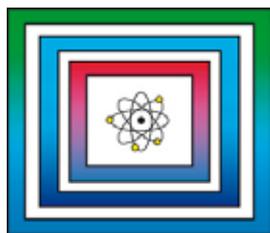


# Projekt Asse

9A5632000000

## Stellungnahme zur Durchführung der geplanten 3D-seismischen Messungen im Bereich der Schachtanlage Asse II



Stellungnahme

Hannover, Januar 2015

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE  
HANNOVER

Projekt Asse

Stellungnahme zur Durchführung der geplanten 3D-seismischen  
Messungen im Bereich der Schachtanlage Asse II

Stellungnahme

Autoren:

Auftraggeber:	Bundesamt für Strahlenschutz
Auftragsnummer:	9A5632000000
Geschäftszeichen:	B3.1/B50152-06/2015-0002/002
Datum:	30.01.2015
TK-Nummer:	3820 Schöppenstedt

## 1 Vorgang

Mit Schreiben vom 02.12.2014 beauftragte das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), eine Stellungnahme als Plausibilitätsprüfung für die Durchführung der geplanten 3D-seismischen Messungen im Bereich der Schachtanlage Asse zu erarbeiten. Die vorliegende Stellungnahme erfolgt im Rahmen des vom BfS der BGR übertragenen Arbeitspaketes 9A 5632 0000 „Geologische Bearbeitung der Salzstruktur (BAF/BÜW)“ zur geologischen Erkundung der Salzstruktur Asse.

## 2 Einleitung und Sachverhalt

Im Rahmen der geplanten Stilllegung der Schachtanlage Asse II strebt das BfS an, eine hochauflösende 3D-Reflexionsseismik über der Schachtanlage durchführen zu lassen, die dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Mit der Seismik sollen (1) Defizite in der räumlich sehr ungleichmäßigen Erkundungsdichte reduziert werden sowie (2) beleg- und belastbare Beschreibungen der vorliegenden struktureologischen, hydrogeologischen sowie geomechanischen Situationen im Umfeld der Schachtanlage Asse II ermöglicht werden.

Im Zuge der Planungen wurde der Zielbereich (s. [ ] 2014: Anh. 1) für die 3D-seismische Hauptmessung vom BfS spezifiziert. Die Seismik soll in diesem Bereich eine möglichst lagegetreue und lückenlose Abbildung des Untergrundes mit ausreichender Auflösung bis zu einer Tiefe von mindestens 800 m erzielen. Von besonderem Interesse sind dabei die Störungen und Auflockerungszonen im Deck- und Nebengebirge der Schachtanlage Asse II ( [ ] 2011: S. 10).

Auf Basis einer Vorstudie ( [ ] 2011) und den Ergebnissen einer kleinen 2D/3D-seismischen Testmessung ( [ ] 2014) wurde die Durchführbarkeit einer 3D-Seismik theoretisch und unter den gegebenen geologischen Randbedingungen von den durchführenden Firmen überprüft und ein optimiertes Akquisitionsdesign für die geplante 3D-seismische Hauptmessung abgeleitet ( [ ] 2014: Kap. 7 und [ ] 2014).

Das von den Firmen erarbeitete Design stellt sowohl die adäquate Erfassung oberflächen-naher Strukturen ab ca. 150 m Tiefe als auch die Abbildung der Zechsteinbasis in ca. 2000 m Tiefe in Aussicht ( [ ] 2014: S. 8). Für den Zielbereich – speziell im Bereich der Flanken der Salzstruktur – wird eine Auflösung von  $\leq 10$  m angegeben ( [ ] 2014: S. 132).

Zur Plausibilitätsprüfung der 3D-seismischen Messungen werden vom BfS Antworten auf folgende Fragen erbeten:

- „Liefert eine 3D-seismische Messung Ergebnisse, so wie dies auf der Basis der Testmessung in der Empfehlung des Auswerter [ (2014, Anm. d. Vf.) formuliert ist?“
- „Ist die Umsetzung mit den vorgeschlagenen Akquisitionsparametern gerechtfertigt?“

### 3 Bewertung der Testmessungen

Ergebnisse der Testmessungen sind in (2014) dargestellt. Mit den Messungen sollten belastbare Aussagen über die maximal erzielbare Auflösung und das Akquisitionsdesign für die 3D-Hauptmessung zuverlässig erarbeitet werden.

