



Bundesamt für Strahlenschutz

# Deckblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22121000	HF	RB	0003	00	Stand: 28.01.2011

Titel der Unterlage:

VORPLANUNG DER 3D-SEISMISCHEN MESSUNGEN ZUR ERKUNDUNG DER DECKGEBIRGSSTRUKTUR, INSBESONDERE DER QUERSTÖRUNGEN DER SCHACHTANLAGE ASSE II  
□- ABSCHLUSSBERICHT -

Ersteller:

GEOPHYSIK GGD MBH

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

02.03.2011 [Signature]  
Datum und Unterschrift

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

2.3.2011 [Signature]  
Datum und Unterschrift

Freigabe im Projekt/Betrieb:

2.3.11 [Signature]  
Datum und Unterschrift

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.	Seite: II
NAAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22121000	HF	RB	0003	00	

Titel der Unterlage:

VORPLANUNG DER 3D-SEISMISCHEN MESSUNGEN ZUR ERKUNDUNG DER DECKGEBIRGSSTRUKTUR, INSBESONDERE DER QUERSTÖRUNGEN DER SCHACHTANLAGE ASSE II

- ABSCHLUSSBERICHT -

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

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



Bundesamt für Strahlenschutz

**Vorplanung der 3D-seismischen Messungen  
zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur,  
insbesondere der Querstörungen der  
Schachtanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 1 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

**Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur  
Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der  
Querstörungen der Schachtanlage Asse II**

**- Abschlussbericht -**

**Auftragnehmer**

**Geophysik GGD mbH**

**Ehrensteinstraße 33**

**04105 Leipzig**

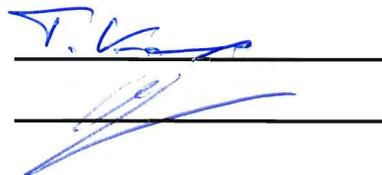
Dipl.-Geophys. Dr. Tobias Karp

Dipl.-Geophys. Walter Olgemann

Dipl.-Geophys. Dr. Raimund Seitz

Dipl.-Geophys. Dr. Bernd-Michael Schulze

Dipl.-Geophys. Daniel Günther





Bundesamt für Strahlenschutz

**Vorplanung der 3D-seismischen Messungen  
zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur,  
insbesondere der Querstörungen der  
Schachtanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 2 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

**Impressum:**

Auftraggeber: Bundesamt für Strahlenschutz  
Willy-Brandt-Str. 5  
38226 Salzgitter  
Telefon: 03018333-0  
Telefax: 03019333-1885  
E-Mail: epost@bfs.de

Ersteller: Dipl.-Geophys. Dr. Tobias Karp  
Dipl.-Geophys. Dr. Raimund Seitz  
Dipl.-Geophys. Dr. Bernd-Michael Schulze  
Dipl.-Geophys. Daniel Günther

Geophysik GGD mbH  
Ehrensteinstraße 33  
04105 Leipzig

Datum: 28.01.2011



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 3 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

## Revisionsblatt

Rev.	Rev.-Stand Datum	revidierte Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
Kategorie S = substantielle Revision  
Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>			
Bundesamt für Strahlenschutz							
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 4 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

## KURZFASSUNG

Verfasser: Dipl.-Geophys. Dr. Tobias Karp

Dipl.-Geophys. Dr. Raimund Seitz

Dipl.-Geophys. Dr. Bernd-Michael Schulze

Dipl.-Geophys. Daniel Günther

**Titel:** Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

**Stand:** 30.09.2010

Im Zusammenhang mit der geplanten Stilllegung der Schachanlage Asse II ist vorgesehen, dreidimensionale seismische Messungen zur Verbesserung der vorhandenen Kenntnisse über die Schachanlage durchzuführen. Ziel der geplanten seismischen Untersuchung ist eine möglichst genaue und hoch auflösende Darstellung der geologischen Struktur, insbesondere der Deckgebirgsstruktur und der dortigen Auflockerungszonen, die Informationsgewinnung über mögliche Zutrittswege der in der Schachanlage festgestellten Lösungszutritte ermöglichen soll. Für die 3D-seismischen Messungen sollten in einer Vorplanung („Designstudie“) die Messparameter bestimmt werden, die diese Zielstellung am besten erfüllen. Anders als bei einer Vorplanung üblich sollten die theoretisch zu erwartenden Ergebnisse ausgewählter Optionen, insbesondere die Unsicherheiten und Probleme, zusätzlich mit Hilfe von Modellrechnungen in der Vorplanung untersucht werden. Die technische und reale Durchführbarkeit einer derartigen Messung im Gebiet Asse sollte im Vorfeld überprüft werden. Die Kosten der ausgewählten Messoptionen sollten abgeschätzt werden.

Basierend auf früheren Ergebnissen aus 2D-seismischen und bohrlochseismischen Messungen wurden vierzehn orthogonale, für die Erkundungsaufgabe in Frage kommende 3D-seismische Messkonfigurationen entworfen. Die Messkonfigurationen wurden miteinander verglichen, und für vier ausgewählte Messkonfigurationen detaillierte Untersuchungen zum Überdeckungsgrad sowie zu Offset- und Azimutverteilungen durchgeführt. Zusätzlich wurden für die vier Messkonfigurationen synthetische 3D-seismische Daten für ein aus vorliegenden Kenntnissen erstelltes geologisches Modell der Asse berechnet und die zu erwartende Abbildungsqualität verglichen.

Das Messgebiet wurde zur Feststellung eventueller Besonderheiten befahren. Ferner wurden Institutionen und Personen über die geplanten Messungen informiert und die Einholung von Erlaubnissen und Genehmigungen vorbereitet (Pre-Permit). Die Ergebnisse der Befahrung, der Pre-Permitarbeiten und die bis dato vorliegenden Ergebnisse einer FFH-Verträglichkeitsstudie sind in die Vorplanung integriert.

Als Resultat dieser Untersuchungen erfolgte die Empfehlung für die geplanten 3D-seismischen Messungen. Weitere Empfehlungen zur Durchführung sowie eine grobe Kostenschätzung werden gegeben und die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 5 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>KURZFASSUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>5</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>7</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>7</b>
<b>ANHANGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>7</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>9</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>10</b>
<b>2 KENNTNISSTAND .....</b>	<b>12</b>
2.1 DATENBESCHAFFUNG UND –SICHTUNG .....	12
2.2 MESSGEBIETSBEFAHRUNG .....	13
2.2.1 Überblick .....	13
2.2.2 Oberfläche .....	14
2.2.3 Wegenetz .....	14
2.2.4 Hindernisse .....	14
2.2.5 Zusammenfassung der Messgebietsbefahrung .....	15
2.3 ZUSAMMENFASSUNG DER ANALYSE DES KENNTNISSTANDES .....	15
<b>3 PARAMETER .....</b>	<b>18</b>
3.1 BINGRÖÖSE .....	18
3.1.1 Räumliches Aliasing .....	18
3.1.2 Größe der aufzulösenden Strukturen .....	19
3.1.3 Laterale und vertikale Auflösung .....	19
3.1.4 Ergebnisse der Bin-Analyse .....	20
3.2 CMP-ÜBERDECKUNGSGRAD .....	21
3.3 OFFSET .....	21
3.3.1 $X_{max}$ und $X_{min}$ .....	21
3.3.2 NMO-Stretch, $X_{mute}$ .....	23
3.3.3 Templategröße .....	23
3.4 BESTIMMUNG DER FLÄCHENGRÖÖSE .....	23
3.4.1 Migrationsapertur .....	23
3.4.2 Fold taper .....	24
3.5 ERMITTELTE PARAMETER FÜR 3D-MESSKONFIGURATIONEN .....	24
3.6 OPTIMIERUNG DER DESIGNPARAMETER .....	25
3.6.1 Linienabstände .....	25
3.6.2 Mögliche Messkonfigurationen .....	26
<b>4 DETAILLIERTE UNTERSUCHUNGEN VON VIER AUSGEWÄHLTEN MESSKONFIGURATIONEN .....</b>	<b>28</b>



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 6 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

4.1	ANALYSE VON OFFSET- UND AZIMUTVERTEILUNGEN.....	28
4.2	MODELLIERUNG VON SYNTHETISCHEN 3D-SEISMISCHEN DATEN .....	31
4.2.1	Erstellung des geologischen Modells.....	31
4.2.2	Berechnung synthetischer seismischer Daten .....	32
4.2.3	Bearbeitung der synthetischen seismischen Daten .....	33
4.2.4	Ergebnisse .....	33
<b>5</b>	<b>PRE-PERMIT.....</b>	<b>36</b>
5.1	DURCHFÜHRUNG DER PRE-PERMITARBEITEN.....	36
5.2	ERGEBNIS DER PRE-PERMITARBEITEN .....	36
5.3	DIE FFH-VERTRÄGLICHKEITSSTUDIE .....	36
<b>6</b>	<b>EMPFEHLUNGEN, VORSCHLÄGE, FAZIT .....</b>	<b>38</b>
6.1	EMPFEHLUNG EINER MESSKONFIGURATION .....	39
6.2	WEITERE EMPFEHLUNGEN UND VORSCHLÄGE ZUR DURCHFÜHRUNG .....	40
6.2.1	Energieanregung und -aufnahme .....	40
6.2.2	Statische Korrekturen.....	41
6.2.3	Datenbearbeitung.....	41
6.2.4	Erweiterung des Messgebietes .....	41
6.3	FAZIT .....	42
	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>44</b>
	<b>GLOSSAR.....</b>	<b>45</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>47</b>

Gesamtseitenzahl: 95

Stichworte: 3D-Seismik, Asse, Deckgebirge, Designstudie, Geologie, Modellierung



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 7 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Schematische Darstellung der 3D-seismischen Erkundung durch einen Anregungspunkt.....	13
Abbildung 2: Raytracing am vereinfachten Modell Schnitt 2. Das Kreuz markiert den Punkt, an dem seismische Energie angeregt wird. Rote Pfeile stellen von der Anregung ausgehende Strahlwege dar, schwarze Pfeile an der Salzoberfläche reflektierte Strahlwege. ....	22

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Schichtmodell mit seismischen Geschwindigkeiten und Dichten.....	17
Tabelle 2: Bingröße $B$ in m als Funktion der maximalen Frequenz und des Einfallswinkels mit $V_{int} = 4000$ m/s. ....	19
Tabelle 3: Zusammenfassung der Ergebnisse der Bin-Analyse.....	20
Tabelle 4: $X_{min}$ in m für 5 m Bingröße in Abhängigkeit von Geophon- und Anregungslinienabstand ( $RLI$ und $SLI$ )....	25
Tabelle 5: Übersicht der geschätzten Kosten und Messdauer. ....	38
Tabelle 6: Bewertung der Messkonfigurationen. ....	39

## ANHANGSVERZEICHNIS

Anhang 1: Übersichtskarte mit Zielfläche.	48
Anhang 2: Parameter-Tabelle	49
Anhang 3: Konfigurationen-Tabelle	50
Anhang 4: Abstandsvariationen-Tabelle	51
Anhang 5.1: Messkonfiguration 1, Lage der Geophon- und Anregungspunkte	52
Anhang 5.2: Messkonfiguration 1, Überdeckungsgrad	53
Anhang 5.3: Messkonfiguration 1, Überdeckungsgrad für Offsets < 300 m	54
Anhang 5.4: Messkonfiguration 1, Überdeckungsgrad für Offsets < 700 m	55
Anhang 5.5: Messkonfiguration 1, Minimaloffset $X_{min}$	56
Anhang 5.6: Messkonfiguration 1, Offsethistogramm (prozentual)	57
Anhang 5.7: Messkonfiguration 1, Offset-Fold-Diagramm (prozentual)	58
Anhang 5.8: Messkonfiguration 1, Spiderdiagramm	59
Anhang 5.9: Messkonfiguration 1, Rosediagramm (prozentual)	60
Anhang 6.1: Messkonfiguration 3, Lage der Geophon- und Anregungspunkte	61
Anhang 6.2: Messkonfiguration 3, Überdeckungsgrad	62
Anhang 6.3: Messkonfiguration 3, Überdeckungsgrad für Offsets < 300 m	63
Anhang 6.4: Messkonfiguration 3, Überdeckungsgrad für Offsets < 700 m	64
Anhang 6.5: Messkonfiguration 3, Minimaloffset $X_{min}$	65
Anhang 6.6: Messkonfiguration 3, Offsethistogramm (prozentual)	66
Anhang 6.7: Messkonfiguration 3, Offset-Fold-Diagramm (prozentual)	67
Anhang 6.8: Messkonfiguration 3, Spiderdiagramm	68
Anhang 6.9: Messkonfiguration 3, Rosediagramm (prozentual)	69



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 8 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

Anhang 7.1:	Messkonfiguration 9, Lage der Geophon- und Anregungspunkte	70
Anhang 7.2:	Messkonfiguration 9, Überdeckungsgrad	71
Anhang 7.3:	Messkonfiguration 9, Überdeckungsgrad für Offsets < 300 m	72
Anhang 7.4:	Messkonfiguration 9, Überdeckungsgrad für Offsets < 700 m	73
Anhang 7.5:	Messkonfiguration 9, Minimaloffset $X_{\min}$	74
Anhang 7.6:	Messkonfiguration 9, Offsethistogramm (prozentual)	75
Anhang 7.7:	Messkonfiguration 9, Offset-Fold-Diagramm (prozentual)	76
Anhang 7.8:	Messkonfiguration 9, Spiderdiagramm	77
Anhang 7.9:	Messkonfiguration 9, Rosediagramm (prozentual)	78
Anhang 8.1:	Messkonfiguration 14, Lage der Geophon- und Anregungspunkte	79
Anhang 8.2:	Messkonfiguration 14, Überdeckungsgrad	80
Anhang 8.3:	Messkonfiguration 14, Überdeckungsgrad für Offsets < 300 m	81
Anhang 8.4:	Messkonfiguration 14, Überdeckungsgrad für Offsets < 700 m	82
Anhang 8.5:	Messkonfiguration 14, Minimaloffset $X_{\min}$	83
Anhang 8.6:	Messkonfiguration 14, Offsethistogramm (prozentual)	84
Anhang 8.7:	Messkonfiguration 14, Offset-Fold-Diagramm (prozentual)	85
Anhang 8.8:	Messkonfiguration 14, Spiderdiagramm	86
Anhang 8.9:	Messkonfiguration 14, Rosediagramm (prozentual)	87
Anhang 9:	Vertikalschnitt durch das geologische 3D-Modell	88
Anhang 10:	Messkonfiguration 1, synthetische Stapelsektion	89
Anhang 11:	Messkonfiguration 3, synthetische Stapelsektion	90
Anhang 12:	Messkonfiguration 9, synthetische Stapelsektion	91
Anhang 13:	Messkonfiguration 14, synthetische Stapelsektion	92
Anhang 14:	Messkonfiguration 1, synthetische Stapelsektion (Ausschnitt in wiggle-Darstellung)	93
Anhang 15:	Messkonfiguration 14, synthetische Stapelsektion (Ausschnitt in wiggle-Darstellung)	94
Anhang 16:	Empfohlene Messkonfiguration	95



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 9 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>2D</b>	zweidimensional
<b>3D</b>	dreidimensional
<b>A</b>	Messfläche
<b>AG</b>	Auftraggeber
<b>AN</b>	Auftragnehmer
<b>B</b>	Bingröße
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>B<sub>x</sub></b>	Bingröße inline
<b>B<sub>y</sub></b>	Bingröße crossline
<b>C<sub>2D</sub></b>	Nominaler Überdeckungsgrad eines 2D-seismischen Datensatzes
<b>C<sub>3D</sub></b>	Nominaler Überdeckungsgrad eines 3D-seismischen Datensatzes
<b>CMP</b>	Common Mid Point
<b>CDP</b>	Common Depth Point
<b>CHAN</b>	Aktive Kanäle = NRL x NR
<b>Cim</b>	Kleinster Überdeckungsgrad für mittleren Zielhorizont
<b>CMP</b>	Common Midpoint
<b>Csh</b>	Kleinster Überdeckungsgrad für flachen Zielhorizont
<b>C̄sh</b>	Mittlerer Überdeckungsgrad für flachen Zielhorizont
<b>C<sub>x</sub></b>	Nominaler Überdeckungsgrad eines 3D-seismischen Datensatzes in inline-Richtung
<b>C<sub>y</sub></b>	Nominaler Überdeckungsgrad eines 3D-seismischen Datensatzes in crossline-Richtung
<b>FFH</b>	Fauna Flora Habitat
<b>GGD</b>	Gesellschaft für Geophysikalische Dienste mbH
<b>GOK</b>	Geländeoberkante
<b>L<sub>mig</sub></b>	Migrationsapertur
<b>NHN</b>	Normalhöhennull
<b>NMO</b>	Normal Move out
<b>NR</b>	Anzahl aktiver Empfänger pro Linie im Template (Number of Receivers)
<b>NRL</b>	Anzahl aktiver Empfangslinien im Template (Number of Receiver Lines)
<b>RD</b>	Empfangspunktdichte (Receiver Density)
<b>RI</b>	Empfangspunktabstand (Receiver Interval)
<b>RLI</b>	Empfangslinienabstand (Receiver Line Interval)
<b>RP</b>	Gesamtzahl Empfangspunkte (Receiver Points)
<b>SD</b>	Anregungspunktdichte (Source Density)
<b>SI</b>	Anregungspunktabstand (Source Interval)
<b>SLI</b>	Anregungslinienabstand (Source Line Interval)
<b>SP</b>	Anregungspunkte (Source Points)
<b>X<sub>x</sub></b>	Maximales inline-Offset
<b>X<sub>y</sub></b>	Maximales crossline-Offset
<b>X<sub>max</sub></b>	Maximaloffset
<b>X<sub>min</sub></b>	Größtes Minimaloffset
<b>Z<sub>max</sub></b>	maximale Zieltiefe einer seismischen Erkundung



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 10 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

## 1 EINLEITUNG

Die Schachanlage Asse II, ca. 10 km südöstlich der Stadt Wolfenbüttel in Niedersachsen gelegen, wurde nach der Einstellung der Kali- und Steinsalzgewinnung im Jahre 1964 im Zeitraum von 1966 bis 2008 als Forschungsbergwerk für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen genutzt. Dazu wurden im Zeitraum 1967 bis 1978 schwach- bis mittelaktive radioaktive Abfälle in der Schachanlage eingelagert. Durch die Konvergenz des angrenzenden bzw. anstehenden Nebengebirges um mehrere Meter in das Grubengebäude ist keine Barrierenintegrität mehr gegeben und seit 1988 werden Lösungszutritte aus dem Nebengebirge beobachtet.

