



Bundesamt für Strahlenschutz, Postfach 10 01 49, 38201 Salzgitter

Bundesamt für Strahlenschutz  
Willy-Brandt-Straße 5  
38226 Salzgitter

Jürgen Wiegel  
Schulenburg Str. 11  
38319 Remlingen

Postfach 10 01 49  
38201 Salzgitter

Telefon: 030 18333 - 0  
Telefax: 030 18333 -18 85

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)  
Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

Datum und Zeichen Ihres Schreibens:

Mein Zeichen:

Durchwahl:

Datum:

SE 4.2.2/B2434551  
9A/22123000/HF/  
BN/0039/00

- 1443

25.02.2016

*erhalten 09.03.2016*

### 3D-seismische Messungen

Sehr geehrter Herr Wiegel,

vielen Dank für Ihr Schreiben. Gern beantworte ich Ihnen Ihre Fragen.

1. *Frage: „Welche konkreten Maßnahmen zur Stabilisierung und Offenhaltung der Schachanlage Asse2 sind vorgesehen in Abhängigkeit von den Ergebnissen der 3D-seismischen Messung?“*

Antwort:

Die 3D-Seismik ist eine Überblicksmethode bei der Standorterkundung. Neben der Erfassung der geologischen Situation im Allgemeinen ist es Ziel der Übersichtserkundung, die strukturelle Situation des Untergrunds aufzuzeigen und den Salinarkörper im Bereich der Schachanlage räumlich abzugrenzen. Die Erkenntnisse daraus bezüglich der Lage Grenze Deckgebirge/Salzstruktur und der Raumlage der Deckgebirgsschichten haben erhebliche Bedeutung für die Konkretisierungen der geplanten Detailerkundung, um u.a. den hohen Sicherheitsanforderungen gegenüber dem Grubengebäude Rechnung zu tragen.

Die Ergebnisse der 3D-Seismik stellen ein Baustein der Erkundung dar und sollen zum einen helfen, geologisch und hydrogeologisch relevante Strukturelemente zu erfassen, welche potentielle Migrationspfade darstellen können. Zum anderen soll mit den Ergebnissen das Deckgebirge der Asse-Struktur sowie die Flanken der Salzstruktur abgebildet werden. Dies ermöglicht belastbarere Interpretations- und Modellansätze und den Abbau von Unsicherheiten unter anderem auch für gebirgsmechanische Analysen, welche im Rahmen der Offenhaltung immer wieder durchgeführt werden müssen. Gebirgsmechanische Analysen wiederum stellen ein Werkzeug dar, mit dessen Hilfe Maßnahmen im Rahmen der Offenhaltung konkretisiert werden können. Erst mit den belastbaren Modellen (z.B. geologisches Modell) werden konkrete Maßnahmen erarbeitet.

2. *Frage:*

2. Frage:

2a. „Welche Abbildungsqualität der steilen Südflanke und der Störungen erwarten Sie aus den 3D-seismischen Messungen in 0,5... 1,0km / 1,0...2,0km / 2,0...3,0km Abstand zur Südflanke bei der Auflösung senkrecht zum Strahlenweg der seismischen Welle?“

2b. „Welche Abmessungen müssten Störungen oder Wegsamkeiten an der steilen Südflanke haben, damit sie mit diesen Messungen erkannt werden können?“

Antwort zu 2a:

Aufgrund der Messgeometrie und der Geometrie der Laufwege reflektierter Wellen ist die seismische Abbildung steil stehender Schichtgrenzen, wie der mit ca. 70° einfallenden Südflanke, keine leichte Aufgabe der seismischen Datenbearbeitung, obwohl durch den hohen Impedanzkontrast zwischen der Buntsandstein-Anhydritschicht, die auf der Südflanke aufliegt, und dem Zechsteinsalz generell eine amplitudenstarke Reflexion und damit auch ein gutes Abbild zu erwarten ist.