Bezüglich der maximal erzielbaren Auflösung schlussfolgern (2014: S. 132), dass diese nach der Migration im Zielbereich  $\leq 10$  m läge. Diese Schlussfolgerung unterscheidet sich von der Abschätzung in der Vorstudie (2011: S. 15ff). In dieser Studie werden Signalfrequenzen und seismische Geschwindigkeiten aus früheren bohrlochseismischen Untersuchungen (1998) sowie aus der Literatur (SCHÖN 1983) bestimmt. Gemäß den dort bestimmten dominanten Frequenzen (35 – 60 Hz) und Intervallgeschwindigkeiten (2400 – 5030 m/s) schätzen wir die theoretisch erzielbare vertikale Auflösung ( $\lambda/4$ -Kriterium) nominell zwischen 10 m und 36 m ab. Die laterale Auflösung nach der Migration entspricht im Idealfall der vertikalen Auflösung. Praktisch ist sie mindestens um den Faktor 2 größer als die vertikale Auflösung (SHERIFF & GELDART 1995: S. 177).

Eigene Untersuchungen zum Auflösungsvermögen an den Testdaten waren in der Kürze der Zeit (Datenübergabe am 20.1.2015) nicht mehr möglich. Die in den Daten maximal nutzbare Frequenz wird jedoch durch die maximale Neigung ( $80^\circ$ ), die minimale Geschwindigkeit (2400 m/s) und durch die gewählte Bingröße von 5 m x 5 m auf 122 Hz beschränkt.

Darüber hinaus stellen (2014) fest, dass die steilen Neigungen der Reflexionshorizonte an den Flanken der Salzstruktur und der Topbereich durch die kleinräumige 2D/3D-Testmessung nicht vollständig bzw. korrekt erfasst werden konnten und erst mit Hilfe einer großflächigen 3D-Seismik adäquat erfasst werden könnten. So liegt die 3D-Messfläche tatsächlich zu weit südwestlich, um auch den Topbereich zu erfassen. Das 2D-Profil ist ebenfalls nur eingeschränkt in der Lage, der struktureologischen Komplexität über dem Topbereich der Asse Rechnung zu tragen. Dennoch zeigen die Ergebnisse aus unserer Sicht bereits eine deutliche Verbesserung der Datenqualität gegenüber den früheren 2D-Profilen in (1998).

Zusammenfassend ist festzustellen:

- Aufgrund der Bewertung der Testmessung erwarten wir, dass die geplante 3D-Seismik das geeignete Instrument ist, um die komplexe Struktur der Asse weitestgehend lagegetreu und lückenlos abzubilden.
- Die zu erwartende Auflösung der 3D-Seismik liegt nach unserer Einschätzung vertikal zwischen 10 und 36 m, lateral zwischen 20 und 72 m.

#### 4 Bewertung Akquisitionsdesign

Das Akquisitionsdesign für die 3D-Hauptmessung und die Empfehlungen für die Durchführung der Messungen sind in (2014: Kap. 7) sowie in (2014) beschrieben.

Das vorgeschlagene Akquisitionsdesign basiert auf einer asymmetrischen Basisblockkonfiguration (Template) mit Linienabständen von 100 m und Quell- und Empfängerpunktabständen von 10 m. Die Template-Dimensionen reichen zur Erfassung der z. T. sehr steilen und richtungsabhängigen Neigungen im Zielbereich sowie zur Abbildung der Zechsteinbasis in gut 2 km Tiefe. Eine gleichmäßige Azimutverteilung ist hierbei nur bis zu einer Tiefe von knapp 1,5 km gewährleistet (s. 2014: Abb. 113), was für die geforderte Zielteufe von mindestens 800 m in jedem Fall ausreicht.

Über der vorgegebenen Zielfläche wurden die Linienabstände auf 50 m verdichtet. Für den oberen Teufenbereich bis 200 m (Topbereich der Struktur Asse) wird damit laut (2014: S. 133) nominal eine 20-fache CDP-Überdeckung (Fold) gewährleistet und damit insbesondere die für die Abbildung notwendigen Informationen aus den nahen Offsets in ausreichendem Maße erfasst. Diese Folgerung ist aus unserer Sicht zu optimistisch. Zwar ist die Verdichtung der Linienabstände offensichtlich notwendig, um so den oberflächennahen Bereich besser überdecken und damit abbilden zu können, aber:

1. Der tatsächliche Fold im Teufenbereich 0 – 200 m variiert zwischen minimal etwa 12-fach und maximal 20-fach (2014: Abb. 112). Für die tieferen Bereiche scheint der Fold gleichmäßiger verteilt und ist bedeutend höher. Die deutliche Variation des Folds wird sich voraussichtlich im oberflächennahen Bereich als sogenannter „Akquisition Footprint“, das heißt messgeometriebedingte Artefaktmuster, in den Daten abbilden. Für die Abbildung flacher Strukturen bis ca. 200 m Teufe wäre es deshalb zielführend, die Linienabstände im Zentralbereich noch kleiner als 50 m zu wählen.

