



Bundesamt für Strahlenschutz

Deckblatt

GZ: QM - 9A 23400000

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	B2155937	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 14.10.2016
9A	23400000	GHB	RZ	0029	00		

Titel der Unterlage:

Ergebnisbericht der Demonstrationsmessung
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 auf der 750-m-Sohle in Richtung
Einlagerungskammer (ELK) 7/750
Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Ersteller:

DMT GmbH & Co. KG

Stempelfeld:

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.	B2155937	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 14.10.2016
9A	23400000	GHB	RZ	0029	00		

Titel der Unterlage:

Ergebnisbericht der Demonstrationsmessung
Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 auf der 750-m-Sohle in Richtung
Einlagerungskammer (ELK) 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



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	0001	02

Kurztitel der Unterlage:
 Faktenerhebung Schritt 1 -
 Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung
 B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar

Ersteller / Unterschrift: DMT GmbH & Co. KG	Prüfer / Unterschrift: 26. OKT. 2016
--	---

Titel der Unterlage:

**Ergebnisbericht
 der Demonstrationsmessung**

**Geophysikalische Erkundung
 der Erkundungsbohrung B 7/750-A3
 auf der 750-m-Sohle in Richtung
 Einlagerungskammer (ELK) 7/750**

Richtungssensitives 3D-Bohrlochradar

Freigabevermerk:

Freigabedurchlauf

Fachbereich: Technische Planung	Stabsstelle Qualitätsmanagement:	Endfreigabe: Geschäftsführung Asse-GmbH
Datum: 26. OKT. 2016	Datum: 27. OKT. 2016	Datum: 31. Okt. 2016
Name:	Name:	Name:
Unterschrift	Unterschrift	Unterschrift

KQM_Deck-Revisionsblatt_REV17_Stand-2016-06-15

REVISIONSBLATT

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02

Kurztitel der Unterlage:
 Faktenerhebung Schritt 1 -
 Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung
 B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	20.01.2014	T-FE		-	Ersterstellung
01	22.09.2014	T-PF		-	Komplettüberarbeitung
02	14.10.2016	T-PF	alle	-	Komplettüberarbeitung

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

KQM_Deck-Revisionsblatt_REV17_Stand-2016-06-15

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	ASSE
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02	

Faktenerhebung Schritt 1 -
Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung
B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar

Blatt: 3

Inhaltsverzeichnis

Blatt

Deckblatt.....	1
Revisionsblatt.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
Freigabeblatt.....	4
1 Einleitung.....	5
2 3D-Bohrlochradarmessungen.....	5
2.1 Messprinzip.....	5
2.2 Informationen zur Erkundungsbohrung B 7/750-A3.....	5
2.3 Durchführung der Messungen.....	5
2.3.1 Messaufbau.....	5
2.4 Qualitätskontrolle.....	6
3 Bearbeitung und Auswertung der Messdaten.....	7
3.1 Bearbeitung der Messdaten.....	7
3.2 Auswertung der Messdaten.....	7
3.3 Winkelgenauigkeit.....	7
3.4 Lagerichtige Darstellung (Migration).....	8
3.5 Abschätzung zum Toleranzbereich der Messwerte.....	9
4 Ergebnisse.....	10
4.1 Ergebnisübersicht.....	10
4.2 2D-Visualisierung.....	10
4.3 3D-Visualisierung.....	13
5 Zusammenfassung.....	14

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Information zum richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar.....	16
Anhang 2: Migrierte Reflektoren, 2D-Darstellung.....	20
Anhang 3: Radargramme (Graustufen, unmigriert) in drei Entfernungsbereichen.....	21
Anhang 4: Richtungskodierte Radargramme (unmigriert) in drei Entfernungsbereichen.....	22
Anhang 5: Richtungskodiertes Radargramm (unmigriert) auf Sohlenriss im Niveau 750 m.....	23

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).....	8
Abbildung 2: Bestimmung des lateralen Lagefehlers infolge einer Winkelunsicherheit von 10°	10
Abbildung 3: 3D-Blick von Süden auf eine Skizze des Grubengebäudes (schwarz: Bohrlochprofil, farbig: Reflektoren).....	13
Abbildung 4: 3D-Blick von Süden auf die Bohrlochumgebung.....	14

Anzahl der Blätter dieses Dokumentes	23
---	-----------

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02



ASSE
GmbH
Geotechnisch-Geodätisch

Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 4
--	-----------------



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:

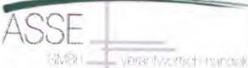
eigenhändige Unterschrift

Essen, 14.10.2016

Freigabe:

eigenhändige Unterschrift

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02



ASSE
Geophysikalische Untersuchungen

Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 5
--	-----------------

1 Einleitung

Im Rahmen der Faktenerhebung in der Schachanlage Asse II wurden von der Firma DMT GmbH & Co. KG (im Weiteren DMT genannt) im Auftrag der Asse-GmbH geophysikalische Untersuchungen mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar durchgeführt. Die Messungen erfolgten aus der horizontalen Erkundungsbohrung B 7/750-A3.

Die durchgeführten Messungen sollten Möglichkeiten und Grenzen des 3D-Bohrlochradars aufzeigen. Mit dieser richtungssensitiven Messtechnik werden nicht nur die Entfernungen der registrierten Radar-Reflektoren vom Bohrloch bestimmt, sondern auch ihre Lage im dreidimensionalen Raum.

Ziel der Messungen mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar war die Erkundung der Einlagerungskammer 7/750 sowie die Erfassung geologischer Strukturen im Umfeld der Erkundungsbohrung B 7/750-A3. 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 3D-Bohrlochradarmessungen

2.1 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 zurückgestrahlt 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-A3

Der Bohransatzpunkt der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 befand sich auf der 750-m-Sohle vor der Einlagerungskammer 7/750. Die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 wurde vor der Einlagerungskammer 7/750 ansteigend in die Schwebenzone zwischen der Einlagerungskammer 7/750 und dem Abbau 8/725 gestoßen und erreichte eine Endteufe von 23,00 m. Aus sicherheitstechnischen Gründen erfolgten die Erkundungsmessungen über einen Preventerstack, der der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 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 Durchführung der Messungen

Die Durchführung der Messungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 erfolgte am 19.06.2013. Anschließend an die Anlieferung an der Schachanlage II wurde die Messausrüstung der DMT freigemessen und nach Untertage transportiert. Nach Abschluss der Messungen wurde die Messausrüstung für den Transport nach Übertage vorbereitet und nach der erfolgten erneuten Freimessung zur Abholung bereitgestellt.

2.3.1 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

Projekt NNA	PSP-Element NNNNNNNNN	Thema NNAANN	Aufgabe AA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02



ASSE
GmbH
Verantwortlich Person

Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 6
--	----------

Preventerstack in die Bohrung eingeführt. Über einen Adapter wurde die richtungssensitive 3D-Bohrlochradarsonde mit dem auf der Schachanlage Asse II vorhandenen Bohrgestänge verbunden. Dies ermöglichte zum einen das entfernungsgenaue Verfahren der Sonde in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3. 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 Bezugspunkt für Entfernungsangaben bei der Radarerkundung wurde der Ansatzpunkt der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 unmittelbar am Stoß verwendet. Während der Messungen ragte der Flansch des Standrohres um 0,20 m aus dem Stoß heraus. Die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 wurde bis zur Endteufe von 23,00 m mit der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde befahren.

Der Bezugspunkt der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde befand sich mittig zwischen der Sende- und Empfangsantenne, was beim 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 21,25 m aufgezeichnet werden. Es wurde ein Messpunktabstand von 5,00 cm (= 0,05 m) gewählt, um eine hohe Datenüberdeckung entlang der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 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.

2.4 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.

Projekt NNA	PSP-Element NNNNNNNNN	Thema NNAANN	Aufgabe AA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02



ASSE
GNDH - „Geotextechnik“

Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 7
--	----------

3 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.

3.1 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-A3 zusammengeführt, so dass für jede Komponente des Systems ein Datensatz vorlag.

Folgende Bearbeitungsschritte wurden durchgeführt:

- Nullpunktkorrektur
- Frequenzfilter
- Laufzeitkorrektur
- Verstärkungsfunktion

Mit Hilfe der azimutalen Ausrichtung der richtungssensitiven 3D-Bohrlochradarsonde an jedem Messpunkt, welche aus Informationen des Bohrlochverlaufs vorlag, und dem aufgezeichneten Rollwinkel der Sonde wurden die 3D-Koordinaten der Reflektoren ermittelt.

3.2 Auswertung der Messdaten

Nach der Bearbeitung der gemessenen 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 Objekten im Raum (Reflektoren) reflektiert wurden.

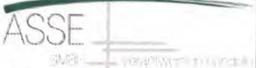
Im Rahmen der Datenbearbeitung wurde festgestellt, dass mit der 3D-Bohrlochradarmessung eine Vielzahl an Reflexionen detektiert und registriert werden konnte. Reflexionen wurden bis zum Aufzeichnungsende bei 1.500 ns (bis in etwa 90,00 m Entfernung zur Bohrung) registriert.

Die erkennbaren Reflexionen wurden in den Radargrammen markiert („gepickt“) und Entfernung und Einfallswinkel bezüglich des jeweiligen Messpunktes ermittelt. An jedem einzelnen Reflexionspunkt lagen somit Messwerte der Form „Entfernung der Reflexion zur Radarsonde innerhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-A3“ und „Einfallswinkel“ vor. Aus diesen Werten wurden die 3D-Koordinaten der Reflektorpunkte ermittelt.

