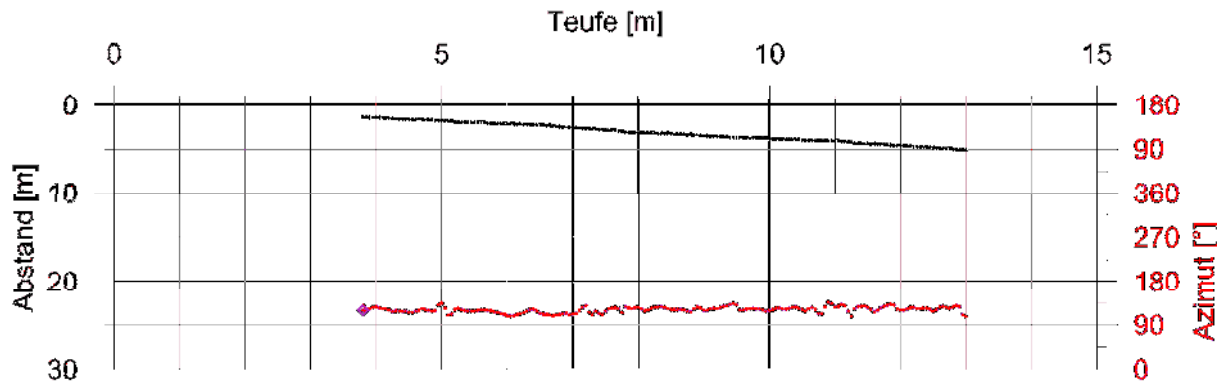


Abbildung 1: Aus richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarmessdaten ermittelte Einfallswinkel (rot, rechte Achse) für eine Beispielreflexion (schwarz, linke Achse).

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 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. Aus diesem Grund erfolgte eine Auswahl der Teilbereiche, in denen die Einfallsrichtung der Reflexionen bestimmt wurde.

Für die Bestimmung der Einfallswinkel wurde der arithmetische Mittelwert der Einzelwinkel in ausgewählten Teufenabschnitten der betreffenden Reflexionen herangezogen. Jeder Reflexion wurde zusätzlich mit einem Index für die Signifikanz versehen. Dieser Index 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.

3.4 Abschätzung zum Toleranzbereich der Messwerte

Für die Bestimmung des Einfallswinkels der Reflexionen wird eine Unsicherheiten von im Mittel etwa 10° (entspricht etwa 3%) abgeschätzt. Die Ergebnisse der Drehmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 (Anhang 2) bestätigen diese Annahme. Für den Stoß der Einlagerungskammer 7/750, der im Mittel in etwa 10,00 m Entfernung von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 liegt, ergibt sich somit ein radialer bzw. seitlicher Absolutfehler in der Lagebestimmung von etwa 1,70 m. Für weiter entfernte Reflektoren vergrößert sich die Lagetoleranz entsprechend (siehe Abbildung 2).

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 11

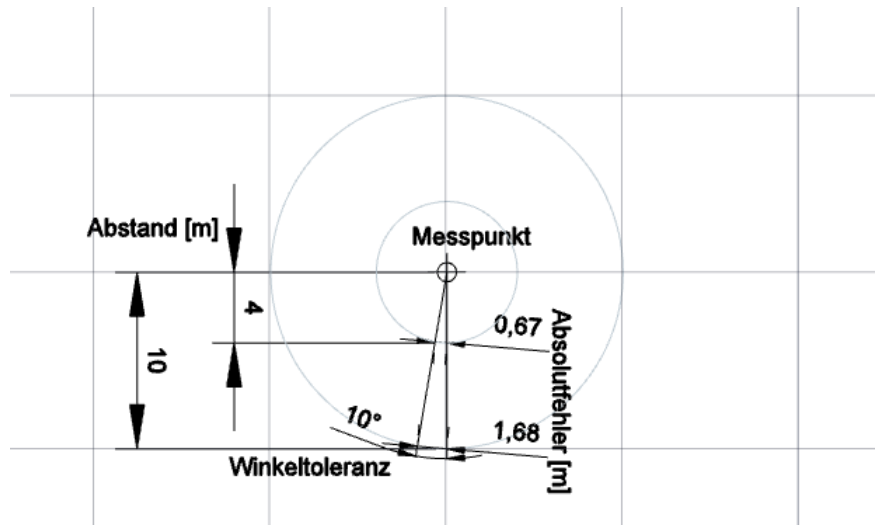


Abbildung 2: Bestimmung des lateralen Lagefehlers infolge einer Winkelunsicherheit von 10°.

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 des Salzstocks der Schachanlage Asse II wurde der allgemein gültige Geschwindigkeitswert von 0,12 m/ns verwendet, welcher für Salze 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 richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 wurden mit Hilfe des Teufenzählers der Bohrmaschine ermittelt. Eine Angabe zur Genauigkeit dieses Zählers lag nicht vor.

4 Ergebnisse

4.1 Übersicht

Abbildung 3 zeigt die Datenergebnisse der richtungssensitiven 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 Radarsignalen mit hoher Reflexionsamplitude. Eine derartige Darstellung wird als Radargramm bezeichnet und liefert einen Überblick über die registrierten Reflektoren. Insgesamt wurden in dem ausgewählten Auswertungsbereich 50 Reflektoren ausgewertet. Alle ausgewerteten Reflektoren sind in Abbildung 3 mit roter Farbe markiert und als Referenz für die weitere Auswertung mit einer fortlaufenden Zahl gekennzeichnet.

Diese zweidimensionale Darstellung entspricht dem Endergebnis, das aus einer Bohrlochradarerkundung mit einem ungerichteten Bohrlochradarsystem hervorgehen würde. Das Graustufen-Radargramm liefert keine Informationen zur Raumrichtung der einzelnen Reflektoren. Eine räumliche Zuordnung im dreidimensionalen Raum ist mit dieser Darstellungsart nur sehr eingeschränkt möglich.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 12

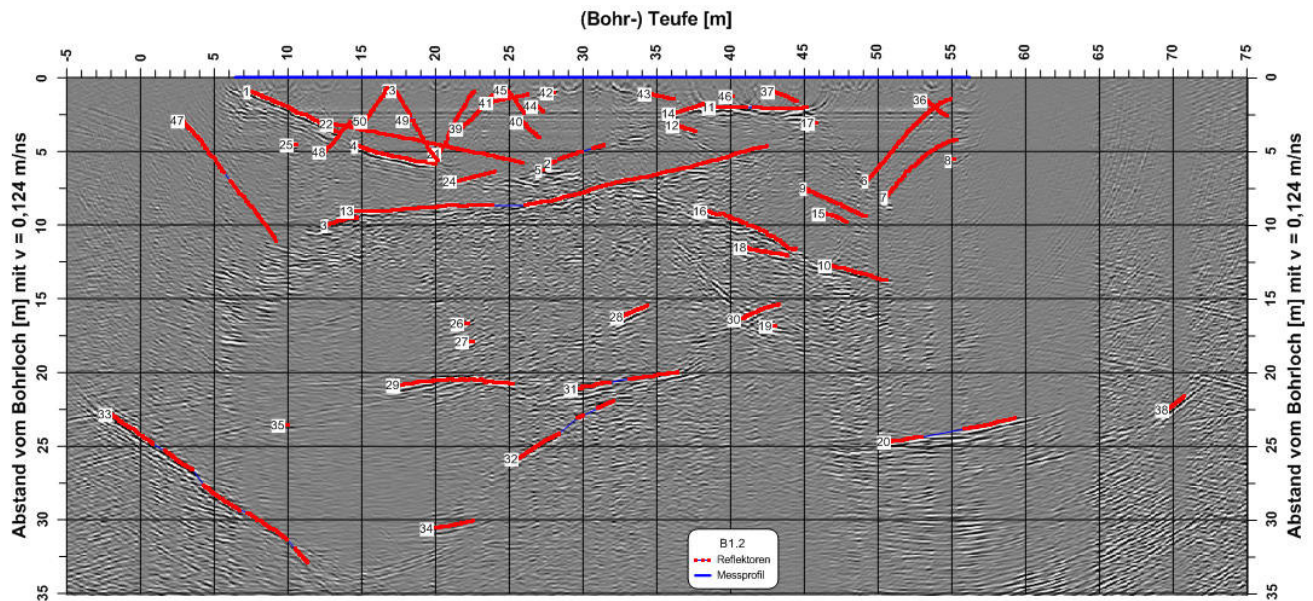


Abbildung 3: Übersicht der ausgewerteten Reflektoren aus der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarmessung in Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2. Hinterlegt ist ein lagegetreues, migriertes Radargramm.

Die in Abschnitt 3 ermittelten Raumkoordinaten können genutzt werden, um 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. Da dieses Radargramm nicht migriert wurde, werden in dieser Abbildung Reflexionen gezeigt. Das farbkodierte Radargramm selbst stellt bereits den wesentlichen Anteil am Ergebnis der Erkundung mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar dar, weil bereits aus dieser Darstellung sehr viele Informationen gezogen werden können. Eine vergrößerte Darstellung von Abbildung 4 findet sich auch in Anlage 2.

Die Lage der Reflexionen bzw. Reflektoren im Raum wird im Folgenden in Bezug auf die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 mit Blickrichtung vom Bohransatzpunkt aus betrachtet. Radarsignale, die in einem Bereich oberhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 reflektiert wurden, werden in der Darstellung blau gezeigt. Signale aus dem Liegenden sind rot gekennzeichnet. Reflexionen, die vom Bohransatzpunkt aus gesehen rechts neben der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 liegen erscheinen im richtungskodierten Radargramm in grüner Farbe und Reflexionen von links sind gelb dargestellt.