2. Aus den Berichten geht nicht hervor, wie viele Schuss- und Empfängerpunkte insbesondere im Topbereich der Asse realisierbar sind. So sind nicht näher spezifizierte Ausfälle und Verlegungen von Quell- und Empfängerpunkten nach der FFH-Verträglichkeitsstudie und den Permitterarbeiten u. a. im Bereich des Höhenzugs Asse zu erwarten ( 2014: S. 9). Gerade dort sind solche Ausfälle besonders ungünstig für die oberflächennahe Strukturabbildung. Es wäre sehr hilfreich gewesen, diese Fakten in den Überdeckungskarten und Offset/Azimuth-Berechnungen zu berücksichtigen.

Für die mitteltiefen Strukturen unterhalb ca. 200 m und die tiefen Strukturen ist die Geometrie mit einem Quell- und Empfängerpunktabstand von 10 m und einem Linienabstand von 100 m bzw. 200 m im Randbereich gut gewählt.

Die Größe der oberflächenbezogenen Gesamtmessfläche von 37,5 km<sup>2</sup> ist unter Berücksichtigung der notwendigen Überhänge (Taper) für das Processing und den Fold erforderlich. Der Aussage in (2014: S. 133), dass der Erfolg der geplanten hochauflösenden 3D-Hauptmessung über der Salzstruktur Asse im Wesentlichen von der konsequenten Anwendung des abgeleiteten Akquisitionsdesigns bestimmt wird und dass Akquisitionslücken zu vermeiden bzw. zu minimieren sind, ist zuzustimmen.

Bei der weiteren Planung einer 3D-Seismik ist zu bewerten, ob die möglichen Einschränkungen im oberflächennahen Bereich über dem Top der Asse akzeptabel sind. So kann es sich nach der Auswertung der geplanten 3D-Seismik als wünschenswert erweisen, eine kleine, höher auflösende 3D-reflexionsseismische Messung mit kleineren Quellen, höheren Signalfrequenzen und kleineren Bingrößen nur im Topbereich der Asse-Struktur durchzuführen.

Über die 3D-Seismik hinaus wird im Rahmen der durchgeführten Modellierungen ( 2014: Kap. 5) die zusätzliche Nutzung von Bohrungen im Sinne eines vertikal-seismischen Profils (VSP) untersucht. Eine solche Messung in Kombination mit der Oberflächenreflexionsseismik erscheint uns zielführend, da sie in der Nähe der Bohrungen eventuell in der Lage wäre, Störzonen direkt abzubilden und den Detaillierungsgrad der Abbildung zu erhöhen. Es wäre dann auch besser abschätzbar, welche Details die Oberflächenseismik möglicherweise nicht in der Lage war, abzubilden.

Zusammenfassend ist festzustellen:

- Das vorgeschlagene Akquisitionsdesign stellt einen Kompromiss zwischen der Abbildung flacher und tiefer Strukturen dar, der für den oberflächennahen Bereich eventuell nicht die gewünschte Abbildungsqualität liefert.
- Die Umsetzung mit den vorgeschlagenen Akquisitionsparametern und die Gesamtmessfläche von 37,5 km<sup>2</sup> ist gerechtfertigt.

## 5 Bewertung der Processingergebnisse

Für ein gutes seismisches Abbild sind neben dem Akquisitionsdesign auch die Prozesse der Datenbearbeitung von entscheidender Bedeutung. Diese bestehen im Wesentlichen aus Prozessen der Signalaufbereitung, der Bestimmung der seismischen Geschwindigkeiten und der Migration. Aufgrund der Komplexität der Prozesszusammenhänge und nötigen Tests zur Bestimmung der Parameter kann letztendlich nur der durchführende Bearbeiter die Sinnhaftigkeit und optimale Wahl der Parameter beurteilen. Diese Tests sind nicht alle im Bericht von (2014) dokumentiert. Deshalb beschränkt sich die Diskussion in dieser Stellungnahme auf einen Vergleich der verschiedenen Processingergebnisse.