Für die geplante Stilllegung nach Atomrecht ist die Schachanlage Asse II zum 01.01.2009 in die Verantwortung des *Bundesamtes für Strahlenschutz* (BfS) übergegangen. Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zur Stilllegung ist eine genaue Standortcharakterisierung notwendig. Insbesondere betrifft dies die Südflanke des Salzstocks, über die bereits Deckgebirgslösungen in das Grubengebäude eintreten. Um den Kenntnisstand über die geologische Struktur, insbesondere die Deckgebirgsstruktur und die dortigen Auflockerungszonen sowie die Querstörungen, die eine wichtige Rolle bei der Identifizierung von möglichen Zutrittswegen von Lösungen spielen, zu erweitern, ist eine 3D-Seismik geplant. Dabei ist zu beachten, dass die Komplexität der Asse-Struktur vor allem durch extrem steiles Schichteinfallen von bis zu 80° mit einem komplizierten Störungsmuster bestimmt wird.

Seitens BfS werden die folgenden Untersuchungsziele verfolgt, die mit Hilfe der 3D-seismischen Messungen erreicht werden sollten:

- 1. Genauere lagetreue räumliche Deckgebirgsstruktur**
- 2. Lage von Störungen, insbesondere Querstörungen, sowie Auflockerungszonen**
- 3. Zusätzliche Information über mögliche Zutrittswege**

Im Rahmen der Vorplanung sollen mit Hilfe von Modellrechnungen die Besonderheiten des Messgebietes und deren eventuelle Einflüsse im Vorfeld der 3D-seismischen Messungen berücksichtigt und ein für die Messungen geeignetes optimales Messschema, welches ausgehend vom derzeitigen Kenntnisstand den oben genannten Anforderungen Rechnung trägt, für die Ausführung der 3D-seismischen Messungen sowie die Datenverarbeitung entworfen werden. Das erarbeitete Messschema soll

- eine lückenlose Abbildung des Zieluntergrundes mit einer ausreichenden Auflösung bis zu einer Tiefe von mindestens 800 m,
- die Erfassung aller geologischen Strukturen und Störungen sowie Aufklärung der lateralen Änderungen im Nebengebirge der Schachanlage Asse II sowie
- eine 3D-Visualisierung der detaillierten Deckgebirgsstrukturen mit ausreichender Auflösung

ermöglichen.

Die erweiterte Aufgabenstellung der Vorplanung umfasste Modellrechnungen zur Erzeugung synthetischer seismischer Daten zu einem auf Basis der vorhandenen Daten zu erstellenden, vereinfachten 3D-Modell der Struktur der Schachanlage Asse II. Die Modellrechnungen sollten für mindestens vier optionale Messkonfigurationen für verschiedene Größen der Zielfläche und Zieltiefe durchgeführt und vergleichend dargestellt werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 11 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

Zum Permitting war eine Befahrung des Messgebiets und Überprüfung der operationellen/technischen Durchführbarkeit durchzuführen bzw. evtl. Einschränkungen durch Topografie, Objekten und Werkleitungen, Genehmigung bei Amtsstellen festzustellen. Des Weiteren war die Zustimmung der Grundbesitzer im Messgebiet festzustellen, um die aus den Modellrechnungen hervorgekommene optimale Messanordnung zu modifizieren und das bestmögliche und umsetzbare Messkonzept zu entwickeln.

Auf Basis der abgeleiteten Messanordnungen waren die damit theoretisch zu erwartenden Ergebnisse mit den wesentlichen Merkmalen (Überdeckungsberechnung, Auflösung etc.) darzustellen und quantifizierende Erklärungen der zu erwartenden Unsicherheiten, Auflösungsvermögen und Probleme zu geben sowie evtl. ergänzende geophysikalische Messungen für die Verifizierung der 3D-Interpretation.

Eine weitere Aufgabe lag in der Abschätzung der Kosten der 3D-seismischen Messungen mit ausgewählten Optionen.

Die Methode der 3D-Reflexionsseismik erreicht unter allen geophysikalischen Verfahren die höchste Auflösung bei der Abbildung der geologischen Strukturen in einem Tiefenbereich von 100 m bis zu mehreren Kilometern. 3D-seismische Messungen erfolgen nicht nur entlang von Profillinien, sondern mit Hilfe flächenhaft verteilter Anregungs- und Empfangspunkte. Damit wird die detaillierte Abbildung eines Untersuchungsgebietes in drei Dimensionen und nicht nur entlang von Schnittlinien möglich. Neben dieser detaillierten Erkundung hat die 3D-Reflexionsseismik den Vorteil, dass sie geneigte Strukturen lagerichtig abbilden kann. Das ist bei Salzstrukturen wie der Asse von besonderer Bedeutung. Somit bietet die 3D-Seismik Vorteile in zweierlei Hinsicht: Erstens wird das Untersuchungsgebiet gleichmäßig in allen Richtungen erkundet und zweitens erhöht sich die Verlässlichkeit der Abbildung. Dabei ist zu beachten, dass eine optimale Abbildungsqualität technisch nicht gleichzeitig in allen Tiefenbereichen erreicht werden kann. Die 3D-seismische Erkundung wird vielmehr durch die Wahl einer geeigneten Akquisitionsgeometrie (insbesondere Punkt- und Linienabstände) auf den Tiefenbereich des geplanten Erkundungszieles ausgerichtet.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die für die 3D-Seismik wichtigen geometrischen Aufnahmeparameter und beschreibt die im Rahmen der Vorplanung durchgeführten Arbeiten zur Bestimmung der Messkonfiguration und die dabei gewonnenen Erkenntnisse u.a bzgl. der Erreichbarkeit der mit den 3D-seismischen Messungen verfolgten Ziele. Zum Umfang der Vorplanung gehörten auch die Befahrung des Messgebietes (Scouting) sowie die Information der und Absprachen mit Behörden und Personen als Vorbereitung für die Einholung von Betretensgenehmigungen (Pre-Permit). Die entsprechenden Ergebnisse waren für die Planung zu berücksichtigen.

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>					
Bundesamt für Strahlenschutz									
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 12 von 95		
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011		
9A	22121000	HF	RB	0003	00				

## 2 KENNTNISSTAND

Die Lage des seismisch zu erkundenden Gebietes ist auf der Karte in Anhang 1 dargestellt. Das Zielgebiet umfasst eine Fläche von ca. 1,2 km<sup>2</sup> im Bereich von Schacht 2. Um die bestmögliche Messkonfiguration für eine reflexionsseismische Messung festzulegen, ist es wichtig, zunächst den bisherigen Kenntnisstand über die weiter zu erkundende Struktur zusammenzufassen. Dazu wurden alle entsprechenden verfügbaren Informationen des Auftraggebers zusammengestellt. Ferner wurden Kenntnisse über das Messgebiet im Rahmen einer Befahrung (Scouting) eingeholt, um eventuelle Besonderheiten (z.B. Topografie, Gewässer, Wegenetz etc.) bei der Planung berücksichtigen zu können.

### 2.1 DATENBESCHAFFUNG UND –SICHTUNG

Vom Auftraggeber (AG) wurde umfangreiches Material sowohl auf Papier als auch in digitaler Form zur Verfügung gestellt. Für die Erstellung der Vorplanung sind die Ergebnisse der 2D-reflexionsseismischen und bohrlochseismischen Untersuchungen von 1997/1998 von größter Wichtigkeit [1]. Auf ihnen beruht auch ein Großteil der zusätzlichen vom AG zur Verfügung gestellten Karten und Informationen, insbesondere geologische Schnitte in Richtung der Sattelachse der Salzstruktur und senkrecht dazu. Diese Unterlagen wurden gesichtet und die für die Modellerstellung relevanten Informationen ausgewählt.

Die 2D-reflexionsseismischen Daten wurden 1997 auf einem orthogonalen Profilnetz mit einer Gesamtlänge von 36,95 km erhoben. Das Ziel der Messungen war die Untersuchung des geologisch-tektonischen Baus des suprasalinen Deckgebirges im Bereich der Südflanke und des Tops der Struktur Asse. Dazu wurden sowohl Anregungs- als auch Empfangspunktabstände von 5 m und 10 m sowie Hammerschlag und ein beschleunigtes Fallgewicht als Quelle verwendet. Die Profile weisen bei CMP-Abständen von 2,5 m bis 5 m (Common Mid Point) eine nominale Überdeckung von 48fach bis 60fach auf. Diese Parameter entsprachen dem damaligen Stand der Technik für hochauflösende 2D-Reflexionsseismik.

Generell bestätigten die Messergebnisse das bis dahin bekannte Bild der Asse-Struktur: Die Nordflanke der Struktur ist auf die Südflanke aufgeschoben worden, wobei diese im Bereich des Röt aufriss und sich das Hangende steil aufrichtete. Das seismische Ergebnis zeigte den asymmetrischen Bau der Flanken. Die Nordflanke, obwohl nur fragmentarisch erfasst, fällt deutlich flacher ein als die Südflanke. Der Einengungsprozess wurde an beiden Flanken von Bruchstörungen mit geringen Versätzen (bis ca. 10 m) unterstützt, wobei der gleichzeitige Salzauftrieb die Störungsbildung beeinflusste. Die in der Rückfront der nordfallenden Hauptstörung auf der Nordflanke definierten Störungen fallen nach Süden ein, wobei die topnähere Scholle auf die topferne überschoben wurde. Ein ähnliches Bild weist die Südflanke auf. Hier fallen die Störungen nach Norden ein, wobei der einseitige, durch den Salzauftrieb modifizierte Druck zur Überschiebung der jeweils hangenden Scholle auf die liegende führte.

Das Ergebnis der 2D-Seismik bot entlang der Profile ein präzisiertes Strukturbild, das aber auf Grund der eingeschränkten Profildichte im Detail lückenhaft bleiben musste. Es konnten Reflexionen bis in 2000 m Tiefe erfasst werden, die im tieferen Flankenbereich lückenlos verfolgbar waren. Im höheren Flanken- und Topbereich führte die zunehmende tektonische Zerrüttung zu Reflexionsausfällen bzw. Korrelationsunterbrechungen. Störungen, die im Streichen der Struktur verlaufen, beherrschen den Strukturbau. Ihre genaue Lage und Verlauf konnten ebenso wie Querstörungen auf Grund des grobmaschigen Profilnetzes nicht in ausreichendem Maße erfasst werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 13 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

## 2.2 MESSGEBIETSBEFAHRUNG

Am 21.04.2010 wurde eine Messgebietsbefahrung der 3D Messfläche Asse durch Mitarbeiter der *Geophysik GGD mbH* und des *BfS* durchgeführt. Als Grundlage diente eine topografische Karte 1:25.000 mit der eingetragenen potentiellen Messfläche (Anhang 1) sowie die favorisierten Messkonfigurationen für eine 3D-Seismik (Anhang 3). Die Erkenntnisse aus dieser Befahrung sind im Folgenden zusammengestellt.

### 2.2.1 Überblick

Durch das *BfS* wurde als das für die Erkundung maßgebliche Zielgebiet ein Quader definiert, dessen Oberfläche (Zielbereich ABCD der seismischen Abbildung in Anhang 1) eine Fläche von ca. 1,3 km x 0,9 km umfasst und der in die Tiefe bis zur 750-m-Sohle der Schachanlage reicht. Der Quader schließt die in unmittelbarer Nachbarschaft der Schachanlage gelegenen Erkundungsbohrungen Remlingen 5, 6 und 8 ein. Die tatsächliche Messfläche muss wegen der in Kap. 3.3 und 3.4 beschriebenen Bedingungen wesentlich größer sein. Die Messfläche erstreckt sich etwa in Richtung Südwest-Nordost zwischen den Ortschaften Wittmar und Remlingen, reicht im Südwesten bis zu den Orten Groß und Klein Biewende und schließt im Nordosten die Orte Groß Vahlberg und Mönchevahlberg ein (Anhang 1). Im Norden der Fläche befindet sich der markante Höhenrücken der Asse. Er erreicht Höhen über 220 m NHN und liegt damit ca. 80 m über dem südlichen Gelände und ca. 130 m über dem nördlich liegenden Tal der Altenau. Am Südwest-Hang der Asse befinden sich die Schachanlagen Asse.

Für die 3D-Seismik wurde ein orthogonales Messsystem (Kap. 3.6.2) gewählt, bei dem die Anregungspunktlinien senkrecht zu den Empfangspunktlinien verlaufen. Da die Anregung weitgehend mit Vibrator-Fahrzeugen erfolgen wird, ist es sinnvoll, die Anregungslinien (crosslines) in der Vorzugsrichtung vorhandener Straßen und Wege zu wählen. In diesem Fall ist das die Streichrichtung der Salzstruktur in etwa nordwest-südöstlicher Richtung. Entsprechend verlaufen die Empfangspunktlinien (inlines) in etwa in südwest-nordöstlicher Richtung. Die schematische Anordnung von Empfängerlinien ist in Abbildung 1 dargestellt. In dieser Abbildung ist auch ersichtlich, dass bei einer 3D-seismischen Anordnung durch jeden

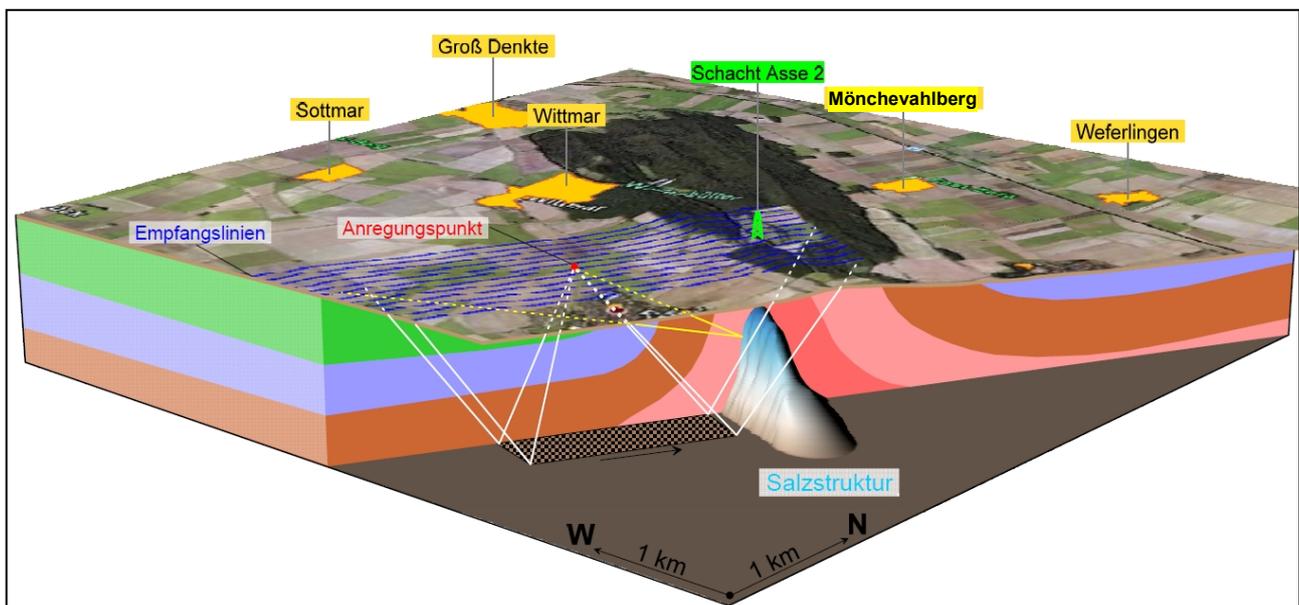


Abbildung 1: Schematische Darstellung der 3D-seismischen Erkundung durch einen Anregungspunkt.

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>					
Bundesamt für Strahlenschutz									
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 14 von 95		
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011		
9A	22121000	HF	RB	0003	00				

einzelnen Anregungspunkt eine Fläche im Untergrund mit Messstrahlen „abgetastet“ wird. Außerdem können in ausreichendem Abstand vom Salzstock Reflexionen von steil stehenden Schichten aufgezeichnet werden (vgl. Kap. 3.3 und Abbildung 2). Die Wiederholung dieses Prinzips mit der Anordnung vieler Anregungspunkte in der Fläche ergibt die mehrfache Abtastung (Mehrfach-Überdeckung) des zu erkundenden Untergrundes.

Während der Befahrung wurde festgelegt, dass der Schacht 1 mit in die Untersuchungen einbezogen werden sollte. Damit erweitert sich die Untersuchungsfläche nach Nordwesten um ca. 1 km und die Ortschaft Wittmar liegt dann teilweise innerhalb der Fläche (Anhang 1). Die Messfläche ist deutlich größer als die Erkundungsfläche und hat damit eine Größe von knapp 17 km<sup>2</sup> (ca. 2,8 km x 6,0 km).

## 2.2.2 Oberfläche

Ein Großteil der Messfläche im Südwesten und Nordosten der Asse wird landwirtschaftlich genutzt. Bei Zustimmung zur Betretung der Grundstücke durch die Nutzer und Eigentümer sind für die Anlage der Geophon- und Anregungslinien keine Einschränkungen zu erwarten. Dagegen ist der Höhenzug der Asse nahezu vollständig mit Wald bedeckt. Eine intensive forstwirtschaftliche Nutzung wurde festgestellt. Der Wald besteht vorwiegend aus Buchen, teilweise sind Kiefern und Fichten vertreten. Die allgemein relativ gute Zugänglichkeit des Waldes bei lichterem Baumbestand wird teilweise durch dazwischen in engem Abstand wachsende, mittelhohe Bäume eingeschränkt. Es existieren einzelne besonders geschützte Biotope [9].