Zur Vorbereitung der 3D-seismischen Hauptmessung wurden im März 2013 Testmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Testmessungen wurden im Juni 2014 mit dem Bericht „Datenbearbeitung, Interpretation und Modellrechnungen einer (3D-)seismischen Testmessung im Bereich der Schachanlage Asse II“ der DMT-Petrologic GmbH vom BfS veröffentlicht. Im Rahmen dieses Berichtes wurden vor allem die Möglichkeiten der seismischen Datenbearbeitung zur hochauflösenden Abbildung der Salzstruktur Asse, insbesondere der steilen Flanken mit den Störungs- und Auflockerungszonen, untersucht. Die Bewertung unterschiedlicher Varianten der Datenbearbeitung wurde außerdem noch durch numerische Modellierungen mit einem Modell ergänzt. Die steilen Flanken der Salzstruktur mit komplizierten Störungszonen, insbesondere der obere Teufenbereich konnten nicht durch ein langes 2D-Seismik-Profil und auch nicht durch die relativ kleinräumigen 3D-seismischen Messungen vollständig erfasst werden. Mit der geplanten 3D-seismischen Hauptmessung auf der vorgesehenen 37,5 km<sup>2</sup> Fläche wird die Salzstruktur Asse aber vollständig erfasst, so dass hier keine geometrischen Einschränkungen hinsichtlich der seismischen Abbildung zu erwarten sind. Wesentlicher Bestandteil der Untersuchungen war die Anwendung von modernen Verfahren der seismischen Tiefenmigration zur verbesserten Fokussierung der Reflexionselemente (Kirchhoff-Prestack-Tiefenmigration, Fresnel-Volumen-Migration, Kohärenzmigration). Der Vergleich der drei Migrationsergebnisse unter Verwendung der seismischen Testmessungen und der numerischen Modellierungen zeigt, dass die beiden fokussierenden Tiefenmigrationsverfahren (Fresnel-Volumen-Migration und Kohärenzmigration) eine bessere Erkennbarkeit von Strukturdetails aufweisen als die Kirchhoff-Prestack-Tiefenmigration. Unabhängig davon zeigen alle drei Tiefenmigrationsverfahren mit zunehmender Strahlüberdeckung eine deutliche Verbesserung der Abbildungsqualität, die eine Voraussetzung für das Erkennen von Strukturdetails in den seismischen Tiefenabbildungen ist. Insofern lässt sich die zu erwartende Abbildungsqualität nicht in bestimmte Bereiche (0,5... 1,0km / 1,0...2,0km / 2,0...3,0km) einteilen – wichtig ist, dass in allen Bereichen eine gleichmäßige und möglichst hohe Strahlüberdeckung erzielt wird. Außerdem ist eine sorgfältige Datenbearbeitung vor der Migration (z.B. Entfernung von Oberflächenwellen, refraktierten Wellen und Multiplen) und ein hinreichend gutes Geschwindigkeitsmodell für die Migration eine Voraussetzung für ein hochwertiges Tiefenabbild.

Diese Möglichkeiten der Datenbearbeitung können natürlich nicht die physikalischen Grenzen des seismischen Auflösungsvermögens außer Kraft setzen. Aufgrund der frequenzabhängigen Dämpfung nimmt mit zunehmender Tiefe das Auflösungsvermögen ab (s. Antwort zu Frage 2b).

Antwort zu 2b:

Die Frage nach den Abmessungen von Störungen oder Wegsamkeiten zielt auf das Auflösungsvermögen seismischer Messungen. Generell hängt das Auflösungsvermögen seismischer Messungen von der Wellenlänge  $\lambda$  der seismischen Wellen und der Tiefe  $z$  ab. Dabei ist zwischen dem vertikalen und dem horizontalen bzw. lateralen Auflösungsvermögen zu unterscheiden.

Das vertikale Auflösungsvermögen bedeutet, dass die Reflexion von der Oberkante einer Schicht von der Reflexion der Unterkante derselben Schicht unterschieden werden kann, so dass die Mächtigkeit dieser Schicht bestimmt werden kann. Das vertikale Auflösungsvermögen beträgt etwa ein Viertel der Wellenlänge ( $\lambda / 4$ ). Dabei berechnet sich die Wellenlänge  $\lambda$  aus der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit  $v$  und der Frequenz  $f$  der Welle:

$$\lambda = v/f$$

Die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit ist eine materialspezifische Größe. Beispielsweise ist in Sandsteinen des Buntsandsteins in einer Tiefe von ca. 1000 m eine Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kompressionswelle von ca. 4000 m/s zu erwarten. Die sich im Untergrund ausbreitenden Wellen werden an der Erdoberfläche mit Vibratoren oder in flachen (maximal 15 m tiefen) Bohrungen per Sprengung kleiner Ladungen (0,5 – 1 kg) angeregt. Bei der Anregung mit Vibratoren kann der Frequenzinhalt der seismischen Wellen gesteuert werden. Voraussichtlich wird in einem Frequenzband von 8 Hz bis 144 Hz angeregt. Zu beachten ist allerdings, dass bei der Ausbreitung seismischer Wellen im Untergrund höhere Frequenzen stärker gedämpft werden als niedrige Frequenzen. Selbst wenn an der Erdoberfläche eine Frequenz von 120 Hz angeregt wird, so ist in 500 m Tiefe eine Maximalfrequenz von ca. 100 Hz und in 1000 m Tiefe eine Maximalfrequenz von etwa 75 Hz zu erwarten. Damit würden sich die in Tabelle 1 angegebenen Werte für die Wellenlänge und das vertikale Auflösungsvermögen  $\lambda/4$  ergeben.

Geschwindigkeit v in m/s	Frequenz f in Hz	Wellenlänge $\lambda$ in m	$\lambda/4$ in m
4000	120	33,3	8,3
4000	100	40,0	10,0
4000	75	53,3	13,0

Tab. 1: Berechnung der Wellenlänge und des Auflösungsvermögens  $\lambda/4$  für verschiedene Frequenzen.