3.3 Winkelgenauigkeit

Abbildung 1 zeigt beispielhaft anhand einer ausgewählten Reflexion, die parallel zur Bohrlochachse verläuft, den Verlauf der ermittelten Einfallswinkel. Dargestellt sind die Abstandswerte des Reflektors (linke Ordinate, schwarz) zur Bohrlochachse sowie die ermittelten Einfallswinkel der reflektierten Radarsignale (rechte Ordinate, rot) mit Bezug zur Bohrteufe der Erkundungsbohrung B 7/750-A3. Der Abstandswert des Reflektors zur Bohrlochachse verläuft über den Messbereich nahezu konstant. Der Verlauf des Einfallswinkels zeigt geringfügige Schwankungen um einen Mittelwert, der in der Abbildung 1 als violette Raute bei einer Teufe von ca. 24,20 m markiert ist. Diese geringfügigen Schwankungen resultieren, neben der messbedingten Toleranz in der Erfassung der Einfallswinkel der Reflexionen, insbesondere aus der räumlichen Ausdehnung der reflektierenden Strukturen. Die seitliche Ausdehnung der Struktur sowie deren Topographie an der Grenzfläche zum Salz führen dazu, dass die einzelnen registrierten Reflexionspunkte nicht exakt parallel zur Bohrlochachse verlaufen.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02



Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 8
--	-----------------

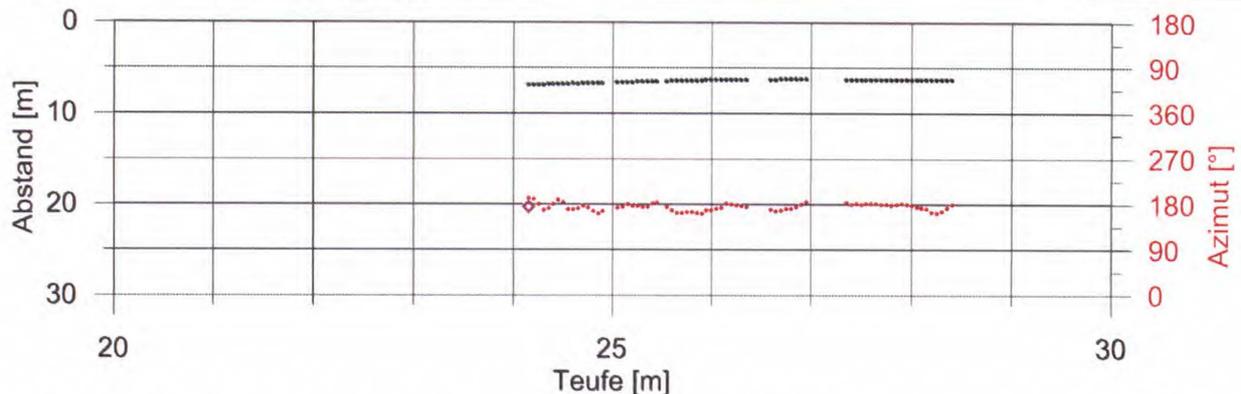


Abbildung 1: Aus 3D-Bohrlochradar-Messdaten ermittelte Einfallswinkel (rot, rechte Achse) für eine Beispielreflexion (schwarz, linke Achse).

Um generell eine hohe Winkelgenauigkeit zu erzielen, wurde die Bestimmung der Winkelinformation eines Reflexionssignals vorrangig in denjenigen Teilbereichen durchgeführt, die eindeutig einem Reflektor (einer bekannten Struktur) zuzuordnen waren. Die Genauigkeit der berechneten Einfallswinkel hängt prinzipiell von der Datenqualität ab. Zum einen werden die registrierten Messdaten durch die Geologie und die Rahmenbedingungen bei der Messdurchführung beeinflusst. Zum anderen wirkt sich die gegenseitige Beeinflussung mehrerer gleichzeitig einfallender Reflexionssignale untereinander auf die Genauigkeit der Winkelbestimmung aus. Kreuzen sich zum Beispiel einfallende Reflexionssignale, so kommt es zu einer Überlagerung der Signalamplituden, einer sogenannten Interferenz. Die Richtung, aus der das amplitudenstärkste Signal eintrifft, wird eindeutig darstellbar. Die amplitudenschwächeren Signale werden dagegen verdeckt und eine eindeutige Interpretation der Einfallswinkel der amplitudenschwächeren Reflexionssignale ist teilweise nicht möglich.

Für die Berechnung der Reflektorkoordinaten wurde der arithmetische Mittelwert der Einzelwinkel in ausgewählten Teufenabschnitten der betreffenden Reflexionssignale herangezogen. Jeder Reflektor wurde zusätzlich mit einem Index für die Signifikanz des Reflexionssignals 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 des die Messdaten bearbeitenden Geophysikers getroffen. Sie werden bei der Interpretation der Ergebnisse als Parameter der Aussagesicherheit der einzelnen Winkel verwendet.

3.4 Lagerichtige Darstellung (Migration)

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

Nach dem Prozess der Migration wurden die ermittelten azimutalen Einfallswinkel der Reflexionen den zugehörigen Reflektoren zugeordnet. Mittels des Winkels und dem Abstand der einzelnen Reflektorpunkte 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. Tabelle 1 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt einer solchen Tabellen-Ergebnisdatei mit der zugehörigen Beschreibung der einzelnen Elemente des Datenformates. Die mit dem richtungssensitiven 3D-Bohrlochradar erfassten Strukturen konnten anhand der

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02	

Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 9
--	----------

Koordinaten in zweidimensionalen Profilschnitten wie auch im dreidimensionalen Raum lagerichtig dargestellt werden.

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		
33		
Erkundungsbohrung B 7/750-A3		
1	278,9	
4409224,1	5777976,3	-537,6
4409205,8	5777991,9	-541,4
4409224,1	5777976,3	-537,6
4409205,8	5777991,9	-541,4
4409224,1	5777976,2	-537,6
4409205,7	5777991,8	-541,4
4409224,1	5777976,1	-537,6
4409205,7	5777991,8	-541,4
4409224,1	5777976,0	-537,6
4409205,7	5777991,7	-541,4
4409224,2	5777975,9	-537,6
4409205,6	5777991,7	-541,4

3.5 Abschätzung zum Toleranzbereich der Messwerte

Im Zuge der Entwicklung des richtungssensitiven Bohrlochradars wurden in zahlreichen Kalibriermessungen, unter anderem auch in der Schachanlage Asse II sowie in Bohrungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), die Genauigkeiten der ermittelten Einfallswinkel der Reflexionssignale bestimmt. Die dazu verwendeten Drehmessungen werden in unregelmäßigen Zeitabständen wiederholt, um einen ständigen Nachweis der Genauigkeit des Messsystems zu erhalten. In einer Drehmessung wird der Winkel zu einem Reflektor bei unterschiedlicher Orientierung der Sonde bestimmt. Dieser Winkel muss theoretisch gleich bleiben, das heißt seine tatsächliche gemessene Variation, bei sich ändernder Orientierung der Sonde, gibt die Genauigkeit einer Winkelbestimmung an. Die Ergebnisse der Drehmessungen zeigen, dass messtechnisch bedingt bei der Bestimmung der Winkel zu den Reflektoren Unsicherheiten von im Mittel von etwa 10° (entspricht etwa 3%) zu berücksichtigen sind. Für den vermuteten Firstverlauf der Einlagerungskammer 7/750 in etwa 4 m Entfernung am Ende der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 ergibt sich somit ein radialer bzw. seitlicher Absolutfehler in der Lagebestimmung von etwa 70,00 cm. Für weiter entfernte Reflektoren vergrößert sich die Lagetoleranz entsprechend (siehe Abbildung 2).

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 0,12 m/ns verwendet, welcher für das Steinsalz der Zechsteinfoolge als weitgehend konstant angenommen werden kann. Die Ungenauigkeit der Bestimmung der Entfernung setzt sich zusammen aus der Ungenauigkeit der Geschwindigkeit und

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02

Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 10
--	-----------

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-A3 wurden mit Hilfe des Teufenzählers der Bohrmaschine ermittelt. Eine Angabe zur Genauigkeit dieses Zählers lag nicht vor.

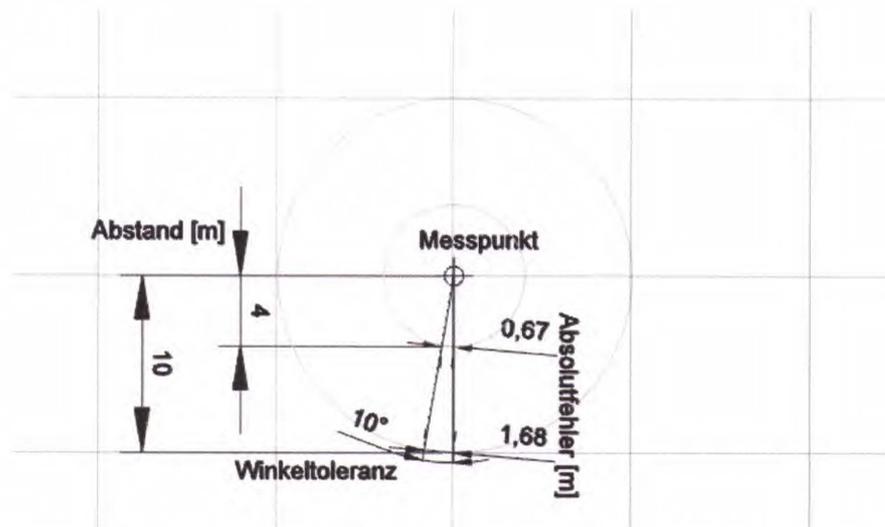


Abbildung 2: Bestimmung des lateralen Lagefehlers infolge einer Winkelunsicherheit von 10°.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisübersicht

Insgesamt wurden 89 Reflexionen ausgewertet. Die jeweilige azimutale Lage der zugehörigen Reflektoren wurde aus den jeweiligen berechneten Einfallrichtungen bestimmt.