Die Flanken des Asse-Höhenzugs nach Südwesten und Nordosten sind teilweise sehr steil. Anregungslinien, die theoretisch in diesen Flanken liegen, müssen unter Umständen verlegt oder ausgelassen werden. Für die Geophonauslage stellen sie kein Hindernis dar.

## 2.2.3 Wegenetz

Die landwirtschaftlich genutzten Flächen sind in sich sehr groß und weisen nur wenige Wege oder Feldesgrenzen auf. Dort muss die Energieanregung auf den Feldern erfolgen. Im Waldgebiet der Asse ist das Wegenetz hauptsächlich an der Streichrichtung des Höhenzugs orientiert und verläuft deshalb vor allem in Richtung der geplanten Anregungslinien. Es reicht allerdings nicht aus, um bei einem für hochauflösende Messungen notwendigen engen Anregungslinienabstand (< 100 m) alle Linien auf Wegen anzuregen. Es existiert aber eine Vielzahl in den Karten nicht enthaltener so genannter Rückewege und Schneisen, die zusätzlich für die Energieanregung genutzt werden können.

## 2.2.4 Hindernisse

Oberflächlich wurden im Untersuchungsgebiet einige Gasleitungen festgestellt, die vorzugsweise entlang der Ortsverbindungsstraßen verlaufen. Im Süden kreuzt eine Hochspannungsleitung die Messfläche. Der Verlauf der Leitungstrassen ist beim Permitting zu ermitteln, und die entsprechenden Sicherheitsabstände zu diesen Leitungen sind einzuhalten. Bei Einsatz einer modernen telemetrischen Messapparatur ist der Einfluss auf der Hochspannungsleitung auf die Apparatur und damit auf die Messdaten gering.

Die Lage der Ortschaften Groß Vahlberg, Mönchevahlberg, Wittmar, Klein Biewende und Remlingen innerhalb der Messfläche führt zu Einschränkungen bei der Festlegung von Anregungspunkten. Innerhalb der Ortschaften wird es deshalb zu Abweichungen von der Anregungslinienführung kommen. Da die Orte

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>					
Bundesamt für Strahlenschutz									
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 15 von 95		
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011		
9A	22121000	HF	RB	0003	00				

aber vorzugsweise am Rand der Messfläche liegen, ist der Einfluss auf das Zielgebiet der Untersuchungen relativ klein.

Zahlreiche Zuwegungen zum Waldgebiet der Asse sind mit Schranken abgesperrt und für den Fahrzeugverkehr nur mit Ausnahmeregelung befahrbar. Dieser Umstand ist beim Permitting zu berücksichtigen.

Die übertägigen Gebäude der Schachanlage Asse II werden eine Verschiebung einzelner Anregungs- und Empfangslinien vom orthogonalen Netz notwendig machen.

## 2.2.5 Zusammenfassung der Messgebietsbefahrung

Generell weist ein Großteil der Messfläche (ca. 80 %) relativ unkomplizierte Oberflächenbedingungen auf. Einschränkungen in der Linienführung von Anregungs- und Geophonlinien sind dort nicht zu erwarten. Im Bereich des Asse Höhenzuges gibt es auch keine Probleme bei der Geophonauslage. Innerhalb der Ortschaften kann es zu geringfügigen Abweichungen von einer geraden Linienführung beider Linien kommen. Es gibt außer den geringfügigen Beschränkungen durch Natur- und Landschaftsschutz (Kap. 5.3), keine Hinweise auf komplett ausfallende Teilbereiche der Messfläche.

Im Waldgebiet der Asse ist neben einer Oberflächenanregung alternativ die Sprenganregung in flachen oder mitteltiefen Bohrungen erforderlich. Wegen der variierenden Zugänglichkeit der Waldflächen und der wechselnden Neigungsverhältnisse der Geländeoberfläche müssen im Wesentlichen kleinere Bohrgeräte (z.B. Typ Balco) eingesetzt werden, alternativ können auch größere Bohrgeräte, z.B. auf MB-Trac genutzt werden.

Es werden vor allem in den Waldgebieten Rothenberg, Watzenberg, Remlinger Herse, Großer Hahnenberg, Auf dem Klaare und Nordhang Festberg Anregungspunkte mit Sprengstoff ausgeführt werden müssen (Kap. 6.1).

## 2.3 ZUSAMMENFASSUNG DER ANALYSE DES KENNTNISSTANDES

Das aus den 2D-seismischen Daten abgeleitete Strukturmodell des Salzstocks stellt eine gute Grundlage für eine Vorplanung 3D-seismischer Messungen dar. Fehlende petrophysikalische Parameter können in ausreichender Näherung geschätzt werden. Aus den vom Auftraggeber übergebenen Unterlagen lassen sich folgende für die Vorplanung relevante Informationen über die im Detail zu erkundende Struktur zusammenstellen:

### *Einfallswinkel*

Ein maßgeblicher Parameter des Modells für die seismische Vorplanung ist die Schichtneigung. Die Salzstruktur und die darüber liegenden Schichten weisen auf der Südwestflanke der Struktur Neigungen bis zu 80° auf, auf der Nordostflanke sind sie geringer (30° bzw. 70° in größeren Tiefen). Entlang der Strukturachse eine gibt es nach Nordwesten geringe Neigungen (5°), nach Südosten fällt die Oberfläche mit bis zu 30° ab.

### *Geschwindigkeiten und Dichten*

Für eine zuverlässige Vorplanung ist die Kenntnis der seismischen Geschwindigkeiten und Dichten der zu erkundenden Struktur wichtig. Aus den Daten der Bohrungen Remlingen 5, Remlingen 6, Remlingen 8 sowie



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 16 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

den Ergebnissen der bohrlochseismischen Untersuchungen [1] und dem daraus abgeleiteten petrophysikalischen Modell wurden Geschwindigkeits- und Dichtewerte für die meisten Schichten abgeleitet. Für die nicht erbohrten Schichten (Kreide, Jura, Caprock, Rotliegend) wurden Geschwindigkeiten aus der Literatur [2] ermittelt. Die auch für die spätere synthetische Modellierung (Kap. 4.2) verwendeten physikalischen Parameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

## Frequenzen

Für eine möglichst hochauflösende seismische Abbildung ist das Frequenzband der seismischen Daten von größter Bedeutung. Für die Abschätzung der zu erwartenden dominanten und maximalen Frequenzen wurden die existierenden 2D-seismischen Profile herangezogen. Aus den Stapelsektionen lassen sich die dominante Frequenz zwischen 35 und maximal 50 Hz und die maximale Frequenz zwischen 75 und 90 Hz bestimmen. Das Frequenzband der zu Grunde liegenden Datensätze wurde weder durch die verwendete Quelle (beschleunigtes Fallgewicht) noch während des Processings beschränkt. Das bedeutet, dass die vorliegenden 2D-Daten ein für die seismische Antwort der Asse-Struktur repräsentatives Frequenzband aufweisen. Um die Gewinnung möglichst hochfrequenter 3D-Daten über dieses Frequenzband hinaus in der vorliegenden Vorplanung zu berücksichtigen, werden für das Survey Design sicherheitshalber geringfügig höhere Werte für die maximale dominante Frequenz (60 Hz) und für die Maximalfrequenz (100 Hz) angenommen.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 17 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

Tabelle 1: Schichtmodell mit seismischen Geschwindigkeiten und Dichten.

Stratigraphie	Kürzel	Geschwindigkeit in m/s	Dichte in g/cm <sup>3</sup>	Farbe
Quartär/Tertiär	q/t	1600	2,00	
Kreide, ungegl.	kr	2600	2,40	
Jura, ungegl.	j	2400	2,20	
Oberer und Mittlerer Keuper	km+ko	2960	2,20	
Unterer Keuper	ku	2680	2,18	
Oberer Muschelkalk2	mo2	4010	2,54	
Oberer Muschelkalk1	mo1	4610	2,53	
Mittlerer Muschelkalk	mm2	4320	2,56	
Salz im Muschelkalk	mmNa	4320	2,29	
Mittlerer Muschelkalk	mm1	5020	2,72	
Unterer Muschelkalk	mu	4830	2,64	
Oberer Buntsandstein	so	4280	2,60	
Anhydrit im Buntsandstein	so1A	5030	2,82	
Mittlerer Buntsandstein	sm	4000	2,16	
Unterer Buntsandstein	su	4200	2,29	
Salz, ungegl.	Na	4500	2,09	
Rotliegend	r	4800	2,65	
Caprock	cr	5000	2,70	



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 18 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

## 3 PARAMETER

Die für das Abbildungsvermögen einer 3D-Seismik relevanten Geometrie-Parameter sind in der Parametertabelle (Anhang 2) und in der Konfigurationen-Tabelle (Anhang 3) zusammengestellt. Im Folgenden werden einige dieser Parameter detaillierter beschrieben. Die Festlegung der entsprechenden Werte folgt im Wesentlichen den Konzepten und Formeln aus [3], [4] und [5].

### 3.1 BINGRÖßE

Das Bin  $B$  ist die Basis eines jeden 3D-Designs. Es stellt eine Flächeneinheit dar, der alle seismischen Spuren zugeordnet werden, deren Mittelpunkt zwischen Anregung und Empfänger in diese Fläche fällt (Common Midpoint CMP). Diese Spuren werden als eine CMP-Gruppe behandelt, entsprechend bearbeitet und repräsentieren schließlich den Untergrund unterhalb der entsprechenden Binfläche. Die Bingröße ( $B_x$ ,  $B_y$ ) beschreibt den Abstand der CMP-Gruppe in inline- bzw. in crossline-Richtung auf der Messfläche. Damit ist die Bingröße der entscheidende Faktor für das laterale Auflösungsvermögen sowie für die Darstellung von kleinräumigen Strukturen. Ein Bin kann beliebige Formen haben, Quadrat oder Rechteck sind die gebräuchlichsten. Bei der Bestimmung der Bingröße müssen mehrere Faktoren berücksichtigt werden, die in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

#### 3.1.1 Räumliches Aliasing

Der sogenannte Aliasing-Effekt kann allgemein bei der Messung eines hochfrequenten Signals auftreten. Wenn ein solches hochfrequentes Signal mit einer nicht ausreichenden Zahl an Messpunkten (im Raum bzw. über die Zeit) aufgezeichnet wird, kann es in der Messreihe nicht vollständig dargestellt werden. Stattdessen wird in der Messreihe ein tieffrequentes Signal vorgetäuscht. Zur Vermeidung von räumlichem Aliasing müssen also ausreichend viele Messpunkte (d.h. in der Seismik Anregungs- und Empfangspunkte) eingerichtet werden und zwar so, dass die Bingröße  $B$  den folgenden Wert, der abhängig von der maximalen Frequenz, dem maximalen Schichteinfallen, sowie der Intervall-Geschwindigkeit ist, nicht überschreitet:

$$B = \frac{V_{int}}{4 \cdot f_{max} \cdot \sin \alpha} \quad (\text{Formel 1})$$

Dabei sind:

- $B$  ..... Bingröße
- $V_{int}$  ..... Intervallgeschwindigkeit direkt über dem Zielhorizontes in m/s
- $f_{max}$  ..... maximale Frequenz im Bereich des Zielhorizontes in Hz
- $\alpha$  ..... Maximaler Einfallswinkel des Zielhorizontes in °.

Die Tabelle 2 gibt die maximale Bingröße in m in Abhängigkeit von Einfallswinkel und maximaler Frequenz für eine angenommene Intervallgeschwindigkeit von 4000 m/s im Deckgebirge (Muschelkalk, Buntsandstein) an. Es ist ersichtlich, dass bei nutzbaren Frequenzen bis 100 Hz und Neigungen bis 80° die Bingröße zur Vermeidung von räumlichen Aliasing nicht geringer als 10 m sein muss. Für kleinere Intervallgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 2400 m/s, wie sie z.B. im Jura (und geringfügig höher in der Kreide) auftreten (Tabelle 1), ergeben sich zwar jeweils kleinere Bingrößen. Diese Schichten befinden



Bundesamt für Strahlenschutz

**Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 19 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

sich allerdings nicht unmittelbar über der Salzstruktur, sondern mit geringeren Einfallswinkeln nur im äußeren Flankenbereich der Struktur. Für die dort relevanten Neigungen von bis zu 40° sind ebenfalls Bingrößen ab 10 m ausreichend.

Tabelle 2: Bingröße  $B$  in m als Funktion der maximalen Frequenz und des Einfallswinkels  $\alpha$  mit  $V_{int} = 4000$  m/s.

$\alpha$ in °	Maximale Frequenz in Hz					
	50	60	70	80	90	100
30	40	33	29	25	22	20
40	31	26	22	19	17	16
50	26	22	19	16	15	13
60	23	19	16	14	13	12
70	21	18	15	13	12	11
80	20	17	15	13	11	10

### 3.1.2 Größe der aufzulösenden Strukturen

Mit 2D-Seismik ist es schwierig, kleinräumige Strukturen, wie z.B. Rinnen oder den genauen Verlauf von Störungszonen, zu lokalisieren. Mit der Anwendung von 3D-Seismik kann die Kenntnis über den Aufbau von Strukturen verbessert werden. Um eine flächenhaft ausgedehnte Anomalie erkennen zu können, sollte diese durch mindestens 3 bis 4 Spuren im Seismogramm repräsentiert werden. Daraus ergibt sich die Abschätzung, dass die Bingröße etwa 1/4 bis 1/3 der Strukturdimension betragen muss. Möchte man Strukturen mit etwa 20 m bis 30 m Ausdehnung auflösen, sollte daher die Bingröße zwischen 5 m und 10 m liegen.

### 3.1.3 Laterale und vertikale Auflösung

Vor der Migration können zwei benachbarte Diffraktionen nicht voneinander unterschieden werden, wenn ihr Abstand kleiner als der Radius  $r$  der 1. Fresnelzone ist.

$$r \approx \sqrt{\frac{1}{2} z \cdot \lambda_{dom}} \quad (\text{Formel 2})$$

mit:

$r$  ..... Radius der 1. Fresnelzone

$z$  ..... Tiefe des Zielhorizontes

$\lambda_{dom}$  ..... dominante Wellenlänge



Bundesamt für Strahlenschutz

## Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 20 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

Für eine Intervallgeschwindigkeit von 2400 m/s (z.B. Kreide und Jura) und eine angenommene mittlere Frequenz bis 60 Hz ergibt sich eine dominante Wellenlänge von 40 m. Daraus folgt, dass der Radius der 1. Fresnelzone in einer Tiefe von 200 m ca. 63 m und in einer Tiefe von 600 m ca. 118 m beträgt. Nach einer optimalen 3D-Migration ist theoretisch die laterale Auflösung gleich der vertikalen Auflösung und abhängig von der dominanten Wellenlänge in unmittelbarer Nähe der Zielstruktur. Für den senkrechten Einfall kann die mögliche vertikale Auflösung nach [7] auf  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  der dominanten Wellenlänge abgeschätzt werden.

Die Bingröße sollte dieser möglichen Auflösung entsprechen:

$$B = \frac{v_{int}}{N \cdot f_{dom}} \quad (\text{Formel 3})$$

$v_{int}$  ..... Intervall-Geschwindigkeit im Bereich des Zielhorizonts

$N$  ..... 2 - 4

$f_{dom}$  ..... dominante Frequenz

Somit ergibt sich für eine Intervallgeschwindigkeit von 2400 m/s (Jura) und eine angenommene dominante Frequenz von 60 Hz eine theoretische Auflösung von 20 m für  $N = 2$  und 10 m für  $N = 4$ .

### 3.1.4 Ergebnisse der Bin-Analyse

Die Ergebnisse der Berechnungen der Bingröße sind in der folgenden Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Ergebnisse der Bin-Analyse.

Geophysikalischer Parameter	Bingröße
Räumliches Aliasing $\alpha = 80^\circ$	10 – 20 m
Strukturgröße	5 - 10 m
Laterale/Vertikale Auflösung	10 – 20 m

Daraus ergibt sich die Empfehlung, die endgültige Wahl der Bingröße von der Größe, d.h. der lateralen Ausdehnung aufzulösender Strukturen abhängig zu machen und zwischen 5 m und 10 m zu wählen. Selbst wenn für die laterale Auflösung eine Bingröße von 10 m ausreicht, ist für die Erkennung kleinräumiger Strukturen (z.B. Rinnen) eine höhere Spurdichte durchaus vorteilhaft. Es wurde gemeinsam mit dem AG entschieden, die Bingröße zu diesem Zeitpunkt noch nicht festzulegen, sondern während der nachfolgenden Modellierungen detailliert zu untersuchen.

Mit der Bingröße sind auch Anregungspunkt Abstand  $SI$  und Geophonpunkt Abstand  $RI$  eines orthogonalen Systems mit

$$SI = 2 \times B_y \quad (\text{Formel 4}) \text{ und}$$

$$RI = 2 \times B_x \quad (\text{Formel 5})$$

festgelegt. Für den Anregungspunkt Abstand  $SI$  und Geophonpunkt Abstand  $RI$  kommen also Werte zwischen 10 m und 20 m in Frage.