Im richtungskodierten Radargramm in Abbildung 4 sind Reflexionen aus allen Raumrichtungen zu erkennen. Die Hauptreflexionen sind zur besseren Übersicht mit den Zahlen der dazugehörigen Reflektoren gekennzeichnet.

In der Graustufendarstellung (Anlage 1) sind zahlreiche Reflektoren zu erkennen. Ein Teil der Reflektoren entfernt sich mit der Bohrlochteufe von der Bohrung. Reflektor 1 verläuft vom Profilanfang bis etwa 16,00 m Bohrlochteufe in einem linear ansteigenden Abstand von etwa 1,00 m bis zu 5,00 m. Weitere weglaufernde Reflektoren in diesem Bereich sind Nr. 4 und Nr. 16, welche sich dem Verlauf von Reflektor 1 anschließen. Dagegen nähern sich die Reflektoren 2, 3 und 13 im Teufenbereich von 11,00 m bis 43,00 m dem Bohrloch mit steigender Bohrlochteufe an.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 13

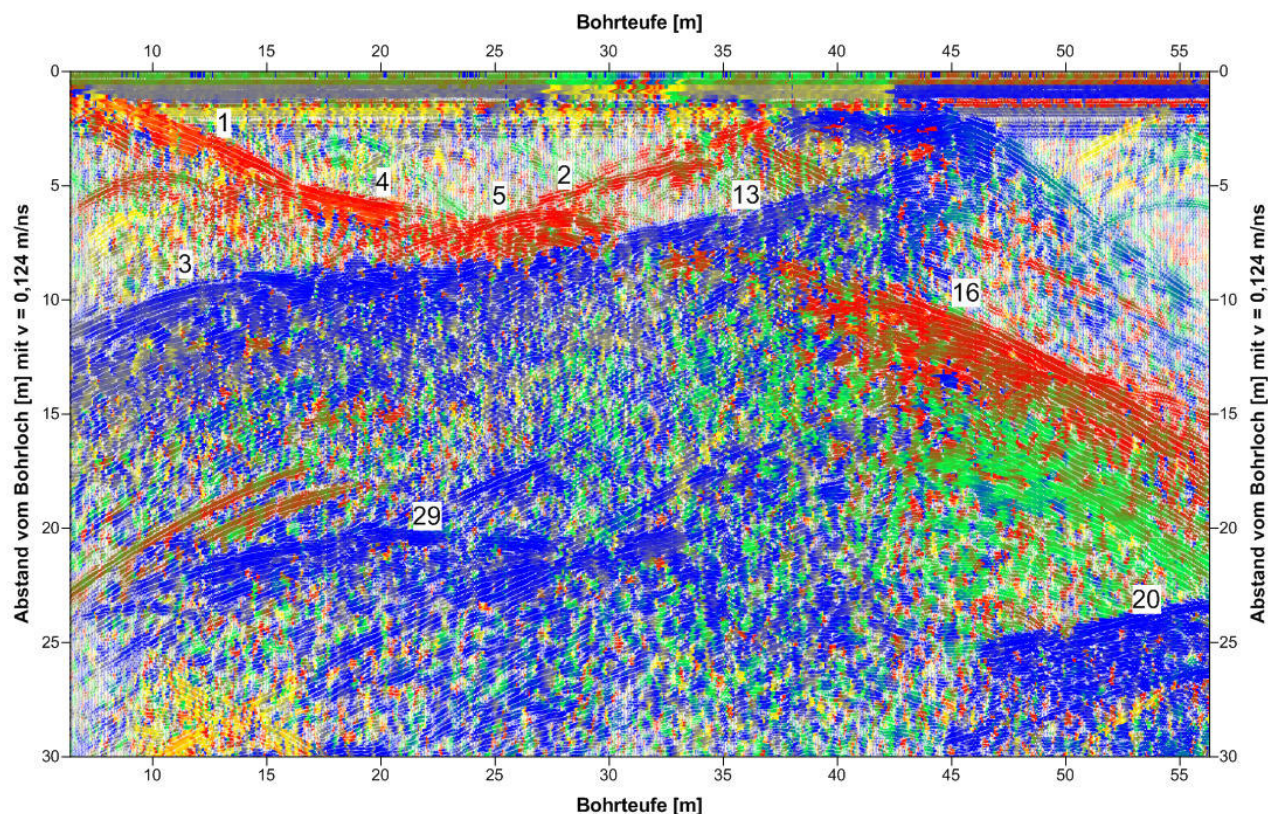


Abbildung 4: Richtungskodiertes Radargramm.

In einem Abstand von etwa 20,00 m verläuft Reflektor 29 im Radargramm nahezu bohrlochparallel im Teufenbereich von etwa 12,00 m bis etwa 28,00 m. Ein weiterer amplitudenstarker Reflektor befindet sich bohrlochnah im Abschnitt von etwa 35,00 m bis 47,00 m. Ab etwa 46,00 m kann ein deutlicher Reflektor in einem Abstand von etwa 25,00 m beobachtet werden, welcher am Profilende aus dem Messprofil rausläuft (20).

Die beschriebenen Strukturen finden sich in der Farbdarstellung (Anlage 2) wieder, in welcher die Richtungsinformation farblich kodiert ist. Die sich mit der Bohrlochteufe vom Bohrloch entfernenden Reflexionen 1, 4 und 16 kommen laut dieser Darstellung von unten (rot). Auch die sich dem Bohrloch nähernden Signale der Reflexion 2 werden in der Abbildung rot gezeigt.

Dagegen erscheinen die sich mit der Bohrlochteufe nähernden Reflexionen 3 und 13 im Radargramm blau und kommen somit von oben. Auch die Reflexionen 20 und 29 und eine bohrlochnah zwischen etwa 35,00 m und 47,00 m registrierte Reflexion lassen sich in ihrer Richtung dem oberen Bereich zuordnen.

Diese farblich kodierte Radargrammdarstellung ermöglicht eine bessere Identifizierung einzelner Signale durch die Zuordnung zu den unterschiedlichen Raumrichtungen. In der Graustufenabbildung in Anlage 1 können einzelnen Reflexionen in der Regel in ihrer Bedeutung nicht voneinander unterschieden werden. Aus diesem Grund werden Radarmessdaten von ungerichteten Antennen häufig in vertikalen Schnittbildern interpretiert.

Erst in der Farbdarstellung in Anlage 2 wird die Bedeutung einzelner Signale in ihrer räumlichen Lage deutlich. Zum Beispiel werden in dieser Abbildung zwei steil stehende rot-grüne Reflexionen am Profilende in einem Abstand von etwa 18,00 m bis 23,00 m hervorgehoben. Diese Signale stammen folglich von unten rechts. Am Profilende tritt in dieser Darstellung ein Bereich in grün hervor. Diese Reflexionen werden rechts zugeordnet. Auch von links konnten Signale registriert werden, die in der Abbildung gelb erscheinen.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

4.2 2D-Darstellung

4.2.1 Winkeldarstellung mit Hilfe von Polardiagrammen

Eine Übersicht über die räumliche Lage der georteten Reflektoren relativ zur Bohrlachse liefern die folgenden Abbildungen 5 und 6 in Form von Polardiagrammen. Die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 befindet sich in diesen Abbildungen jeweils im Mittelpunkt der Diagrammdarstellungen. Die Blickrichtung geht in Richtung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 mit zunehmender Bohrlochteufe. Die Firste der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 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-B1.2 und ihres Raumwinkels relativ zur Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 eingetragen. Als Entfernung wurde hier jeweils der mittlere Abstand der Reflektoren von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 verwendet. Die Betrachtung der sektoralen Lage und Entfernung der Reflektoren in diesen Polardiagrammen verdeutlicht deren Lage im dreidimensionalen Raum und gibt Hilfestellung bei der Interpretation der Ergebnisse der richtungssensitiven Bohrlochradarmessungen.

Abbildung 5 zeigt als Ergebnis die Reflektoren im Entfernungsbereich bis 30,00 m. Es wurden Reflektoren in allen Raumrichtungen um die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 herum geortet. Die meisten Strukturen wurden im näheren Bohrungsumfeld bis 10 m Entfernung detektiert. Bei den Abständen von über 10,00 m zeigen sich bevorzugt Reflektoren in den Richtungen oben (um 0°), links (um 90°) und im unteren rechten Quadranten (90° bis 180°).

Schaut man in die unmittelbare Umgebung der Bohrung, also in den Bereich der Schweben zwischen den beiden Kammern, so erhält man Abbildung 6. Hier liegen die Reflektoren hauptsächlich oben und rechts, jeweils in einem Sektor von etwa 120°.