Für die hochauflösende sowie weitestgehend lage- und teufenrichtige Abbildung ist das eingesetzte Migrationsverfahren von entscheidender Bedeutung. Aufgrund der Komplexität der Asse-Struktur mit stark lateralen Geschwindigkeitsänderungen und steilen Neigungen wird zu Recht neben dem standardmäßig durchzuführenden Processing im Zeitbereich (bis einschließlich Pre-Stack Time Migration) der Einsatz spezieller Tiefenmigrationsverfahren für notwendig erachtet. Dies ist theoretisch klar, wird aber leider nur bedingt aus den Abbildungen der unterschiedlichen Ergebnisse in (2014) ersichtlich. So zeigt beispielsweise der direkte Vergleich der Ergebnisse der Kirchhoff Pre-Stack Time (Abb. 23) und Depth Migration (Abb. 39 - 41), dass letztere deutlich besser in der Lage ist, die steilen Neigungen und Reflektoren unter dem Salzkörper abzubilden. Das volle Potenzial einer Pre-Stack Depth Migration wird allerdings erst in einem gut überdeckten 3D-Datensatz zur erwarten sein, weil dann die in den Daten vorhandenen unterschiedlichen Einsatzneigungen („conflicting dips“) in 3D erst richtig separiert werden können.

Die speziellen Pre-Stack Tiefenmigrationsverfahren (Fresnel-Volumen Migration, Kohärenzmigration und im Besonderen die Reverse Time Migration) versprechen eine wesentliche Verbesserung der seismischen Abbildung bei steilen Neigungen sowie komplexen Untergrundstrukturen gegenüber der Kirchhoff Pre-Stack Depth Migration. Die Ergebnisse ( (2014: Abb. 44 - 46), welche die Anwendungen auf die Felddaten zeigen, genügen jedoch keinesfalls den Ansprüchen, die gefragt sind. So zeigen alle Ergebnisse mehr oder minder stark ausgeprägte Processingartefakte, wirken teilweise frequenzbeschränkt und artifiziell. Aufgrund fehlender Informationen zu den Details der Bearbeitung kann jedoch nicht eingeschätzt werden, welche Gründe hierfür ursächlich sind. Auch hier tritt das Problem auf, dass versucht wird, eine komplizierte 3D-Struktur mit 2D-Messungen bzw. gering überdeckten 3D-Messungen zu erfassen. Des Weiteren sollte der Aufwand nicht unterschätzt werden, der notwendig ist, um ein für die Prozesse hinreichendes Geschwindigkeitsmodell zu erstellen, das nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik anisotrope seismische Geschwindigkeiten berücksichtigen sollte. Dass diese Migrationsverfahren bei Kenntnis des Geschwindigkeitsmodells gute Ergebnisse liefern, wird anhand der Modelldaten deutlich. Hier scheint die Fresnel-Volumen-Migration die

wenigsten Artefakte zu erzeugen. Die für die 3D-Hauptmessung empfohlene Reverse Time Migration wurde an den Modelldaten leider nicht getestet.

Das ebenfalls für die 3D-Hauptmessungen empfohlene Common-Reflection-Surface (CRS) Processing, welches zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses vorteilhaft sein kann, zeigt bei der Anwendung auf die Daten der Testmessung eine wesentliche Verbesserung der Qualität der seismischen Abbildung im oberflächennahen Bereich ( ( 2014: Abb. 29 - 32). Gegenüber dem Processing ohne CRS treten mit CRS die Reflektoren über dem Topbereich der Asse-Struktur deutlich kontinuierlicher hervor.

Prinzipiell können sich Spurinterpolation und CRS-Prozessing günstig auf das Signal-Rausch-Verhältnis von Messdaten auswirken und die Anwendbarkeit einiger Prozesse der Datenverarbeitung sowie die Interpretation der Daten unterstützen. Es ist jedoch zu beachten, dass die notwendigen Informationen aus den vorhandenen Daten berechnet werden. Deshalb können diese Prozesse fehlende – also nicht gemessene – Spuren nicht wirklich ersetzen. Dabei kann es aber auch zum räumlichen Verschmieren von Informationen kommen, wodurch die Auflösung effektiv herabgesetzt wird. Bei der Identifizierung von kleinräumigen Features, bspw. kleinräumigen Störungszonen, kann sich ein CRS-Processing somit unter Umständen auch kontraproduktiv auswirken. Ob ein CRS-Processing für die 3D-Hauptmessungen sinnvoll ist, hängt von deren Datenqualität ab und sollte erst nach einer ersten Auswertung entschieden werden.