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>					
Projekt		PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 21 von 95	
NAAN		NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011	
9A		22121000	HF	RB	0003	00			

### 3.2 CMP-ÜBERDECKUNGSGRAD

Ein hoher Überdeckungsgrad (Anzahl der Spuren pro Bin) ist wichtig in Hinsicht auf das Erreichen eines guten Nutz-/Störverhältnisses. Das Nutz-/Störverhältnis ist in etwa proportional zur Quadratwurzel aus dem Überdeckungsgrad. Der Gesamtüberdeckungsgrad bei 3D-Messungen  $C_{3D}$  ergibt sich dabei aus dem Produkt der Überdeckungsgrade in inline- ( $C_X$ ) und crossline-Richtung ( $C_Y$ ):

$$C_{3D} = C_X \cdot C_Y \quad (\text{Formel 6})$$

Wenn 2D-seismische Messungen mit guter Datenqualität vorliegen, lässt sich die Untergrenze des Überdeckungsgrades der 3D-Messungen abschätzen zu:

$$C_{3D} \geq \frac{C_{2D}}{2} \quad (\text{Formel 7})$$

Mit dem maximalen Überdeckungsgrad  $C_{2D} = 60$  der existierenden 2D-Profile ergibt sich für 3D-Messungen ein Wert von  $C_{3D} \geq 30$ fach. Bei der für die Asse angestrebten hoch auflösenden Erkundung mit geringen Anregungs- und Geophonpunktständen (Kap. 3.1.4) wird dieser Wert nominal deutlich überschritten (Anhang 3). Es ist aber zu berücksichtigen, dass die tatsächliche Überdeckung tiefenabhängig ist. Im oberflächennahen Bereich geht sie durch NMO-stretch (bei großen Offsets) und Störungen durch Oberflächenwellen (bei kleinen Offsets) zurück. Mit Hilfe eines offset-begrenzten raytracings wurde deshalb der oberflächennahe Überdeckungsgrad  $C_{sh}$ , abgeschätzt. Bei einem Zielhorizont von 175 m unter GOK ergeben sich je nach Bingröße und Linienabständen (Kap. 3.6.1) Überdeckungen von 4 bis 19. Dabei sind die Linienabstände bereits so klein gewählt, dass sie einen vergleichsweise hohen messtechnischen Aufwand erfordern.

### 3.3 OFFSET

#### 3.3.1 $X_{max}$ und $X_{min}$

Die größte Entfernung zwischen Anregungs- und Empfangspunkt innerhalb einer Messauslage  $X_{max}$  wird üblicherweise mindestens gleich der Zieltiefe  $Z_{max}$  gesetzt. Dabei wird von etwa söhlicher Lagerung ausgegangen. Bei einer Erkundungstiefe von maximal 800 m sollte  $X_{max}$  dann ebenfalls ca. 800 m betragen.

Im Fall der Asse treten aber Schichtneigungen von bis zu 80° auf. Deren Effekt auf den Verlauf der Messstrahlen ist in Abbildung 2 durch strahlenseismische Modellierung (Raytracing) beispielhaft dargestellt. An der Oberfläche wird (markiert durch das Kreuz) in einem horizontalen Abstand von ca. 1000 m von der Salzachse seismische Energie angeregt. Der Verlauf der seismischen Strahlen bis zum Top Salz ist in rot, die Reflexionen in schwarz dargestellt. Der Übersichtlichkeit wegen sind in der Abbildung nur Strahlen dargestellt, die in den rechten Teil des Untergrundes abgestrahlt werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 22 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

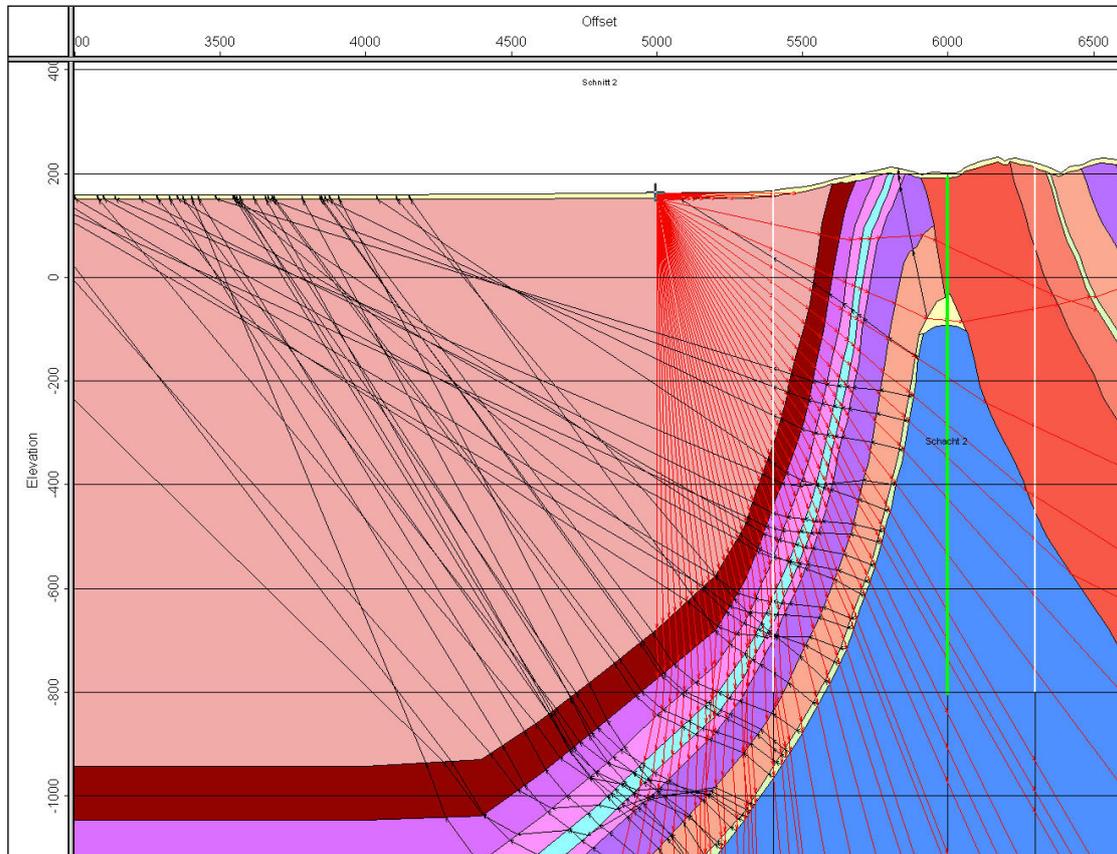


Abbildung 2: Raytracing am vereinfachten Modell Schnitt 2. Das Kreuz markiert den Punkt, an dem seismische Energie angeregt wird. Rote Pfeile stellen von der Anregung ausgehende Strahlwege dar, schwarze Pfeile an der Salzoberfläche reflektierte Strahlwege.

Die steilen Neigungen führen dazu, dass von den Schichtgrenzen reflektierte seismische Signale (schwarze Pfeile) erst in viel größerer Entfernung vom Anregungspunkt an der Oberfläche registriert werden können. Aus dem Raytracing ergibt sich, dass sich bei Anregung entlang der Südflanke Empfangspunkte bis in zwei bis drei Kilometer Entfernung der Struktur befinden müssen (Abbildung 2). Diese Feststellung ist auch für die Größe des Messgebietes (Kap. 3.4) relevant. Sie gilt nicht für die Strahlwege parallel zur Salzstruktur. Eine weitere Verlängerung der Empfängerlinien (und damit des Erkundungsgebietes) würde mit den größeren Offsets zwar weiteren Informationsgewinn aus größerer Tiefe abseits der eigentlichen Salzstruktur ermöglichen, aber keine zusätzliche Erkenntnis bezüglich der Salzstruktur und des Deckgebirges bringen. Aus diesem Grund sind ein Template mit 6 km langen Empfängerlinien bzw. das Messgebiet mit der zu erkundenden Fläche plus entsprechende Überhänge nach Südwesten und nach Nordosten für die Fragestellung völlig ausreichend.

Die kleinste Entfernung  $X_{min}$  zwischen einem Anregungs- und Empfangspunkt sollte ausreichen, den flachsten Reflektor, der zur Interpretation oder für statische Restkorrekturen verwendet wird, mit einem 3-4fachen Überdeckungsgrad abzubilden. Dabei ist  $X_{min}$  in etwa so groß wie die Tiefe dieses flachsten Reflektors.  $X_{min}$  wird definiert als größte Distanz innerhalb eines Vierecks, das durch unmittelbar benachbarte Anregungspunkt- und Empfangspunktlinien gebildet wird.

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>			
Bundesamt für Strahlenschutz							
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 23 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

### 3.3.2 NMO-Stretch, $X_{mute}$

Durch die NMO-Korrektur während der Datenbearbeitung werden die seismischen Daten in Abhängigkeit von der Reflektortiefe und dem Offset verzerrt (NMO Stretch). Damit diese Verzerrungen keinen signifikanten Einfluss auf das Stapelergebnis erhalten, werden Datenbereiche, in denen die Verzerrung einen gewissen Schwellenwert überschreitet, während der Datenbearbeitung ausgeblendet (Muting). Dieser Schwellenwert, definiert als  $NMO\text{-Stretch} = \Delta t_{NMO} / t_0 = \Delta f / f$  sollte 30 % nicht überschreiten. Da das Muting gleichzeitig den Überdeckungsgrad reduziert, sollte der Schwellenwert in der Zieltiefe erst bei Offsets, die größer als die verwendete Auslage oder größer als die kritische Entfernung sind, erreicht werden. Diese Überlegung ist bereits bei der Festlegung der Überdeckung für flache Horizonte berücksichtigt (s. Kap. 3.2).

### 3.3.3 Templategröße

Mit der Templategröße wird die Größe desjenigen Gebietes bezeichnet, in dem während einer Anregung die Empfänger aktiv sind, d.h. in dem Daten aufgezeichnet werden. Dafür ist die Frage entscheidend, bis zu welchem maximalen Offset Daten registriert werden sollen. Für den maximalen Offset  $X_x$  in Richtung senkrecht zur Salzstrukturachse wurden 3000 m festgelegt. Wenn dieser in beide Richtungen vorhanden sein soll, ergibt sich daraus eine Länge von 6 km für die aktiven Empfängerlinien. In Richtung der Salzstrukturachse sind nur geringe Schichtneigungen vorhanden, hier kann der maximale Offset  $X_y$  auf 500 m bis 800 m begrenzt werden. Damit ergibt sich eine Templategröße von mindestens 6000 m x 1000 m.

## 3.4 BESTIMMUNG DER FLÄCHENGRÖßE

Durch das BfS wurde als für die Erkundung maßgebliches Zielgebiet ein Quader definiert, dessen Oberfläche ca. 1,17 km<sup>2</sup> beträgt. Die tatsächliche Messfläche muss wegen der oben beschriebenen Größe des Templates sowie zusätzlicher Überhänge am Rand (notwendig für die Datenbearbeitung, vgl. Kap. 3.4.1 und 3.4.2) wesentlich größer sein. Dabei ist wiederum die Vergrößerung in Richtung der Sattelachse eher gering und senkrecht dazu wegen der steilen Schichtneigungen sehr groß. Die Messfläche sollte außerdem den ca. 700 m nordöstlich gelegenen Schacht 1 mit einbeziehen. Die genaue Größe hängt damit nur noch von den später zu definierenden Linienabständen ab und wird ca. 2,8 km x 6,0 km (15,0 km<sup>2</sup> bis 16,8 km<sup>2</sup>) betragen (Anhang 3).

### 3.4.1 Migrationsapertur

Die Migrationsapertur  $L_{mig}$  ist eine Wegstrecke, die angibt, um welche Distanz ein Reflexionselement bei der Migration lateral verschoben wird. Um auch am Rand des Messgebietes eine korrekte Migration durchführen zu können, müssen entsprechend auch Daten über den Rand hinaus vorliegen. Die Migrationsapertur wird berechnet mit

$$L_{mig} = Z \cdot \tan \alpha \quad (\text{Formel 8})$$

mit  $Z$  ..... Zieltiefe in m

$\alpha$  ..... Neigung des Zielhorizontes in °

Damit ergibt sich für die vorliegende Strukturen im Südwesten ( $Z = 550$  m und  $\alpha = 80^\circ$ )  $L_{mig}$  zu knapp 3000 m. Im Nordosten ( $Z = 550$  m und  $\alpha = 70^\circ$ ) ergibt sich  $L_{mig} = 1500$  m. Im Nordwesten und Südosten

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>			
Bundesamt für Strahlenschutz							
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 24 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

ergeben sich wegen der geringeren Flankensteilheit deutlich kleinere Überhänge (Migrationstaper) von 760 m bzw. 260 m.

Für das Survey Design werden diese Werte bei der Bestimmung der Flächengröße verwendet. Für die Gesamtauslage kommt zu diesen Werten noch der in Abschnitt 3.4.2 berechnete Fold taper hinzu.

### 3.4.2 Fold taper

Die orthogonalen Messkonfigurationen erfordern eine Erweiterung der Empfangs- und Anregungslinien über die Fläche hinaus, für die der volle CMP-Überdeckungsgrad unter Berücksichtigung der Migrationsapertur gefordert ist. Die maximale Erweiterung ermittelt sich nach [6] bei einem Zentralsystem zu:

$$L_x = \frac{(C_x - 2) \cdot SLI + X_{min}}{2} \quad \text{(Formel 9)}$$

bzw.

$$L_y = \frac{(C_y - 2) \cdot RLI + X_{min}}{2} \quad \text{(Formel 10)}$$

mit  $C_x, C_y$  ..... voller Überdeckungsgrad inline- bzw. crossline-Richtung

$SLI, RLI$ ..... Anregungs- bzw. Geophonlinienabstand in m

$X_{min}$  ..... Nahoffset in m

Für die hier untersuchten Konfigurationen ergeben sich aufgrund der variierenden Linienabstände unterschiedliche Foldtaper 150 m bis 250 m (mit  $C_x = C_y = 6$ ). Die endgültige Ausdehnung des Messgebietes wird deshalb bei der Modellierung der unterschiedlichen Konfigurationen festgelegt.

## 3.5 ERMITTELTE PARAMETER FÜR 3D-MESSKONFIGURATIONEN

Aus der Analyse der grundlegenden Parameter für eine 3D-Messkonfiguration wurden für die seismischen Untersuchungen des Deckgebirges der Schachanlage Asse II folgende relevante Parameter ermittelt:

Bingröße	5m x 5m bis 10 m x 10 m
Gesamtgröße des Messgebietes	15,0 km <sup>2</sup> bis 16,8 km <sup>2</sup>
Erkundungstiefe unter Erdoberfläche	750 m
Überdeckungsgrad $C_{SH}$	mindestens 4fach
Maximaler Offset $X_{max}$	3000 m
Minimaler Offset $X_{min}$	80 m bis 130 m



Bundesamt für Strahlenschutz

## Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 25 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

### 3.6 OPTIMIERUNG DER DESIGNPARAMETER

Mit Hilfe der in Kap. 3.5 zusammengestellten Parameter Binggröße  $B$ ,  $C_{SH}$ ,  $X_{min}$ ,  $X_{max}$ , lassen sich nun geeignete Anregungspunktabstände  $SI$ , Empfangspunktabstände  $RI$ , Empfängerlinienabstände  $RLI$  und Anregungslinienabstände  $SLI$  sowie die Templategröße bestimmen. Die genaue Modellierung des Überdeckungsgrades, der Offset- und Azimutverteilung für verschiedene Abstände erfolgt dann mit der Software MESA.

#### 3.6.1 Linienabstände

Mit dem minimalen Offset  $X_{min}$  lässt sich der Abstand zwischen den Geophon- und Anregungslinien festlegen:

$$X_{min} = \sqrt{(RLI - 0,5 \cdot SI)^2 + (SLI - 0,5 \cdot RI)^2} \quad (\text{Formel 11})$$

Für eine gleichmäßige Überdeckung des Untergrundes empfiehlt es sich, dass die Abstände zwischen Anregungslinien  $SLI$  ganzzahlige Vielfache des Geophonpunktabstandes  $RI$  sind und die Geophonlinienabstände  $RLI$  ebenso ganzzahlige Vielfache des Anregungspunktabstandes  $SI$ . Tabelle 4 stellt  $X_{min}$  in Abhängigkeit von  $SLI$  und  $RLI$  für eine orthogonale Messanordnung mit  $RI = SI = 10$  m (Binggröße 5 m) dar.

Tabelle 4:  $X_{min}$  in m für 5 m Binggröße in Abhängigkeit von Geophon- und Anregungslinienabstand ( $RLI$  und  $SLI$ ).

	<b>RLI in m</b>					
<b>SLI in m</b>	50	60	70	80	90	100
40	57	65	74	83	92	101
50	64	71	79	87	96	105
60	71	78	85	93	101	110
70	79	85	92	99	107	115
80	87	93	99	106	113	121
90	96	101	107	113	120	127

Um einen Horizont in einer Tiefe von ca. 170 m mehrfach überdeckt zu erfassen, sollte  $X_{min}$  nicht größer sein als 130 m. Diese Bedingung ist für alle aufgeführten Linienabstände erfüllt. In ähnlicher Weise kann man  $X_{min}$  für verschiedene  $SLI$  und  $RLI$  bei 10 m Binggröße berechnen. Daraus ergibt sich, dass in diesem Fall  $SLI$  und  $RLI$  jeweils höchstens 100 m betragen sollten.

Aus den gegebenen  $RI$  und  $SI$  sowie den berechneten  $SLI$  und  $RLI$  lassen sich für einen maximalen Offset von mindestens 500 m in Richtung der Anregungslinien und von 3000 m in Richtung der Geophonlinien die Anzahl der aktiven Empfängerlinien und der Empfängergruppen pro Linie und schließlich die aktiven Empfängergruppen im Template berechnen. Bei einer Binggröße von 5 m und einem Linienabstand von 60 m



Bundesamt für Strahlenschutz

## Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 26 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

sind beispielsweise jeweils 8 Geophonlinien (8 x 60 m) in beide Richtungen, also 16 Empfängerlinien, erforderlich. Gleichzeitig sind 600 Geophongruppen pro Linie erforderlich. Ähnlich große Zahlen von mehreren tausend Empfängern ergeben sich für alle hier in Frage kommenden Kombinationen von *SI*, *RI*, *SLI* und *RLI*. Bei dieser vergleichsweise großen Anzahl von aktiven Empfängern (z.B. 6400) werden die in Kap. 3.2 formulierten Anforderungen an den CMP-Überdeckungsgrad bei weitem übertroffen.

### 3.6.2 Mögliche Messkonfigurationen

Mit Hilfe der geplanten Seismik sollen insbesondere die Störungen im Deckgebirge der Salzstruktur möglichst genau erkundet werden. Unter dieser Prämisse und im Ergebnis der oben ausgeführten Betrachtungen wurden folgende Vorgaben aufgestellt:

1. Der Überdeckung (also der Anzahl von Messstrahlen pro Bin) relativ flach liegender Horizonte und somit **dem Parameter *Csh* kommt zentrale Bedeutung zu**.
2. Für die Auflösung interessanter Strukturen **ist außerdem die Bingröße bedeutsam**. Diese könnte in Streichrichtung und senkrecht dazu unterschiedlich gewählt werden.
3. Für die Registrierung von Reflexionen von steil stehenden Schichten sind große Offsets von bis zu 3000 m notwendig. Größere Offsets bringen keine weiteren Informationen aus dem Zielgebiet, sondern erhöhen den Messaufwand.