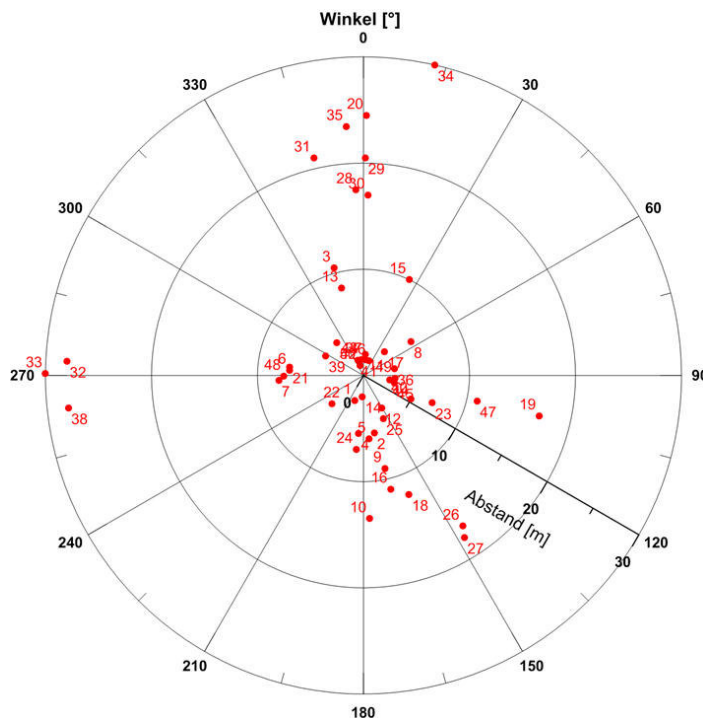


Abbildung 5: Richtung der Reflektoren in Abhängigkeit von der Entfernung, Erkundungsbereich bis 30,00 m

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 15

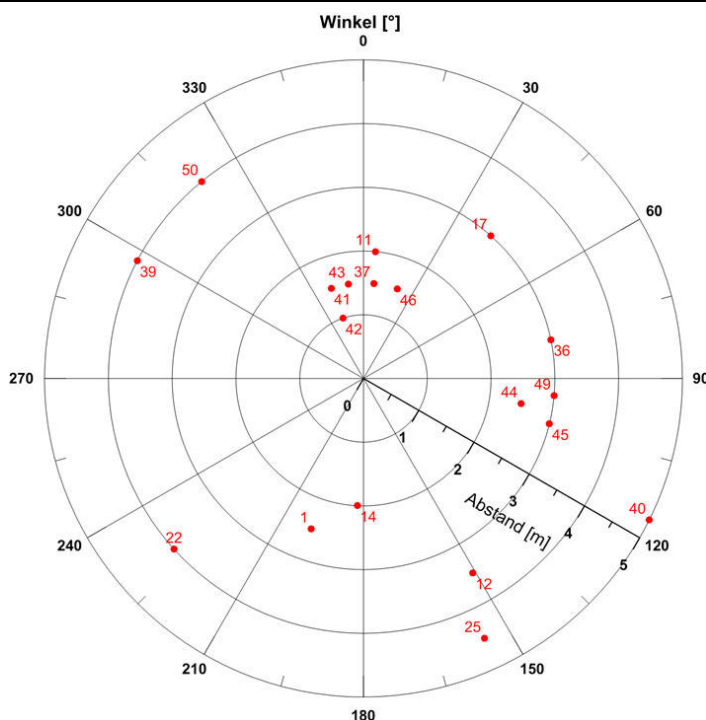



Abbildung 6: Richtung der Reflektoren in Abhängigkeit von der Entfernung (Nahbereich bis 5,00 m)

4.2.2 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 bestimmte Ebenen beschränkt. Die darin dargestellten unmigrierten Radargramme wurden so bearbeitet, dass jeweils nur Reflexionen aus bestimmten Raumrichtungen sichtbar sind.

In Anlage 3 ist ein Vertikalschnitt dargestellt. Das Radargramm unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 zeigt nur diejenigen Reflexionssignale, die in dem Winkelbereich zwischen 135° und 225° reflektiert wurden. Folglich dominieren in diesem Schnitt eher rote Farbtöne. Das Radargramm oberhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 beschränkt sich entsprechend auf den 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-B1.2 (Blickrichtung von der Einhausung in Richtung Schwebe) ist für den Winkelbereich von 45° bis 135° gefiltert. Das Radargramm links von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 zeigt den Winkelbereich 225° bis 315°. In diesen Horizontal- und Vertikalschnitten sind zudem die Schnitte des Grubengebäudes eingezeichnet und ggfs. auf die jeweilige Ansichtsebene projiziert.

Die Schnittbilder in den Anlagen 3 und 4 erlauben eine qualitative Aussage über die Position einzelner Reflexionsstrukturen. Die darin dargestellten Radargramme sind nicht migriert, das bedeutet, dass die einzelnen Reflexionen nicht vollkommen lagerichtig abgebildet werden (vgl. Abschnitt 3. 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. Bei der Betrachtung der Reflexionen in den richtungskodierten Profilschnitten zeigt sich eine hohe Korrelation der Ortungsergebnisse mit den in den Lageplänen verzeichneten Grubenbauten.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <small>ASSE</small> <small>GND - Verantwortlich Handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00	
Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar							Blatt: 16

Im Vertikalschnitt in Anlage 3 sind oberhalb und unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 mehrere Reflexionen zu erkennen, die verschiedenen Strukturen zugeordnet werden können. Im Liegenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 sind beispielsweise zwei amplitudenstarke, linear verlaufende Reflexionsbereiche zu sehen die sich mit der Bohrlochteufe (nach links in Anlage 3) weiter von der Bohrung entfernen. Die Reflexionen zum Beginn der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 sind in der Darstellung gelb-orange dargestellt, das bedeutet sie wurden links unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 im Bereich des Verschlussbauwerkes geortet. Der zweite starke Reflexionsbereich, welcher in einem größeren Abstand von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 verläuft, ist rot dargestellt und liegt somit direkt unterhalb des Bohrlochverlaufs im Bereich der Einlagerungskammer 7/750.

Das Radargramm im Hangenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 wird im Wesentlichen durch eine lineare Struktur dominiert (blau), die vom Profilanfang bis etwa zur Profilmitte reicht und sich ab dort dem Bohrverlauf annähert. Diese Reflexionen zeigen eine starke Übereinstimmung mit der Lage des Abbau 8/725.

Im Horizontalschnitt in Anlage 4 ist oberhalb der Einlagerungskammer 7/750 ein Bereich mit zahlreichen kleinräumigen Diffraktionsstrukturen zu erkennen (grün, blau, rot).

Das Radargramm in Richtung Osten wird durch eine lineare Reflexion am Stoß der Einlagerungskammer 11/750 dominiert. Die Reflexion zeigt eine orange Farbe und stammt folglich in Bezug auf die Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 von unten links.

4.3 3D-Visualisierung

Mit Hilfe des richtungssensitiven Bohrlochradars kann nicht nur eine Abschätzung der Einfallsrichtung von registrierten Reflexionen vorgenommen werden, sondern zusätzlich die genaue Lage der Reflektoren im Raum ermittelt werden. Der gesamte Mehrwert an Informationen gegenüber einer ungerichteten Radarerkundung wird also erst durch die dreidimensionale Darstellung der Ergebnisse ausgeschöpft. Im Folgenden dienen die Abbildungen lediglich als Orientierung zur Beschreibung. Die Verwendung eines 3D-Programms, z. B. der in der Datenübergabe enthaltene 3D-Viewer (Voxler), wird zum besseren Verständnis empfohlen. Abbildung 7 zeigt einen 3D-Blick von oben auf die Bohrung und ihre Umgebung.

Das Messprofil entlang des Bohrloches ist grau dargestellt, die Koordinatenachsen farbig (Rechtswert rot, Hochwert grün, Höhe blau). Die meisten Reflektoren liegen in oder nahe der vertikalen Ebene durch die Bohrung. Einige weichen jedoch davon ab, beispielsweise 33, 38 und 47, die Strukturen im seitlichen Umfeld darstellen.

Betrachtet man das Messgebiet aus der Richtung links des Bohrloches, also aus Südost (SO), so ergibt sich die Ansicht in Abbildung 8. Hier erkennt man wieder den Reflektor 13, der der Sohle von Abbau 8/725 zuzuordnen ist, sowie 1, 4 und 16, die vermutlich die Firste von Kammer 7/750 repräsentieren. Die Reflektoren 20 und 34 lassen sich wohl Grubenbauen im Sohlenniveau von 700 m zuordnen.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
 Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
 Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

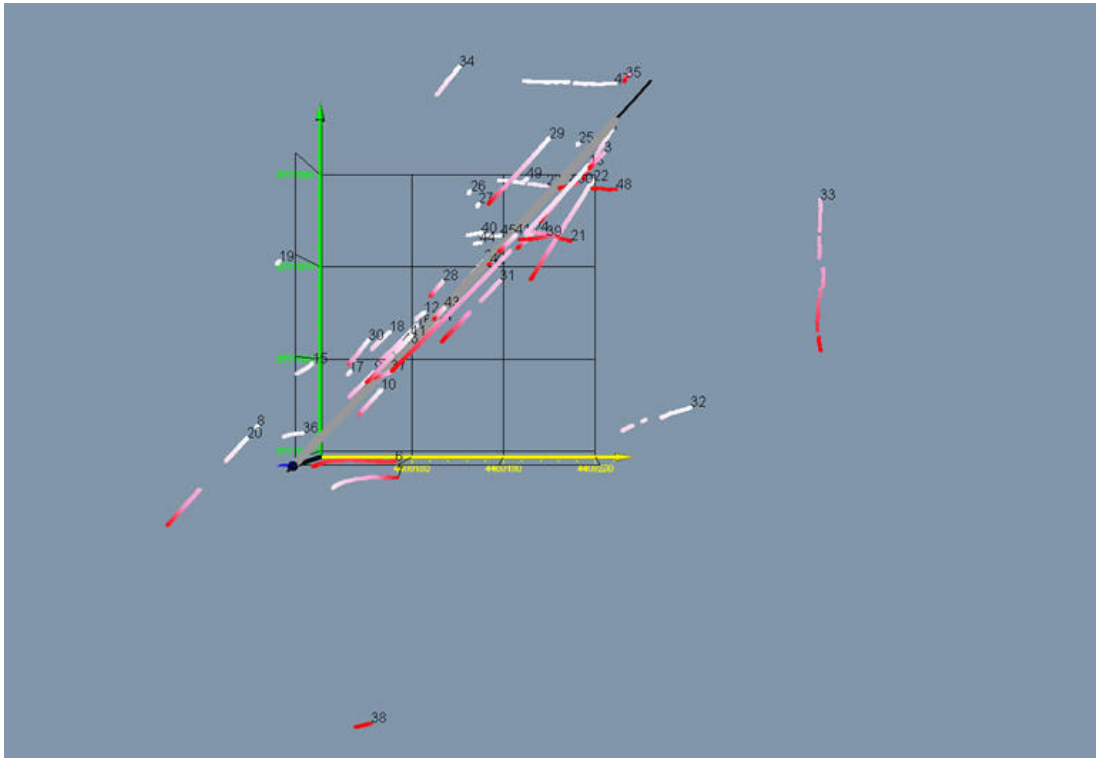


Abbildung 7: 3D-Blick von oben auf die Bohrung mit Messprofil (grau) und Reflektoren (farbig); Screenshot von Voxler