Anhang 2 zeigt die Zusammenstellung aller ausgewerteten und nummerierten Reflektoren in einer einfachen 2D-Darstellung, d.h. ohne Berücksichtigung der Richtung. Auf Grund der Migration liegen einige Reflektoren so, dass sie sich nicht genau neben dem Messprofil (3,50 m bis 21,25 m) befinden, sondern in den Teufenbereichen davor (< 3,50 m) oder dahinter (> 21,25 m). Die Grafik gibt also die radiale Entfernung der Reflektoren von der Bohrlochachse an.

Insgesamt wurden 89 Reflektoren erkannt. Die dreidimensionalen Koordinaten wurden ermittelt und auf einem Speichermedium gesichert.

In den folgenden Kapiteln 4.2 und 4.3 werden einige ausgewählte Strukturen dokumentiert. Für die zweidimensionale Darstellung der Radardaten im Kapitel 4.2 werden stets nicht durch Migration bearbeitete Messdaten verwendet, da diese in der 2D-Darstellung anschaulicher und leichter verständlich zu dokumentieren sind. Zu beachten ist hier, dass die Reflexionen gegebenenfalls nicht lagerichtig dargestellt sind (vgl. Kapitel 3.4).

In Kapitel 4.3 werden die Messergebnisse in „dreidimensionaler Form“ dokumentiert.

4.2 2D-Visualisierung

Anhang 3 zeigt die Messergebnisse der 3D-Bohrlochradarerkundung in Graustufen-Darstellung. Schwarze und weiße Bereiche entsprechen Reflexionssignalen mit hoher bzw. negativer Reflexionsamplitude. Eine derartige Darstellung wird als Radargramm bezeichnet und liefert einen Überblick über die registrierten Reflexionen.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02



Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 11
--	-----------

Diese zweidimensionale Darstellung entspricht dem Endergebnis, das aus einer Bohrlochradarerkundung mit einem ungerichteten Bohrlochradarsystem hervorgehen würde. Das Graustufen-Radargramm liefert keine Informationen zur Einfallrichtung der einzelnen Reflexionen. Eine räumliche Zuordnung im dreidimensionalen Raum ist allein mit dieser Darstellungsart nicht möglich. Der Verlauf einzelner Reflexionen erscheint weitestgehend parallel und gibt daher keine Hinweise auf die tatsächliche Lage im Raum wieder. Bei der Interpretation solcher Darstellungen ohne Richtungsinformationen würden mehrere Einzelreflexionen fälschlicherweise einer Gesamtstruktur zugeordnet werden.

Die registrierten Radargramme werden in unterschiedlicher Darstellungsform gezeigt. Das linke Diagramm zeigt den gesamten aufgezeichneten Bereich bis in 90,00 m Abstand zur Erkundungsbohrung. Die beiden anderen Radargramme stellen jeweils vergrößerte Ausschnitte für den Nah- und Fernbereich zur Bohrlochachse dar. Unter Bezug auf Radarmessungen wird als Fernfeld üblicherweise ein Bereich von etwa 20,00 m bis 40,00 m Distanz um die Bohrlochachse bezeichnet, als mittleres Feld eine Distanz zwischen 5,00 m und 20,00 m beschrieben und als Nahbereich ein Abstand von 0,00 m bis 5,00 m um die Bohrlochachse herum betrachtet.

Es sind eine Vielzahl von Reflexionen zu erkennen, die meist in Gruppen auftreten. Exemplarisch sind 9 Gruppen markiert (R1 bis R9). Eine erweiterte Datenbearbeitung löst die Gruppen in einzelne Reflexionen auf.

Ab etwa 5,50 m Bohrteufe werden die Amplituden der Reflexionen deutlich größer und verbleiben in gleicher Deutlichkeit bis zur Endteufe. Daraus lässt sich schließen, dass bis zu einer Bohrteufe von 5,50 m das die Bohrung umhüllende Material eine höhere Dämpfung für Radarwellen aufweist als das Material im restlichen Teufenbereich. Dieses Ergebnis kann derart interpretiert werden, dass die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 aus dem Verschlussbauwerk bei einer Teufe von 5,50 m austritt und anschließend komplett im Salz verläuft.

Im Nahbereich sind deutlich 4 Reflexionsgruppen zu erkennen. Beispielsweise schneidet die Gruppe R1 die Bohrlochachse und entfernt sich anschließend mit zunehmender Bohrteufe. Um die Reflexionsamplituden unbeeinflusst betrachten zu können, werden sie nicht durch Linien markiert.

Die im Fernbereich auftretenden Reflexionsgruppen treten mit einer gewissen Regelmäßigkeit auf: die Abstände zwischen R5 bis R7 betragen jeweils etwa 10,00 m, die Abstände zwischen R7 bis R9 jeweils etwa 15,00 m.

Diese Graustufendarstellung entspricht dem Bild für ein Ergebnis, das mit einem Radarsystem ohne Richtungserkennung gemessen wurde. Hiermit können weder Einfallrichtungen von Reflexionen noch die Koordinaten des Reflektors im dreidimensionalen Raum ermittelt werden. Eine Lagebestimmung von Reflektoren im 3D-Raum lässt sich ausschließlich mit einem richtungssensitiven Radarsystem vornehmen, wie es hier eingesetzt wurde.

Um die Einfallrichtungen der Reflexionen in einem 2D-Radargramm grob zu visualisieren, sind die aufgezeichneten Amplituden in Anhang 4 farblich kodiert. Die Farben ergeben sich aus der Winkelanalyse der registrierten Signale des Antennenarrays. Dabei bedeutet die Richtung 0°, dass der Reflektor in Bohrrichtung oberhalb („ob“) liegt und blau gekennzeichnet ist. Entsprechendes gilt für die anderen Farben und Richtungen. Solche farbkodierten Radargramme dienen der Qualitätskontrolle der Daten und spiegeln nicht die Ermittlung der Richtungen wider. Denn die Farbverteilung ist zu grob, um daraus verlässliche Winkel ablesen zu können.

Das farbkodierte Radargramm wurde auch auf den von der Schachanlage Asse II zur Verfügung gestellten Sohlenriss (750,00 m) projiziert (Anhang 5), um den Zusammenhang zwischen den registrierten Signalen und dem Grubengebäude zu dokumentieren.

Projekt NNA	PSP-Element NNNNNNNNN	Thema NNAANN	Aufgabe AA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02



Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 12
--	------------------

Die sich von der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 entfernende Reflexionsgruppe R1 ist gelb gekennzeichnet und liegt somit in Verlaufsrichtung links von der Bohrlochchse. Dabei handelt es sich genau genommen um zwei parallele Reflektoren, die schräg untereinander angeordnet sind und in der Darstellung nicht aufzulösen sind. Anhang 5 zeigt, dass sich die Reflektorgruppe R1 etwa mit dem Verlauf des westlichen Randes des Verschlussbauwerks deckt.

Die Reflektionsgruppe R1 zeigt neben einem kontinuierlichen Verlauf weitere eingebettete Reflexions-/Diffraktionshyperbeln, die besonders gut in Anhang 3 zu erkennen sind. Diese sind ein Hinweis darauf, dass entlang des Verschlussbauwerks an diesen Positionen kleinräumige Inhomogenitäten vorliegen können, beispielsweise Materialwechsel.

Eine weitere nahezu entlang der gesamten Erkundungsbohrung B 7/750-A3 zu verfolgende Reflexionsgruppe (R4, rot) befindet sich unterhalb der Bohrlochachse (180°). Der zugehörige Reflektor stellt die unterhalb kreuzende südliche Richtstrecke nach Osten dar: der Scheitel (Apex) der Reflexion liegt etwa bei Bohrteufe 15,00 m (blaue Markierung im Anhang 5) und damit direkt über der Mitte der Richtstrecke.

Weitere schräg verlaufende Reflexionsgruppen (R2, R3) sind zu erkennen, deren bislang unbekannte Ursachen sich etwa links unterhalb der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 befinden (ca. 230°). Die zugehörigen Reflektoren befinden sich an mehreren Stellen des nördlichen Kammerstoßes der Einlagerungskammer 7/750, und zwar bis zu 5,00 m unterhalb des Durchstoßpunktes der Erkundungsbohrung B 7/750-A3.

Der Übergang zwischen Steinsalz und der mit Salz verfüllten Einlagerungskammer 7/750 stellte während des Anbohrens optisch und bohrtechnisch kaum einen Kontrast dar. Es liegt die Vermutung nahe, dass auch der Kontrast für Radarwellen eher gering ist. Die registrierten Reflexionen aus dem nördlichen Kammerstoß könnten sowohl durch die Grenzfläche Stoß/Salz als auch durch mögliche Einlagerungen dahinter, beispielsweise Gebinde oder Fässer, verursacht werden.

Eine genauere und weiter reichende Erkundung der Einlagerungskammer 7/750 ist aus geometrischen Gründen aus der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 heraus nicht möglich. Dazu wäre ein Bohrlochverlauf entlang des Kammerstoßes notwendig und nicht, wie bei der Erkundungsbohrung B 7/750-A3, nahezu senkrecht auf den Stoß zu. Auch könnten die Signale weiter untersucht werden (z.B. Dämpfungsanalysen), um zusätzliche Hinweise auf die erkannten Reflektoren zu erhalten.

Die im Nahbereich zu beobachtenden Reflexionsgruppen R1 bis R4 konnten den bekannten Strukturen des Grubengebäudes zugeordnet werden. Es wurden somit keine Anzeichen für unbekannte Strukturen, wie etwa Hohlräume oder Feuchtbereiche, gefunden.

Betrachtet man die Reflexionsgruppen R5 bis R9 mit den aufgezeichneten Richtungsinformationen (Anhang 4), so kann man den größten Teil dieser Reflexionen, bis zu Entfernungen von 55,00 m zur Bohrlochachse, Strukturen des Grubengebäudes im Hangenden zuordnen (R5, ... R8). Die Reflexion R9 in 65 m Entfernung (rot) zum Liegenden gehört zu einem Reflektor, der nicht mit bekannten Strukturen des Grubengebäudes korreliert werden kann.