*Csh* ist ausschließlich von den Linienabständen (*SLI*, *RLI*) abhängig. Die Bingröße ist nur von den Punktabständen abhängig. Die vier Parameter *SI*, *RI*, *SLI* und *RLI* sollten nun bei gleicher Templategröße variiert werden. Die wesentlichen Auswirkungen bei Änderungen an diesen Parametern sind in Anhang 4 dargestellt und lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Bei kleineren Punktabständen wird die Bingröße kleiner, d.h. kleinräumigere Strukturen werden besser auflösbar
- Bei kleineren Linienabständen wird *Csh* größer, d.h. die Strukturen werden durch höhere Überdeckung besser sichtbar

Für die geplante 3D-seismische Erkundung der Schachanlage Asse wurden in Absprache mit dem Auftraggeber 14 Messkonfiguration mit unterschiedlichen Punkt- und Linienabständen entworfen, die für die oben genannten Ziele und Parameter in Frage kommen. Diese Konfigurationen sind in Anhang 3 zusammengefasst. Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass kleine Linienabstände die Überdeckung *Csh* in geringer Tiefe (175 m) verbessern, aber den Messaufwand (in Verbindung mit kleinen Bingrößen) signifikant erhöhen (Anzahl der Anregungspunkte *SP* und der aktiven Kanäle *CHAN*). Die in der Tabelle angegebene Anregungspunktdichte pro km<sup>2</sup> *SD* berechnet sich nach folgender Beziehung:

$$SD = \frac{10^6 \cdot C_{3D}}{B_X \cdot B_Y \cdot N_R \cdot N_{RL}} \quad (\text{Formel 12})$$

mit	$C_{3D}$	.....	voller CMP-Überdeckungsgrad
	$B_X$	.....	Bingröße inline in m
	$B_Y$	.....	Bingröße crossline in m
	$N_R \cdot N_{RL}$	.....	Anzahl der gleichzeitig registrierenden Geophongruppen, auch Gesamtkanalanzahl



Bundesamt für Strahlenschutz

## Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 27 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

Zugrunde gelegt wurde ein orthogonales Messsystem, da dieses im Vergleich zu radialsymmetrischen oder ähnlichen Aufstellungen erfahrungsgemäß die gleichmäßigste Verteilung der relevanten Parameter ergibt. Außerdem ist laut der Erkundung vor Ort nicht mit weit reichenden Zugangsbeschränkungen zu rechnen, die eine besondere Aufstellung erfordern würden.

Die Konfigurationen 1 bis 8 sowie 11 und 13 sind dafür ausgelegt, möglichst kleinräumige Strukturen sowohl in Streichrichtung der Struktur als auch senkrecht dazu zu erfassen. Dabei werden durch kleinere Linienabstände der minimale Offset und die oberflächennahe Überdeckung verbessert, aber gleichzeitig der Messaufwand erhöht. Größere Linienabstände haben den umgekehrten Effekt.

Die Konfigurationen 12 und 14 verringern durch größere Bins den Messaufwand erheblich, Konfiguration 9 stellt insofern einen Kompromiss dar, als die größeren Bins nur in Streichrichtung, in der weniger Strukturänderung erwartet wird, erlaubt werden. Trotzdem können gegenüber Konfiguration 1 ca. 60 % der Anregungspunkte eingespart werden.

Der 3D-Überdeckungsgrad stellt bei keiner der hier vorgestellten Messanordnungen ein Problem dar.

 Bundesamt für Strahlenschutz				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>				 <b>Geophysik GGD</b>		Seite: 28 von 95									
										<table border="1"> <thead> <tr> <th>Projekt</th> <th>PSP-Element</th> <th>Aufgabe</th> <th>UA</th> <th>Lfd. Nr.</th> <th>Rev.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NAAN</td> <td>NNNNNNNNNN</td> <td>AAAA</td> <td>AA</td> <td>NNNN</td> <td>NN</td> </tr> <tr> <td>9A</td> <td>22121000</td> <td>HF</td> <td>RB</td> <td>0003</td> <td>00</td> </tr> </tbody> </table>	Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.														
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN														
9A	22121000	HF	RB	0003	00														

## 4 DETAILLIERTE UNTERSUCHUNGEN VON VIER AUSGEWÄHLTEN MESSKONFIGURATIONEN

Aus den vorgeschlagenen Messkonfigurationen wurden in Absprache mit dem AG vier Konfigurationen ausgewählt, deren Offset- und Azimutverteilungen analysiert und die anhand detaillierter Modellierungen weiter untersucht wurden, um schließlich eine Messkonfiguration zu empfehlen. Dabei wurden die Konfigurationen 1, 3, 9 und 14 (in Anhang 3 graugrün unterlegt) ausgewählt, deren unterschiedliche Binabmessungen den vorgegebenen Wertebereich von 5 m bis 10 m komplett abdecken, so dass die kleinste Bingröße (d.h. größte laterale Auflösung), die größte Bingröße (effizientere Messabwicklung) und mögliche Zwischenlösungen repräsentiert sind.

### 4.1 ANALYSE VON OFFSET- UND AZIMUTVERTEILUNGEN

Die Unterschiede der vier ausgewählten Messkonfigurationen wurden durch Analysen mit Hilfe des Programmpaketes MESA näher untersucht. Neben der Überdeckung können damit insbesondere die Verteilungen von Offset und Azimut detailliert analysiert werden. Die Bedeutung des Offsets wurde bereits in Kapitel 3.3 diskutiert. Dabei wurde deutlich gemacht, dass in jedem Bin Spuren mit kleinem und großem Offset möglichst gleichmäßig vertreten sein sollten. Für die lagegerechte Abbildung von Strukturen, insbesondere Störungen, ist bei der 3D-Seismik außerdem die Überdeckung der Strukturen mit Messstrahlen aus möglichst vielen unterschiedlichen Richtungen bzw. Winkeln (Azimut) notwendig. Hier liegt der Vorteil der 3D-Seismik gegenüber der 2D-Seismik nur, wenn die Azimutverteilung gleichmäßig ist und keine deutliche Vorzugsrichtung anzeigt.

Für die vier Konfigurationen wurden die Ergebnisse der MESA-Analysen in jeweils neun Abbildungen dargestellt. Diese neun Abbildungen zeigen jeweils:

- die Anordnung von Anregungs- und Empfangspunkten (Anhänge 5.1, 6.1, 7.1, 8.1),
- die nominale Überdeckung des Messgebietes (Anhänge 5.2, 6.2, 7.2, 8.2),
- den Überdeckungsgrad für Offsets < 300 m (d.h. für die oberflächennahe Erkundung) in einem Ausschnitt, der repräsentativ für das Messgebiet ist (Anhänge 5.3, 6.3, 7.3, 8.3),
- den Überdeckungsgrad für Offsets < 700 m in einem Ausschnitt, der repräsentativ für das Messgebiet ist (Anhänge 5.4, 6.4, 7.4, 8.4),
- die Verteilung des größten Minimaloffsets (Maß für die flachste zu erkundende Schicht) in einem Ausschnitt, der repräsentativ für das Messgebiet ist (Anhänge 5.5, 6.5, 7.5, 8.5),
- die prozentuale Offsetverteilung aller aufgenommenen Spuren (Anhänge 5.6, 6.6, 7.6, 8.6),
- die prozentuale Verteilung des Überdeckungsgrades pro Offsetintervall (50 m) (Anhänge 5.7, 6.7, 7.7, 8.7),
- die Offset- und Azimutverteilung pro Bin in einem Ausschnitt, der repräsentativ für das Messgebiet ist („Spiderdiagramm“) (Anhänge 5.8, 6.8, 7.8, 8.8) und
- die prozentuale Offset- und Azimutverteilung („Rosediagramm“) (Anhänge 5.9, 6.9, 7.9, 8.9).



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 29 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

In den Anhängen 5.1, 6.1, 7.1 und 8.1 ist für jede Messkonfiguration die Anordnung von Anregungs- und Empfängerpunkten dargestellt. Mit Hilfe der unterlegten Karte ist die Ausdehnung des Messgebietes ersichtlich. Außerdem gibt die Abbildung einen groben Überblick, welche Ortschaften, Waldgebiete, Felder etc. von der Messfläche betroffen sind.

Die Darstellung der nominalen Überdeckung in den Anhängen 5.2, 6.2, 7.2 und 8.2 bestätigt, dass mit allen Messkonfigurationen eine sehr große nominale Überdeckung (zwischen 240 und 400) erreicht wird. Für die Zielstellung der geplanten Messungen, die Abbildung von Strukturen in den oberen 200 m bis 300 m, ist die Darstellung des Überdeckungsgrades für Offsets < 300 m,  $C_{sh}$ , relevant (Anhänge 5.3, 6.3, 7.3 und 8.3). Diese Überdeckung wird jeweils in einem Ausschnitt der Messfläche für jedes Bin gezeigt, da sich das im Ausschnitt erkennbare Muster regelmäßig über die gesamte Messfläche wiederholt. Die Mindestüberdeckung beträgt 16 im Fall der Konfiguration 1. Aus der grafischen Darstellung geht aber zusätzlich hervor, dass die in der Tabelle in Anhang 3 angegebenen Werte für  $C_{sh}$  jeweils nur die Mindestwerte für einen kleinen Anteil der Bins sind. In dem weitaus größeren Teil der Bins liegt die offsetbeschränkte Überdeckung bei jeweils höheren Werten. In der Tabelle ist deshalb der durchschnittliche Wert zusätzlich als  $\bar{C}_{sh}$  angegeben. Die Konfigurationen 1, 3 und 9 erreichen in dieser Reihenfolge hier gute Werte größer als 10. Damit ist auch bei mehrfach fehlenden Spuren in einem Bin, wie sie beispielsweise durch eine fehlerhafte Spur oder durch Versetzung eines Anregungspunktes wegen Bebauung o.ä. hervorgerufen werden kann, jederzeit eine ausreichende Überdeckung gewährleistet. Eine ähnliche Darstellung zeigen die Anhänge 5.4, 6.4, 7.4 und 8.4, in denen lediglich der Offsetbereich auf 700 m vergrößert wurde. Für die entsprechenden Zieltiefen bis ca. 800 m werden für die Messkonfigurationen 1, 3 und 9 bereits sehr hohe Mindestüberdeckungen erreicht (zwischen 56 und 83). Auch die Konfiguration 14 weist noch einen guten Wert für die 3D-Überdeckung auf.

Durch die unterschiedlichen Punkt- und Linienabstände variieren die Messkonfigurationen bezüglich des minimalen Offsets  $X_{min}$  innerhalb eines Bins. Die Verteilung dieses Parameters über einen Teil der Messfläche zeigt für jede Konfiguration ein charakteristisches Muster (Anhänge 5.5, 6.5, 7.5 und 8.5). Entscheidend ist, welchen Wert der Minimaloffset  $X_{min}$  maximal erreicht und wie häufig, oder besser wie selten, dieser Maximalwert in der Fläche auftritt. Der Maximalwert wurde bereits in Anhang 3 angegeben, die Verteilung in der Fläche ist bei kleinen Binsgrößen (Konfiguration 1) und symmetrischen Binsgrößen (Konfiguration 3) offensichtlich insofern besser, als der Maximalwert seltener erreicht wird.

Eine homogene Offset- und Azimutverteilung bietet die Grundlage für eine optimale Geschwindigkeitsbestimmung ohne Über- bzw. Unterbetonung eines individuellen Azimuts. Sie ist ebenso günstig für die Erfordernisse der Multiplenunterdrückung und der Strukturabbildung. Darstellungen zu Offset- und Azimutverteilung finden sich in den Anhängen 5.6-5.9, 6.6-6.9, 7.6-7.9 und 8.6-8.9.

Die Offset- und Überdeckungsverteilung der gesamten Konfiguration wird in den Offsethistogrammen (Anhänge 5.6, 6.6, 7.6 und 8.6) und den Offset-Fold-Diagrammen (Anhänge 5.7, 6.7, 7.7 und 8.7) dargestellt. In den Offsethistogrammen ist die Offsetverteilung in Intervallen von 50 m dargestellt. Während die meisten Offsets bei Konfiguration 1 zwischen ca. 400 m und ca. 500 m liegen, verschiebt sich dieses Maximum mit zunehmendem Punkt- und Linienabstand naturgemäß zu größeren Werten (unter 600 m bei Konfiguration 3, 600 m bis 650 m bei Konfiguration 9 und fast 800 m bei Konfiguration 14). Ähnlich verhält es sich mit dem prozentualen Anteil der Offsets < 300 m für die Abbildung der oberflächennahen Strukturen. Dieser Anteil wird mit zunehmenden Linienabständen geringer. Für die Konfigurationen 3 und 9 ergeben sich sehr ähnliche prozentuale Anteile der Offsets < 300 m, wobei sie bei Konfiguration 3 geringfügig höher liegen. Der Vergleich dieser Abbildungen verdeutlicht somit den Vorteil der geringeren Linienabstände. In den Offset-Fold-Diagrammen ist die Offsetachse ebenfalls in 50-m-Intervalle aufgeteilt. Für jedes dieser Intervalle ist dargestellt, in wievielen Prozent aller Bins das jeweilige Offsetintervall mit der jeweiligen Überdeckung vertreten ist. Bei Messkonfiguration 14 zeigt sich beispielsweise, dass eine vierfache



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 30 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

Überdeckung der Bins erst in den Offsetintervallen zwischen 200 m und 300 m erreicht wird. In dem Offsetintervall zwischen 250 m und 300 m wird für Konfiguration 1 bereits eine Überdeckung von 9fach erreicht. Entsprechend ihren mittleren Punkt- und Linienabständen erreichen Konfiguration 3 in diesem Offsetintervall eine bis zu 6fache und Konfiguration 9 eine bis zu 5fache Überdeckung. Diese Diagramme untermauern nochmals die Vorteile der engeren Punkt- bzw. Linienabstände für die höhere Überdeckung im nahen Offset.

In den Anhängen 5.8, 6.8, 7.8 und 8.8 ist jeweils in einem Ausschnitt die binweise Verteilung von Azimut und Überdeckung dargestellt. Jedes Quadrat stellt ein Bin dar, jeder Strich in dem Quadrat repräsentiert eine vorhandene Spur. Die Richtung des Strichs zeigt den Azimut, seine Länge und Farbe zeigen den Offset an (Spiderdiagramm). Da sich die Verteilung des gezeigten Musters bei der regelmäßigen Anordnung von Anregungs- und Empfängerpunkten über die gesamte Messfläche wiederholt, ist es für die Bewertung ausreichend, einen kleinen Ausschnitt zu betrachten. Aus den einzelnen Grafiken lässt sich ablesen, dass in jedem Bin alle Richtungen sehr häufig vertreten sind. Die gleichmäßige Verteilung von Offsets lässt sich dagegen in dieser Darstellung nicht im Detail erkennen. Die Anordnung der Messlinien mit langen Geophonlinien in etwa Nordost-Südwest verlaufender Richtung spiegelt sich in den vergleichsweise großen Offsetwerten in dieser Richtung (senkrecht zum Streichen der Struktur) wider. In Nordwest-Südost-Richtung, parallel zum Streichen, sind die großen Offsets nicht notwendig. Der Vergleich der Konfigurationen 1 und 14 zeigt auffällig den Unterschied von Faktor 4 in der Bingröße. Aus dem Vergleich der Konfigurationen 3 und 9 wird anschaulich, dass Konfiguration 9 in inline-Richtung (SW-NO) und Konfiguration 3 in crossline-Richtung (NW-SO) mehr Bins aufweist. Damit ermöglicht Konfiguration 3 eine bessere laterale Lokalisierung senkrecht zur Streichrichtung, also z.B. von Querstörungen. Konfiguration 9 ermöglicht entsprechend eine bessere laterale Lokalisierung von Strukturen in Streichrichtung.

Die Rose-Diagramme (Anhänge 5.9, 6.9, 7.9 und 8.9) stellen die Verteilung von Offset und Azimut aller Bins des Messgebietes dar. Dabei werden Offsetintervalle (100 m) entlang des Radius aufgetragen, der Azimut durch den entsprechenden Winkel (in 5°-Intervallen) mit der Nordrichtung angezeigt. Auf diese Weise repräsentiert jedes Kreissegment sowohl einen Offset- als auch einen Azimutwert. Der dargestellte Prozentwert zeigt an, in wieviel Prozent aller Bins die jeweilige Offset-Azimut-Kombination vertreten ist. Im Idealfall sollten also alle Kreissegmente die gleiche Farbe aufweisen, damit eine absolut gleichmäßige Verteilung von Offset und Azimut über alle Bins erreicht wird. Tatsächlich zeigen alle Rosediagramme eine Zunahme der Spuranzahlen nach außen, also zu den größeren Offsets hin. Das bedeutet, dass die großen Offsets gegenüber einer Idealverteilung zu stark vertreten sind. Dieser Effekt beruht auf der gleichzeitigen Verwendung sehr großer Offsets und kleiner Bingrößen und ist deshalb bei den kleinsten Bingrößen (Konfiguration 1) am stärksten ausgeprägt. Die Verwendung von sehr großen Offsets und kleinen Bins ist aber aus anderen Gründen (steile Flanken, oberflächennahe Abbildung) gewollt, so dass diese Unregelmäßigkeiten in der Offsetverteilung in Kauf genommen werden kann. In radialer Richtung zeigen alle Rosediagramme bei kleinen und mittleren Offsets jeweils eine fast gleichmäßige Farbe (bis auf die ganz außen gelegenen Kreissegmente). Das bedeutet, dass in diesem Bereich bei gegebenem Offset alle Richtungen gleichmäßig vertreten sind. Bei den großen Offsets sind dagegen die inline-Richtungen gegenüber anderen Richtungen bevorzugt. Auch dieser Effekt verstärkt sich bei kleineren Bingrößen. Die Rosediagramme belegen, dass alle Konfigurationen insbesondere im nahen bis mittleren Offsetbereich (bis ca. 1400 m) eine gleichmäßige Richtungsüberdeckung erzeugen.