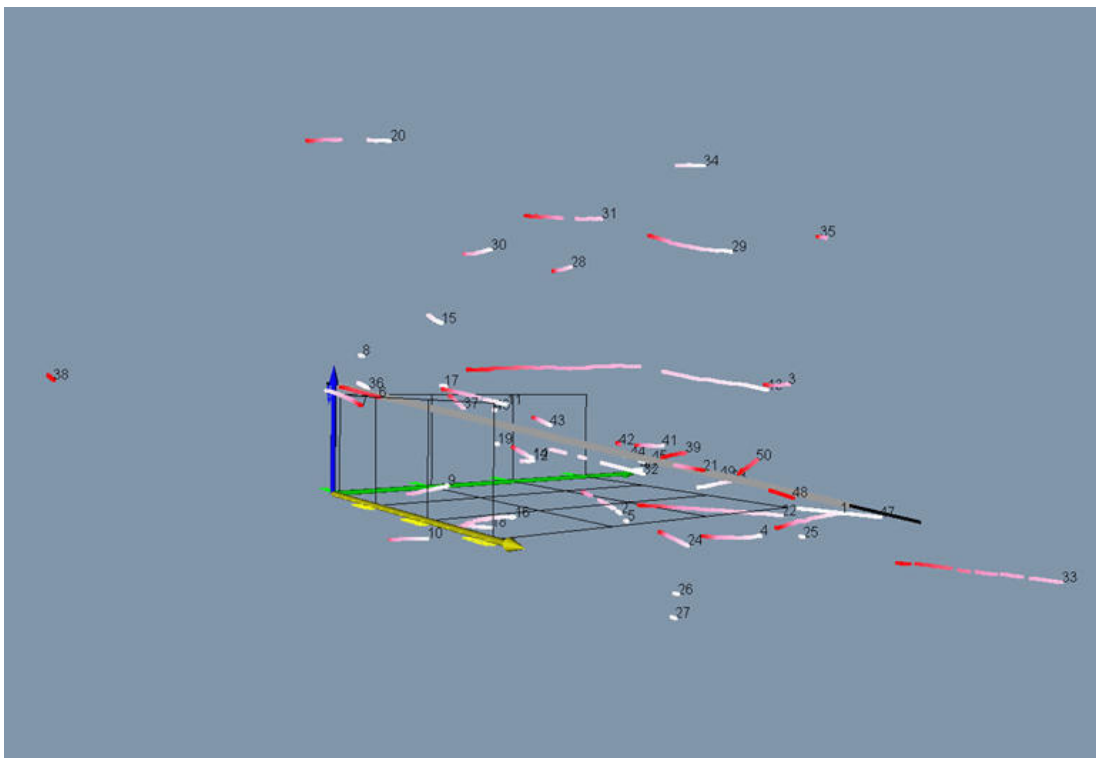


Abbildung 8: 3D-Blick von links (SO) auf die Bohrlochumgebung; Screenshot von Voxler

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 18

Ein weiterer Blick in Bohrlochrichtung (Abbildung 9) zeigt die Reflektoren in unmittelbarer Umgebung (21, 23, 39, 44) und ihren Verlauf auf das Bohrloch hin. Auf der rechten Seite treten sie nach dem Durchgang wieder auf (23, 40, 44, 45).

Eine ausführliche Beschreibung aller ausgewerteten Reflektoren erforderte die konkrete Korrelation mit dem gesamten Grubengebäude. Zusammen mit dem vorhandenen 2D-Kartenmaterial kann ein lokales 3D-Modell der Schweben entwickelt werden.

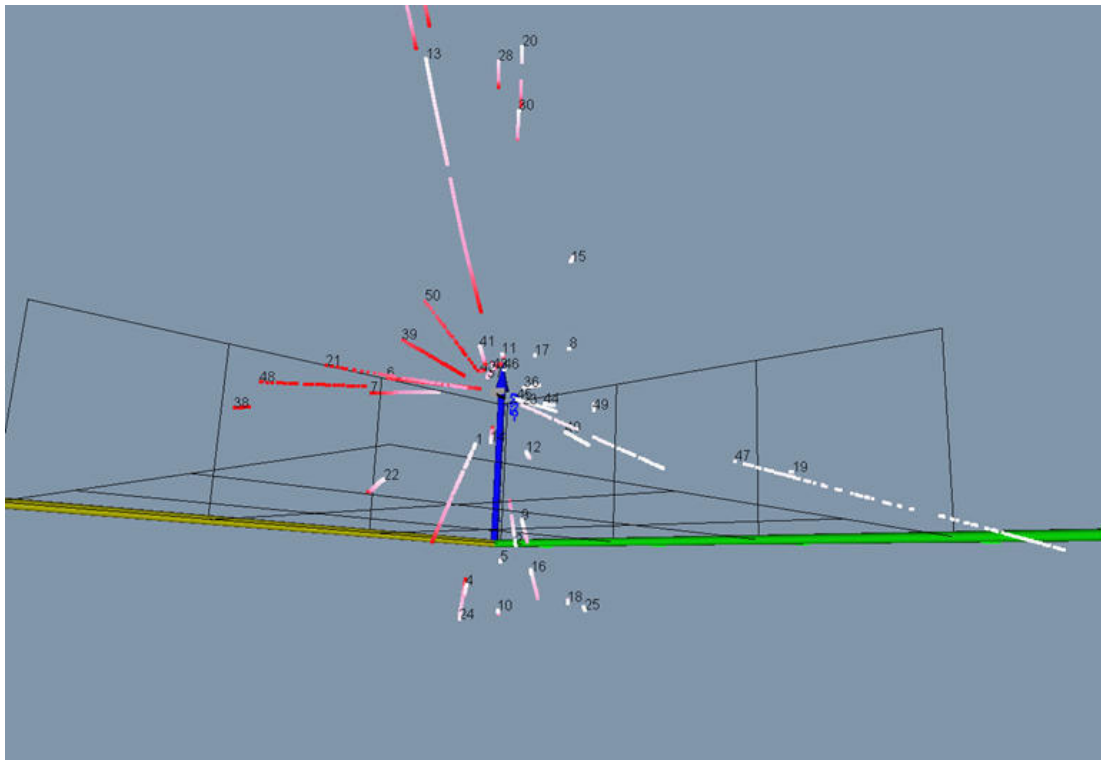



Abbildung 9: 3D-Blick von vorne (NO) „in“ die Bohrung; Screenshot von Voxler

4.4 Interpretation

Die Bohrung B1.2 verläuft ansteigend zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725. Gemäß diesem Bohrlochverlauf ist zu vermuten, dass die beiden angesprochenen Gruppen von Reflektoren der Einlagerungskammer 7/750 (Reflektoren 1, 4, 16) und dem Abbau 8/725 (3,13) zuzuordnen sind.

Der Vergleich der beiden Radargramme in Anhang 1 und Anhang 2 zeigt, dass die vermutete Richtungszuordnung für die ersten beiden Reflektorgruppen zutreffend war. Es sind auch entferntere Reflexionen zu verzeichnen, die aus dem Hangenden stammen (blau). Hierbei könnte es sich um die Firste von Abbau 8/725 handeln (29) oder um Strukturen, die zur nächsthöheren Sohle gehören (20). Es zeigen sich jedoch auch zusätzlich Reflexionen, die nicht mit den beiden Grubenbauen zusammenhängen, sondern von der Seite kommen (gelbe und grüne Reflexionen). Hier könnten andere Kammern oder Verbindungsstrecken die Ursache sein. Reflektor 33 beispielweise kann dem Stoß der Einlagerungskammer 11/750 zugeordnet werden (vgl. Abbildung 7, Anlage 4).

Diese Sichtweise wird auch durch die beiden gefilterten Ansichten in Anhang 3 unterstützt. Die Firste der Einlagerungskammer 7/750 und die Sohle von Abbau 8/725 lassen sich mit Reflexionen korrelieren. Der Verlauf dieser Reflexionen stimmt jedoch nicht mit den eher theoretischen Umrissen der Kammern überein: beide Grenzflächen (Sohle und Firste) sind nach oben gewölbt

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00	
Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar							Blatt: 19

und können damit realistisch konstruiert werden. Auch die Firste von Abbau 8/725 und die darüber liegende Sohle werden mit horizontal verlaufenden Reflexionen belegt (20, 34).

Im Entfernungsbereich bis 5,00 m um das Bohrloch zeigen etwa 20 Reflektoren die innere Struktur der Schweben (Abbildung 3). Möglicherweise ist dieser Bereich insgesamt von Klüften durchzogen. Deutlich wird dies auch durch die zahlreichen kleinräumigen Diffraktionsstrukturen (vgl. Anlage 4) oberhalb der Einlagerungskammer 7/750.