Auch für die Abbildungen in Anhang 4 gilt, dass die farbliche Darstellung lediglich eine Visualisierung der auftretenden Winkel zeigt und somit eine grobe Orientierung erlaubt, wo im Raum die Reflektoren zu erwarten sind. Die genauen Lagen ergeben sich aus den berechneten 3D-Koordinaten der Reflektoren.

Die Positionen der in Anhang 3 sichtbaren Hyperbeln in Reflexionsgruppe R1 sind zusätzlich im Anhang 2 als schwarze Punkte dargestellt. Hier sollte geprüft werden, ob an diesen Stellen mit Materialwechseln oder Einbauten im Verschlussbauwerk zu rechnen ist.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02

Faktenerhebung Schritt 1 -
 Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung
 B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar

Blatt: 13

4.3 3D-Visualisierung

Abbildung 3 zeigt einen 3D-Blick von Süden auf die Erkundungsbohrung B 7/750-A3 (schwarz) und ihre Umgebung. Solch ein statischer Blick in den 3D-Raum ist naturgemäß schwer zu veranschaulichen und kann eine bewegte Sicht mit Hilfe einer 3D-Darstellungssoftware nicht ersetzen.

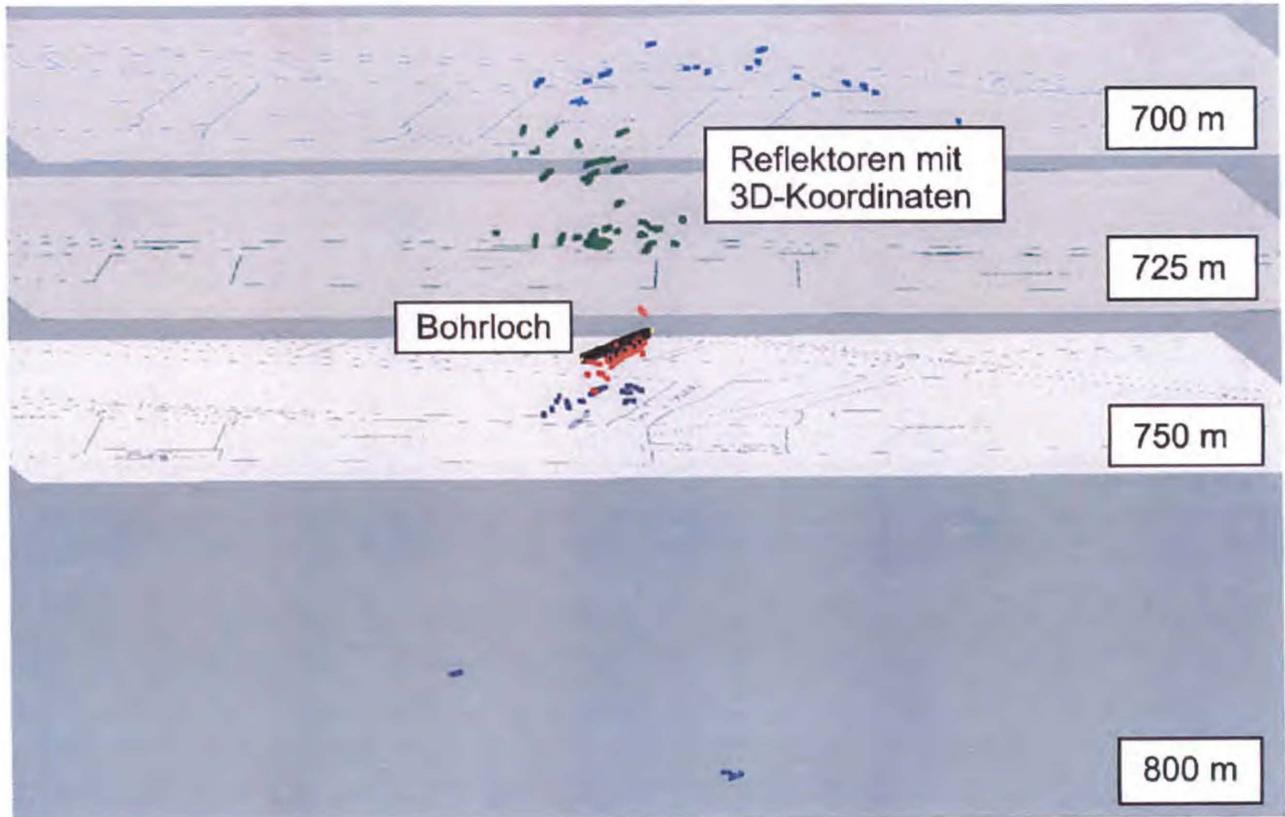


Abbildung 3: 3D-Blick von Süden auf eine Skizze des Grubengebäudes (schwarz: Bohrlochprofil, farbige: Reflektoren)

Es sind die Risse dreier benachbarter Sohlen (700 m, 725 m, 750 m) skizziert (graue Flächen) sowie die Lage der ausgewerteten Reflektoren (farbige Punkte). Die Sohlenrisse sind flach und haben keine vertikale Erstreckung, so dass keine Korrelation mit dem Grubengebäude möglich ist. Die farblich markierten Reflektoren beziehen sich auf die Niveaus 700 m (blau), 725 m (grün) und 750 m bzw. 800 m (dunkelblau) (letzteres Niveau ohne Rissdarstellung). Die roten Reflektoren stellen die Reflektoren der unmittelbaren Bohrlochumgebung dar, das heißt mit Ursprung aus dem Verschlussbauwerk und dem Kammerstoß.

Betrachtet man den Ausschnitt der unmittelbaren Bohrlochumgebung (Abbildung 4), so sind zwei Reflektoren (rot) zu erkennen, die parallel zueinander verlaufen und dem Verschlussbauwerk zuzurechnen sind. Zuordnungen von weiteren erkannten Reflektoren werden beim Navigieren im 3D-Raum deutlicher.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02

Faktenerhebung Schritt 1 -
 Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung
 B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar

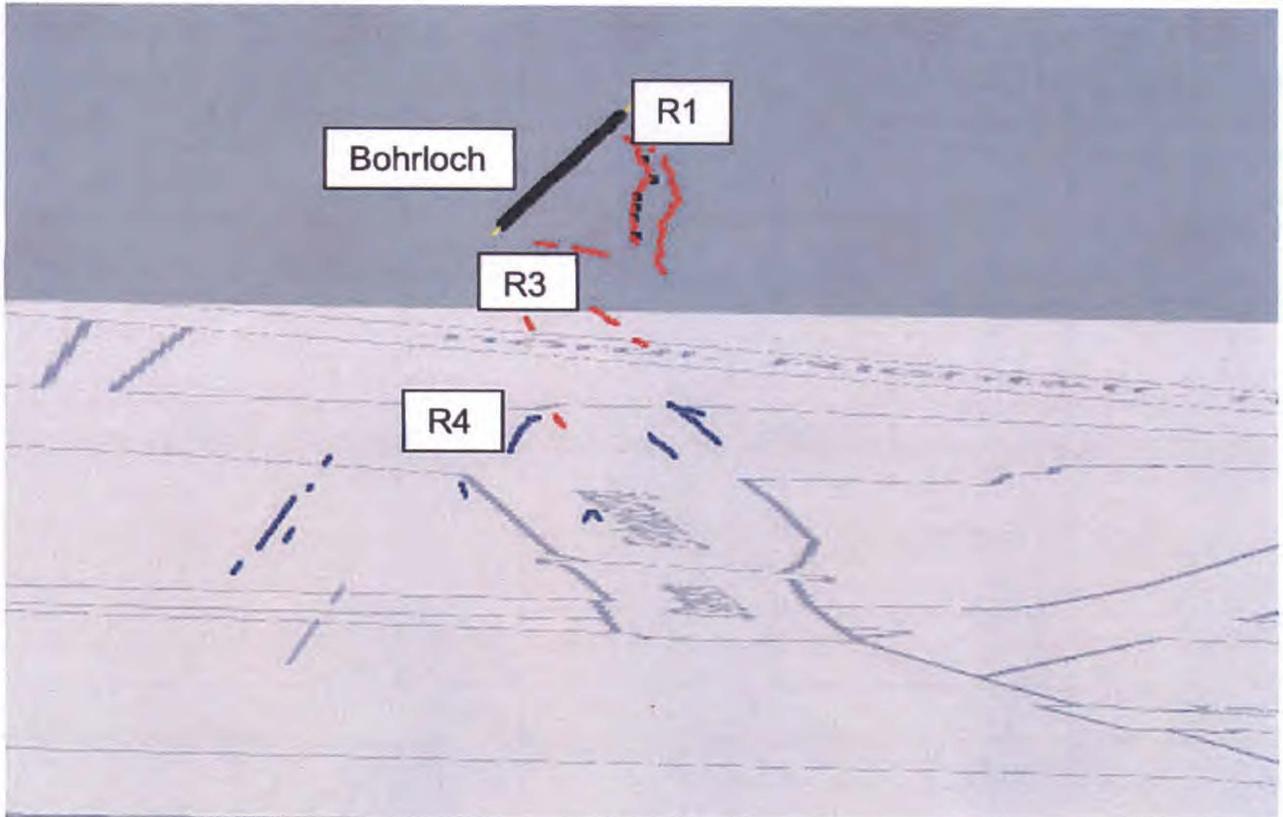


Abbildung 4: 3D-Blick von Süden auf die Bohrlochumgebung

Auf eine Beschreibung der Vielzahl von ausgewerteten Reflektoren wird an dieser Stelle verzichtet, da eine Korrelation mit Bauwerken auf dem vorhandenen 2D-Kartenmaterial schwerlich möglich ist. Hier ist der ortskundige Geologe oder Markscheider gefragt.