Die detaillierten Analysen bestätigen, dass die untersuchten Konfigurationen unterschiedliche Abbildungsqualität in dem für die Untersuchungen wichtigen oberen 200 m erwarten lassen. Dabei ermöglichen Konfiguration 1 die besten und Konfiguration 14 die mit Abstand schlechtesten Ergebnisse. Dazwischen liegen die Konfigurationen 3 und 9, wobei Konfiguration 3 wegen der etwas höheren oberflächennahen Überdeckung Vorteile hat.

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>					
Bundesamt für Strahlenschutz									
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 31 von 95		
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011		
9A	22121000	HF	RB	0003	00				

## 4.2 MODELLIERUNG VON SYNTHETISCHEN 3D-SEISMISCHEN DATEN

Zur weiteren Analyse wurden für ein detailliertes dreidimensionales geologisches Modell synthetische 3D-seismische Datenvolumen für die vier Messkonfigurationen 1, 3, 9 und 14 berechnet und reflexionsseismisch bearbeitet.

### 4.2.1 Erstellung des geologischen Modells

Für die Erstellung eines für die Berechnung synthetischer Seismogramme geeigneten geologischen Schichtmodells der Asse-Struktur wurden vom Auftraggeber Informationen in Form von geologischen Vertikalschnitten und Horizontalrissen zur Verfügung gestellt. Diese Schnitte und Risse beschränken sich auf ein zentrales Gebiet um die Schachanlage Asse II von rund 1,5 km<sup>2</sup>, wobei zwei Vertikalschnitte etwa 3 km nach Südwesten und Nordosten über dieses Gebiet hinausgehen.

Die Oberfläche des zu modellierenden Raumes muss quadratisch sein und die um 35° gegen die Nordrichtung gedrehte geplante Messfläche vollständig einschließen. Die Oberfläche des Modellraumes beträgt deshalb rund 48,5 km<sup>2</sup> (im Vergleich zu 17 km<sup>2</sup> der Messfläche). In diesem Raum müssen alle zu modellierenden Schichten definiert sein. Dazu wurden Tiefengrids aus Daten von [8] (nachfolgend Geotektonischer Atlas genannt) für alle dort verfügbaren Schichten erzeugt. Im Einzelnen waren das:

- Basis Marine Unterkreide (= Top Jura)
- Basis Lias (= Top Oberer Keuper)
- Basis Keuper (= Top Oberer Muschelkalk 2)
- Basis Röt und Muschelkalk (= Top Mittlerer Buntsandstein, z.T. auch Top Salz)
- Basis Unterer und Mittlerer Buntsandstein (= Top Salz)
- Basis Zechstein (= Top Rotliegend)

Für die zwischen diesen Schichten liegenden geologischen Grenzen wurden mit Hilfe von mittleren Schichtmächtigkeiten – abgeleitet aus den Bohrungen Remlingen 5, 6 und 8 sowie den Vertikalschnitten – konkordante Tiefengrids berechnet. Diese Berechnung erfolgte nicht über eine rein vertikale Verschiebung der Tiefendaten, sondern über eine Verschiebung entlang der Flächennormalen an jedem Gitterpunkt der Grids. Dadurch blieb die Schichtmächtigkeit auch bei geneigten Schichtgrenzen erhalten.

Die Polygonlinien der Schichtgrenzen aus den geologischen Horizontalrissen im DXF-Format wurden als xyz-Wertepaare ausgegeben und der jeweiligen geologischen Schicht zugeordnet. Zum Teil doppelt vorhandene Linien mussten hierbei von Hand gelöscht werden. Die verkürzten Koordinatenpaare der Datenpunkte wurden auf exakte GK4-Koordinaten umgerechnet.

Für die Vertikalschnitte mussten die Schichten einzeln und interaktiv aus den DXF-Dateien extrahiert und danach die Blattkoordinaten dieser Grenzen in GK4-Koordinaten umgerechnet werden. Anschließend wurden alle so gewonnen xyz-Daten einer geologischen Grenze zusammengefügt, dazu Hauptstörungen erstellt und ein Grid erzeugt.

Beim Zusammensetzen der Grids aus dem Geotektonischen Atlas und den Schnitten bzw. Rissen ergaben sich zum Teil erhebliche Tiefenabweichungen zwischen beiden Informationsquellen. Dies ist auf die viel gröbere Datendichte (Datenpunktabstand 150 m x 150 m) im Geotektonischen Atlas und die unterschiedliche Datengrundlage beider Quellen zurückzuführen. Für die Erstellung des Schichtmodells resultiert diese Tiefenabweichung darin, dass Tiefeninformationen aus dem Geotektonischen Atlas nur an

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>					
Bundesamt für Strahlenschutz									
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 32 von 95		
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011		
9A	22121000	HF	RB	0003	00				

einigen ausgewählten Stützstellen extrahiert und anschließend zusammen mit den xyz-Daten und Hauptstörungen aus den DXF-Dateien zu einem Grid verrechnet wurden.

Für Bereiche, an denen Schichtgrenzen an der Erdoberfläche austreten, wurden die Tiefenwerte durch die Werte der Geländehöhe bzw. durch +500 m ersetzt. In der Modellrechnung sind diese Schichten dann dort nicht vorhanden.

Für die Berechnung der Grids wurde die Minimum Curvature Methode benutzt. Dieser Algorithmus bietet die Möglichkeit, Störungen in Grids einzuarbeiten. Gleichzeitig erzeugt er eine weitgehend glatte Oberfläche für ein Grid. Anschaulich betrachtet erstellt diese Methode das Grid mit Hilfe vieler kleiner, elastischer Platten, die durch die Datenpunkte gelegt werden und mit einem Minimum an Spannung verbogen werden, um an benachbarte Datenpunkte angepasst zu werden.

Im Bereich der Daten aus den DXF-Dateien stimmt das Grid-Modell gut mit den Horizontalrissen und Vertikalschnitten überein. Die Hauptstörungen wurden eingearbeitet. Außerhalb dieses Bereiches ist das Modell nur eine Extrapolation und lehnt sich an den allgemeinen Strukturverlauf an (Daten aus dem Geotektonischen Atlas). Aufgrund der fehlenden exakten Tiefeninformationen außerhalb des Bereiches der DXF-Dateien kann hier kein genaueres Modell erstellt werden.

Ein beispielhafter Schnitt durch das geologische Modell ist in Anhang 9 dargestellt. Der Schnitt verläuft senkrecht zur Strukturachse, also etwa in Richtung Südwest-Nordost, über den Schacht 2. Die Farben der einzelnen Schichten entsprechen dem in Tabelle 1 (S. 15) angegebenen Farbcode.

Für die Berechnung synthetischer Seismogramme wurden den Tiefengrids der einzelnen geologischen Schichten P-Wellengeschwindigkeit sowie Dichte zugeordnet. Eine Übersicht über die im Modell enthaltenen Schichten sowie ihre physikalischen Parameter ist in Tabelle 1 gegeben.

## 4.2.2 Berechnung synthetischer seismischer Daten

Die Berechnung der synthetischen 3D-seismischen Daten wurde mit dem Programm *OMNI 3D 10.0 Workshop* durchgeführt. Das Programm verwendet einen strahlenseismischen Algorithmus zur Berechnung von Reflexionslaufzeiten, die dann mit einem seismischen Wavelet durch eine mathematische Faltung zu seismischen Spuren transformiert werden. Diese Spuren werden im seismischen Standardformat SEG-Y gespeichert. Mit diesem Verfahren können Reflexionslaufzeiten für ein gegebenes Modell (Schichten, Geschwindigkeiten) und beliebige Anregungs- und Empfangspunkte berechnet und somit die geplante Messung simuliert werden. Andere Modellierungsprogramme, die einen Finite-Differenzen- (FD-) bzw. Finite Elemente- (FE-) Algorithmus verwenden, simulieren außer den Reflexionslaufzeiten auch refraktierte bzw. konvertierte Wellen sowie deren Amplituden, da sie auf einer numerischen Lösung der Wellengleichung beruhen. Diese Modellierungen sind jedoch um Größenordnungen aufwändiger, was sowohl die Kosten für Hard- und Software als auch die benötigte Rechenzeit betrifft (für den hier zu simulierenden Datensatz wäre ein Cluster mit einigen Dutzend Kernen notwendig, das pro Datensatz mehrere Tage Rechenzeit benötigt). Ein derartiger Aufwand war im Rahmen dieser Studie nicht zu realisieren. Die Berechnung der synthetischen Datensätze konnte deshalb nicht wie ursprünglich angestrebt dazu dienen, den realen Datensatz zu simulieren, sondern nur um Unterschiede zwischen den zu erwartenden Resultaten der vier Konfigurationen nachvollziehen zu können.

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>					
Bundesamt für Strahlenschutz									
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 33 von 95		
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011		
9A	22121000	HF	RB	0003	00				

### 4.2.3 Bearbeitung der synthetischen seismischen Daten

Die Bearbeitung („Processing“) der synthetischen reflexionsseismischen Daten erfolgte mit dem Processingprogramm ProMAX3D und beinhaltete folgende Arbeitsschritte:

- Einladen der Daten
- Einladen der Geometrie
- Erstellen der Datenbasis, des CMP-grids und Geometriekontrolle
- Addition von Störsignalen (Oberflächenwellen, zufällige Störsignale)
- Frequenz- und f-k-Filterung
- Muting des Ersteinsatzes
- Geschwindigkeitsanalyse
- NMO-Korrektur
- Stapelung
- 3D Zeitmigration

Bei der detaillierten Analyse der Ergebnisse stellte sich heraus, dass der Modellierungsalgorithmus der *OMNI* Software offensichtlich für jede Kombination von Anregungs- und Empfangspunkt pro Reflexionshorizont nur eine Reflexionszeit berechnet. Damit werden die in Kapitel 3.3 dargestellten Laufwege, die durch Reflexionen von lateral weit entfernt liegenden steilen Reflektoren stammen, nicht oder nur unvollständig simuliert. Im Ergebnis zeigt sich dieses daran, dass die Struktur der Salzstruktur mit den geneigten Flanken bereits nach der Stapelung fast lagerichtig abgebildet wird, obwohl dieses eigentlich eine Migration der Daten erfordern würde. Die Migration wurde zwar zusätzlich berechnet, wird aber hier nicht weiter diskutiert, da sie konsequenterweise die in der Stapelung lagerichtig abgebildeten Flanken in eine falsche Position migriert.

Aus diesem Grund sowie wegen der in Kapitel 4.2.2 und in Kapitel 4.2.4 genannten Einschränkungen sind als Ergebnis der Modellierungen keine vollständig der Realität entsprechenden Datensätze zu erwarten, sondern synthetische Datensätze, anhand derer Vor- und Nachteile der Messkonfigurationen nachvollzogen werden können.

Aus jedem der vier Datenvolumina wurde jeweils ein Profilschnitt zur Veranschaulichung und zum Vergleich der Modellierungsergebnisse extrahiert. Diese Schnitte verlaufen jeweils inline (also etwa Südwest-Nordost) über den Schacht 2 der Schachanlage und entsprechen dem in Anhang 9 gezeigten Schnitt durch das geologische Modell. Die Profilschnitte aus den synthetischen seismischen Daten sind in Anhang 10 bis Anhang 13 dargestellt.

### 4.2.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Modellierung synthetischer 3D-seismischer Daten sind nur in sehr begrenztem Ausmaß mit realen Daten, also dem tatsächlichen Ergebnis der geplanten Messungen, vergleichbar. Die Abbildungsqualität der Horizonte ist naturgemäß im Fall theoretischer Datensätze ungleich besser als in realen Datensätzen. Das liegt vor allem an folgenden Unterschieden:

- Noise-Pegel und Oberflächenwellen wie in den realen Daten sind nicht vollständig zu modellieren
- Die Korrektur der Topografie und Verwitterungsschicht durch statische und reststatische Korrekturen ist im realen Datensatz nicht so gut möglich wie im Modell



Bundesamt für Strahlenschutz

## Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 34 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

Den synthetischen Daten wurden zwar Störsignale hinzugefügt und ihre unvollständige Unterdrückung in der Bearbeitung simuliert. Der spätere Einfluss dieser Störwellen (insbesondere Oberflächenwellen) ist aber von vielen, auch räumlich variablen Faktoren abhängig, so dass die Möglichkeit, die Störwellen durch die Bearbeitung zu unterdrücken, nicht korrekt abschätzbar ist. Das betrifft insbesondere den wichtigen oberflächennahen Bereich und den Einfluss von Oberflächenwellen. Aus diesen Gründen und aufgrund der im vorhergehenden Kapitel beschriebenen unvollständigen Modellierung und der Lageproblematik ist allenfalls der Vergleich der verschiedenen modellierten Datensätze untereinander zur Ergebnisbewertung relevant.

Die Analyse der in Anhang 10 bis Anhang 13 dargestellten synthetischen Profilschnitte ergibt folgende Resultate:

- Außerhalb der Salzstruktur sind keine Unterschiede in der Abbildungsqualität zwischen den Konfigurationen zu erkennen.
- Die vier Konfigurationen bilden die Südflanke der Salzstruktur (ca. Profilmeter 2500 bis 3500) unterschiedlich gut ab: Bei Konfiguration 1 ist der Flankenverlauf fast vollständig erkennbar, wenn auch im steilsten Bereich das Signal sehr schwach ist. Die Abbildungsqualität dieser Flanke nimmt dagegen in den Konfigurationen 9, 14, 3 in dieser Reihenfolge ab. Dass Konfiguration 14 hier trotz größerer Bins besser abschneidet als Konfiguration 3 kann nur auf die Eigenschaften der synthetischen Störwellen (Oberflächenwellen) zurückgeführt werden. Frequenz und Geschwindigkeit (und damit Wellenlänge) dieser Oberflächenwellen beruhen jedoch ebenso wie ihre unvollständige Beseitigung auf Annahmen, die der Realität nicht unbedingt entsprechen müssen.
- Die Nordflanke (ca. Profilmeter 4000 bis über 5000) ist in allen Modellierungen komplett zu verfolgen, wobei die entsprechende Reflexion wiederum in Konfiguration 1 am deutlichsten ist und in der Reihenfolge 9, 3, 14 entsprechend der Binsgröße in inline-Richtung unschärfer wird.
- Die Qualität der Abbildung im Bereich der Salzstruktur ist bei den engeren Abständen ebenfalls wie erwartet besser. Das betrifft sowohl die Reflexionen vom Top der Salzstruktur bzw. vom Hutgestein (ca. Profilmeter 3500 bis 4000, Laufzeiten < 100 ms) als auch die tiefen Reflexionen, z.B. des Rotliegend mit einer markanten Störung unter der Salzstruktur (Profilmeter 4200, Laufzeit 900 ms).
- Die seismischen Schnitte zeigen im Zeitbereich den für Salzstrukturen typischen „pull up“-Effekt: Reflexionen von unterhalb der Salzschieben erscheinen in diesem Bereich „nach oben gezogen“ (z.B. Rotliegend unterhalb der Salzschieben bei ca. 0,9 s Zweiweglaufzeit, nach Nordwesten zu Profilmeter 6000 bis auf ca. 1,2 s abtauchend). Dieser Effekt beruht lediglich auf der im Salzgestein vorherrschenden vergleichsweise hohen seismischen Geschwindigkeit, die zu einer kleineren Reflexionslaufzeit eines Horizontes führt als außerhalb von Salzgesteinsschichten.
- Die verbesserte Darstellung durch eine kleinere Binsgröße und damit mehr Spuren pro Linie (engerer CMP-Abstand) wird im Vergleich der wiggle-Darstellungen (Anhang 14 und Anhang 15) deutlich.

Zusammenfassend ist zu betonen, dass die bei dieser Studie durchgeführten synthetischen 3D-Modellierungen keinen sehr realistischen Eindruck von der zu erwartenden Datenqualität und dem entsprechenden Informationsgewinn der 3D-Seismik vermitteln können. Im Vergleich zu den existierenden 2D-Profilen scheint das aus dem 3D-Datensatz extrahierte Profil sogar weniger Information von der besonders steilen Südflanke zu liefern. Das liegt aber nicht daran, dass die Messfläche der 3D-Seismik zu klein wäre (s. Kap. 3.3 und 3.4) oder die 3D-Seismik tatsächlich eine schlechtere Abbildung liefert, sondern an dem oben beschriebenen 3D-raytracing-Algorithmus, der Reflexionen von steil stehenden Strukturen nicht oder nur unvollständig modelliert. Dieser Effekt kommt im Wesentlichen an der Südflanke, die die



Bundesamt für Strahlenschutz

## Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 35 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

größte Neigung in dem geologischen Modell aufweist, zur Geltung. Dagegen zeigen Erfahrungen mit realen 2D- und 3D-seismischen Datensätzen, die in ein und demselben Messgebiet aufgenommen wurden, dass mit der 3D-Seismik grundsätzlich eine bessere Abbildungsqualität und höhere Genauigkeit erreicht werden können. Da die Ergebnisse der synthetischen Modellierungen bezüglich der Abbildung der Flanken offensichtlich mit großen Unsicherheiten versehen sind, werden sie in der entsprechenden Bewertung (Tabelle 6) nur nachgeordnet berücksichtigt.

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>					
Bundesamt für Strahlenschutz									
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 36 von 95		
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN				
9A	22121000	HF	RB	0003	00		Stand: 28.01.2011		

## 5 PRE-PERMIT

Im Rahmen der Vorplanung wurden in enger Zusammenarbeit mit dem BfS umfangreiche Maßnahmen zur Vorbereitung der Messungen durchgeführt. Dabei stand die Absicht im Vordergrund, möglichst viele betroffene Behörden, Verbänden und Personen zu informieren und die Einholung von Erlaubnissen bzw. Genehmigungen für die geplanten Arbeiten vorzubereiten (Pre-Permit). In einer FFH-Verträglichkeitsstudie [9] wurden die infolge der Ausführung der 3D-seismischen Messungen zu erwartenden Einwirkungen auf Flora und Fauna bewertet.