Im unmittelbaren Bereich um das Bohrloch lassen sich keine, gegebenenfalls mit Klüften korrelierbaren Reflexionen in den Daten beobachten. Auch in dem ausgewiesenen Bereich bei Bohrlochteufe 31,00 m, bei dem explizite Verfüllmaßnahmen von Klüften stattgefunden haben (siehe Kapitel 2), konnten keine bohrlochnahen Reflexionen beobachtet werden. Möglicherweise sind durch die Verfüllmaßnahmen die Klüfte vollständig verfüllt worden und stellen für das Radarverfahren keine Reflektoren dar. Materialanalysen (siehe auch Kapitel 2) bestätigen einen geringen elektromagnetischen Kontrast zwischen Verfüllmaterial und unverritztem Salzgestein.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen der Faktenerhebung auf der Schachanlage Asse II wurden aus der Erkundungsbohrung B7/750-B1.2 heraus Radarreflexionsmessungen durchgeführt. Ziel der Messungen war die Erkundung des Zustands der Schweben zwischen Einlagerungskammer 7/750 und Abbau 8/725. Daneben sollte der seitliche Stoß der Einlagerungskammern 7/750 und 11/750 lokalisiert werden. Zudem sollten Aussagen über mögliche Reflexionen aus dem Inneren der Einlagerungskammer 7/750 getroffen werden.

DMT setzte dazu das eigenentwickelte, richtungssensitive 3D-Bohrlochradar mit einer Mittenfrequenz von 250 MHz ein. Die Sonde wurde an ein Bohrgestänge angekoppelt und konnte daher bei geschlossenem Preventerstack im Bohrloch verfahren werden.

Zur Abschätzung der Genauigkeit der Winkelbestimmungen der Reflexionen wurden an zwei Profilpositionen Drehmessungen durchgeführt. Dabei wurden Standardabweichungen der Winkelwerte überwiegend zwischen 5° und 15° ermittelt. Dies entspricht im Entfernungsverlauf des Firstverlaufs der Einlagerungskammer 7/750 einer seitlichen Toleranz der georteten Reflektoren von etwa 1,70 m.


Bei der Begutachtung der Ergebnisse im Entfernungsbereich bis etwa 35,00 m von der Bohrung B7/750-B1.2 wurden 50 Reflektoren ausgewertet. Im Hangenden der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 konnte die Sohle von Abbau 8/725 über fast die gesamte Länge des Messprofils detektiert werden. Die Sohle zeigte eine gewölbte Struktur. Der Stoß der Einlagerungskammer 11/750 konnte über fast seine gesamte Länge deutlich geortet werden.

Das Verschlussbauwerk der Einlagerungskammer 7/750 konnte von der Einhausung aus bis zur Einlagerungskammer 7/750 detektiert werden. Auch die Firste der Einlagerungskammer zeigt einen leicht gewölbten Verlauf. Es konnten keine Strukturen detektiert werden, welche eindeutig dem Inneren der Einlagerungskammer 7/750 zugeordnet werden können. Rechts von der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 zeigt sich in den Messdaten ein größerer Bereich mit zahlreichen Diffraktionen, welche durch kleinräumige Strukturen verursacht werden.

Insgesamt konnten im Bereich bis etwa 5,00 m Entfernung zahlreiche Reflektoren ermittelt werden, die auf eine deutliche Beanspruchung der Schweben hinweisen.

Die ermittelten Koordinaten der Reflektoren im 3D-Raum liegen diesem Bericht in digitaler Form bei. Sie können mit 3D-Modellierungsprogrammen dargestellt und gegebenenfalls in ein Modell der Lagerstätte eingelesen werden.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00



 ASSE
GND - Verantwortlich Handeln


Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 20
---	------------------

Die Auswertung beschränkt sich auf den für die Fragestellung interessierenden Bereich bis etwa 35,00 m Entfernung, der die Schweben, die Einlagerungskammer 7/750 und den Abbau 8/725 umfasst. Die Auswertung weiterer Strukturen bis zum Datenende (etwa 90,00 m) kann auf Anforderung durchgeführt werden.

6 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.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00



Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 21
---	------------------

Anhang 1 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 zurückkehrenden Signale aufgezeichnet werden. Die Empfangssignale beinhalten Reflexionen, die von Inhomogenitäten aus dem anliegenden Gebirge hervorgerufen werden. Solche Inhomogenitäten zeichnen sich durch eine Änderung der elektromagnetischen 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 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 Bohrlochradardaten 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 Neigungsmessernanordnung zur Ermittlung des Bohrlochverlaufs, bzw. aller Sondenbewegungen. Es lassen sich aus diesen Informationen Aussagen über die dreidimensionale Lage der Reflektoren im Raum gewinnen.

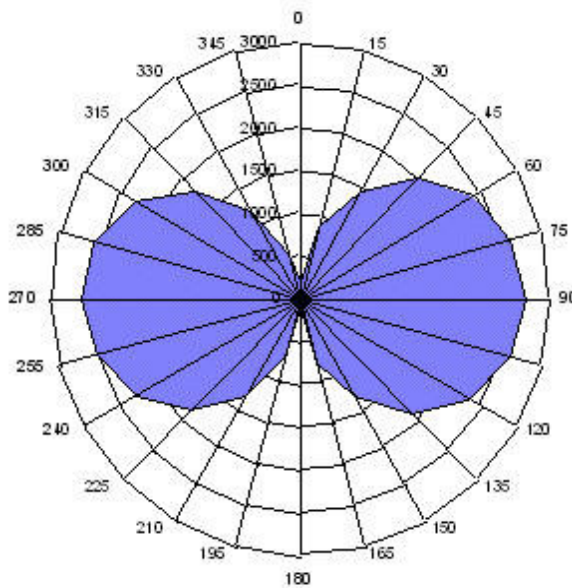
Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00



 ASSE
GNDH – Verantwortlich Handeln

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 22
---	------------------

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 (Darstellung 1). Dabei tritt die maximale Sensitivität senkrecht zur Antennenachse auf. Minimale Empfindlichkeit gibt es in Richtung der 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.



Darstellung 1: Abstrahl- / Empfangscharakteristik einer Antenne (Antennenachse vertikal).

Messdurchführung

Bohrlochradarmessungen können nicht aus einer Metallverrohrung oder aus mit Lauge gefüllten Bohrungen heraus erfolgen. Trockene, luftgefüllte Bohrungen und PVC-Verrohrungen, sowie Bohrungen mit niedrigleitfähigem Wasser haben dagegen keinen negativen Einfluss auf die Datenqualität. Vorhandene Lauge muss vor einer Messung mit nichtleitfähigem Öl ausgetauscht werden.

Die richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde (Darstellung 2) 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	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 23



Darstellung 2: Zusammengebaute richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde Modell 85.

Der modulare Aufbau des Systems (Sendermodul, Empfängermodul, Telemetriemodul und Abstandselemente) ermöglicht einen einfachen Transport und eine individuelle Zusammenstellung der Module (Liste 1). 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.

Liste 1: Technische Parameter der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde Modell 85.

Antennenfrequenzen (für Salz)	50 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

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.

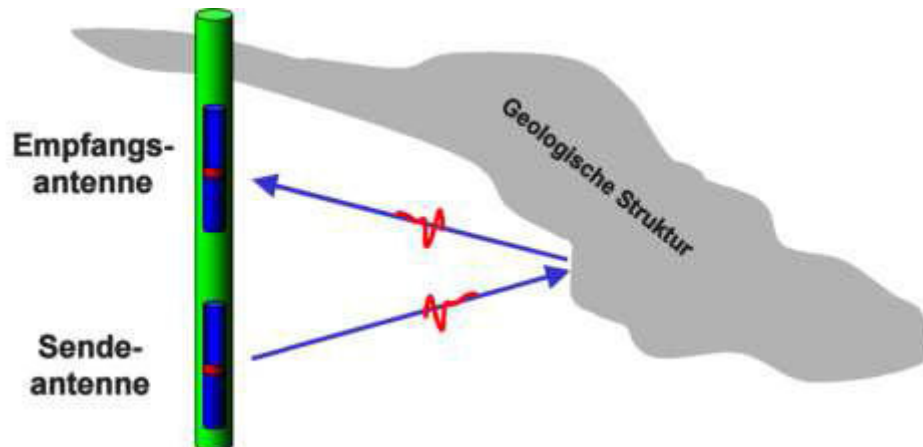
Mit der Bohrlochsonde wird das Profil im Bohrloch schrittweise in konstanten Abständen vermessen (Darstellung 3). Je nach Aufgabenstellung und verwendeter Frequenz können die Punktabstände von 0,05 m bis 1,00 m variieren. Von einem einzelnen Teufenpunkt aus kann mit dem System nur eine punktuelle Information 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

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 24

(Offset) für eine Profilmessung unverändert bleibt, wird diese Messgeometrie als Constant-Offset-Anordnung bezeichnet.



Darstellung 3: 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.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00



 ASSE
GND - Verantwortlich Handeln

Faktenerhebung Schritt 1 - Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 – Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar	Blatt: 25
---	-----------

Anhang 2 Drehmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2

Zusätzlich zu der Profilmessung entlang der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 wurden in zwei Bohrlochteufen Drehmessungen durchgeführt: D30 bei Messpunkt 28,25 m und D44 bei Messpunkt 42,75 m. Mit den Drehmessungen sollten Aussagen über die Genauigkeit der erfassten Einfallswinkel der Reflexionen getroffen werden. Dabei werden mehrere Messungen in derselben Bohrlochteufe vorgenommen und die Sonde jeweils gedreht, so dass etwa 12 Messungen in einer vollständigen Umdrehung (360°) erfolgen, d. h. etwa alle 30°.

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-B1.2 um die eigene Längsachse gedreht. So kann die Variation der ermittelten Einfallrichtung 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.

Bild 1 zeigt das Ergebnis der Drehmessung D30 (28,25 m Bohrlochteufe). Für wechselnde Orientierungen der Sonde im Bohrloch wurden die Winkelwerte zu ausgewählten Reflektoren bestimmt und gegen die Sondenlage aufgetragen (farbige Punkte). Die Nummern der Reflektoren entsprechen der Zuordnung aus der Auswertung der Profilmessung in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2.