Zusammenfassend ist festzustellen:

- Wir empfehlen das standardmäßige Processing im Zeitbereich bis einschließlich Kirchhoff Pre-stack Time Migration (preSTM) sowie die Kirchhoff Pre-Stack Depth Migration (preSDM) zur Ableitung des Geschwindigkeits-Tiefen-Modells und zur Verbesserung der seismischen Abbildung gegenüber der preSTM.
- Über ein weiterführendes Processing sollte erst nach Auswertung des preSTM- und preSDM-Processings entschieden werden.

## 6 Zusammenfassung und Fazit

Grundsätzlich bilden seismische Untersuchungen nur Änderungen elastischer Eigenschaften im Untergrund ab. Das reicht aus, um den strukturellen Bau des Untergrundes inklusive der Lage von Störzonen zu erfassen. Kartierungen der Permeabilität, beispielsweise für hydrogeologische Fragestellungen, kann Reflexionsseismik nicht liefern. Auch kleinräumige Porositätsbetrachtungen sind mit dieser Messung nicht möglich.

Wir erwarten, dass die geplante 3D-Seismik das geeignete Instrument ist, um die komplexe Struktur der Asse weitestgehend lagegetreu und lückenlos abzubilden. Dies ist der Fall, wenn die geplanten Parameter in (2014) und (2014) eingehalten werden. Die zu erwartende Auflösung der 3D-Seismik liegt nach unserer Einschätzung vertikal zwischen 10 und 36 m, lateral zwischen 20 und 72 m.

Da die Messung sowohl tiefe als auch flache Strukturen abbilden soll, stellt die Konfiguration einen Kompromiss dar, der für den oberflächennahen Bereich über dem Topbereich der Asse-Struktur eventuell nicht die gewünschte Abbildungsqualität liefert. Darüber hinaus liefert die 3D-seismische Messung voraussichtlich Ergebnisse, so wie dies auf der Basis der Testmessung in der Empfehlung von (2014) formuliert ist. Die Umsetzung mit den vorgeschlagenen Akquisitionsparametern ist gerechtfertigt.

Wir empfehlen ein standardmäßiges Processing im Zeit- und Tiefenbereich (Pre- und Post-Stack). Ein weiterführendes Processings spielt aus unserer Sicht zu diesem Zeitpunkt nur eine untergeordnete Rolle, da ein existierender Datensatz jederzeit wieder neu oder weiter bearbeitet werden kann und die Neubearbeitung nur einen Bruchteil der Gesamtkosten darstellt. Es ist letztlich entscheidender, dass der gemessene Datensatz formalen Abbildungskriterien genügt.

Auf Grundlage der Berichts- und Datensichtung ist die Durchführung der 3D-Seismik am Standort Asse geeignet, um mit den neuesten methodischen Mitteln notwendige und ergänzende Erkenntnisse zur äußeren Form der Salzstruktur sowie zum strukturellen Aufbau des Deck- und Nebengebirges zu gewinnen.

## Literaturverzeichnis

- (1998):  
Reflexionsseismik - Bohrlochseismik - Seismische Arbeiten zur Strukturerkundung  
des Deckgebirges im Gebiet des Forschungsbergwerkes Asse - Hauptphase.  
– Ergebnisbericht: 95 S., 6 Abb., 16 Tab., zahlr. Anl.; Geophysik GGD mbH,  
Leipzig. – [unveröffentlicht]
- (2014): Konzeptplanung für die Durchführung einer 3D-seismischen  
Messung (Hauptmessung) im Gebiet der Schachtanlage Asse. – Bericht: 25 S.,  
10 Tab., 1 Anh.; Geophysik GGD mbH, Leipzig.
- (2011): Vorplanung der  
3D-seismischen Messung zur Erkundung der Deckgebirgsstruktur, insbesondere  
der Querstörung der Schachtanlage Asse II. – Abschlussbericht: 95 S., 2 Abb.,  
6 Tab., 16 Anh.; Geophysik GGD mbH, Leipzig.
- (2014): Datenbearbeitung, Interpretation  
und Modellrechnungen einer (3D-) seismischen Testmessung im Bereich der  
Schachtanlage Asse II. – Abschlussbericht: 134 S., 114 Abb.; DMT Petrologic  
GmbH, Hannover.
- SCHÖN, J. (1983): Petrophysikalische Eigenschaften von Gesteinen und Mineralien. – 405  
S.; Stuttgart (F. Enke Verlag).
- SHERIFF, R. E. & GELDART, L. P. (1995): Exploration Seismology (2nd edition). – 592 S.;  
Cambridge (Cambridge University Press).