5 Zusammenfassung

In der Erkundungsbohrung B 7/750-A3, die von der Einhausung aus in Richtung der Einlagerungskammer 7/750 abgeteuft wurde, wurden Radarreflexionsmessungen durchgeführt.

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

Bei der Interpretation der Ergebnisse wurde eine Vielzahl von Reflexionen erkannt, die bei der Dokumentation zu Reflexionsgruppen zusammengefasst wurden.

In dem etwa 20,00 m langen Messprofil wurden Reflektoren sowohl im Nahbereich (Abstand von 0,00 m bis 5,00 m zur Bohrlochachse) als auch über größere Entfernungen zur Bohrlochachse von bis 65,00 m ausgewertet und im dreidimensionalen Raum lagerichtig dargestellt. Dabei wurde eine Genauigkeit für die Winkelbestimmung, die aus zahlreichen Kalibriermessungen der Vergangenheit bekannt war, berücksichtigt.

Die ermittelten Koordinaten der Reflektoren im 3D-Raum wurden in digitaler Form aufbereitet. Diese können in entsprechenden 3D-Graphiken dargestellt und gegebenenfalls in ein Modell der Lagerstätte eingelesen werden.

Im Nahbereich zur Bohrlochachse wurden zwei deutliche Reflektoren festgestellt, die dem Verschlussbauwerk zugeordnet werden konnten. Zusätzlich wurde eine Reflektorgruppe erkannt,

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02	

Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 15
---	------------------

die den Stoß von Einlagerungskammer 7/750 und weitere reflektierende Elemente, möglicherweise auch innerhalb der Einlagerungskammer, abbilden.

Aus dem Grubengebäude sind Reflexionen von der unterhalb des Verschlussbauwerks kreuzenden südlichen Richtstrecke nach Osten aufgezeichnet worden. Weitere Zuordnungen könnten mit Hilfe eines 3D-Modells des Grubengebäudes des Schachanlage Asse II vorgenommen werden. Bis zu 65 m radial von der Bohrlochachse entfernt liegende Reflektoren sind Grubenbauen der 750-m-, 725-m-, 700-m- sowie der 800-m-Sohle zuzuordnen. Eine Reichweite der Radarsignale (frequenzabhängig) von bis zu 90 m entspricht den Erwartungen bei Radarerkundungen im Salinar. Aufgrund des geologisch weitgehend homogenen Aufbaus (Steinsalz) im Untersuchungsbereich sind geologisch verursachte Reflexionen nicht zu verzeichnen.

Hinweise auf vorhandene unbekannte Hohlräume, Feuchtigkeitsansammlungen oder andere Auffälligkeiten sind den Daten nicht zu entnehmen.

Die große Zahl von 89 ausgewerteten Einzelreflexionen macht Folgendes deutlich:

- Für eine genaue Zuordnung der Reflexionen zu bekannten und unbekanntem Bauwerken oder geologischen Strukturen ist zwingend die genaue Lage der Reflektoren im 3D-Raum notwendig.
- Die Koordinaten dieser Reflektoren lassen sich nur bestimmen, wenn die Richtung bekannt ist, aus der die Reflexionen zu beobachten sind.

Selbst im Nahbereich bis etwa 15,00 m Entfernung vom Bohrloch treten Reflexionen auf, deren Richtung ohne den Einsatz einer richtungssensitiven Sonde sonst allenfalls mit Hilfe zusätzlicher Annahmen abzuschätzen wäre. Daher sind Interpretationen der reflektierten Signale nur mit Hilfe der Kenntnis des Einfallwinkels korrekt. Der Einsatz des richtungssensitiven 3D-Bohrlochradars in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 hat gezeigt, dass

- Messungen durch den geschlossenen Preventerstack problemlos möglich sind
- Strukturen in Entfernungen von 0,50 m bis 90,00 m zur Bohrlochachse erkannt wurden
- die Richtungszuordnung zu den bekannten Grubenbauen im Nahbereich mit dem angenommenen Winkelfehler von $\pm 5^\circ$ korrekt ist
- die Korrelation mit entfernteren Grubenbauen nur mit Hilfe eines 3D-Modells des Grubengebäudes durchführbar ist.

Die Frage nach der Erkundung des Inneren von Einlagerungskammern konnte mit den Messungen in Erkundungsbohrung B 7/750-A3 nicht beantwortet werden, da die geometrische Lage der Bohrlochachse bezüglich der ELK 7/750 keine Reflexionen aus dem Inneren der ELK ermöglichte. Hierzu ist die nach der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 geplante Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 besser geeignet, da sie oberhalb der gesamten Firste der Einlagerungskammer verlaufen wird.

Aufgrund der vergleichsweise geringen Länge der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 (23,20 m) wurden keine erneuten Drehmessungen ausgeführt, sondern Genauigkeitsangaben zur Winkel- beziehungsweise Raumlagebestimmung aus der betrieblichen Erprobungsphase verwendet. Bei nachfolgenden Messungen in längeren Erkundungsbohrungen (zum Beispiel in der Erkundungsbohrung B 7/750-B1.2 mit 58,00 m Länge) in der Schachanlage Asse II werden neue Drehmessungen mit der Radarsonde erfolgen, um den angegebenen Winkelfehler bei der Richtungszuordnung sowohl für den Nahbereich als auch für entferntere Reflektoren „In situ“ zu verifizieren.

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02



Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 16
--	-----------

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 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

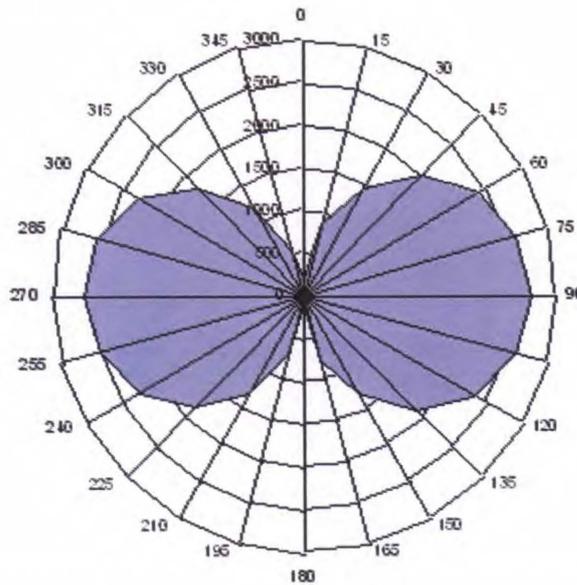
Die Interpretation von Bohrlochradardaten ohne Richtungsinformation ist nur durch das Zusammenführen mit Zusatzinformationen und Erfahrungswerten unter Verwendung bestimmter Annahmen möglich. Dagegen ermöglicht das richtungssensitive 3D-Bohrlochradar die Richtungsbestimmung der empfangenen Signale durch ein spezielles Antennenarray. Die Messdaten sind gekoppelt mit einer Kompass- und Neigungsmessenanordnung 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	0001	02



Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar	Blatt: 17
--	------------------

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	NNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02

Faktenerhebung Schritt 1 -
 Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung
 B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar

Blatt: 18



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.

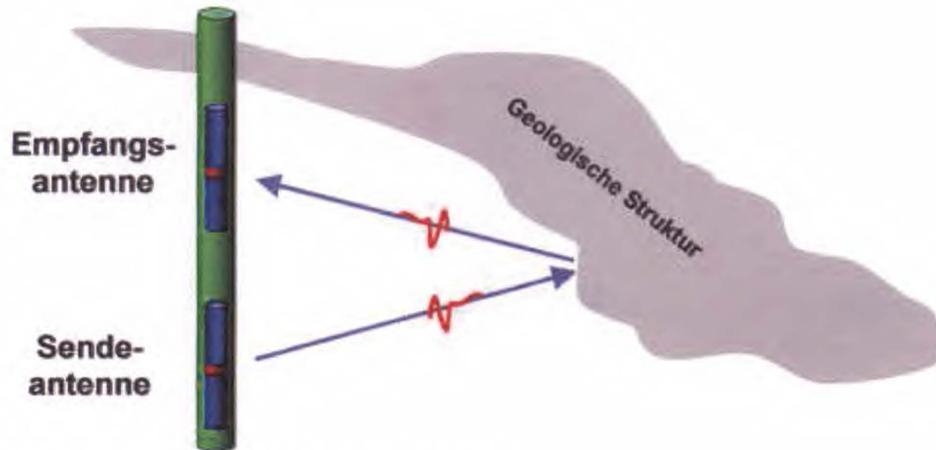
Mit der Bohrlochsonde wird das Profil im Bohrloch schrittweise in konstanten Abständen vermessen (Darstellung 3). Je nach Aufgabenstellung und verwendeter Frequenz können die Punktabstände von 0,05 m bis 1 m variieren. Von einem einzelnen Teufenpunkt aus kann mit dem System nur eine punktuelle Information 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	0001	02

Faktenerhebung Schritt 1 -
Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung
B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar

Blatt: 19

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



Darstellung 3: Prinzipskizze einer Bohrlochradarmessung.