Es zeigt sich, dass die ermittelten Winkelwerte zu einem Reflektor einen Sinus-ähnlichen Verlauf nehmen. Am rechten Rand des Diagramms sind zusätzlich die jeweiligen Mittelwerte der Winkel mit den zugehörigen Fehlern zusätzlich eingezeichnet (als vertikaler Balken). Diese variieren von 5° (Reflektor 33) bis 13° (Reflektor 31) (siehe Aufstellung 1). Da jede einzelne Winkelbestimmung ihrerseits fehlerbehaftet sein kann, wurde als Fehler die Standardabweichung berechnet und nicht die Spanne zwischen Maximum und Minimum. Diese Standardabweichung von einem Mittelwert wird im Folgenden allgemein als „Fehler“ bezeichnet.

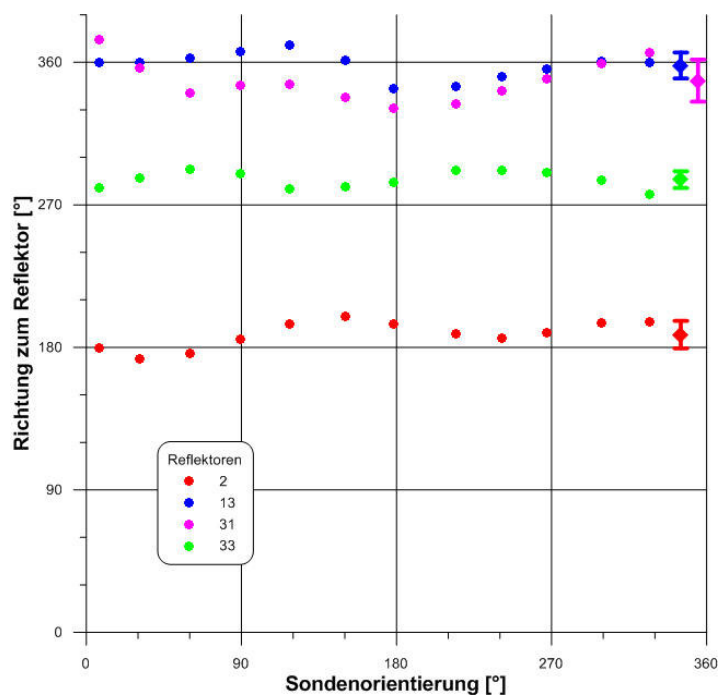


Bild 1: Ergebnisse der Drehmessung D30 bei 28,50 m.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
 Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
 Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 26

Aufstellung 1: Ergebnisse ausgewählter Reflektoren der Drehmessung D30.

Reflektor	Abstand [m]	Winkel [°]	Fehler [°]
2	5	188	9
13	8	358	8
31	21	348	13
33	35	286	5

Betrachtet man die Mittelwerte und Fehler aller ausgewerteten Reflexionen beider Drehmessungen, so erhält man Bild 2. Darin sind die Winkel in Abhängigkeit vom Abstand aufgetragen.

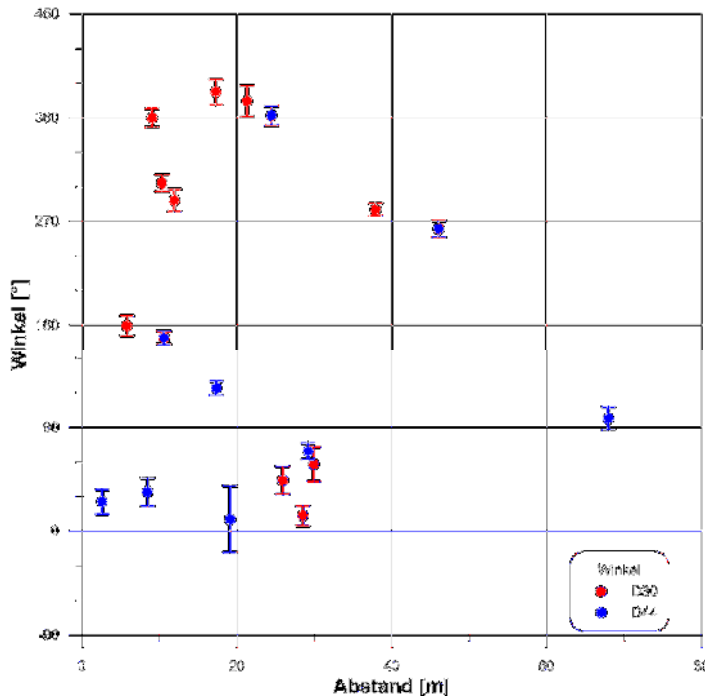


Bild 2: Ergebnisse der Drehmessungen D30 und D44 mit ermittelten Winkeln und Fehlerbalken.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0004	00

Faktenerhebung Schritt 1 -
 Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 –
 Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Blatt: 27

Bild 3 stellt die Abhängigkeit des Fehlers vom Abstand dar. Fast alle Fehler liegen zwischen 5° und 15°. Eine Abhängigkeit des Winkelfehlers vom Abstand lässt sich nicht erkennen.