### 5.1 DURCHFÜHRUNG DER PRE-PERMITARBEITEN

Die Arbeiten vor Ort wurden zwischen dem 17.05.2010 und dem 15.06.2010 durchgeführt. Sie umfassten die Kontaktaufnahme und Gespräche mit ca. 30 Institutionen und Personen in den drei betroffenen Samtgemeinden (Bürgermeister, Feldinteressentschaften, Forstgenossenschaften, ev.-luth. Landeskirche, Bauernverband etc.) und mit landesweit tätigen Behörden. Ferner wurden Zuarbeiten für die Erstellung von Informationsmaterial geleistet und an einer Informationsveranstaltung in Remlingen teilgenommen. Bei den einzelnen Gesprächen wurde jeweils eine Karte mit der Begrenzung des geplanten Messgebiets vorgelegt und die ungefähre Zeitdauer für die seismischen Messungen (ca. 10 Wochen) genannt.

### 5.2 ERGEBNIS DER PRE-PERMITARBEITEN

Im Ergebnis liegt eine interne Liste mit Ansprechpartnern verschiedener Institutionen (z.B. Samtgemeinden, Feldinteressentschaften, Landeskirche, Landwirtschaftskammer, Landkreis Wolfenbüttel etc.) vor. Alle Gesprächspartner sind in einer Adressentabelle dokumentiert. Die wesentlichen Flächen im geplanten Messgebiet werden von Angehörigen der Feld- bzw. Forstinteressentschaften bzw. Eigentümern bewirtschaftet. Kleinere Flächen gehören zum einen den nicht in den Feldinteressentschaften organisierten Landwirten und zum anderen Haus- und Grundbesitzern in den betroffenen Ortschaften. Die in Anhang 1 dargestellte Messfläche schließt die Ortschaften Groß Vahlberg, Klein Biewende, Mönchevahlberg, Remlingen und Wittmar ein und betrifft ca. 1100 Eigentümer. Die Bewohner wurden bisher lediglich über die geplanten Messungen informiert, aber noch keine Vorabsprachen getroffen, da der Termin für die Messungen und der genaue Verlauf der Messlinien noch nicht feststehen. Bei den meisten der angesprochenen Institutionen und Privat-Personen ergab sich eine mündliche Zustimmung bzw. positive Einstellung zu den geplanten seismischen Messungen. Der angedachte Zeitraum über den Jahreswechsel 2011/2012 wurde für sinnvoll erachtet. Von Seiten der Behörden ist mit keinen grundsätzlichen Einschränkungen, weder für die Verwendung von Vibratoren noch von Bohrgeräten und Sprengstoff, zu rechnen. Möglicherweise werden zwei bis drei größere Flächen im Zentrum des Messgebiets von den zuständigen Eigentümern nicht freigegeben. In diesem Fall würde das gesamte Seismik-Projekt wegen der nicht mehr zu erreichenden Erkundungsziele in Frage gestellt. Für die vorliegende Vorplanung sind insgesamt keine Ausfälle wegen fehlender Genehmigungen berücksichtigt.

### 5.3 DIE FFH-VERTRÄGLICHKEITSSTUDIE

Da sich im Untersuchungsgebiet das FFH-Gebiet 3829-309 Asse befindet, ist für die Durchführung der geplanten Messungen eine FFH-Verträglichkeitsprüfung erforderlich. Der fachgutachterliche Teil dieser Prüfung, die FFH-Verträglichkeitsstudie, wurde von der Firma „*herbstreit Landschaftsarchitekten GmbH &*

				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>					
Bundesamt für Strahlenschutz									
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 37 von 95		
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011		
9A	22121000	HF	RB	0003	00				

Co. KG“, Hildesheim, im Auftrag des BfS erstellt [9]. Für die Durchführung der 3D-Seismik sind folgende Schlussfolgerungen der FFH-Verträglichkeitsstudie von Wichtigkeit:

1. Es werden in der Studie keine Gründe genannt, die die geplanten Messungen grundsätzlich in Frage stellen.

2. Für das 3D-seismische Messraster bzw. die Durchführung der Messungen werden Maßnahmen genannt, die die Einwirkung und Auswirkungen auf Vegetation, Boden und Fauna minimieren. Zu diesen Minderungsmaßnahmen zählen:

- die Ausführung der Messarbeiten im Winterhalbjahr, d.h. speziell im Zeitraum September bis Februar
- die Verwendung von Niederdruckreifen für schwere Fahrzeuge
- die Ausrichtung von Messpunkten nicht am starren Raster, sondern primär am Wegenetz
- Befahrens- oder Betretensbeschränkungen bzw. –verbote in „sensiblen Bereichen“ bzw. in „besonders sensiblen Bereichen“

Die Ausführung der Messarbeiten im Winterhalbjahr sowie die Verwendung von Fahrzeugen mit Niederdruckreifen können durch entsprechende Planung und Organisation realisiert werden. Für die Vorplanung sind dagegen nur die beiden letztgenannten Maßnahmen relevant. Die Ausrichtung von Messpunkten am Wegenetz entspricht dabei der gängigen Praxis bei der Durchführung von reflexionsseismischen Messungen. Dabei werden Anregungspunkte, wenn sie nicht wie geplant zugänglich sind, zunächst in inline-Richtung (also senkrecht zur Anregungslinie) bis zum nächsten Weg oder Straße verschoben. Allerdings ist ein Maximalwert für die seitliche Verschiebung nicht zu überschreiten. Wird durch diese Verschiebung kein Weg erreicht, kann auch noch eine Verschiebung in Crossline-Richtung erfolgen. Ist damit die Einrichtung eines Anregungspunktes für den Vibrator nicht möglich, kann die Anregung über Sprengung erfolgen, solange der Zugang mit einem Bohrgerät möglich ist. Auf diese Weise werden zwar Anregungspunkte verlegt, aber nicht komplett gestrichen. Für die Berechnung der in den Kapitel 0 beschriebenen Parameter ergeben sich aus diesem Verfahren zwar kleine Unregelmäßigkeiten, die aber bei dem geplanten Datenvolumen statistisch nicht signifikant sind.

Die in der FFH-Verträglichkeitsstudie ausgesprochenen Befahrens- und Betretensbeschränkungen gelten nur für Anregungspunkte und sind in einer entsprechenden Karte flächenmäßig eingetragen. Über diese Karte ist die Lage der Anregungspunkte der vom AN empfohlenen Messkonfiguration 3 gelegt worden (Anhang 16). Die in die sensiblen Bereiche fallenden Anregungspunkte sind mit einem Kreuz als Sprengpunkte gekennzeichnet, da diese Bereiche nicht befahren werden dürfen. Die besonders sensiblen Bereiche dürfen nur zur Auslage des Messkabels betreten werden. Die in diese Bereiche fallenden Anregungspunkte sind deshalb in der Karte entsprechend dem oben beschriebenen Verfahren aus diesen Bereichen verschoben worden. Je nach Zutrittsmöglichkeit der neuen Anregungslokation ist dort ein Punkt (für Vibratoranregung) oder ein Kreuz (für Sprenganregung) eingetragen. Drei Anregungspunkte können nicht in dieser Weise verschoben werden und müssen ausfallen. Dies ist nicht signifikant für die Vorplanung.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 38 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

## 6 EMPFEHLUNGEN, VORSCHLÄGE, FAZIT

Die Bewertungsgrößen Technischer Aufwand, Gesamtkosten und Zeit sind bisher nicht diskutiert worden, sind aber in eine vollständige vergleichende Bewertung mit einzubeziehen. Dazu sind folgende Anmerkungen (vgl. Anhang 3) zu machen:

### Technischer Aufwand

Der technische Aufwand für die verschiedenen Messkonfigurationen unterscheidet sich im Wesentlichen durch die Gesamtanzahl von Anregungs- und Empfangspunkten (*SP* und *RP*) sowie die Anzahl der aktiven Kanäle (*CHAN*). Eine größere Anzahl aktiver Kanäle ist dabei von doppelter Bedeutung: Erstens wird für den Aufbau der Messkabel mehr Material und mehr Personal (oder mehr Zeit) benötigt. Zweitens ist eine Auslage von z.B. 9600 Kanälen anfälliger gegen Störungen (intern durch Fehlfunktion oder durch äußere Einflüsse auf die Messkabel) als eine Auslage von z.B. 6400 Kanälen und ist damit aufwändiger zu betreiben.

### Gesamtkosten

Die Vorplanung beinhaltet keine konkreten Preisabfragen, sondern nur Kostenschätzungen auf Grundlage von an anderen Standorten ausgeführten 3D-seismischen Messungen. Die Gesamtkosten sind im Wesentlichen von der Anzahl der Anregungspunkte abhängig. Die Anzahl der aktiven Kanäle beeinflusst den Preis pro Anregungspunkt im Vergleich dazu nur geringfügig. Bei der Verwendung eines Vibrators wird ein Preis pro Anregungspunkt in der Größenordnung von 500 € bis 600 € geschätzt. Somit ergibt sich z. B. bei der Messkonfiguration 3 mit rund 14000 Anregungspunkten ein Akquisitionspreis zwischen 7 und 8,4 Mio. €. Für bis zu 10 % der Anregungspunkte könnte Sprenganregung erforderlich sein, deren Kosten pro Punkt auf ca. 600 € bis 800 € geschätzt werden (inkl. Erstellung der Bohrungen). Dazu kommen weitere Kosten (z.B. Permit, Mobilisationspauschale, Nahlinienmessungen, mögliche Stillstandzeiten, Datenbearbeitung und –interpretation), die zusammen noch einmal 10 % - 20 % des Akquisitionspreises ausmachen.

### Zeit

Die für die Durchführung der Messungen benötigte Zeit ist ebenfalls in erster Linie von der Anzahl der Anregungspunkte *SP* und sekundär von der Anzahl der aktiven Kanäle (*CHAN*) abhängig. Bei den geplanten kleinen Abständen können pro Tag durchschnittlich ca. 200 Anregungspunkte abgearbeitet werden. Dieser Wert ist lediglich ein Anhaltspunkt und kann leicht um 10 % oder mehr variieren. Bei größerer Kanalzahl ist z.B. zu erwarten, dass die Tagesproduktion etwas sinkt und sich damit die Gesamtmessdauer verlängert. Die Abschätzung der Messdauer wurde deshalb für die Konfiguration 1 von rechnerisch 20,8 Wochen (bei einer Tagesproduktion von 200) auf 22 Wochen und für Konfiguration 9 von 8,3 auf 9 Wochen erhöht. Die Abschätzung für Konfiguration 3 wurde wegen der deutlich geringeren Kanalzahl von rechnerisch 11,7 auf 11 und für die Konfiguration 14 von 7 auf 6 Wochen reduziert.

Tabelle 5: Übersicht der geschätzten Kosten und Messdauer.

Nr.	SP	ca. Akquisitionskosten in Mio. €		ca. Gesamtkosten in Mio. €		Messdauer in Wochen
		von	bis	von	bis	
1	25000	12.5	15.0	14.0	17.1	22
3	14040	7.0	8.4	7.9	9.6	11
9	9928	5.0	6.0	5.6	6.8	9
14	8400	4.2	5.0	4.7	5.7	6



Bundesamt für Strahlenschutz

## Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 39 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

Die Erkenntnisse der obigen Analysen und Vergleiche sind in der folgenden Tabelle 6 vereinfacht zusammengefasst. Dabei repräsentieren ++ bzw. + eine sehr gute bzw. gute, o eine mittelmäßige und – bzw. -- eine schlechte bzw. sehr schlechte Bewertung und sind als relative Unterschiede zwischen den Konfigurationen zu verstehen. Bezüglich Auflösung und Genauigkeit können sie im Rahmen der prinzipiellen Erkundungsmöglichkeiten 3D-seismischer Messungen aber auch als absolut angesehen werden: Konfiguration 1 erreicht die bestmögliche horizontale Auflösung und Genauigkeit, eine noch höhere Auflösung, die auch die Abbildung geologischer Strukturen im Meter- oder sogar Dezimeterbereich ermöglicht, ist von der Oberfläche nicht erreichbar. Die Abbildung der Flanken wird nur anhand des Alias-Kriteriums (Kap.3.1.1) und mit Hilfe der Ergebnisse der Offset- und Azimuthanalysen bewertet, da die synthetischen Datensätze hier keine belastbare Bewertung erlauben.

Tabelle 6: Bewertung der Messkonfigurationen.

	Konf. 1	Konf. 3	Konf. 9	Konf. 14
Abbildung kleinräumiger Strukturen	++	+	+	-
Abbildung oberflächennaher (< 200 m) Horizonte (oberes Deckgebirge)	++	+	o	-
Abbildung der Flanken	+	o	+	-
Abbildung von Querstörungen	++	+	o	-
Vertikale Auflösung	+	+	+	+
Techn. Aufwand	--	o	o	+
Gesamtkosten	--	o	+	+
Zeit	--	o	o	+

### 6.1 EMPFEHLUNG EINER MESSKONFIGURATION

Als grundsätzliches Ergebnis der Vorplanung ist festzuhalten, dass das Abbildungsvermögen aller vier Konfigurationen in den oberen 50 m bis 100 m methodenbedingt eingeschränkt bleibt. In den obersten Zehnermetern (ca. 30 m bis 50 m unter GOK) ist eine reflexionsseismische Abbildung so gut wie unmöglich. Eine durchgängige Abbildung von kleinräumigen Strukturen ist also im Tiefenbereich bis ca. 100 m nicht zu realisieren. Genauso wenig wird es mit einer auf eine ca. 17 km<sup>2</sup> große Fläche ausgelegten 3D-Seismik möglich sein, mit vertretbarem Aufwand gleichzeitig Strukturen von weniger als 25 m Ausdehnung deutlich und sicher abzubilden. Die geplante 3D-Seismik wird aber gegenüber dem derzeitigen Kenntnisstand immer noch einen immensen Informationsgewinn bringen, da sie die Informationen aus der 2D-Seismik präzisiert und gleichzeitig die zwischen den Profilen existierenden Lücken hochauflösend und lagegenau schließt. Damit können zwei Zielvorgaben, nämlich die lückenlose Abbildung des Zieluntergrundes und die Erfassung aller geologischen Strukturen und Störungen erreicht werden, wenn auch mit Einschränkungen bezüglich des Tiefenbereichs (Abbildung nur in Tiefen von ca. 100 m bis 800 m) und bezüglich der Strukturgröße (Abbildung nur größer als ca. 20 m bis 30 m). Nicht erreicht wird dagegen die direkte Abbildung von kleinräumigen Störungen im Meterbereich als potenzielle Migrationspfade von Zutrittslösungen.

Es ist aus den vorangegangenen Betrachtungen und Tabelle 6 ersichtlich, dass die in Kauf zu nehmenden Einschränkungen bei der Verwendung von Konfiguration 1 am geringsten sind. Bei einer Binngröße von 5 m sollten Strukturen (z. B. Auflockerungszonen oder Rinnenstrukturen) mit mehr als 20 m Ausdehnung sicher abzubilden sein. Auf der anderen Seite sind der technische Aufwand, die benötigte Zeit (ca. 6 Monate) und letztendlich die Kosten wegen der gleichzeitig benötigten großen Offsets für diese Konfiguration außerordentlich hoch. Damit ist auch nochmals die grundsätzliche Problemstellung bei der Auswahl der Messkonfiguration genannt: Die starken Neigungen erfordern große Offsets, die hochauflösende und oberflächennahe Erkundung erfordern gleichzeitig geringe Abstände.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 40 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

Für die Abbildung des Deckgebirges über der Salzstruktur im Tiefenbereich von 100 m bis 200 m sind auch die Konfigurationen 3 und 9 noch gut geeignet, Konfiguration 14 fällt dagegen deutlich ab. Die Konfiguration 3 mit einer Bingröße von 7,5 m sollte Strukturen ab ca. 30 m Ausdehnung sicher erfassen können, Konfiguration 9 mit einer asymmetrischen Bingröße von 5 m x 10 m dagegen nur ca. 35 m Ausdehnung in Richtung der Strukturachse, dafür wiederum kleinere Strukturen ab 20 m senkrecht dazu. Da die Konfigurationen 3 und 9 noch gute Informationen über die Strukturen des Deckgebirges liefern werden und insbesondere Konfiguration 3 nur geringfügig größere Strukturen abbilden kann als Konfiguration 1, aber gleichzeitig gegenüber dieser ca. 50 % bis 60 % des Gesamtaufwandes und damit auch der Kosten einspart, empfehlen wir, für die Durchführung der seismischen Messungen der Salzstruktur Asse die Messkonfiguration 3 einzusetzen. Sie hat zwar gegenüber Konfiguration 9 den Nachteil eines höheren Messaufwandes (4112 bzw. 42% mehr Anregungspunkten, ca. 2,5 Mio. € Mehrkosten). Andererseits ist diese Konfiguration mit einer Bingröße von 7,5 m in Richtung der Strukturachse der Salzstruktur theoretisch besser geeignet, die ebenfalls besonders interessierenden Querstörungen zu lokalisieren. Da diese Anforderung ein zentraler Bestandteil des geplanten seismischen Projektes ist, wird im Ergebnis der insgesamt in der Vorplanung betrachteten Konfigurationen die Messkonfiguration 3 empfohlen.

Die Messkonfiguration 9 lässt aufgrund der geringeren Bingröße in inline-Richtung dagegen eine etwas bessere Abbildungsqualität im Bereich der steilen Flanken erwarten, auch wenn die Ergebnisse der synthetischen Modellierungen nicht als realistischer Maßstab gelten können. Zusammengefasst besteht also der Vorteil von Konfiguration 3 in der besseren Lokalisierung der Querstörungen, der Vorteil von Konfiguration 9 in der besseren Abbildung der steilen Flanken.