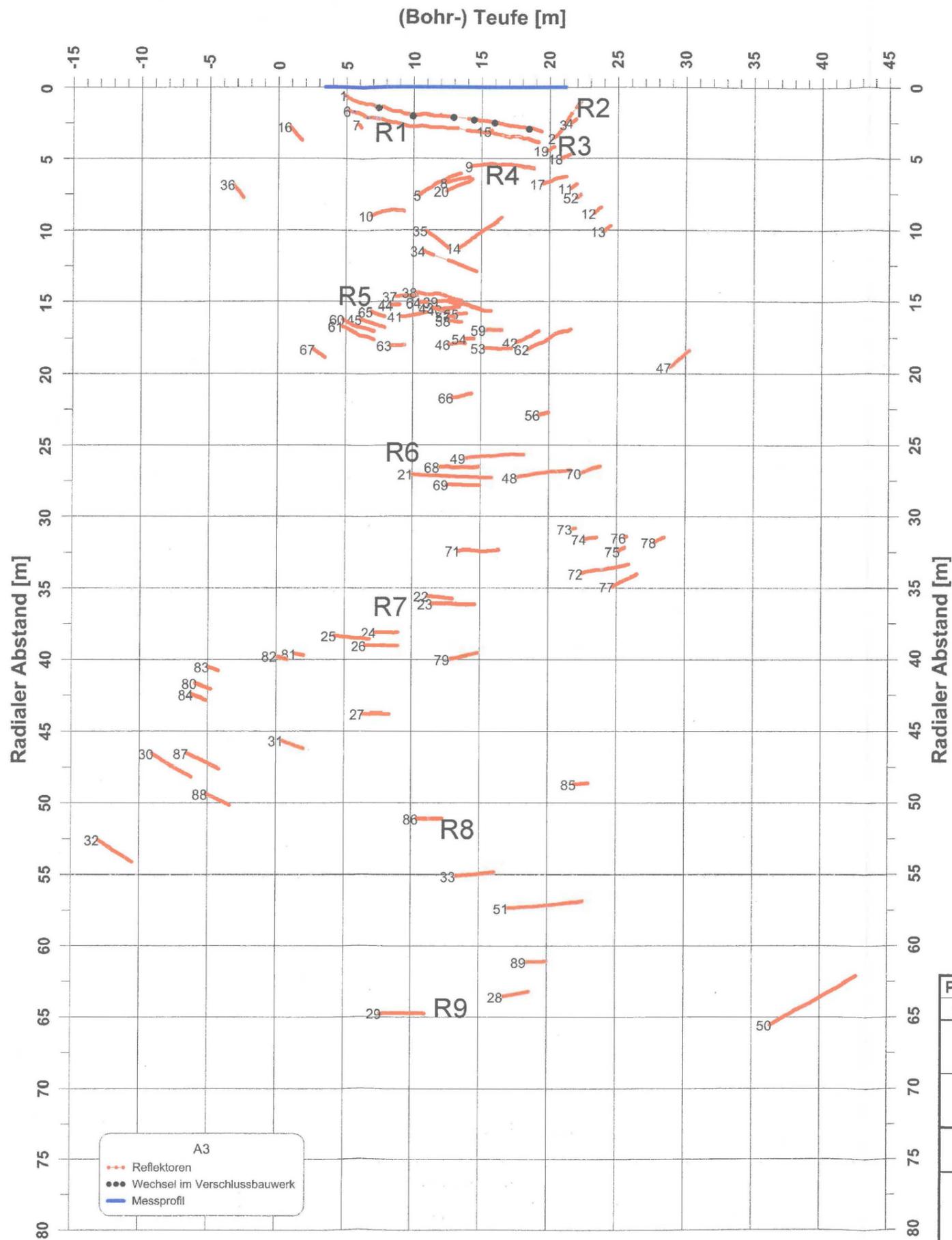
Für die Apparatur stehen Antennen mit Frequenzen zwischen 50 MHz und 250 MHz zur Verfügung. Diese Mittenfrequenzen gelten für die Ausbreitung in Salz. Nach bisherigen Erfahrungen wird damit ein Optimum an Reichweite und Auflösung in der Salzstrukturerkundung erreicht. Bereits während der Messung werden 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 \rightarrow Ortsbereich; „Reflexion“ \rightarrow „Reflektor“)

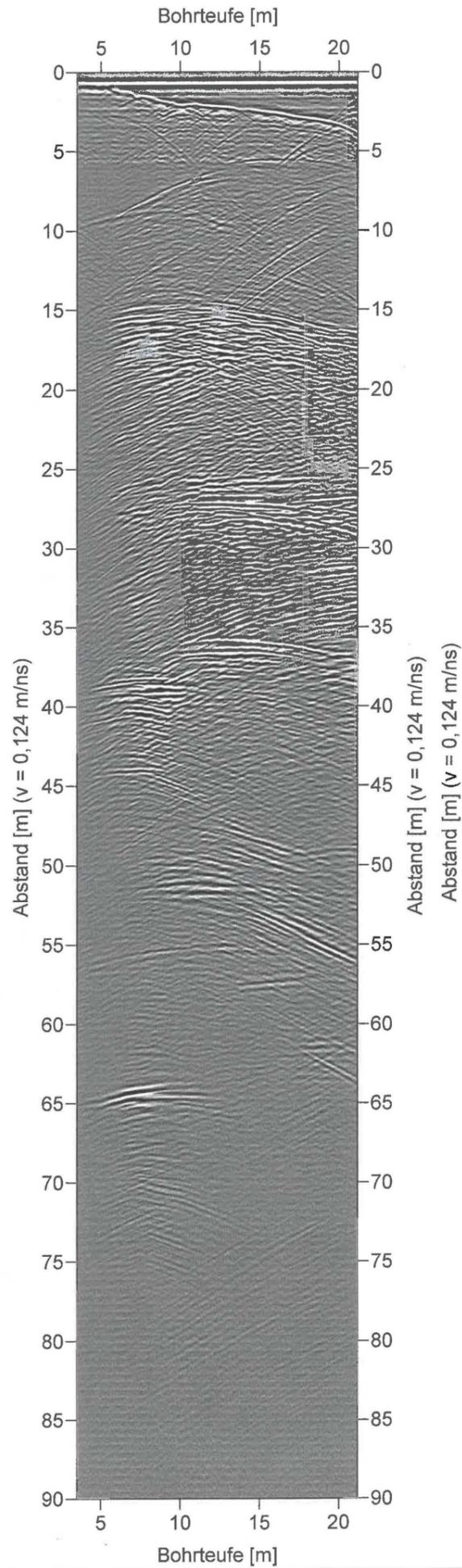
Zusätzlich zur Datenbearbeitung werden die Amplituden der Reflexionen digitalisiert („gepickt“) und die Einfallrichtungen der Signale extrahiert. Anhand dieser Daten können die 3D-Koordinaten der Reflexionen berechnet werden. Die über Migration und Winkelanalyse lagerichtig abgebildeten Reflexionen werden 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.



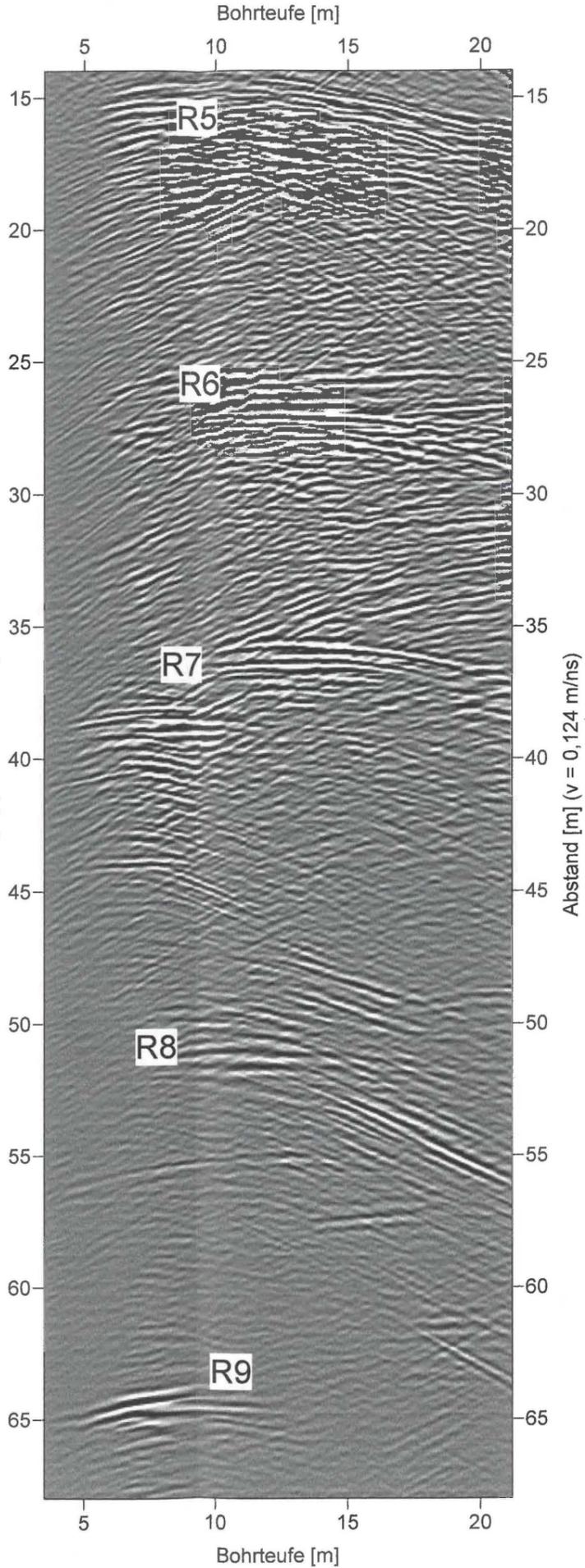
R1, R2, ... Reflexionsgruppen

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02	
Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Remlingen							Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar
DMT DMT GmbH & Co. KG Geschäftssegment Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 45307 Essen							
Erläuterung der Revision	Asse-GmbH bzw. Fremdfirma	Datum	Name	Unterschrift			Migrierte Reflektoren, 2D-Darstellung
	Bearbeiter	14.10.2016					
	Zeichner	14.10.2016					
	Prüfer	14.10.2016					
	Asse-GmbH	Freigabe					
	Dateiname						
	Blattgröße	A3					
	Maßstab						
Anhang 2							Blatt: 20
Basisunterlage :							von:

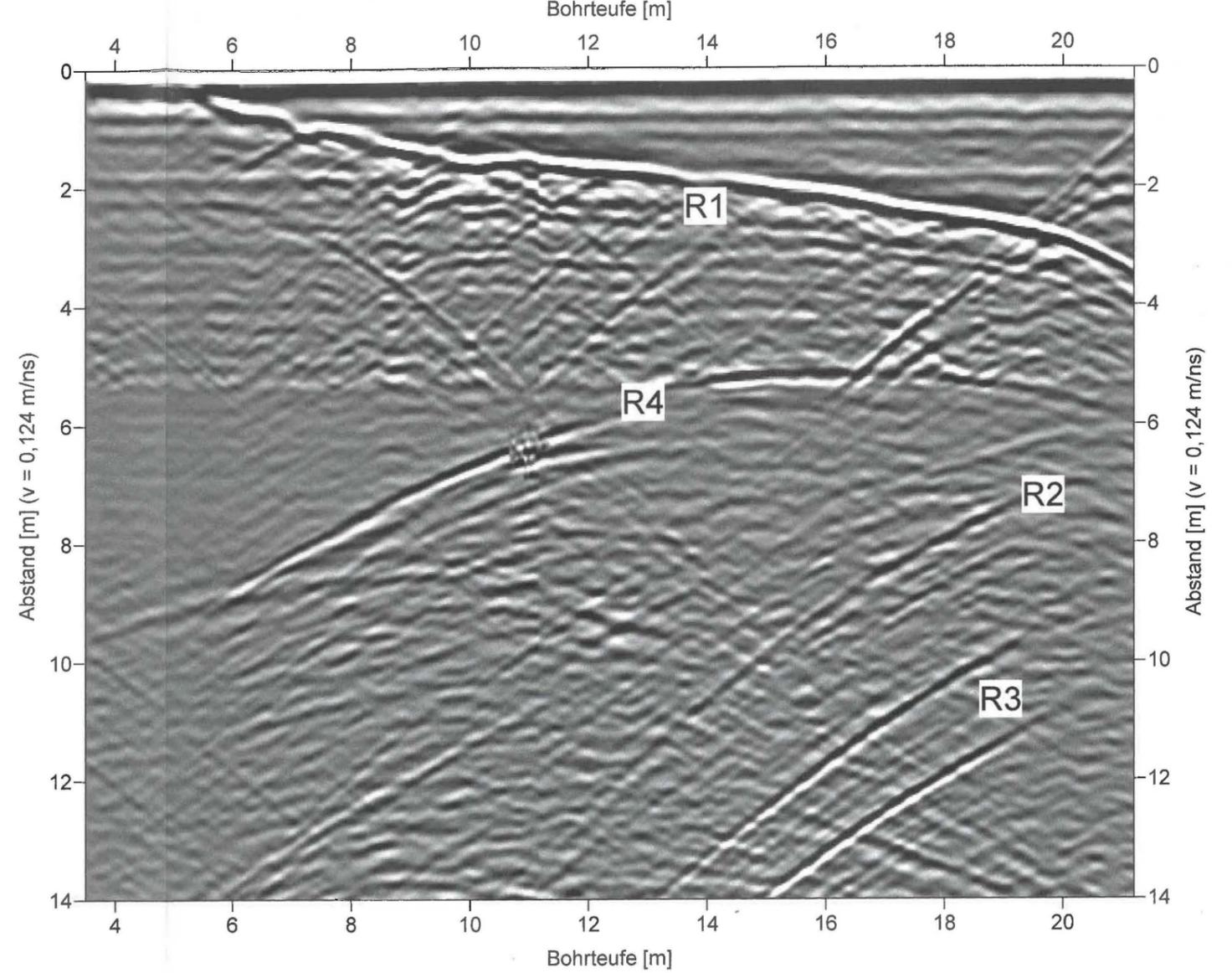
Gesamter Bereich



Fernbereich



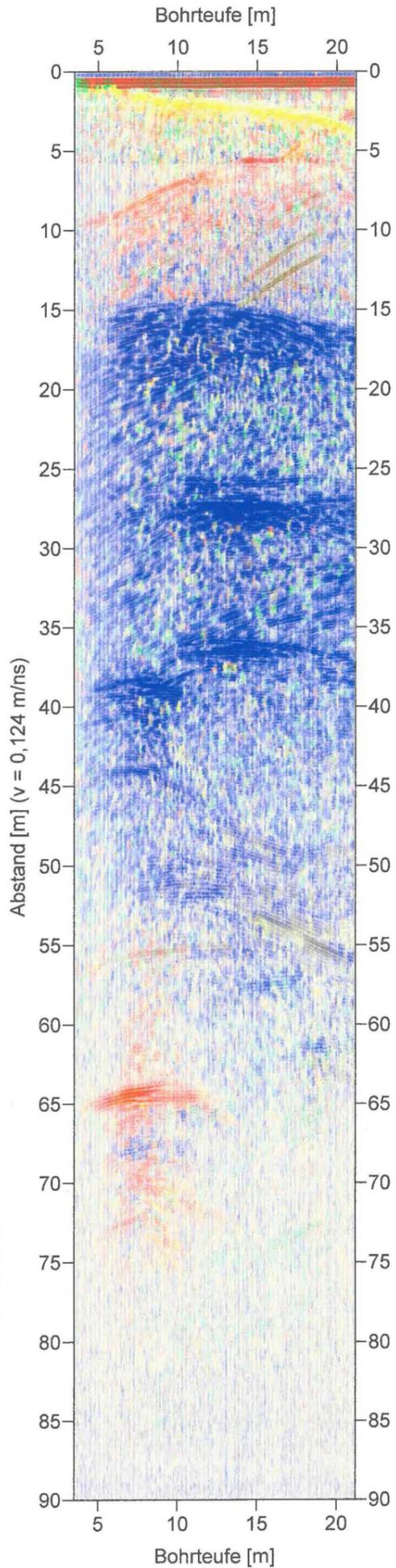
Nahbereich



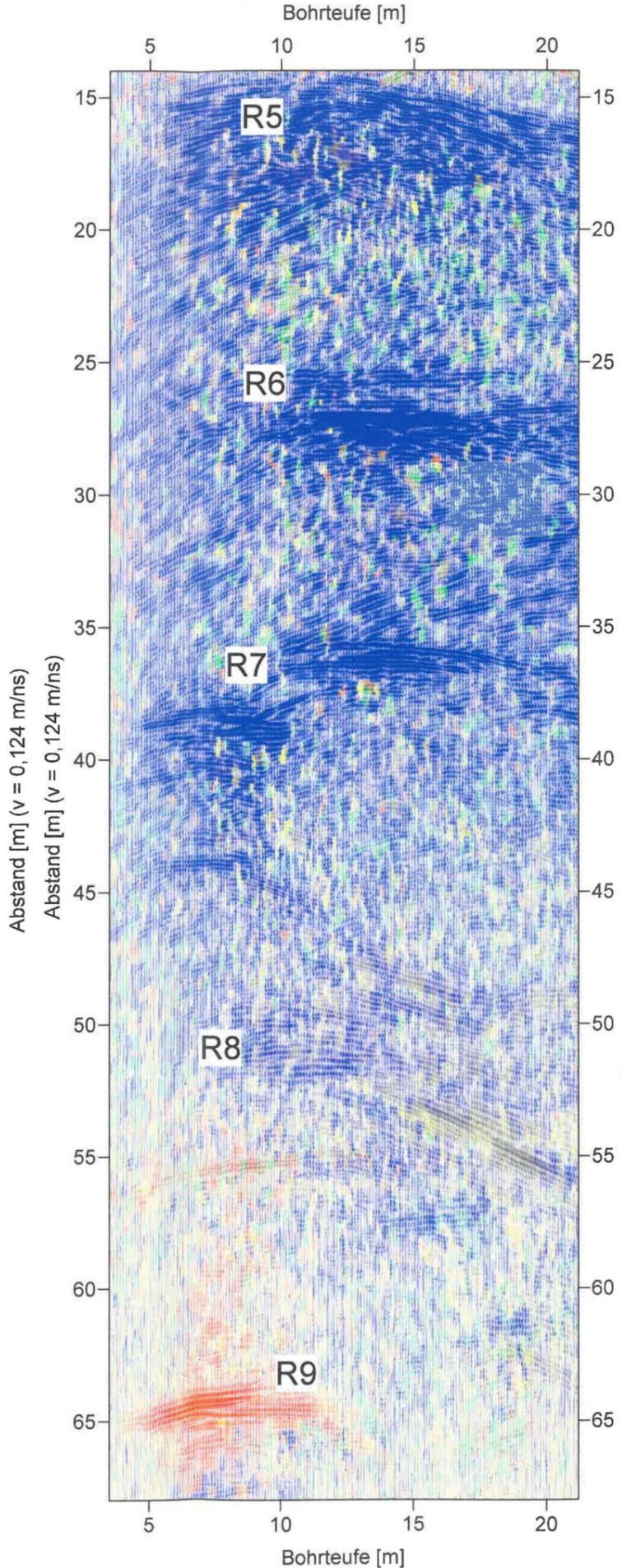
R1, R2, ...
Reflexionsgruppen

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02
Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Remlingen						 GMBH ... Verantwortlich handeln.
 DMT GmbH & Co. KG Geschäftssegment Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 45307 Essen						Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes 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				
		Blattgröße	A3			
		Maßstab				
						Radargramme (Graustufen, unmigriert) in drei Entfernungsbereichen
						Anhang 3
						Blatt: 21 von:
						Basisunterlage :