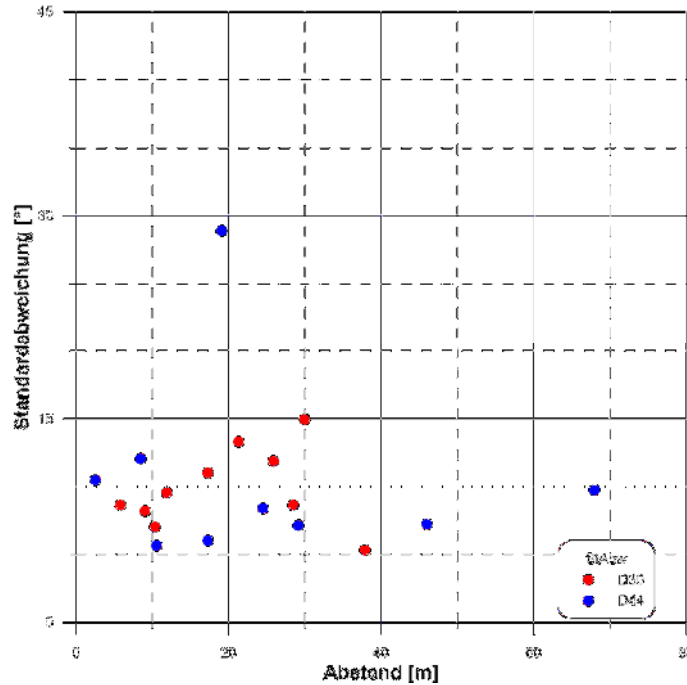
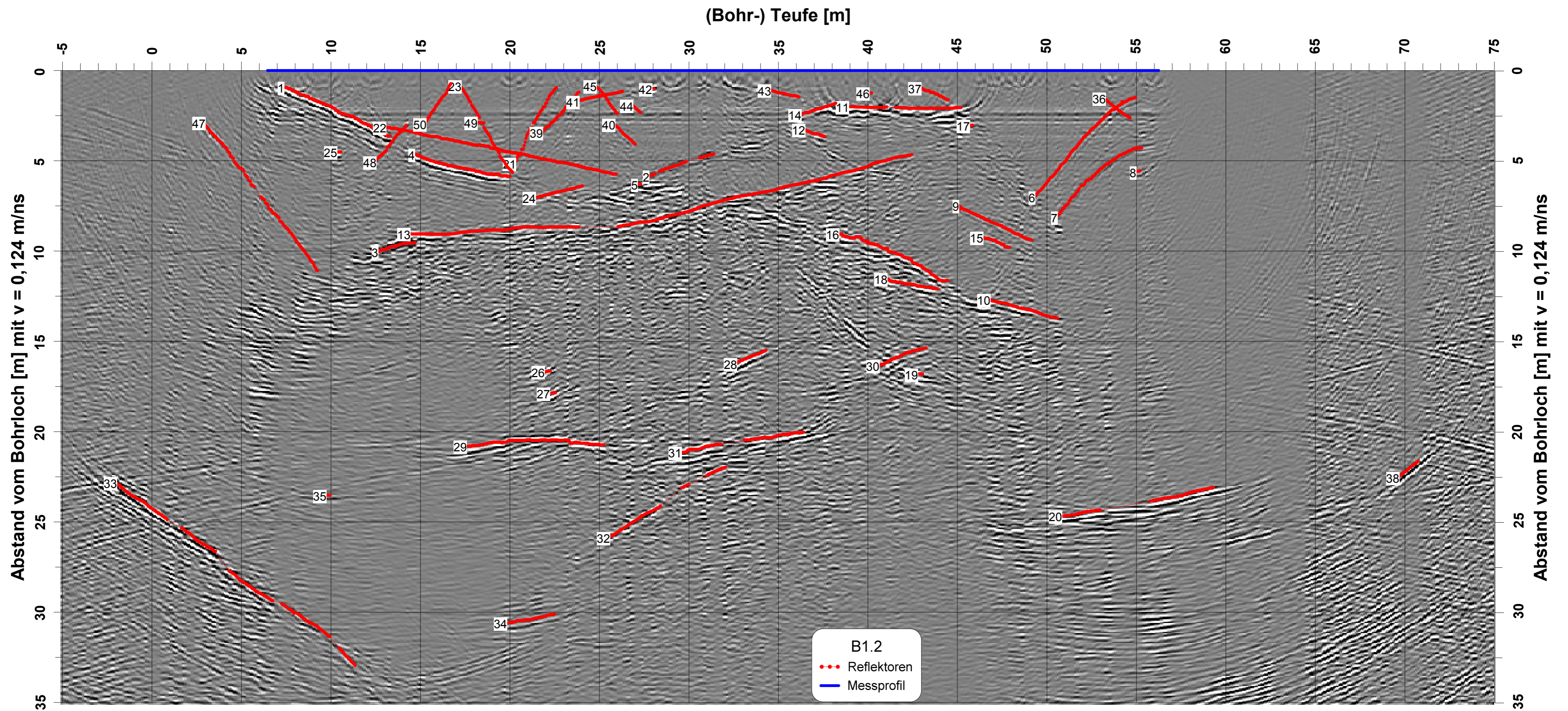
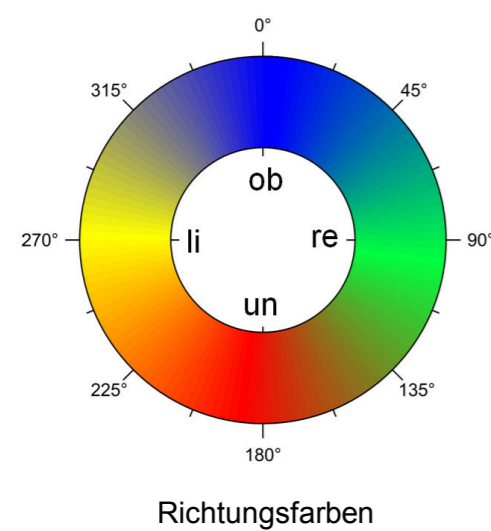
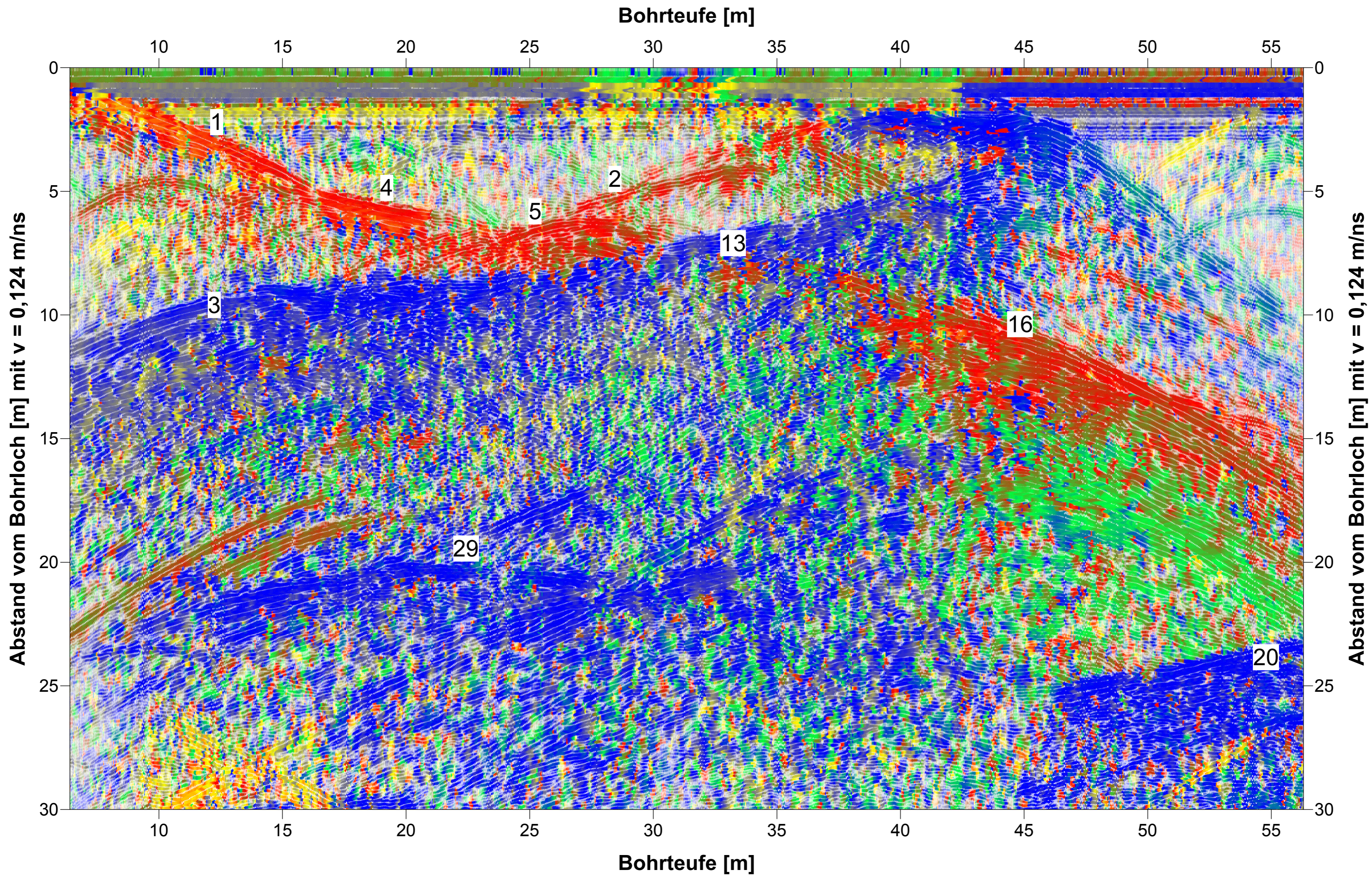


Bild 3: Standardabweichungen der Drehmessungen D30 und D44 in Abhängigkeit des Abstandes der Reflektoren.



Die Drehmessungen mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar, die in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 durchgeführt wurden, bestätigten den als allgemeine Toleranz angegebenen Wert von 10° für die ermittelten Winkel. Eine höhere Ungenauigkeit einzelner Reflexionen kann bereits im Rahmen der Analyse festgestellt werden und wird in den Ergebnisdaten vermerkt.

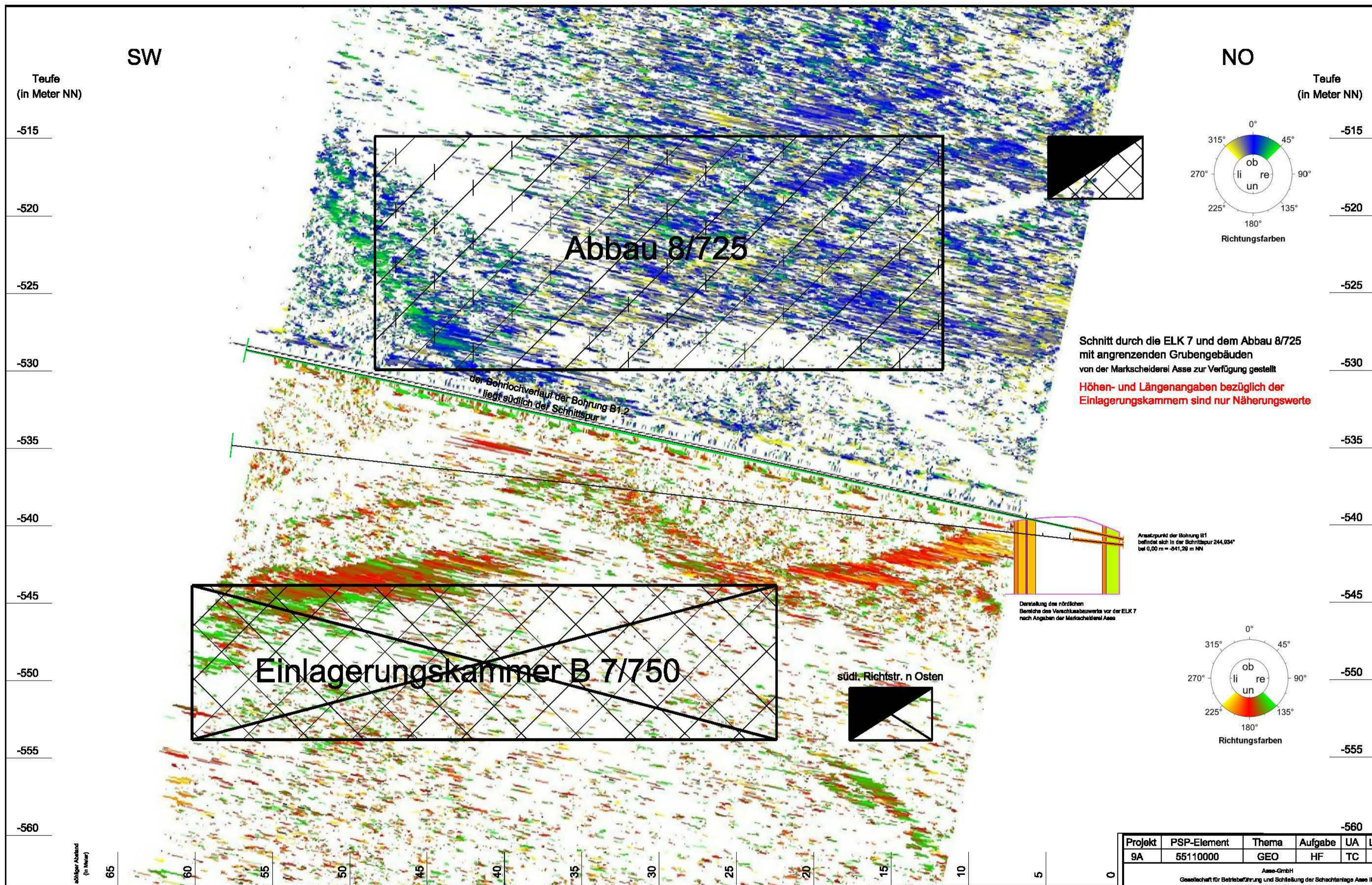


Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
9A	55110000	GEO	HF	TC	0038	00
<p style="text-align: center;">Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Remlingen</p>						
<p style="text-align: center;">DMT DMT GmbH & Co. KG Geschäftssegment Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 45307 Essen</p>						
<p style="text-align: right;">ASSE GMBH <small>Verantwortlich handeln</small></p>						
<p style="text-align: center;">Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar</p>						
Erläuterung der Revision	Asse-GmbH bzw. Fremdfirma	Datum	Name	Unterschrift		
	Bearbeiter	14.10.2016	t			
	Zeichner	14.10.2016				
	Prüfer	14.10.2016				
	Asse-GmbH	Freigabe				
	Dateiname	Bericht-B1.2_Anlage-1_A2_Rev00.dwg				
	Blattgröße	A2				
	Maßstab					
<p style="text-align: center;">2D-Darstellung der ausgewerteten Reflektoren im Radargramm (migriert)</p>						
Anlage 1						Blatt: 1
						von: 1
Basisunterlage :						