Die Aufnahmegeometrie (Template) von Konfiguration 3 besteht aus 16 parallelen Geophonlinien mit jeweils 400 Geophonstationen. Der Abstand zwischen benachbarten Geophonstationen auf einer Linie beträgt 15 m. Der Abstand zwischen den Geophonlinien ist auf 75 m festgelegt. Im Zentrum dieses Templates, also zwischen Empfängerlinie 8 und 9 und zwischen Geophonstation 200 und 201, werden senkrecht zum Streichen der Geophonlinien fünf Anregungspunkte im Abstand von 15 m aufgezeichnet. Danach bewegt sich der Messaufbau 75 m in Richtung der Geophonlinien zur nächsten Anregungspunktlinie (Roll-along in Richtung der Geophonlinien) weiter, bis schließlich der erste Messstreifen (Swath) abgearbeitet ist. Die Aufnahmeanordnung entspricht dabei einem symmetrischen Split-Spread. Bei der Messdurchführung müssen die Lage der Anregungspunkte und der Geophonlinien an die topographischen Bedingungen, Bebauung, Bewuchs und evtl. durch Behörden vorgegebene Auflagen z.B. angepasst werden. Dabei müssen nach derzeitiger Planung Anregungspunkte wegen der in der FFH-Verträglichkeitsstudie [9] ausgezeichneten „sensiblen“ und „besonders sensiblen“ Bereiche und wegen nicht zu befahrender Waldgebiete entweder verschoben oder mit Sprengstoff angeregt oder nach einer Verschiebung mit Sprengstoff angeregt werden. Von den 14040 Anregungspunkten der Konfiguration 3 müssen ca. 10 % mit Sprengstoff angeregt werden. Bei einer Tagesproduktion von 200 Anregungspunkten werden ca. 3 Monate Messzeit für die Durchführung der Messungen benötigt.

## 6.2 WEITERE EMPFEHLUNGEN UND VORSCHLÄGE ZUR DURCHFÜHRUNG

### 6.2.1 Energieanregung und -aufnahme

Zur Energieanregung ist bei den kurzen Abständen ein Vibrator ausreichend und stellt gleichzeitig die effizienteste Anregungsmethode dar. Das zu verwendende Anregungssignal (insbesondere Frequenzband, Dauer, Anzahl der Wiederholungen) wird unmittelbar vor Messbeginn durch entsprechende Tests festgelegt. An Anregungspunkten, zu denen der Vibrator auch nach einer Verlegung entsprechend Kap. 5.3 keinen Zugang hat, sollte Sprengstoff eingesetzt werden. Pro Anregungspunkt ist eine Ladungsmenge von ca.

						<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>	
Bundesamt für Strahlenschutz						 <b>Geophysik GGD</b>	
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 28.01.2011	
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

750 g bis 1000 g vorzusehen. Ist die Anregungsposition mit einem fahrbaren Bohrgerät erreichbar, kann die Sprengladung in einem tiefen Bohrloch (ca. 10 m bis 15 m Tiefe) gezündet werden. Ist der Anregungspunkt nur zu Fuß mit leichtem Bohrgerät erreichbar, so ist die Sprengladung auf bis zu drei flachere Bohrlöcher zu verteilen. Diese sind je nach erreichbarer Bohrtiefe ca. zwei bis fünf Meter tief. Nach der Befahrung des Messgebietes sind in unzugänglichen Waldgebieten schätzungsweise ca. 10 % der insgesamt 14040 Anregungspunkte mit Sprengstoff anzuregen.

Für die Aufnahme sind Geophone mit einer Eigenfrequenz im Bereich von 10 Hz bis 20 Hz vorzusehen. Die Telemetrie-Aufnahmeapparatur sollte einen Dynamikbereich des Analog-Digital-Konverters von 24 Bit aufweisen. Die Aufzeichnungsdauer sollte mindestens 2 s betragen, die Abtastrate maximal 2 ms.

### 6.2.2 Statische Korrekturen

Das Messgebiet weist deutliche topographische Höhenunterschiede auf. Zur möglichst genauen Bestimmung von Geschwindigkeit und Mächtigkeit der Langsamschicht sollten zusätzlich Nahlinienmessungen mit einer Dichte von 2 bis 4 Nahlinien pro km<sup>2</sup> durchgeführt werden. Die damit mögliche detaillierte Bestimmung von statischen Korrekturen ist bei den geplanten hochauflösenden Messungen von großer Bedeutung.

### 6.2.3 Datenbearbeitung

Die Bearbeitung der gewonnenen Daten sollte zunächst mit Standard-Methoden erfolgen, die CMP-Sortierung, statische Korrekturen, Signalverbesserung, dynamische Korrekturen, CMP-Stapelung, Migration und Post-Processing (Kohärenzfilterung, Skalierung etc.) umfassen. Wegen der großen Flankensteilheiten sind außerdem spezielle Bearbeitungsmethoden wie Prestack Depth Migration oder die Common Reflection Surface Methode einzuplanen, die teilweise auf Ergebnissen der Standard-Verfahren aufbauen, aber zusätzlich starke laterale Variationen der geologischen Strukturen und damit der seismischen Geschwindigkeiten wie im Fall einer Salzstruktur berücksichtigen. Die Datenbearbeitung nach diesen Verfahren wird mindestens 3 Monate dauern.

### 6.2.4 Erweiterung des Messgebietes

Die in Anhang 1 dargestellte Messfläche ist ausreichend für die genannten Erkundungsziele. Eine Erweiterung der Messfläche ist bei Bedarf (z.B. Erweiterung des Erkundungszielgebietes) grundsätzlich möglich. Dabei ist eine Erweiterung in südwestlicher und nordöstlicher Richtung im Zuge der Erkundung der Schachanlage bzw. des Deckgebirges im Bereich des Tops der Salzstruktur nicht notwendig. Bei einer Erweiterung des Erkundungszielgebietes in Strukturrichtung muss die Messfläche durch zusätzliche Empfängerlinien und durch Verlängerung der Anregungslinien vergrößert werden. Dabei entspricht die Verlängerung der Erkundungszielfläche in Strukturrichtung der Verlängerung der Messfläche in diese Richtung, da die Überhänge für Überdeckung und Migration gleich bleiben. Das bedeutet beispielsweise, dass eine Vergrößerung der Erkundungszielfläche um 300 m in Strukturrichtung auch eine Vergrößerung der Messfläche um 300 m in diese Richtung erfordert. Diese Vergrößerung bedeutet im Falle der Konfiguration 3 vier zusätzliche Empfängerlinien, also 1600 zusätzliche Empfangspunkte, und die Verlängerung jeder Anregungslinie um 20 Anregungspunkte, bei insgesamt 81 Anregungslinien also 1620 Anregungspunkte. Die Zahl der zusätzlichen Anregungspunkte *SPZ* bei einer Verlängerung des Erkundungszielgebietes von *x* m in Richtung der Strukturachse berechnet sich allgemein nach der Formel:

 <b>Bundesamt für Strahlenschutz</b>				<b>Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II</b>			
				Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

$$SPZ = \left( \frac{NR \cdot RI}{SLI} + 1 \right) \cdot \frac{x}{SI} \quad (\text{Formel 13})$$

Dabei sollte die Verlängerung des Erkundungsgebietes  $x$  jeweils ein ganzzahliges Vielfaches des Empfängerlinienabstandes RLI sein. Für die empfohlene Messkonfiguration 3 wären also Verlängerungen des Erkundungsgebietes von 75 m, 150, 225 m usw. in Strukturrichtung denkbar.

## 6.3 FAZIT

Zusammenfassend lassen sich folgende Feststellungen treffen:

1. Die in Kapitel 1 genannten Untersuchungsziele lassen sich mit 3D-seismischen Messungen mit einigen Einschränkungen erreichen. Die Einschränkungen stellen die Anwendbarkeit der 3D-seismischen Messung für das Gebiet Asse aber nicht in Frage.
2. Die Einschränkungen beziehen sich auf die zu erkundende Tiefenlage, die Größe der aufzulösenden Strukturen und die seismische Abbildung der steilen Flanken. Diese Einschränkungen lassen möglicherweise eine genaue Lokalisierung der Migrationswege bzw. Identifikation potenzieller Migrationswege von Zutrittslösungen nicht zu.
3. Die Einschränkungen bezüglich der zu erkundenden Tiefenlage und der Größe der aufzulösenden Strukturen weisen bei den untersuchten Messkonfigurationen Unterschiede auf. Die in den synthetischen Modellrechnungen dargestellten Unterschiede in Abhängigkeit von den untersuchten Messkonfigurationen sind sehr unsicher. Bei der lagerichtigen Abbildung von steilen Flanken sind die unbefriedigenden Berechnungsergebnisse auf methodenbedingte Unsicherheiten in der Modellierung zurückzuführen. Reale 3D-seismische Messungen liefern erfahrungsgemäß ein besseres Abbild.
4. Im Hinblick auf die genannten Untersuchungsziele und unter Beachtung des jeweiligen technischen, personellen und finanziellen Aufwandes wird von der *Geophysik GGD mbH* die Anwendung der Messkonfiguration 3 empfohlen.
5. Mit der Messkonfiguration 3 sind (wie mit allen untersuchten Konfigurationen) keine Informationen aus dem Tiefenbereich bis 50 m zu erwarten. Informationen aus dem Tiefenbereich 50 m bis 100 m werden unsicher sein.
6. Mit der Messkonfiguration 3 sind Strukturen größer 30 m theoretisch sicher aufzulösen.
7. Mit der Messkonfiguration 1 können geringfügig mehr Informationen im Tiefenbereich 50 m bis 100 m bei deutlich höheren Kosten gewonnen werden.
8. Messkonfiguration 14 wird auf Grund der zu erwartenden geringeren Informationen im Tiefenbereich 50 m bis 100 m und der geringeren Auflösung nicht empfohlen.
9. Als Alternative zur Messkonfiguration 3 könnte ggf. die Messkonfiguration 9 verwendet werden. Die Messkonfiguration 9 hat den Vorteil geringerer Kosten bei einer höheren Auflösung im Bereich der Flankenabbildung. Ihr Nachteil liegt darin, dass sie in jeweils geringfügigem Ausmaß weniger Information im Tiefenbereich 50 m bis 150 m, eine ungenauere Lage von Querstörungen sowie eine schlechtere laterale Auflösung entlang der Salzachse liefert.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Vorplanung der 3D-seismischen Messungen  
zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur,  
insbesondere der Querstörungen der  
Schachanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 43 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

10. Für eine abschließende Festlegung der Messkonfiguration können Testmessungen, vorrangig im Bereich der Südflanke, durchgeführt werden, die ggf. mit weiteren Modellrechnungen zu ergänzen sind.

Leipzig, den 28.01.2011

Walter Olgemann

Geschäftsführer

Dr. Tobias Karp

Projektleiter



Bundesamt für Strahlenschutz

## Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 Geophysik GGD	Seite: 44 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] BAUER, M., KÜSTERMANN, W., DEUBEL, K., FISCHER, K.-H., SEITZ, R., VORMBAUM, M. (1998): Seismische Arbeiten zur Strukturerkundung des Deckgebirges im Gebiet des Forschungsbergwerkes Asse.- Ergebnisbericht *Geophysik GGD mbH* (unveröffentlicht).
- [2] SCHÖN, J. (1983): *Petrophysikalische Eigenschaften von Gesteinen und Mineralien.*, F. Enke Verlag, Stuttgart.
- [3] CORNSEN, A., GALBRAITH, M., PEIRCE, J. (2000): Planning land 3-D seismic surveys.- *Geophysical Developments Series, No. 9, SEG*, 203 S.
- [4] WITKA, T. (1997): 3D Reflexionsseismik, im: *Methodenhandbuch Deponieuntergrund, Band 3, Geophysik*, Springer Verlag, S. 631 - 662
- [5] STONE, D. G. (1994): Designing seismic surveys in two and three dimensions.- *Geophysical References Series, No. 5, SEG*, 244 S.
- [6] ALI AK, M., TOK, N. (1994): Accurate calculation of the inline surface extension in land 3D seismic surveys.- *First Break* 12, 3, S. 159.
- [7] WIDESS, M. B. (1982): Quantifying resolving power of seismic systems.- *Geophysics* 47, S. 1160-1173.
- [8] BALDSCHUHN, R., BINOT, F., FLEIG, S., KOCKEL, F. (2001): *Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem Deutschen Nordsee-Sektor.*- *Geologisches Jahrbuch Reihe A, Band A 154*, ISBN 978-3-510-95881-8.
- [9] BLASIG, J., STOLZENBURG, M., (2010, in Bearbeitung): Schachtanlage Asse II, FFH-Verträglichkeitsstudie und artenschutzrechtliche Bewertung zur Vorplanung der 3D-seismischen Messungen.- *Herbstreit Landschaftsarchitekten GmbH & Co. KG*- (unveröffentlichter Entwurf)



Bundesamt für Strahlenschutz

## Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 45 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

## GLOSSAR

Aliasing	Verfälschung eines digitalen Signals durch zu große Abtastintervalle (zeitlich oder räumlich).
Anregungspunktlinie	Linie, entlang derer seismische Anregungspunkte angeordnet werden.
Bin-Analyse	Analyse verschiedener Einflüsse auf die zu bestimmende Größe eines Bins (vgl. Anhang 2).
Binfläche	Fläche eines Bins (vgl. Anhang 2).
Bingröße	s. Parametertabelle (Anhang 2).
Caprock	Hutgestein.
Common Midpoint (CMP)	Ein Punkt an der Oberfläche, der gemeinsamer Mittelpunkt verschiedener Paare von Anregungs- und Empfangspunkten ist.
Diffraktion	allgemein: Die Beugung (Ablenkung) einer Welle an einem Hindernis. In der Seismik führt Diffraktion zu hyperbelförmigen Strukturen (sog. Diffraktions-Hyperbeln) in einem Seismogramm.
Empfangspunktlinie	Linie, entlang derer seismische Empfangspunkte angeordnet werden.
fold taper	Randbereich der seismischen Messfläche, innerhalb derer der Überdeckungsgrad (fold) von seinem nominalen Wert auf 0 zurückgeht.
Frequenzband	allgemein: Bereich von Frequenzen.
Fresnelzone	Zone, innerhalb derer der Gangunterschied zweier Wellenzüge entlang unterschiedlicher Ausbreitungswege nicht mehr als eine halbe Wellenlänge beträgt.
Geophonlinie	Linie, entlang derer Geophone angeordnet werden.
Intervallgeschwindigkeit	Ausbreitungsgeschwindigkeit seismischer Wellen innerhalb eines gegebenen Tiefenintervalls (meist gleichbedeutend mit einer Gesteinsschicht).
Langsamschicht	oberflächennahe Schicht (Boden und Lockergestein), innerhalb derer die Ausbreitungsgeschwindigkeit seismischer Wellen gegenüber konsolidiertem Gestein stark herabgesetzt ist.
MESA Software	Software der ION-Tochter <i>Green Mountain Geophysics</i> für die Planung seismischer Messungen.
Migration	Rechenschritt bei der seismischen Datenbearbeitung, bei dem nicht lagegetreue Reflexionen im Seismogramm an ihren Ursprungsort verschoben werden.
Migrationsapertur	Strecke, um die seismische Reflexionen während der Bearbeitung durch Migration maximal verschoben werden.
muting	Ausblenden bzw. Löschen von gestörten Datenbereichen.
Noise-Pegel	allgemein: Unruhe-Pegel. In der Seismik tragen alle nicht-seismischen Ereignisse, die ein Signal am Geophon erzeugen, zur Unruhe bei (z.B. Wind, Regen, Verkehr etc.).
normal move out (NMO)	Laufzeitdifferenz zwischen zwei Reflexionen vom gleichen Reflexionspunkt aufgrund unterschiedlichen Abstandes zwischen Quelle und Empfänger.
normal move out Korrektur	Rechenschritt bei der seismischen Datenbearbeitung zur Beseitigung des normal move out.
normal move out stretch	Verzerrung von Daten in bestimmten Bereichen, die während der normal move out Korrektur auftritt.
Offset	Abstand zwischen seismischer Quelle und Empfänger.
orthogonal	hier: senkrecht bzw. rechtwinklig.



Bundesamt für Strahlenschutz

## Vorplanung der 3D-seismischen Messungen zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere der Querstörungen der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	<b>Geophysik GGD</b>	Seite: 46 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

ray tracing	Simulation der Ausbreitung seismischer Wellen, bei der diese durch Strahlen ("rays") dargestellt und parametrisiert werden.
Rosediagramm	Darstellungsmöglichkeit von Größen bzw. Parametern zur Visualisierung ihrer Abhängigkeit von Richtungen bzw. Winkeln.
Scouting	hier: Erkundung eines Messgebiets.
Seismogramm	Darstellung seismischer Daten.
söhlilig	in der Geologie und im Bergbau Synonym für waagrecht bzw. horizontal.
Spiderdiagramm	Darstellungsmöglichkeit von Größen bzw. Parametern zur Visualisierung ihrer Abhängigkeit von Richtungen bzw. Winkeln.
split-spread	Aufstellung von Geophonen bei einer seismischen Messung zu beiden Seiten des Anregungspunktes.
Stapelergebnis	Resultat der seismischen Datenbearbeitung nach dem Stapeln und ohne Migration.
Stapelsektion	Darstellung des Stapelergebnisses.
survey design	Anordnung von Anregungs- und Empfangspunkten für eine seismische Messung.
swath	hier: Messstreifen, in dem die Geophonlinien aufgestellt sind und die Geophone je nach Anregungspunkt aktiviert werden.
template	Bereich um einen Anregungspunkt, innerhalb dessen die Empfänger aktiv geschaltet sind.
Tiefengrid	Gitter (grid) von Punkten mit Tiefenangaben, das die Tiefenlage einer Schicht bzw. eines Horizontes beschreibt.
Überdeckungsgrad	s. Parametertabelle (Anhang 2).
wavelet	allgemein: Wellenzug. In der Seismik meist die von einer Quelle ausgesandte seismische Welle mit bestimmten Charakteristika.
Zentralsystem	Aufstellung von Geophonen bei einer seismischen Messung zu beiden Seiten des Anregungspunktes.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Vorplanung der 3D-seismischen Messungen  
zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur,  
insbesondere der Querstörungen der  
Schachtanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>Geophysik GGD</b>	Seite: 47 von 95
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.01.2011
9A	22121000	HF	RB	0003	00		

**ANHANG**