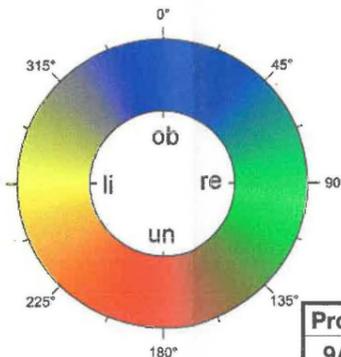
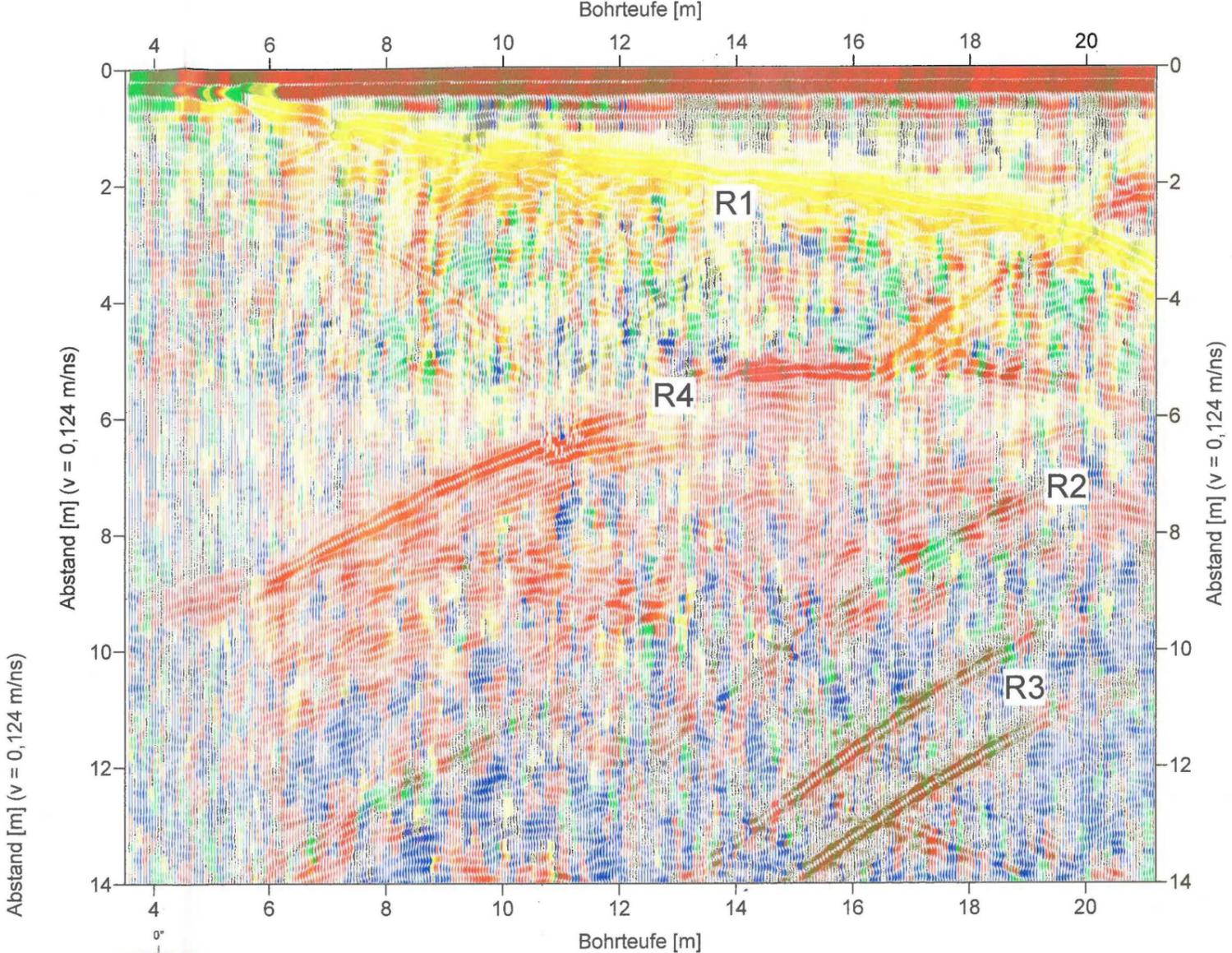
Gesamter Bereich



Fernbereich

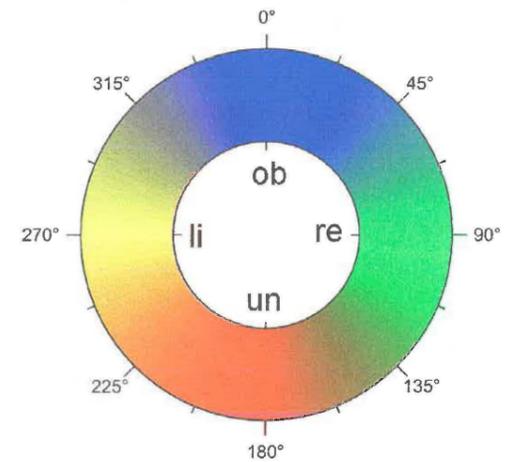
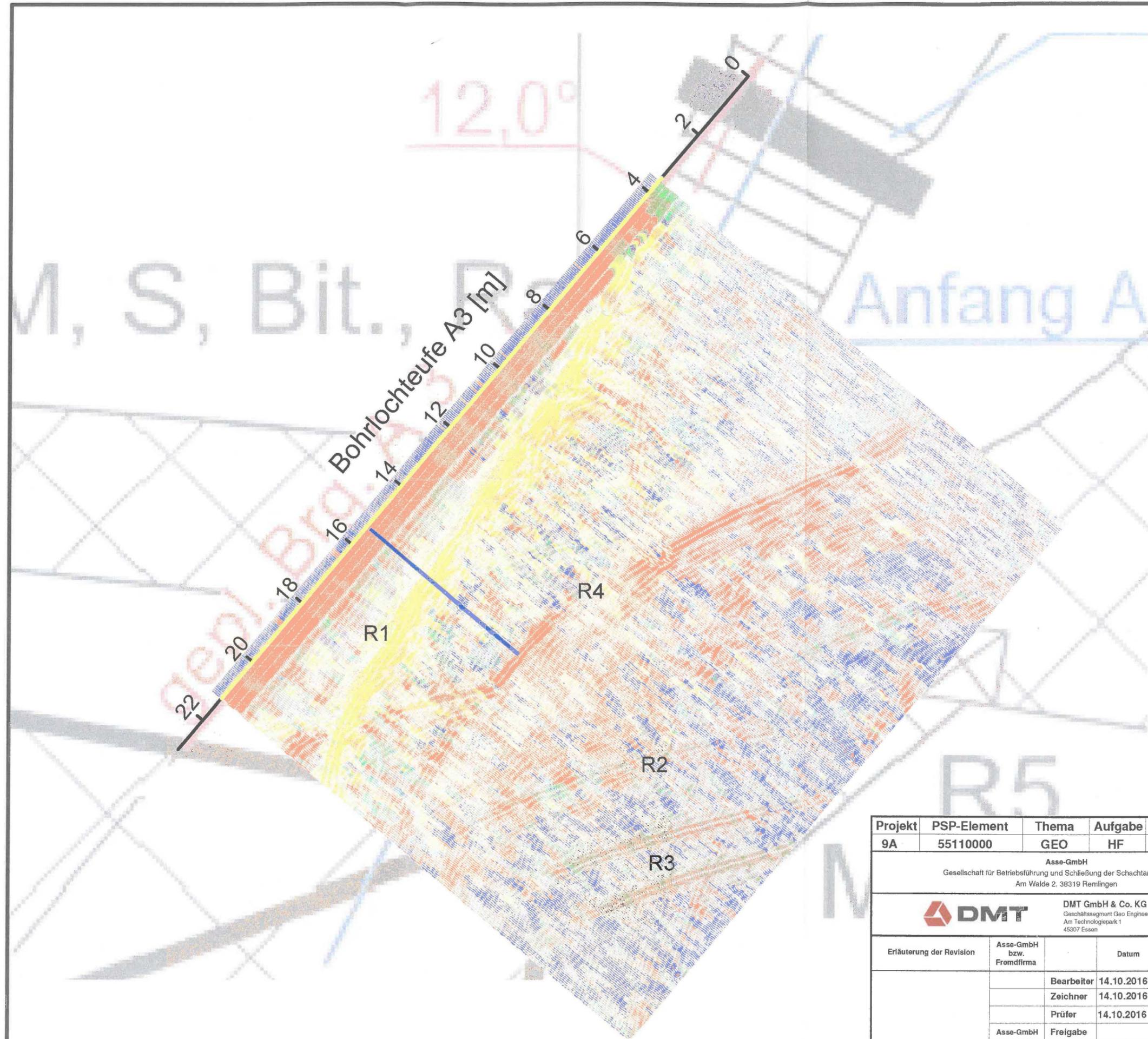


Nahbereich



R1, R2, ...
Reflexionsgruppen

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Verantwortlich handeln.
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02	
Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Remlingen							Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes Bohrlochradar
 DMT GmbH & Co. KG Geschäftssegment Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 45307 Essen							
Erläuterung der Revision	Asse-GmbH bzw. Fremdfirma	Datum	Name	Unterschrift			Richtungskodierte Radargramme (unmigriert) in drei Entfernungsbereichen
	Bearbeiter	14.10.2016					
	Zeichner	14.10.2016					
	Prüfer	14.10.2016					
	Asse-GmbH	Freigabe					Anhang 4
	Dateiname						
	Blattgröße	A3					
	Maßstab						Blatt: 22 von:
Basisunterlage :							



Richtungsfarben

R1, R2, ... Reflexionsgruppen

— Messprofil

— Apex von R4

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
9A	55110000	GEO	HF	BW	0001	02
Asse-GmbH Gesellschaft für Betriebsführung und Schließung der Schachtanlage Asse II Am Walde 2, 38319 Remlingen						
DMT GmbH & Co. KG Geschäftsssegment Geo Engineering & Exploration Am Technologiepark 1 45307 Essen						Faktenerhebung Schritt 1 - Ergebnisbericht über Bohrlochradarmessungen in der Erkundungsbohrung B 7/750-A3 - Gerichtetes 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				
		Blattgröße	A3			
		Maßstab				
Richtungskodiertes Radargramm (unmigriert) auf Sohlenriss im Niveau 750 m						Blatt: 23
Anhang 5						von:
Basisunterlage :						