Das horizontale Auflösungsvermögen bedeutet, dass die Streuung seismischer Wellen von zwei separaten Objekten, die eine gewisse Distanz voneinander entfernt sind, voneinander unterschieden werden kann. Zum Beispiel kann dies die rechte und linke Begrenzung einer Störungszone sein. Das horizontale Auflösungsvermögen berechnet sich aus dem Radius der ersten Fresnelzone.

$$r \approx \sqrt{\frac{1}{2} \cdot z \cdot \lambda}$$

Die Fresnelzone berücksichtigt allerdings nicht, dass im Laufe der Bearbeitung seismischer Daten durch den Schritt der „Migration“, gestreute Wellen auf ihren Ursprung zurückgeführt werden. Im Idealfall einer 3D-Migration mit einer sehr dichten Messanordnung, wie sie bei der 3D-seismischen Hauptmessung geplant ist, lässt sich auch das horizontale Auflösungsvermögen auf ein Viertel der Wellenlänge ( $\lambda/4$ ) steigern (s. Tab. 1).

Unabhängig vom vertikalen und horizontalen Auflösungsvermögen, das im vorliegenden Fall bestenfalls bei 10 m liegt, ist noch die Fragestellung, ab welchem vertikalen Versatz (Sprunghöhe) von Schichtgrenzen eine Störung erkannt wird. Sowohl am Ende der hochliegenden Schicht zur Störung als auch Ende der tiefliegenden Schicht werden die seismischen Wellen gestreut. Unabhängig von der Wellenlänge ist diese Streuung, die sich in Form von Diffraktionshyperbeln in der seismischen Abbildung darstellt, zunächst ein deutlicher Hinweis auf eine Störung. D. h. die Sprunghöhe der Störung kann durchaus kleiner als 10 m sein - die Störung wird trotzdem erkannt. Allerdings kann dann noch nicht gesagt werden, wie groß die Sprunghöhe ist.

3. *Frage: „Meine Ackerflächen sind mit Tonröhren drainiert. Ich muss davon ausgehen, dass durch die „Rüttelvorgänge“ mit den Vibrationsfahrzeugen Schäden an den Drainagen auftreten (Rißbildungen, partielle Verlagerungen), die erst Jahre später zu Störungen führen werden. Bis zu welchem Zeitraum sind Sie bereit für die Beseitigung sämtlicher Störungen/Schäden der Drainagen aufzukommen?“*

Antwort:

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen für in Betracht kommende vertragliche sowie deliktische Schadensersatzansprüche sehen vor, dass für diese Ansprüche gemäß §§ 195, 199 BGB die Regelverjährungszeit von 3 Jahren gilt. Die regelmäßige Verjährungsfrist von 3 Jahren beginnt, wenn der Gläubiger von den Anspruch begründenden Umständen und der Person des Schädigers Kenntnis erlangt hat oder ohne grobe Fahrlässigkeit hätte erlangen müssen, vgl. § 199 BGB. Der Betroffene muss mithin die relevanten Tatsachen kennen, die die Voraussetzungen der anspruchsbegründenden Normen erfüllen. Unter Kenntnis der anspruchsbegründenden Umstände bei Geltendmachung etwaiger Schadensersatzansprüche fallen dabei vor allem die Tatsachen der Pflichtverletzung und der hierauf kausal beruhende Eintritt des Schadens. Dies bedeutet, dass bei einem erkennbaren Schaden an der Drainage der Anspruch auf Schadensersatz innerhalb von 3 Jahren bei mir geltend gemacht werden muss.

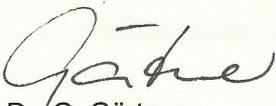
Durch Vereinbarung kann eine Haftung aus Vertrag und Delikt im Grundsatz beschränkt, erweitert oder ausgeschlossen werden. Das bedeutet, dass eine Haftungsbegründung über das nach objektivem Recht zu vertretende Maß hinaus grundsätzlich möglich ist. In Individualabreden ist sie in den Grenzen der §§ 138, 242 BGB vom Grundsatz der Vertragsfreiheit gedeckt.

Als Richtwert für eine Haftungsübernahme für solche Schäden kann hierbei die vom Gesetzgeber bestimmte Regelverjährungszeit von 3 Jahren herangezogen werden - unabhängig von der Führung eines Kausalitätsnachweises durch den Betroffenen (Beweislast).

Eine weitere über 3 Jahre hinausgehende Haftung nach den gesetzlichen Bestimmungen bleibt unbenommen. Hierfür ist es jedoch erforderlich, einen Kausalitätsnachweis nach den gesetzlichen Bestimmungen zu führen.

Eine Haftungsübernahme für Schäden innerhalb eines Zeitrahmens von vier Jahren nach Beginn der Maßnahmen kann vertraglich festgelegt werden, wie dies bereits in den Verträgen für die Testmessung 2013 geschehen ist.

Mit freundlichen Grüßen  
im Auftrag



Dr. G. Gärtner  
Leiterin SE 4.2.2 Asse-Fachfragen