1, 2, ... Nummerierte Reflexionen

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 ASSE GMBH — Verantwortlich handeln
9A	55110000	GEO	HF	TC	0039	00	
Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Remlingen							Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar
 DMT GmbH & Co. KG Geschäftssegment Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 45307 Essen							
Erläuterung der Revision	Asse-GmbH bzw. Fremdfirma	Datum	Name	Unterschrift			2D-Darstellung des richtungskodierten Radargramms (unmigriert)
	Bearbeiter	14.10.2016					
	Zeichner	14.10.2016					
	Prüfer	14.10.2016					
	Asse-GmbH	Freigabe					Anlage 2 Blatt: 1 von: 1
	Dateiname	Bericht-B1.2_Anlage-2_A2_Rev00.dwg					
	Blattgröße	A2					
	Maßstab						Basisunterlage :

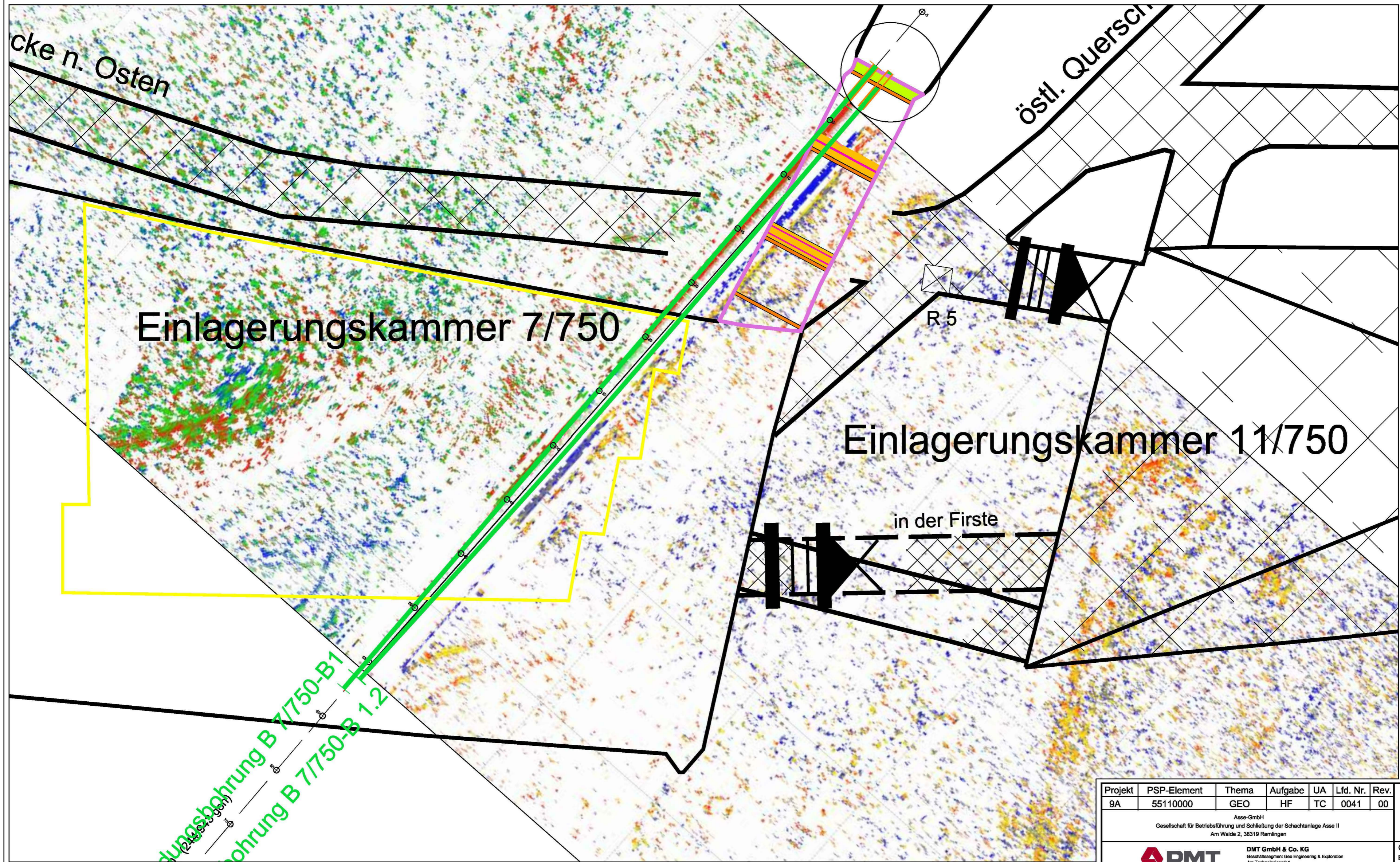


Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
9A	55110000	GEO	HF	TC	0040	00
Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachtanlage Asse II Am Walde 2, 38919 Ramlingen						
DMT GmbH & Co. KG Geschäftsbereich Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 48937 Essen						
Erläuterung der Revision	Asse-GmbH bzw. Fremdfirma	Datum	Name	Unterschrift		
	Bearbeiter	14.10.2016			Ebener Schnitt durch das Grubengebäude mit Radargrammen aus Messungen in der Erkundungsbohrung B 7750-B1.2 (vertikale Richtungen)	
	Zeichner	14.10.2016				
	Prüfer	14.10.2016				
	Asse-GmbH	Freigabe			Anlage 3 Blatt: 1 von: 1	
	Dateiname	Bohrh-91.2_Anlage-3_A2_Rev00.dwg				
	Blattgröße	A2				
	Maßstab				Basisunterlage :	

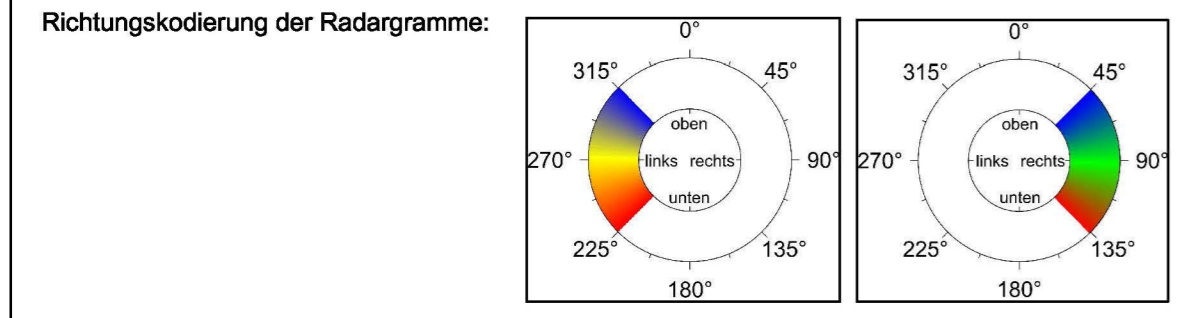
ASSE GMBH

Verantwortlich handeln

Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7750-B1.2 - Richtungs sensitives 3D-Bohrlochradar



- Legende:**
- geplante Bohrungen (Bohrungsverlauf)
 - erstellte Bohrungen (Bohrungsverlauf)
 - Standrohr mit Flansch
 - Tektonik
 - Grenze Carnallit zum Steinsatz
 - Messpunkt nach Bohrlochverlaufsmessung mit Bohrlochmessung in der Bohrung B1.2
 - vermuteter Lageplatz der VBA in der ELK 7
 - Verschlussbauwerk vor der ELK 7
 - Teilversatz
 - Sturzversatz
 - Blasversatz
 - Einlagerungskammer ohne Versatz
 - Einlagerungskammer mit Versatz
 - Einlagerungskammer verschlossen
 - vorgesetzte Schalwand (Teil des Verschlussbauwerk zur ELK 7)
 - Ylong (Teil des Verschlussbauwerk zur ELK 7)
 - Asphaltplatten (Teil des Verschlussbauwerk zur ELK 7)
 - Bitumfluge (Teil des Verschlussbauwerk zur ELK 7)



Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
9A	55110000	GEO	HF	TC	0041	00
ASSE-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Remlingen						
DMT GmbH & Co. KG Geschäftsbereich Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 46307 Essen						
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 - Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar						
Erläuterung der Revision		Asse-GmbH bzw. Fremdfirma	Datum	Name	Unterschrift	
		Bearbeiter	14.10.2016			
		Zeichner	14.10.2016			
		Prüfer	14.10.2016			
		Asse-GmbH	Freigabe			
		Dateiname	Bericht-B1.2_Anlage-4_A2_Rev00.dwg			
		Blattgröße	A2			
		Maßstab				
Ebener Schnitt durch das Grubengebäude mit Radargrammen aus Messungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 (horizontale Richtungen)						
Anlage 4						Blatt: 1
Basisunterlage :						von: 1